

Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Y

Sriatun^{a,*}, Taslimah^a, Erwin Nur Cahyo^a, Fuguh Devi Saputro^a

^a Inorganic Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

* Corresponding author: sriatun@live.undip.ac.id

Article Info	Abstract
<p>Keywords:</p> <p>Zeolite Y, cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB), polyethylen glycol-400 (PEG-400)</p>	<p>Zeolite Y has been performed with concentration and type of surfactant studies these are cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) and Polyethylene Glycol-400 (PEG-400) surfactants. The main raw material for synthesized zeolite Y is sol silica and aluminum hydroxide. Synthesis of zeolite Y using hydrothermal method with time of crystallization 24 hours and 72 hours at temperature 100°C. The process of calcining the product at temperature of 500°C for 5 hours. Analysis of zeolite products using Fourier Transform-Infra Red (FT-IR) and X-Ray Diffractometer (XRD). The results obtained that the zeolite synthesized with 24 hours hydrothermal time produced zeolite A, meanwhile the 72 hours produced Zeolite Y. The variation of concentration and the type of surfactant did not significantly affect the crystallinity and size of the resulting zeolite crystal grain. However, the use of surfactants increases the size of the zeolite crystal grains. The largest crystal grain size obtained at 24 hours zeolite using PEG-400 surfactant with a concentration of 6.25×10^{-5} M resulted in a crystal grain size of 46.82 nm.</p>
<p>Kata kunci:</p> <p>zeolit Y, cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB), Polyethylen Glycol-400 (PEG-400)</p>	<p>Abstrak</p> <p>Telah dilakukan pembuatan zeolit Y dengan kajian konsentrasi dan jenis surfaktan yaitu cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) dan Polyethylen Glycol-400 (PEG-400). Adapun bahan baku utama untuk membuat zeolit Y adalah sol silika dan alumunium hidroksida. Sintesis zeolit Y menggunakan metode hidrotermal dengan waktu kristalisasi 24 jam dan 72 jam pada suhu 100°C. Proses kalsinasi produk pada suhu 500°C selama 5 jam. Analisis produk zeolit menggunakan Fourier Transform-Infra Red (FT-IR) dan X-Ray Diffractometer (XRD). Hasil yang diperoleh bahwa zeolit yang disintesis dengan waktu hidrotermal 24 jam menghasilkan zeolit A sedangkan yang 72 jam menghasilkan Zeolit Y. Variasi konsentrasi dan jenis surfaktan tidak signifikan mempengaruhi kristalinitas dan ukuran bulir kristal zeolit yang dihasilkan. Namun penggunaan surfaktan meningkatkan ukuran bulir kristal zeolit. Ukuran bulir kristal terbesar didapatkan pada zeolit 24 jam yang menggunakan surfaktan PEG-400 dengan konsentrasi $6,25 \times 10^{-5}$ M menghasilkan ukuran bulir kristal 46,82 nm.</p>

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan wilayah dengan rangkaian gunung api mulai dari Sumatera, Jawa, Nusatenggara dan Sulawesi. Tuf merupakan salah satu produk gunung api setelah mengalami diagenesis menjadi zeolit sehingga Indonesia berpotensi besar menghasilkan zeolit. Sebaran zeolit terdapat di Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Timur, dan Sulawesi [1].

Zeolit adalah kristal mikropori aluminosilikat dengan berbagai struktur yang mengandung sifat intrinsik dari keasaman kuat, luas permukaan tinggi, stabilitas termal yang tinggi, dan selektivitas bentuk, menyebabkan zeolit diaplikasi secara ekstensif sebagai katalis di bidang proses petrokimia [2, 3]. Karena pemanfaatan zeolit sangat luas maka eksplorasi terhadap zeolit alam terus dilakukan sehingga menyebabkan semakin

berkurangnya deposit mineral zeolit. Sebagai mineral alam zeolit merupakan bahan unrenewable sehingga semakin lama akan habis. Oleh karena itu diupayakan untuk membuat zeolit tiruan/sintetik.

Salah satu zeolit sintetik yang banyak dikembangkan adalah zeolit Y. Zeolit ini merupakan mineral Faujasit dengan rasio Si/Al 1-3 [4], mempunyai stabilitas termal tinggi sehingga sesuai diaplikasikan pada proses yang memerlukan suhu tinggi seperti pada proses perengkahan katalitik cair (FCC). Namun zeolit ini mempunyai struktur mikropori sehingga mempunyai keterbatasan dalam mendifusikan dan menransportasikan massa dari dan ke situs aktif. Kondisi ini dapat menyebabkan polimerisasi produk atau reaksi intermediat sehingga dapat memblokir situs aktif dalam kerangka zeolit ataupun menutup pori sehingga lifetime katalis Zeolit Y menjadi pendek [5]. Berbagai strategi telah dikembangkan untuk membuat zeolit hirarkis. Salah satunya adalah pembuatan zeolit mesopori menggunakan templat/agen pengarah/pencetak pori [6-8]. Liu *dkk* [6] menyatakan bahwa surfaktan organosilan ($[(\text{CH}_3\text{O})_3\text{SiC}_3\text{H}_6\text{N}(\text{CH}_3)_2\text{C}_{16}\text{H}_{37}]\text{Cl}$, TPHAC) terdispersi dengan sangat baik dalam water glass (sol silika) menghasilkan zeolit Y dengan struktur mesopori.

Templat surfaktan kationik berbasis amonium dapat juga digunakan sebagai agen pengarah pada sintesis zeolit berbagai tipe menggunakan surfaktan amonium pada sintesis MCM-41 dan zeolit Y [9] dan menggunakan PTMOH pada sintesis zeolit Y [10]. Hasan *dkk* [11] melakukan sintesis zeolit A dengan penambahan surfaktan kationik berbasis amonium yaitu cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) sebagai agen pencetak pori. Produk sintesis menunjukkan ukuran mesopori yaitu sekitar 11,5-11,7 nm, penggunaan surfaktan meningkatkan kristalinitas zeolit. Templat surfaktan non ionik juga telah digunakan pada sintesis zeolit MTT [12]. Wang *dkk* [13] mensintesis nano-zeolit IM-5 dengan templat PEG (polietilen glikol) dan CTAB secara hidrotermal suhu 170°C selama 6-14 hari dan suhu kalsinasi sebesar 550°C selama 6 jam. Produk zeolit IM-5 berukuran nano yaitu sekitar 35 nm.

Dalam penelitian ini dilakukan sintesis zeolit Y menggunakan templat surfaktan kationik cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) dan non ionik polyethylen Glycol (PEG) serta waktu hidrotermal yang berbeda untuk mengetahui pengaruh penambahan jenis surfaktan terhadap karakter zeolit yang dihasilkan.

2. Metode Penelitian

Bahan

Natrium silikat solution (Merck), Alumunium hidroksida powder (Merck), NaOH pelet (Merck), akuades, akuademineral, cetyl-trimethylammonium bromide (CTAB) powder (Merck) dan Polyethylen Glycol-400 (PEG-400) solution (Merck).

Preparasi Larutan Natrium Aluminat

Pembuatan natrium aluminat diawali dengan melarutkan 20 g NaOH yang dilarutkan ke dalam 100 mL

akuades, selanjutnya ke dalam larutan tersebut dimasukkan sebanyak 8,5 g $\text{Al}(\text{OH})_3$ sedikit demi sedikit dan dilakukan pengadukan disertai pemanasan pada suhu 100 °C sampai homogen.

Preparasi Larutan Surfaktan

Serbuk CTAB dengan berat tertentu dilarutkan dalam 25 mL akuades hingga homogen untuk mendapatkan larutan CTAB dengan konsentrasi 0,125 M, 0,25 M, dan 0,5 M. Larutan PEG-400 pada volume tertentu ditambah 100 mL akuades untuk mendapatkan konsentrasi PEG 6,25 x 10⁻⁵ M, 1,25 x 10⁻⁴ M, dan 6,25 x 10⁻⁴ M.

Sintesis Zeolit Y

Sejumlah surfaktan CTAB ditambah natrium silikat disertai dengan pengadukan sampai homogen, kemudian ditambahkan natrium aluminat, perbandingan natrium silikat:natrium aluminat 1:1, pengadukan dilakukan sampai terbentuk gel berwarna putih. Selanjutnya dipindahkan dalam wadah teflon, dipanaskan pada suhu 100°C selama 24 jam dalam oven. Padatan hasil disaring, dicuci sampai pH netral, dan dikeringkan pada suhu 100°C selama 2 jam. Langkah terakhir adalah kalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam. Prosedur yang sama juga dilakukan untuk waktu hidrotermal/pemanasan selama 72 jam. Selanjutnya prosedur sintesis tersebut juga dilakukan dengan menggunakan surfaktan PEG-400. Penetapan kode sampel terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Penetapan kode sampel

Keterangan	Waktu hidrotermal	
	24	72
Zeolit tanpa penambahan Surfaktan	ZTS	Z-Y0
Zeolit dengan penambahan CTAB 0,125 M	ZC1	Z-YC1
Zeolit dengan penambahan CTAB 0,25 M	ZC2	Z-YC2
Zeolit dengan penambahan CTAB 0,5 M	ZC3	Z-YC3
Zeolit dengan penambahan PEG 6,25 x 10 ⁻⁵ M	ZP1	Z-YP1
Zeolit dengan penambahan PEG 1,25 x 10 ⁻⁴ M	ZP2	Z-YP2
Zeolit dengan penambahan PEG 6,25 x 10 ⁻⁴ M	ZP3	Z-YP3

Karakterisasi Zeolit

Karakterisasi zeolit dilakukan dengan menggunakan instrument Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy (FT-IR) dan X Ray Diffraction (XRD).

3. Hasil dan Pembahasan

Sintesis Zeolit

Sintesis zeolit dilakukan dengan cara mereaksikan natrium silikat dan natrium aluminat, ketika natrium aluminat dicampurkan sedikit demi sedikit ke dalam larutan natrium silikat, larutan berubah menjadi putih.

Hal tersebut dikarenakan silanol yang berasal dari natrium silikat bereaksi dengan natrium aluminat melalui reaksi polimerisasi membentuk zeolit [14]. Jika sebelum direaksikan dengan natrium aluminat, natrium silikat ditambah dengan surfaktan maka proses polimerisasi zeolit akan diarahkan oleh surfaktan, sehingga terbentuk pori dengan ukuran yang diinginkan sesuai dengan surfaktan yang digunakan. Ukuran kemruahan gugus surfaktan sebagai bagian hidrofilik serta panjangnya rantai hidrofobik surfaktan sangat menentukan besarnya ukuran surfaktan saat membentuk misel.

Surfaktan Cetyltrimethylammonium Bromide $[(C_{16}H_{33})N(CH_3)_3Br]$ merupakan salah satu jenis surfaktan kationik dan sering disebut sebagai *strongly structure directing*. Karena kation CTA^+ dapat berinteraksi cepat dengan anion silikat dan aluminat dengan kuat yang tetap bertahan dalam struktur zeolit sampai kristalisasi selesai. Surfaktan CTAB akan saling berinteraksi membentuk misel menyebabkan gugus hidrofobik (ekor) dari surfaktan CTAB akan berkumpul. Gugus hidrofilik (kepala) dari surfaktan CTAB akan menjauhi gugus hidrofobik. Secara elektrostatik gugus hidrofilik (kepala surfaktan) akan berinteraksi dengan unit pembangun primer dari zeolit (*primary building unit*) dari TO_4 . Satuan bangun primer struktur zeolit adalah suatu tetrahedral terdiri atas atom pusat Si dan Al yang dikelilingi oleh empat atom oksigen, yaitu $[SiO_4]_4^-$ atau $[AlO_4]_5^-$ [15]. Polimerisasi zeolit akan membentuk kerangka dan kerangka dari zeolit tersebut akan diarahkan sesuai dengan misel yang terbentuk dari adanya surfaktan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Hasan *dkk.* [11] pada tahap awal ion-ion zeolit akan mengalami polimerisasi, kemudian partikel zeolit berukuran kecil akan terbentuk dan terpasang di sepanjang misel surfaktan CTAB. Surfaktan non ionik PEG-400 adalah polietilenglikol $H(O-CH_2-CH_2)_n OH$ dengan harga n antara 8,2 dan 9,1. Dengan demikian hampir sama dengan CTAB, namun surfaktan ini non ionik. Oleh karena itu kemungkinan interaksi dengan anion silikat dan aluminat tidak sekuat pada CTAB.

Kecenderungan terbentuknya misel pada CTAB lebih mudah karena pada strukturnya terdapat polarisasi antara gugus polar (hidrofilik) dan non polar (hidrofobik), sedangkan pada PEG-400 tidak karena PEG tersusun dari monomer-monomer oksietilen. Dengan demikian perkiraan mekanisme yang mungkin terjadi antara ion-ion penyusun zeolit dengan PEG-400 adalah sebagai berikut:

Mekanisme surfaktan PEG-400 membentuk cincin

Surfaktan PEG-400 merupakan surfaktan nonionik diduga membentuk cincin yang besar dengan kedua pangkal ujung saling bertemu sehingga terbentuk misel. Interaksi antara zeolit dengan PEG-400 diduga adalah gaya Van Der Waals. Ion-ion penyusun zeolit akan mengelilingi molekul PEG-400 karena adanya gaya tarik menarik listrik yang relatif lemah. Walaupun lemah, gaya van der Waals memiliki pengaruh yang nyata terhadap sifat fisik dan termal suatu molekul. Peranan gaya Van Der Waals yang penting hanya dalam menjelaskan

interaksi antara molekul. Dan pada saat kalsinasi nantinya PEG-400 akan terdekomposisi menjadi gas etilena dan H_2O , sehingga PEG-400 akan terlepas dari struktur Kristal.

Mekanisme surfaktan PEG-400 membentuk misel

Mekanisme ini, diduga surfaktan PEG-400 dapat membentuk misel dengan cara gugus hidrofilik pada PEG-400 yang berupa gugus oksietilena (CH_2-CH_2-O) berinteraksi dengan air dan gugus hidrofobiknya menjauhi gugus hidrofilik sehingga akan terbentuk sebuah lingkaran berupa misel. Pada permukaan zeolit yang bermuatan negatif, atom oksigen pada gugus oksietilena dapat berinteraksi elektrostatik dengan situs negatif di permukaan zeolit dengan mengambil proton dari air dan memperoleh muatan positif [16].

Mekanisme surfaktan PEG-400 tetap utuh sebagai molekul yang memanjang

Mekanisme ini, diduga molekul surfaktan membentuk molekul yang berkelok-kelok karena antar ujung surfaktan tidak saling bertemu. Sehingga kerangka dari zeolit ini berada di sekeliling rantai surfaktan yang memanjang.

Sintesis zeolit dilakukan pada pH 12-14, karena pada pH basa ini dalam larutan terbentuk anion $Al(OH)_4^-$ atau AlO_2^- yang merupakan anion pembentuk zeolit yang berasal sumber alumina. Hal ini akan berbeda jika larutan dalam keadaan asam yaitu pada pH 1 sampai 4 karena senyawa Al yang dominan adalah $[Al(H_2O)_6]^{3+}$. Keberadaan kation tersebut akan menghambat pembentukan kerangka aluminosilikat dari zeolit. Kerangka zeolit juga dipengaruhi oleh keberadaan anion dari silikat. Pada pH > 12, akan terbentuk ion $Si(OH)_4$, yang merupakan ion utama dalam pembentukan kerangka zeolit [17]. Ion-ion silikat dan aluminat merupakan monomer pembentuk kerangka zeolit. Ketika natrium silikat direaksikan dengan surfaktan kemudian ditambah larutan natrium aluminat, maka monomer-monomer penyusun kerangka zeolit (ion silikat dan aluminat) akan mengalami proses polimerisasi kondensasi membentuk kerangka yang diarahkan oleh misel dari surfaktan. Polimerisasi pada sintesis zeolit ditandai dengan terbentuknya gel, selanjutnya terbentuk inti kristal. Pada proses hidrotermal merupakan proses kristalisasi yaitu penataan atom-atom agar diperoleh struktur teratur/kristal yang stabil. Tahap ini menentukan tipe zeolit. Lamanya waktu dan suhu kristalisasi akan mempengaruhi hasil penataan tersebut. Dalam penelitian ini digunakan waktu 24 jam dan 72 jam dan suhu $100^\circ C$.

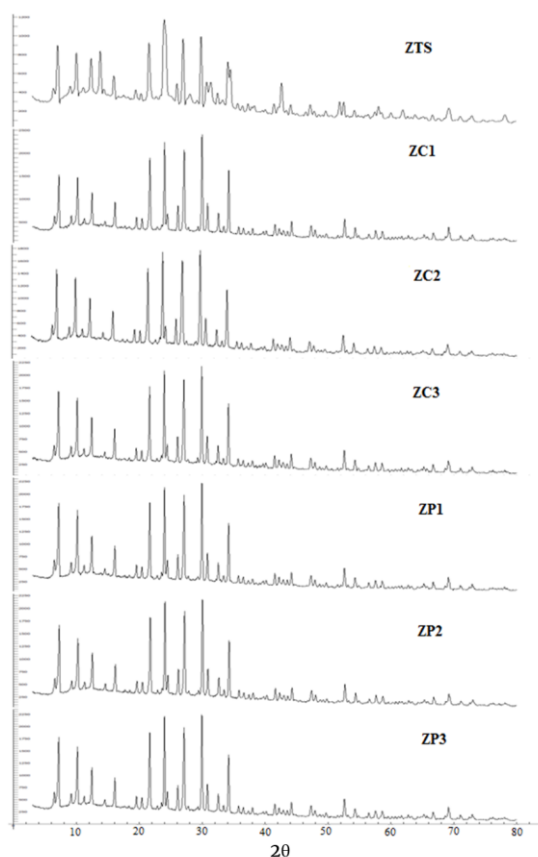
Proses kalsinasi pada suhu $500^\circ C$ selama 5 jam bertujuan untuk mendekomposisi surfaktan baik CTAB maupun PEG-400 sehingga meninggalkan pori yang besar. Dekomposisi sempurna CTAB melepaskan gas CO_2 dan H_2O , sedangkan pada PEG-400 melepaskan gas etilen dan H_2O .

Karakterisasi produk dengan X-Ray Diffraction (XRD)

Difraktogram suatu senyawa/materi dapat memberikan gambaran kristalinitasnya. Difraktogram

yang memiliki pola pemisahan puncak yang jelas intensitas dan ketajaman puncaknya tinggi memiliki kristalinitas yang baik. Berdasarkan hasil analisis pola difraktogram terlihat adanya perbedaan yang signifikan dari ketajaman puncak zeolit tanpa penambahan surfaktan dengan zeolit yang menggunakan surfaktan. Adanya puncak 2θ yang muncul di tempat yang hampir sama tersebut menandakan bahwa zeolit hasil sintesis mempunyai jenis mineral yang sama satu sama lain. Gambar 1 menunjukkan ketajaman puncak dari zeolit yang disintesis dengan variasi konsentrasi dan jenis surfaktan mempunyai intensitas ketajaman puncak yang hampir sama, hal ini diduga zeolit yang terbentuk mempunyai kristalinitas yang sama.

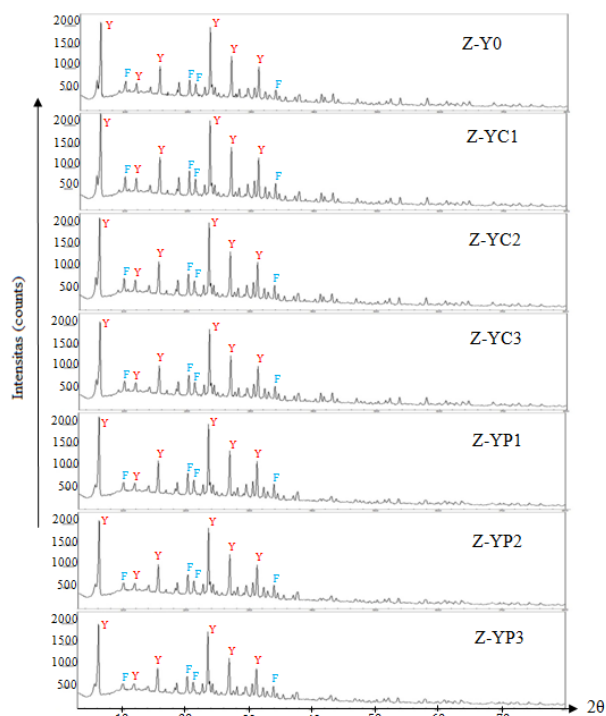
Selanjutnya data difraktogram dari produk hasil sintesis dibandingkan dengan database mineral menggunakan program JCPDS. Menurut [18] identifikasi mineral dilakukan dengan cara membandingkan difraktogram zeolit dengan database Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS). Pola difraktogram zeolit hasil sintesis dengan waktu hidrotermal 24 jam terdapat pada Gambar 1. Gambar tersebut sesuai dengan data pada JCPDS No. 39-0222 sehingga bisa dikatakan zeolit ini merupakan zeolit A.



Gambar 1. Difraktogram XRD zeolit hasil sintesis dengan waktu hidrotermal 24 jam

Pola difraktogram zeolit hasil sintesis dengan waktu hidrotermal 72 jam terdapat pada Gambar 2. Gambar tersebut sesuai dengan data pada JCPDS No. 38-0240 di mana zeolit Y memiliki puncak difraktogram 2θ sekitar 6,181°, 15,601°, 23,535°, 26,936°, dan 31,274° sehingga

bisa dikatakan zeolit hasil sintesis ini merupakan zeolit Y.



Gambar 2. Difraktogram XRD zeolit hasil sintesis dengan waktu hidrotermal 72 jam

Dari data XRD tersebut dapat ditentukan ukuran bulir Kristal pada zeolit hasil sintesis dengan menggunakan persamaan Scherrer, yang hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2: Tabel ukuran bulir kristal dari zeolit yang dihasilkan

Sampel	Ukuran Bulir Kristal (nm)	Sampel	Ukuran Bulir Kristal (nm)
ZTS	22,01	Z-Y0	15,93
ZC1	42,46	Z-YC1	42,60
ZC2	40,45	Z-YC2	44,30
ZC3	46,43	Z-YC3	45,00
ZP1	46,82	Z-YP1	44,34
ZP2	44,93	Z-YP2	45,39
ZP3	46,47	Z-YP3	45,73

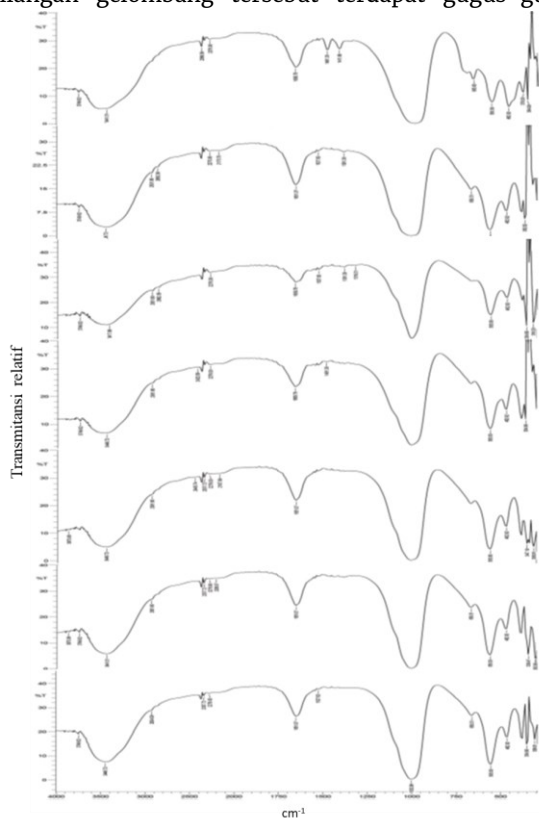
Berdasarkan data Tabel 2 terlihat adanya perbedaan ukuran bulir kristal yang sangat signifikan dari zeolit tanpa penambahan surfaktan dengan zeolit yang menggunakan surfaktan, dengan demikian adanya penambahan surfaktan ini akan meningkatkan ukuran bulir kristal yang terbentuk. Tetapi adanya variasi konsentrasi dan jenis surfaktan yang berbeda tidak mempengaruhi ukuran bulir Kristal.

Konsentrasi maksimum surfaktan yang menghasilkan ukuran bulir Kristal yang besar adalah zeolit yang menggunakan surfaktan PEG-400 dengan konsentrasi $6,25 \times 10^{-5}$ M menghasilkan ukuran bulir Kristal yang paling besar yaitu 46,82 nm. Kemungkinan karena kerangka dari zeolit yang terbentuk tersusun

menyebar di sepanjang rantai panjang dari surfaktan PEG-400 sehingga dapat meningkatkan ukuran bulir Kristal.

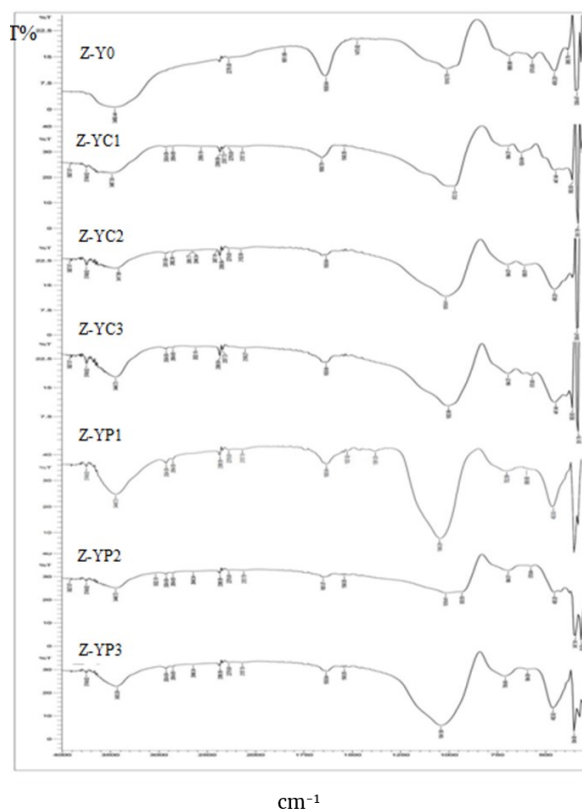
Karakterisasi produk dengan *Fourier Transform Infrared* (FT-IR)

Karakterisasi produk dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi penyusun kerangka zeolit. Spektra yang dihasilkan berupa pita-pita serapan, letak pita serapan dalam spektra IR dinyatakan dengan bilangan gelombang (cm^{-1}), sedangkan intensitas pita serapan dinyatakan dengan persen transmisi (%T). Analisis FTIR dilakukan mulai dari bilangan gelombang $4000\text{--}300\text{ cm}^{-1}$ pada rentang bilangan gelombang tersebut terdapat gugus-gugus



Gambar 3. Spektra FTIR zeolit hasil sintesis dengan waktu hidrotermal 24 jam

fungsi serta sidik jari yang dimiliki oleh zeolit. Pita serapan karakteristik untuk zeolit A di tunjukkan oleh beberapa bilangan gelombang sebagai berikut, pada bilangan gelombang $420\text{--}300\text{ cm}^{-1}$ merupakan pore opening, bilangan gelombang $500\text{--}420\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi tekuk T-O, pada bilangan gelombang $900\text{--}1250\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur asimetris O-T-O, bilangan gelombang $650\text{--}850\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi ulur simetris O-T-O, dan bilangan gelombang $500\text{--}650\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi *double ring* (D_4R) yang merupakan pita serapan khas yang menunjukkan telah terbentuknya zeolit A [17]. Gambar 3 berikut merupakan spektra dari zeolit hasil sintesis dengan waktu hidrotermal 24 jam.



Gambar 4. Spektra FTIR zeolit hasil sintesis dengan waktu hidrotermal 72 jam

Spektra yang dihasilkan oleh zeolit yang menggunakan surfaktan CTAB maupun PEG-400 memiliki kesamaan pola dengan zeolit yang disintesis tanpa menggunakan surfaktan. Hal ini menunjukkan bahwa surfaktan yang digunakan sebagai templat pada zeolit tidak mengubah struktur asli dari zeolitnya. Pita-pita serapan yang muncul pada zeolit hasil sintesis ini nilainya berdekatan atau hampir sama dengan pita-pita serapan karakteristik yang dimiliki oleh zeolit A maupun zeolit Y standar.

4. Kesimpulan

Sintesis zeolit baik menggunakan surfaktan ataupun tanpa menggunakan surfaktan dengan dengan waktu hidrotermal 24 jam menghasilkan zeolit A, namun dengan waktu hidrotermal 72 jam dapat menghasilkan

zeolit Y. Variasi jenis dan konsentrasi surfaktan tidak mempengaruhi kristalinitas dan tipe zeolit. Variasi jenis surfaktan tidak terlalu berpengaruh berpengaruh pada ukuran bulir kristal, namun penggunaan surfaktan akan meningkatkan ukuran bulir kristal. Ukuran bulir kristal optimum didapatkan pada zeolit yang menggunakan surfaktan PEG-400 dengan konsentrasi $6,25 \times 10^{-5}\text{ M}$ menghasilkan ukuran bulir kristal 46,82 nm.

5. Daftar Pustaka

[1] Kusdarto, *Potensi Zeolit di Indonesia*, Jurnal Zeolit Indonesia, 7, 2, (2008) 78–87
 [2] Martin Hartmann, Albert Gonche Machoke, Wilhelm Schwieger, *Catalytic test reactions for the evaluation of hierarchical zeolites*, Chemical Society Reviews,

- 45, 12, (2016) 3313-3330
<http://dx.doi.org/10.1039/C5CS00935A>
- [3] Ying Wei, Tanja E Parmentier, Krijn P de Jong, Jovana Zečević, Tailoring and visualizing the pore architecture of hierarchical zeolites, *Chemical Society Reviews*, 44, 20, (2015) 7234-7261
<https://dx.doi.org/10.1039/C5CS00155B>
- [4] Zhenzhuo Wang, Izumi Kumakiri, Kazuhiro Tanaka, Xiangshu Chen, Hidetoshi Kita, NaY zeolite membranes with high performance prepared by a variable-temperature synthesis, *Microporous and Mesoporous Materials*, 182, (2013) 250-258
<http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2013.05.002>
- [5] Kyungsu Na, Minkee Choi, Ryong Ryoo, Recent advances in the synthesis of hierarchically nanoporous zeolites, *Microporous and Mesoporous Materials*, 166, (2013) 3-19
<http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2012.03.054>
- [6] Baoyu Liu, Kaihong Xie, Su Cheun Oh, Dalei Sun, Yanxiong Fang, Hongxia Xi, Direct synthesis of hierarchical USY zeolite for retardation of catalyst deactivation, *Chemical Engineering Science*, 153, (2016) 374-381
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2016.07.041>
- [7] Feng-Shou Xiao, Lifeng Wang, Chengyang Yin, Kaifeng Lin, Yan Di, Jixue Li, Ruren Xu, Dang Sheng Su, Robert Schlögl, Toshiyuki Yokoi, Takashi Tatsumi, Catalytic Properties of Hierarchical Mesoporous Zeolites Templated with a Mixture of Small Organic Ammonium Salts and Mesoscale Cationic Polymers, *Angewandte Chemie*, 118, 19, (2006) 3162-3165
[10.1002/ange.200600241](http://dx.doi.org/10.1002/ange.200600241)
- [8] Jian Zhou, Zile Hua, Zhicheng Liu, Wei Wu, Yan Zhu, Jianlin Shi, Direct Synthetic Strategy of Mesoporous ZSM-5 Zeolites by Using Conventional Block Copolymer Templates and the Improved Catalytic Properties, *ACS Catalysis*, 1, 4, (2011) 287-291
<http://dx.doi.org/10.1021/cs1000976>
- [9] Alexander Sachse, Caroline Wuttke, Urbano Díaz, Michèle Oberson de Souza, Mesoporous Y zeolite through ionic liquid based surfactant templating, *Microporous and Mesoporous Materials*, 217, (2015) 81-86
<http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.05.049>
- [10] S. N. Azizi, A. R. Samadi-Maybodi, M. Yarmohammadi, Synthesis of NaA zeolite using PTMAOH(phenyltrimethylammoniumhydroxide): hydrothermal and microwave heating methods and comparison of their XRD patterns, *Open Journal of Inorganic Chemistry*, 2, 1, (2012) 1-5
<http://dx.doi.org/10.4236/ojic.2012.21001>
- [11] Fatin Hasan, Ranjeet Singh, Gang Li, Dongyuan Zhao, Paul A. Webley, Direct synthesis of hierarchical LTA zeolite via a low crystallization and growth rate technique in presence of cetyltrimethylammonium bromide, *Journal of Colloid and Interface Science*, 382, 1, (2012) 1-12
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2012.05.027>
- [12] Idris A. Bakare, Oki Muraza, Adnan M. Al-Amer, Zain H. Yamani, The effect of non-ionic surfactant in the microwave-assisted synthesis of MTT zeolite optimized by Taguchi method, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 50, (2015) 314-321
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2014.12.033>
- [13] Lei Wang, Weiya Yang, Chunling Xin, Fengxiang Ling, Wanfu Sun, Xiangchen Fang, Ruochen Yang, Synthesis of nano-zeolite IM-5 by hydrothermal method with the aid of PEG and CTAB, *Materials Letters*, 69, (2012) 16-19
<http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2011.11.073>
- [14] Thuat T. Trinh, Xavier Rozanska, Francoise Delbecq, Philippe Sautet, The initial step of silicate versus aluminosilicate formation in zeolite synthesis: a reaction mechanism in water with a tetrapropylammonium template, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 14, 10, (2012) 3369-3380
<http://dx.doi.org/10.1039/C2CP23370C>
- [15] Richard Maling Barrer, *Hydrothermal chemistry of zeolites*, Academic Press, 1982.
- [16] Milton J. Rosen, *Surfactants and interfacial phenomena*, Wiley, 2004.
- [17] Halimaton Hamdan, *Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and Modification*, Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, 1992.
- [18] M. M. J. Treacy, J. B. Higgins, *Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites Fifth (5th) Revised Edition*, Elsevier Science, 2007.