

## Pengaruh Komposisi $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dalam Sintesis ZSM-5 (Zeolite Socony Mobile-5) Bersumber Silika Pasir Pantai Bancar, Kabupaten Tuban

Sumari<sup>1\*</sup>, Suryani Indah Permatasari<sup>1</sup>, Lailatul Ilmiyah<sup>1</sup>, Fauziatul Fajaroh<sup>1</sup>, Yahmin<sup>1</sup> & Ida Bagus Suryadharma<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Malang, Indonesia. Jl. Semarang 5, Malang 65145

Corresponding author: [sumari.fmipa@um.ac.id](mailto:sumari.fmipa@um.ac.id)

### Article history

Received: 26<sup>th</sup> November 2020

Received in revised form: 27<sup>th</sup> December 2020

Accepted: 30<sup>th</sup> December 2020

DOI:

10.17977/um0260v4i22020p027

### Kata-kata kunci:

komposisi  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ,

sintesis ZSM-5,

Silika pasir

### Abstrak

Pasir pantai di Indonesia memiliki kandungan silika yang tinggi berupa  $\text{SiO}_2$ . Silika dengan kemurnian tinggi dapat digunakan sebagai bahan dasar sintesis zeolit, salah satunya adalah ZSM-5 (Zeolite Socony Mobile-5). Zeolit jenis ZSM-5 dapat digunakan sebagai katalis yang memiliki keunggulan dalam struktur dan ketahanan terhadap suhu. Oleh karena itu, ZSM-5 memiliki harga yang mahal sehingga apabila dilakukan sintesis sendiri sangat menguntungkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efek komposisi  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam sintesis ZSM-5 dengan bahan dasar silika pasir pantai. Penelitian dilakukan dalam 3 tahap yaitu (1) pemurnian pasir pantai, (2) ekstraksi silika pasir pantai, dan (3) sintesis zeolite jenis ZSM-5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) kemurnian silika hasil ekstraksi sebesar 97,2%, (2) komposisi  $\text{Si}_{187}\text{Al}_9$  memberikan hasil sintesis yang lebih baik daripada  $\text{Si}_{189}\text{Al}_7$ .

### Abstract

Beach sand in Indonesia contains high silica crystals in the form of  $\text{SiO}_2$ . High purity silica can be used as a raw material for zeolite synthesis, one of them is ZSM-5 (Zeolite Socony Mobile-5). ZSM-5 can be used as a catalyst because it has advantages in structure and temperature resistance. Therefore, ZSM-5 is expensive so that if it can be synthesized by ourselves, it is very profitable. The research aims to determine the effect of the composition of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  in synthesis of ZSM-5 from beach sand silica. The research was done in 3 stages consist of (1) purification of beach sand, (2) extraction of beach sand silica, and (3) synthesis of ZSM-5. The results of the research showed that (1) the purity of extracted silica was 97.2%, (2) the composition of  $\text{Si}_{187}\text{Al}_9$  resulted ZSM-5 better than that of  $\text{Si}_{189}\text{Al}_7$ .

### PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah. Salah satunya adalah bahan-bahan mineral yang terkandung dalam pasir. Pasir yang terdapat di alam sangat beragam, salah satunya adalah pasir pantai. Jawa timur merupakan salah satu propinsi yang juga memiliki pasir pantai yang luas yang tersebar di hamper semua pantai. Salah satu daerah pesisir yang hamparan pasir pantai cukup luas adalah pantai di Kabupaten Tuban yang terletak di daerah pesisir. Kabupaten Tuban memiliki 20 kecamatan dan 5 kecamatan diantaranya memiliki pantai, antara lain Pantai Bancar, Pantai Tambakboyoy, Pantai Palang, Pantai Jenu, dan Pantai Tuban.

Kandungan mineral yang terdapat dalam pasir pantai meliputi Si, K, Ca, Fe, dan Ti.

Sebagaimana dinyatakan oleh (Alimin, dkk., 2016) bahwa kandungan mineral berupa unsur Si sebesar 69,3%, Ca sebesar 7,50%, K (4,52%), Fe (2,01%), dan Ti (0,55%). Kondisi ini menunjukkan bahwa Si merupakan kandungan mineral tertinggi di dalam pasir pantai. Selain itu, (Alimin, dkk., 2016) juga melakukan penelitian mengenai pasir pantai lokal di Indonesia, tepatnya di Pantai Losari, Makasar. Kandungan silika pada pasir pantai tersebut sebesar 63,76%. Berdasarkan referensi tersebut, terbukti bahwa pasir pantai lokal di Indonesia sangat berpotensi digunakan sebagai sumber silika.

Silika dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan zeolit. Zeolit sintetis secara umum memiliki komposisi  $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : \text{H}_2\text{O}$ . Perbedaan perbandingan rasio Si/Al menghasilkan struktur zeolit yang berbeda. Zeolit

dengan rasio  $10 < \text{Si}/\text{Al} < \infty$  mengindikasikan jenis zeolit dengan kandungan silika tinggi. Zeolit sintetis yang tergolong memiliki kandungan silika tinggi adalah ZSM-5 MFI (*Modernite Framework Invert*), zeolit- $\beta$  (Ulfa, 2006). Keunggulan zeolit dengan rasio Si/Al tinggi adalah tahan terhadap suhu tinggi, stabilitas terhadap asam, selektivitas dan aktivitas dalam reaksi kimia (Pan, dkk., 2014).

Sintesis zeolit telah banyak dilakukan dengan berbagai sumber silika. Penelitian sebelumnya dilakukan sintesis ZSM-5 berbahan abu sekam padi oleh (Putro & Prasetyoko, 2007), limbah geotermal sebagai bahan baku pembuatan zeolit A oleh (Fitriyana & Sulardjaka, 2012), dan sintesis ZSM-5 dari kaolin tanpa template organik oleh (Hartanto, dkk., 2016). Hal ini menunjukkan bahwa zeolit dapat disintesis dengan menggunakan silika hasil ekstraksi bahan alam.

Sintesis zeolit tipe ZSM-5 dengan struktur MFI yang mempunyai sifat kimia maupun fisika yang tergantung pada karakter kisi dan pori (Purnamasari, dkk., 2011). ZSM-5 mempunyai pori-pori yang dibentuk oleh oksigen cincin enam membentuk dua jenis pori. Jenis pori pertama memiliki bentuk lurus dan elips. Jenis kedua memiliki bentuk lurus pada sudut kanan, zig-zag dan melingkar polanya (Septiyana & Prasetyoko, 2012).

Rasio molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat mempengaruhi karakteristik dari ZSM-5 sintesis yang terbentuk. Bahan yang direaksikan dengan perbandingan  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 18,8 terbentuk fasa kristalin namun, tidak hanya ZSM-5 tetapi terbentuk pula zeolite jenis mordenit dan NaP dengan derajat kristalinitas ZSM-5 60,2% (Feng, dkk., 2009). Berdasarkan hal tersebut, maka terdapat peluang untuk dilakukan penelitian.

## METODE

Alat-alat yang dipergunakan meliputi neraca, digital Durascale DAB 200 (0,001 g), oven, furnace, seperangkat *reflux*, *magnetic stirrer*, seperangkat XRF (Merk PANalytical, type Minipal 4), seperangkat XRD (Merk PANalytical type E'XPRT PRO), seperangkat FTIR, dan seperangkat SEM (Merk FEI, type inspec S50). Bahan-bahan yang dibutuhkan adalah sampel pasir pada pantai Bancar, Tuban, larutan HCl (pa, Merck), larutan NaOH (pa, Merck),  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (pa, Sigma-Aldrich), padatan  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  (pa, Sigma-Aldrich), indikator pH universal (Merck), aquades, aqua demineralisasi.

Tahap pemurnian pasir pantai dilakukan dengan dua metode, yakni metode *leaching* dan pengabuan.

### a. Metode Leaching

Pasir Pantai Bancar Kabupaten Tuban ditimbang sebanyak 50 g dan dicampur dengan larutan HCl 2 M sebanyak 250 mL. Campuran pasir pantai dan larutan HCl 2 M diaduk dalam waktu 60 menit pada  $100^\circ\text{C}$ . Campuran kemudian didiamkan dalam waktu 24 jam. Kemudian didekantasi dan dicuci dengan air demineralisasi hingga pH netral. Banyaknya air demineralisasi pada proses pencucian yang diperlukan tergantung pada karakteristik silika yang diekstrak. Semakin tinggi kadar silika yang diperoleh maka semakin sedikit kadar akuades yang dibutuhkan dalam proses pencucian. Selanjutnya disaring dan dikalsinasi dalam oven pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 3 jam (Hidayatullah, M., 2018). Pasir hasil *leaching*, selanjutnya dimasukkan ke dalam krusibel dan dikalsinasi di dalam *furnace* selama 3 jam dengan suhu  $500^\circ\text{C}$ .

### b. Metode Pengabuan

Tahap ekstraksi silika dari pasir pantai dengan metode *sol-gel caustic digestion* telah dilaporkan sebelumnya oleh (Sholiha, 2018). Metode *sol-gel caustic digestion* diawali dengan penimbangan pasir pantai sebanyak 5 g. Kemudian pasir tersebut ditambah dengan larutan NaOH 2 N sebanyak 100 mL. Campuran tersebut selanjutnya diaduk dengan pengaduk magnet pada titik didihnya dengan kecepatan konstan dalam beaker tertutup *aluminium foil* selama 1 jam. Larutan disaring hingga diperoleh filtrat natrium silikat. Filtrat Na-silikat yang diperoleh selanjutnya ditambahkan aqua demineralisasi dengan perbandingan natrium silikat : total larutan (1:4). Larutan Na-silikat tersebut memiliki pH=14 sehingga ditambahkan larutan  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  1 N sampai pH 10 disertai pengadukan selanjutnya didiamkan selama 12 jam. Penambahan larutan  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  dilanjutkan hingga pH campuran mencapai pH 4 sehingga terbentuk gel. Gel silika yang terbentuk ini kemudian didiamkan selama 12 jam dan terbentuk 2 lapisan yaitu filtrat dan residu gel. Gel didekantasi dan disaring. Gel selanjutnya dicuci dengan aqua demineralisasi hingga pH 7 dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu  $100^\circ\text{C}$  dalam waktu 12 jam. Silika yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan XRF.

Sintesis ZSM-5 dilakukan dengan

perbandingan menurut (Gates, dkk., 1979) dengan tipe material yaitu  $\text{Na}_9[\text{Al}_9\text{Si}_{87}\text{O}_{192}] : 16\text{H}_2\text{O}$ . Metode sintesis mengacu pada prosedur yang telah dilaporkan oleh (Belaabed, dkk., 2017). Sintesis diawali dengan menimbang 2,506 g  $\text{SiO}_2$  (yang diperoleh dari silika hasil pemurnian pasir pantai dengan tahapan *leaching*, pengabuan dan *sol gel caustic digestion*), kemudian silika tersebut dilarutkan ke dalam larutan  $\text{NaOH}$  2 M sebanyak 50 mL diaduk hingga homogen selama 30 menit dan diperoleh natrium silikat. Adapun natrium aluminat diperoleh dari 3,333 gram  $\text{Al}(\text{OH})_3$  yang dilarutkan dalam 50 mL  $\text{NaOH}$  7 M dengan sistem *reflux* sampai larut sehingga diperoleh natrium aluminat. Natrium aluminat tersebut diambil sebanyak 4,88 mL dan dicampurkan ke dalam natrium silikat, kemudian dihomogenkan dengan menggunakan pengaduk magnet selama 30 menit. Campuran tersebut didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam. Selanjutnya, campuran dimasukkan ke dalam reaktor pada suhu  $150^\circ\text{C}$  selama 12 jam. Residu hasil filtrasi campuran dicuci dengan aqua demineralisasi dan dikeringkan pada suhu  $80^\circ\text{C}$  selama 24 jam. Zeolit yang diperoleh dikarakterisasi dengan menggunakan XRF dan XRD

Sintesis ZSM-5 dilakukan dengan metode prosedur yang sama menurut (Belaabed, dkk., 2017) menggunakan perbandingan menurut (Lechert & Kleinwort, 2001) dengan tipe material yaitu  $\text{Na}_7[\text{Al}_7\text{Si}_{89}\text{O}_{192}] : 16\text{H}_2\text{O}$ . Pada tahap ini, terdapat perbedaan berat dalam penambahan  $\text{SiO}_2$  dan Natrium aluminat berturut-turut sebesar 2,564 gram dan 3,84 gram.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pemurnian silika

Pemurnian silika dari pasir pantai menggunakan gabungan metode *leaching* asam dan pengabuan. *Leaching* asam bertujuan untuk menghilangkan pengotor berupa oksida logam menggunakan asam organik. Hal ini dilakukan agar proses *leaching* lebih ramah lingkungan, dibandingkan dengan penggunaan pelarut seperti  $\text{HCl}$ . Selain sebagai asam kuat,  $\text{HCl}$  dapat melarutkan oksida logam khususnya Fe, K, dan Ca (Babel dan Dacera, 2005).

Metode pengabuan (kalsinasi) dilakukan pada suhu  $500^\circ\text{C}$ . Metode ini bertujuan untuk menghilangkan senyawa  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$ . Hal ini terbukti ketika dilakukan kalsinasi, timbul bau

yang tidak sedap seperti belerang. Perbandingan hasil *leaching* dan pengabuan pasir pantai ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Pasir Hasil (atas) *leaching* (bawah) Pengabuan



**Gambar 2.** Hidrogel pada metode sol-gel *caustic digestion*

### Ekstraksi silika

Ekstraksi silika pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *sol-gel caustic digestion*. Gel yang diperoleh memiliki warna putih seperti yang disajikan pada Gambar 2. Kemudian dilakukan pengeringan silika yang memiliki wujud padat berupa serbuk dan berwarna putih. Hasil ekstraksi silika dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



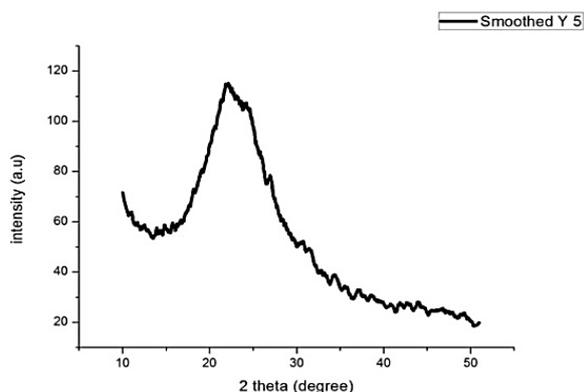
Gambar 3. Silika Hasil Ekstraksi

Hasil karakterisasi XRF dari proses *leaching* dan ekstraksi ditunjukkan pada Tabel 1. Kenaikan kemurnian silika disebabkan telah hilangnya pengotor baik senyawa sulfida, logam besi, dan pengotor yang lain. Data tersebut menunjukkan bahwa kadar senyawa pengotor mengalami penurunan, sedangkan kadar Si mengalami peningkatan bila dibandingkan antara kadar silika hasil *leaching* dengan silika hasil ekstraksi.

Tabel 1. Hasil XRF Proses Leaching dan Ekstraksi

Kandungan (%)	Si	Ca	Ti	Fe
Hasil <i>Leaching</i>	93,7	0,85	0,99	3,19
Hasil Ekstraksi	97,2	0,31	0,05	0,45

Silika yang berhasil diekstrak, selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui kristalinitas silika. Hasil analisis XRD silika lumpur ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini menunjukkan bahwa silika hasil ekstraksi menggunakan metode *sol-gel caustic digestion* menghasilkan silika berfasa amorf. Hal ini dibuktikan dengan tidak adanya puncak khusus pada Gambar 4 dan terdapat pelebaran puncak difraktogram pada sumbu  $2\theta$  di  $20^{\circ}$ - $25^{\circ}$ .



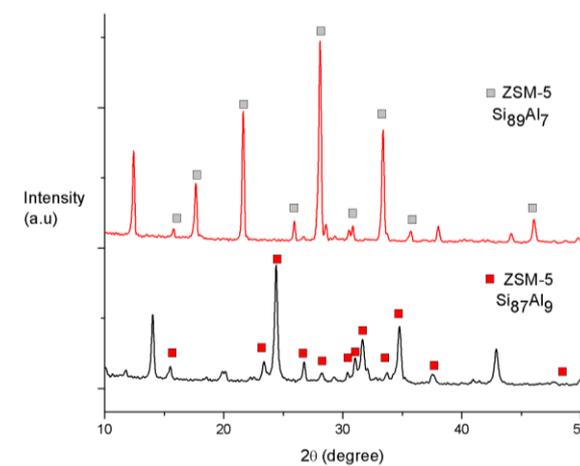
Gambar 4. Hasil XRD Silika Pasir Pantai

### Sintesis ZSM-5

Sintesis zeolit tipe ZSM-5 pada penelitian ini mengacu pada metode yang dilakukan oleh Belabeed, dkk. (2017). Pada penelitian ini sintesis ZSM-5 dilakukan melalui variasi komposisi  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam. ZSM-5 memiliki rumus molekul  $\text{Na}_n(\text{AlO}_2)_n(\text{SiO}_2)_{96-n} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ , sehingga dilakukan 2 variasi komposisi yakni  $\text{Si}_{87}\text{Al}_9$  menurut (Gates, dkk., 1979) dan  $\text{Si}_{89}\text{Al}_7$  menurut (Lechert & Kleinwort, 2001). Adapun wujud fisik ZSM-5 hasil sintesis berupa padatan serbuk berwarna putih, tidak berbau, dan bertekstur halus.

### Karakterisasi ZSM-5

Keberhasilan sintesis dapat diketahui dengan cara mencocokkan data  $2\theta$  dan *d-spacing* zeolit hasil sintesis dengan data  $2\theta$  dan *d-spacing* referensi pada JCPDS (*Joint Committee for Powder Diffraction Standard*) No. 10 235-242 yang merupakan data standar ZSM-5. Hasil Uji XRD ZSM-5 sintesis ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 2. Puncak khas ZSM-5 diidentifikasi pada sudut  $2\theta$  antara  $7-9^{\circ}$  dan sudut  $2\theta$  antara  $22-25^{\circ}$  yang merupakan puncak khas yang dimiliki ZSM-5 (Nurjannah, dkk., 2010). Berdasarkan kecocokan data  $2\theta$  dan *d-spacing* ZSM-5 hasil sintesis dengan data standar dari JCPDS diperoleh hasil bahwa ZSM-5 dengan komposisi  $\text{Si}_{87}\text{Al}_9$  terdapat 12 puncak yang menunjukkan terbentuknya ZSM-5, sedangkan ZSM-5 dengan komposisi  $\text{Si}_{89}\text{Al}_7$  hanya terdapat 9 puncak yang menunjukkan terbentuknya ZSM-5.



Gambar 5. Difraktogram dengan Variasi Komposisi  $\text{Si}_{87}\text{Al}_9$  dan  $\text{Si}_{89}\text{Al}_7$

**Tabel 2.** Interpretasi Data  $2\theta$  dan  $d$ -spacing ZSM-5 Sintetis dan Standar dari JCPDS (Treacy & Higgins, 2001)

ZSM-5 (Si <sub>87</sub> Al <sub>9</sub> )		ZSM-5 JCPDS		ZSM-5 (Si <sub>89</sub> Al <sub>7</sub> )		ZSM-5 JCPDS	
$2\theta$	$d$ -spacing	$2\theta$	$d$ -spacing	$2\theta$	$d$ -spacing	$2\theta$	$d$ -spacing
15,5074	5,71425	15,50	5,718	15,7788	5,61657	15,63	5,669
23,3905	3,80322	23,27	3,823	17,6702	5,01941	17,64	5,027
24,4045	3,64746	24,35	3,656	21,6428	4,10623	21,82	4,074
26,7593	3,33158	26,60	3,351	25,9467	3,43405	26,02	3,425
28,2338	3,16086	28,14	3,171	28,5932	3,17522	28,42	3,140
29,3271	3,04546	29,22	3,057	30,5203	2,92907	30,64	2,918
30,4266	2,93788	30,30	2,949	33,3733	2,68491	33,46	2,678
31,6590	2,82627	31,55	2,836	35,7212	2,51364	35,72	2,513
33,7010	2,65954	33,77	2,654	46,0614	1,97057	46,50	1,953
34,7637	2,58064	34,66	2,588				
37,5558	2,39495	37,50	2,399				
47,4906	1,91455	47,48	1,915				

Uji XRF dilakukan untuk mengetahui kandungan penyusun zeolit dan kadar Si/Al ZSM-5 sintetis. Kandungan dan kadar penyusun zeolit ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil perhitungan rasio molar Si/Al, diperoleh bahwa rasio molar Si/Al ZSM-5 (Si<sub>87</sub>Al<sub>9</sub>) sebesar 2,32 sedangkan rasio molar Si/Al ZSM-5 (Si<sub>89</sub>Al<sub>7</sub>) sebesar 4,08. Perolehan rasio molar Si/Al ini tidak masuk ke dalam rentang rasio molar Si/Al yang dimiliki ZSM-5 standar yaitu  $> 5$ . Akan tetapi, analisis XRF bukan satu-satunya analisis yang digunakan untuk mengetahui keberhasilan sintesis ZSM-5. Analisis XRF digunakan untuk mengetahui persen komposisi Si/Al yang terdapat dalam zeolit. Persen Si/Al yang rendah menunjukkan

#### DAFTAR PUSTAKA

- Alimin, Maryono, dan Putri, S.E. 2016. Analisis Kandungan Mineral Pasir Pantai Losari Kota Makassar Menggunakan XRF dan XRD. *Jurnal Chemical*, 19-23.
- Babel, S & Dacera, D.D.M. 2005. Heavy Metal Removal From Contaminated Sludge for Land Application : A Review. *Waste Management*. 26(9), 988 – 1004.
- Belaabed, R., El Knidri, H., El Khalfaouy, R., Addaou, A., Laajab, A., & Lahsini, A. 2017. Zeolite Y synthesis without organic template: The effect of synthesis parameters. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8(10), 3550–3555.
- Cheng, Y., Liao, R. H., Li, J. S., Sun, X. Y., & Wang, L. J. 2008. Synthesis research of nanosized ZSM-5 zeolites in the absence of organic template. *Journal of Materials Processing Technology*, 206(1–3), 445–452.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.12.054>

bahwa masih terdapat alumina bebas yang belum berikatan dengan silika yang ada dalam larutan hidrogel. Oleh karena itu, perlu adanya penambahan reaktan awal berupa Al(OH)<sub>3</sub>. Jumlah rasio Si/Al mempengaruhi struktur zeolit serta sifat keasamannya dari tetrahedral aluminosilikat.

**Tabel 3.** Kandungan dan kadar penyusun ZSM-5 sintetis

Unsur	Al	Si	P	Fe	Ni	Cu
ZSM-5 (Si <sub>87</sub> Al <sub>9</sub> )						
Kadar (%)	27,8	64,5	1,5	1,5	0,02	0,16
ZSM-5 (Si <sub>89</sub> Al <sub>7</sub> )						
Kadar (%)	19,2	78,4	0,76	0,57	0,01	0,081

#### KESIMPULAN

Kemurnian silika yang diekstraksi dari pasir pantai Bancar Tuban sebesar 97,2%. Sintesis ZSM-5 menggunakan rasio komposisi Si<sub>87</sub>Al<sub>9</sub> memberikan produk ZSM-5 yang lebih baik daripada Si<sub>89</sub>Al<sub>7</sub>. Hal ini dibuktikan dengan kemiripan 12 puncak ZSM-5 pada data  $2\theta$  dan  $d$ -spacing hasil uji XRD JCPDS dan sintesis.

- Dey, K. P., Ghosh, S., & Naskar, M. K. (2013). Organic template-free synthesis of ZSM-5 zeolite particles using rice husk ash as silica source. *Ceramics International*, 39(2), 2153–2157.  
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.07.083>
- Fitriyana, D. F., & Sulardjaka. 2012. Sintesis Zeolit a Berbahan Dasar Limbah Geotermal Dengan Metode Hidrotermal. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS – 2012*, 42–47.
- Feng, H., Li, C., and Shan H. (2009). *In-situ synthesis and catalytic activity of ZSM-5 zeolite*. Appl. Clay Sci. 42, 439-445
- Gates, B. C., Katzer, J. R., & Sehuft, G. C. A. 1979. *Chemistry of Catalytic Processes*. New York: McGraw-Hill book Company.
- Hartanto, D., Saputro, O., Utomo, P. W., Rosyidah, a., Sugiarto, D., Ersam, T., Nur, H., & Prasetyoko, D. 2016. Synthesis of ZSM-5 Directly from Kaolin without Organic Template: Part-1: Effect of Crystallization Time. *Asian Journal of Chemistry*, 28(2), 347-350.  
<https://doi.org/10.1093/jae/ejm029>.
- Hidayatullah, M. 2018. *Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Berbahan Dasar Limbah Lumpur*

- Geothermal dengan Metode Hidrothermal*. Malang: UM. Kalapathy, U., Proctor, A., & Shults, J. 2000. *A Simple Method For Production of Pure Silica from Rice Hull Ash*. *Bioresource Technology*. 73 (3): 257-262.
- Lechert, H. & Kleinwort, R. 2001. *Verified Syntheses of Zeolitic Materials Second Revised Edition*. *Synthesis Commission of the International Zeolite Association by Elsevier*.
- Nurjannah, Achmad R., and Danawati H.P. 2010. Konversi Katalik Minyak Sawit untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan Silika Alumina dan HZSM-5. *Sintesis*. 13, 37 – 43.
- Pan, F., Lu, X., Wang, Y., Chen, S., Wang, T., & Yan, Y. 2014. Organic template-free synthesis of ZSM-5 zeolite from coal-series kaolinite. *Materials Letters*, 115(1), 5–8. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2013.10.007>
- Purnamasari, Ika & Prasetyoko, Didik. 2011. *Sintesis & Karakterisasi ZSM-5 Mesopori serta Uji Aktivitas Katalitik pada Reaksi Esterifikasi Asam Lemak Stearin Kelapa Sawit*.
- Putro, A. L., & Prasetyoko, D. 2007. Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silika Pada Sintesis Zeolit ZSM-5. *Akta Kimia Indonesia*, 3 (1), 33–36.
- Septiyana, B. Prasetyoko, D. 2012. *Sintesis ZSM-5 Berbahan Dasar Kaolin Menggunakan Metode Hidrotermal*. 1(1), 1–4.
- Sholihah, N. 2018. *Variasi Suhu Kristalisasi pada Sintesis Zeolit Y Berbahan Limbah Lumpur Geotermal*. Malang: UM.
- Treacy, M.M.J & Higgins, J.B. 2001. *Collection of Simulated XRD Powder Pattern of Zeolites*, (4<sup>th</sup> Revised Edition). New York: *Structure Commission of Internasional Zeolite Association*.
- Warsito, S., Sriatun, & Taslimah. 2012. Pengaruh Penambahan Surfaktan Cetyltrimethylammonium Bromide (n-CTMABr) pada Sintesis Zeolit-Y. *Kimia Anorganik, Jurusan Kimia, Fakultas MIPA Universitas Diponegoro, Semarang*.