

Indo. J. Chem. Res., 2017, 5(1), 1-6

PENGARUH VARIASI GARAM AMMONIUM TERHADAP KEASAMAN ZEOLIT ALAM PADA REAKSI PERENKAHAN MINYAK JELANTAH

The Effect of Ammonium Salt Variation on Natural Zeolite Acidity in Catalytic Cracking of Waste Cooking Oil

Verry Andre Fabiani^{1*}, Imelda H. Silalahi², Endah Sayekti²

¹Department of Chemistry, Faculty of Engineering, Bangka Belitung University
Jl. Kampus Peradaban Bangka 33172, Balunijuk, Bangka-Indonesia

²Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Tanjungpura University
Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak-Indonesia

*Corresponding author, e-mail: verry-andre@ubb.ac.id

Received: Dec. 2016 Published: July 2017

ABSTRACT

Natural zeolite modification with the addition of ammonium salt variations was conducted. The modification was conducted by demineralization method, dealumination and followed by activation of ammonium salt. The types of activators were ammonium chloride, ammonium nitrate and ammonium fluoride. The effect of ammonium salt was assessed through acidity parameter with Si/Al ratio variable and applied catalyst for catalytic cracking of waste cooking oil. The results showed that the activation of natural zeolite by using ammonium chloride salt could increase the acidity of natural zeolite with the highest Si/Al ratio about 15.56. Based on the XRF analysis showed that the reduced amount of Na metal in zeolite about 92.8%. The effect of ammonium salt variation on the acidity of natural zeolites was observed by applying a catalyst in the catalytic cracking of waste cooking oil. Physical characteristic of catalytic cracking products from waste cooking oil indicated all products fulfill the solar standards requirement. The results concluded that ammonium chloride salt was the best activator in natural zeolite modification and generally all ammonium salts gave high acidity effect to natural zeolite in catalytic cracking of waste cooking oil.

Keywords: Ammonium salt, acidity, cracking, waste cooking oil, natural zeolite

PENDAHULUAN

Zeolit umumnya dimanfaatkan sebagai katalis pada industri kimia dan sebagai zat pengemban. Zeolit merupakan kristal alumina silika yang mempunyai struktur berongga atau pori yang mempunyai sisi aktif dengan rasio Si/Al yang cukup tinggi dan bersifat selektif sehingga sangat baik digunakan dalam reaksi perengkahan. Bentuk kristal zeolit relatif teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah menyebabkan permukaan zeolit menjadi sangat luas dan baik bila digunakan sebagai adsorben (Tarach *et al.*, 2014). Umumnya zeolit yang ditambang langsung dari alam masih mengandung pengotor-pengotor organik dan anorganik yang menutupi porinya, sehingga untuk meningkatkan kemampuan daya serap zeolit alam harus dilakukan aktivasi terlebih dahulu.

Pemakaian zeolit sebagai katalis telah banyak digunakan, diantaranya sebagai katalis dalam perengkahan minyak goreng bekas (Li *et al.*, 2015) dan katalis dalam proses konversi etanol menjadi hidrokarbon (Ramasamy *et al.*, 2014). Kapasitas zeolit sebagai katalis perengkahan didasarkan pada tingkat keasaman dan kestabilan material yang terlihat dari rasio Si/Al. Keasaman yang tinggi dapat meningkatkan aktivitas katalitik dan stabilitas termal serta ketahanan terhadap asam. Inti aktif katalis zeolit yang berfungsi dalam reaksi perengkahan adalah bagian asam Bronsted yang berpusat pada atom Al (Song *et al.*, 2013 ; Park *et al.*, 2017). Situs asam dalam kerangka zeolit ada dua jenis yaitu situs asam Brønsted dan situs asam Lewis. Modifikasi untuk meningkatkan keasaman dilakukan terhadap zeolit alam dengan aktivasi melalui proses pertukaran ion dengan ion ammonium, dilanjutkan dekomposisi panas

dari bentuk pertukaran amoniumnya sehingga diperoleh situs asam Brønsted (Tatsumi, 2004).

Reaksi perengkahan (*catalytic cracking*) merupakan suatu reaksi katalisis untuk memecah hidrokarbon kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana. Penelitian ini berfokus pada kajian pengaruh garam ammonium dalam aktivasi zeolit alam. Kombinasi dari peningkatan keasaman dan kestabilan termal zeolit alam merupakan parameter keberhasilan suatu reaksi katalitik perengkahan. Pada penelitian ini dilakukan modifikasi zeolit alam dengan aktivator berupa jenis senyawa amonium yaitu amonium klorida (NH_4Cl), amonium nitrat (NH_4NO_3), dan amonium florida (NH_4F). Pertukaran ion amonium dengan ion Na^+ pada zeolit akan menambah situs-situs asam pada zeolit sehingga keasaman pada zeolit akan meningkat. Hasil aktivasi ini diharapkan dapat meningkatkan keasaman bersamaan dengan peningkatan rasio Si/Al. Selanjutnya akan ditentukan jenis katalis zeolit teraktivasi terbaik yang diperoleh melalui analisis produk reaksi perengkahan minyak jelantah yang dihasilkan.

METODOLOGI

Bahan

Akuades, minyak jelantah, zeolit alam asal Bandung Selatan-Jawa Barat dan bahan kimia *Merck* yaitu NH_4F 1 M, NH_4Cl 1 M, NH_4NO_3 1 M, HNO_3 8M, Na_2EDTA , NaOH .

Alat

Neraca analitik merk *Ohaus*, oven merk *Memmert*, pH universal, piknometer merk *Pyrex* tipe 26, 28, 34, seperangkat alat destilasi, seperangkat alat gelas standar merk *Pyrex*, seperangkat alat refluks, *furnace* merk *Nabertherm* mode L3, viskometer otswald merk *Pyrex* tipe 300, *X-Ray Fluorescence* (XRF) tipe *ADVANT XP Thermo ARL*.

Prosedur Kerja

Preparasi Sampel

Sampel dicuci dengan akuades hingga mencapai pH pencuci. Dikeringkan di oven hingga kering pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam. Sampel yang telah kering kemudian ditimbang. Sampel kemudian dianalisis dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) (Silalahi, dkk., 2011).

Demineralisasi dengan EDTA 1 M

Sampel hasil pencucian kemudian dicuci kembali dengan larutan EDTA 1M. Pencucian dilakukan dengan proses refluks pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah proses refluks selesai, sampel kemudian dicuci dengan akuades hingga mencapai pH pencuci ($\text{pH} = 6$). Dikeringkan di oven pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam, setelah kering kemudian sampel ditimbang untuk proses berikutnya. Sampel hasil pencucian EDTA ini dianalisis dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) (Silalahi dkk., 2011).

Dealuminasi dengan HNO_3

Sampel yang telah dicuci dengan EDTA 1M kemudian *dileaching* dengan HNO_3 8M. Proses ini juga merupakan proses dealuminasi terhadap sampel zeolit. Sampel zeolit ditimbang dan kemudian direfluks pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah proses refluks selesai, sampel kemudian dicuci dengan akuades hingga mencapai pH pencuci ($\text{pH} = 6$). Dikeringkan di oven pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam, setelah kering kemudian sampel ditimbang untuk proses berikutnya (Silalahi dkk., 2011).

Aktivasi dengan Variasi Garam Ammonium (NH_4Y)

Sampel hasil dealuminasi kemudian diaktivasi dengan NH_4Y . Pada penelitian ini digunakan aktivator jenis senyawa amonium yaitu amonium klorida (NH_4Cl), amonium nitrat (NH_4NO_3) dan amonium florida (NH_4F). Tiap-tiap senyawa amonium ini dibuat dengan konsentrasi 1 M kemudian direfluks masing-masing dengan sampel pada suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah proses refluks selesai, ketiga sampel hasil aktivasi kemudian dicuci dengan akuades hingga mencapai pH pencuci ($\text{pH} = 6$). Dikeringkan di oven pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 4 jam, setelah kering kemudian sampel ditimbang untuk proses berikutnya. Sampel hasil aktivasi dianalisis dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF).

Kalsinasi Sampel

Zeolit hasil aktivasi kemudian dikalsinasi pada suhu $500\text{ }^\circ\text{C}$ di dalam *furnace* selama 2 jam. Katalis hasil kalsinasi ini kemudian dianalisis dengan *X-Ray Fluorescence* (XRF) (Silalahi, dkk., 2011).

Proses Perengkahan Katalitik

Minyak jelantah sebanyak 40 g bersama dengan zeolit sebanyak 10 g dicampurkan dalam suatu labu destilasi selanjutnya dipanaskan pada temperatur 350-360 °C dalam labu destilasi yang telah dihubungkan dengan kondensor. Uap minyak jelantah yang telah direngkahkan oleh zeolit kemudian didinginkan melewati kondensor, sehingga uap tersebut terkondensasi. Reaksi dihentikan ketika komposisi minyak dalam labu pemanas sudah habis atau sudah tidak mengeluarkan uap cair. Produk perengkahan kemudian dikarakterisasi sifat fisik dan kimianya yang meliputi indeks bias, densitas, viskositas kinematik, dan uji nyala api (Silalahi, dkk., 2011).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Modifikasi Zeolit Alam dan Karakterisasi Zeolit Termodifikasi

Modifikasi zeolit alam meliputi beberapa tahapan yaitu demineralisasi, dealuminasi, aktivasi dengan variasi garam amonium dan kalsinasi. Tahapan pertama yaitu dilakukan proses demineralisasi zeolit alam dengan larutan Etilen Diamin Tetra Asetat (EDTA). Tujuan demineralisasi ini untuk menghilangkan logam-logam pengotor yang berada pada fasa permukaan struktur zeolit. Pada dasarnya EDTA merupakan ligan kuat yang dapat berikatan dengan logam-logam membentuk senyawa kompleks. EDTA sebenarnya adalah ligan seksidentat yang dapat berkoordinasi dengan suatu ion logam lewat kedua nitrogen dan keempat gugus karboksil-nya atau disebut ligan multidentat yang mengandung lebih dari dua atom koordinasi per molekul, misalnya asam 1,2-diaminoetanetetraasetat (asam etilendiamina tetraasetat, EDTA) yang mempunyai dua atom nitrogen penyumbang dan empat atom oksigen penyumbang dalam molekul (Rival, 1995). Perlakuan sampel dengan larutan Etilen Diamin Tetra Asetat (EDTA) juga dilakukan untuk mengetahui penyebaran logam-logam yang diimbangkan pada bagian luar permukaan dan dalam rongga pengemban serta dapat menghilangkan fasa amorf non *framework* sehingga kristal yang diperoleh lebih murni (Triwahyuni, 2003).

Perlakuan sampel dengan larutan Etilen Diamin Tetra Asetat (EDTA) juga dilakukan untuk mengetahui penyebaran logam-logam yang diimbangkan pada bagian luar permukaan

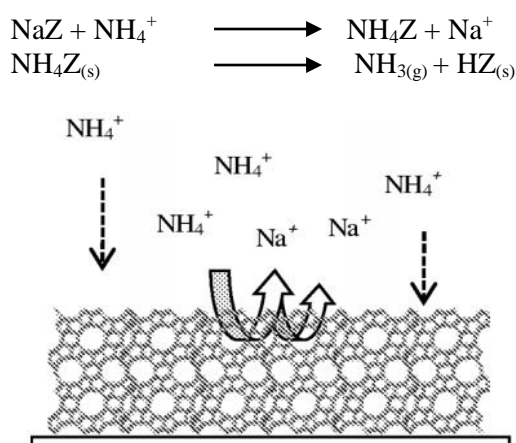
dan dalam rongga pengemban serta dapat menghilangkan fasa amorf non *framework* sehingga kristal yang diperoleh lebih murni (Triwahyuni, 2003). Perlakuan selanjutnya yaitu dealuminasi zeolit dengan menambahkan larutan HNO₃ 8M. Menurut Handhoyo, dkk., (2005) konsentrasi optimal untuk dealuminasi zeolit dilakukan dengan menggunakan HNO₃ 8M. Peningkatan konsentrasi asam dapat meningkatkan intensitas serangan proton H⁺ (Ismail dan Hanudin, 2005). Penyerangan proton terjadi karena ukurannya yang kecil ($r = 0,3 \text{ \AA}$) dan potensial ionnya (q/r) yang besar sehingga ion H⁺ dapat masuk ke dalam kisi-kisi mineral dan menggantikan posisi kation yang lepas.

Dealuminasi digunakan untuk proses penghilangan logam aluminium pada suatu zeolit dengan menggunakan larutan asam (Xu, *et al.*, 2014). Tujuan dari proses dealuminasi zeolit ini adalah untuk meningkatkan keasaman dari suatu katalis zeolit dan dapat meningkatkan efisiensi dari katalis itu sendiri (Muller, *et al.*, 2014). Dealuminasi dapat ditunjukkan melalui peningkatan rasio Si/Al. Proses dealuminasi merupakan suatu metode untuk menjaga stabilitas struktur pori dan menghilangkan alumina dari *framework* zeolit agar katalis ini tidak mudah mengalami deaktivasi. Proses dealuminasi biasanya dilakukan dengan menambah sejumlah asam (misalnya amonium klorida, asam klorida, asam florida, dan sebagainya) pada zeolit (Jestyssa, 2010).

Pada dealuminasi, ion H⁺ yang dihasilkan dari reaksi penguraian HNO₃ dalam medium air akan mengurai ikatan atom Al yang berada pada *framework* zeolit. Ion H⁺ ini akan diserang oleh atom oksigen yang terikat pada Si dan Al. Berdasarkan harga energi disosiasi ikatan Al-O (116 kkal/mol) jauh lebih rendah dibandingkan energi disosiasi ikatan Si-O (190 kkal/mol), maka ikatan Al-O jauh lebih mudah terurai dibandingkan Si-O. Sehingga ion H⁺ akan cenderung menyebabkan terjadinya pemutusan ikatan Al-O dan akan terbentuk gugus silanol. Sedangkan ion NO₃⁻ hasil penguraian ion HNO₃ juga akan mempengaruhi kekuatan ikatan Al-O dan Si-O. Ion NO₃⁻ memiliki elektronegativitas yang tinggi dan berukuran kecil, sehingga menyebabkan ion ini mudah berikatan dengan kation bervalensi besar seperti Si⁴⁺ dan Al³⁺. Tetapi ion NO₃⁻ akan cenderung berikatan dengan atom Al dikarenakan harga

elektronegativitas atom Al lebih kecil (1,61) dibanding elektronegativitas atom Si (1,90).

Aktivasi selanjutnya dilakukan dengan garam amonium, pemilihan variasi garam amonium yaitu amonium klorida, amonium nitrat dan amonium florida bertujuan untuk mengetahui jenis garam amonium yang dapat meningkatkan rasio Si/Al pada zeolit. Umumnya zeolit digunakan sebagai katalis terutama dalam reaksi transformasi hidrokarbon dengan memanfaatkan keasamaannya. Dalam suatu reaksi, fungsi zeolit adalah membantu pembentukan ion karbonium oleh situs-situs asam yang ada pada zeolit tersebut. Selain itu situs-situs basa dan proses radikal bebas juga dilibatkan dalam suatu reaksi. Adanya hidroksi dalam saluran zeolit, memungkinkan pembentukan situs asam Bronsted yang merupakan donor proton. Mekanisme pertukaran ion pada permukaan zeolit (Gambar 1) terjadi melalui penukaran kation dengan ion ammonium yang kemudian dipanaskan agar NH₃ yang tersisa dapat diuapkan. (Saiapina *et al.*, 2012) :



Gambar 1. Mekanisme pertukaran ion pada permukaan zeolit

Modifikasi untuk meningkatkan keasaman dilakukan terhadap zeolit alam dengan aktivasi melalui proses pertukaran ion dengan ion ammonium, dilanjutkan dekomposisi panas dari bentuk pertukaran amoniumnya sehingga diperoleh situs asam Brønsted (Tatsumi, 2004).

Ion hidrogen yang terbentuk akan membentuk gugus hidroksil dengan tetrahedral AlO⁻ yang pada temperatur > 200 °C bergerak bebas diantara pusat-pusat aktif. Bila temperatur mencapai 500 °C, inti asam Bronsted tersebut membentuk situs asam Lewis. Oleh sebab itu

pada penelitian ini dilakukan kalsinasi pada suhu 500 °C yang bertujuan untuk menguapkan basa Lewis selain itu proses kalsinasi ini dilakukan untuk menjaga agar katalis yang diperoleh relatif stabil pada suhu tinggi dan dapat mengatur kembali tata letak atom yang tertukar agar lebih teratur (Jestyssa, 2010).

Analisis Komposisi Kimia

Komponen kimia yang terkandung berpengaruh terhadap karakteristik zeolit. Pada umumnya mineral zeolit mengandung silika dan alumina serta sejumlah kecil kation logam. Penentuan kandungan silika dan alumina menjadi parameter awal keberhasilan dalam proses aktivasi zeolit alam.

Tabel 1. Komposisi kimia zeolit alam dan zeolit NH₄Y

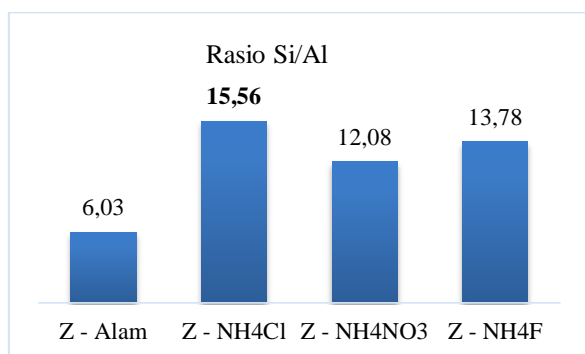
(%)	Sampel			
	ZA	ZNH ₄ Cl	ZNH ₄ NO ₃	ZNH ₄ F
Si	24,55	39,07	38,90	40,25
Al	4,07	2,51	3,22	2,92
Ca	13,26	0,151	0,159	0,197
Fe	4,02	0,0683	0,0758	0,0808
Mg	2,52	0,0105	0,01	0,0124
Na	2,53	0,182	0,223	0,311
K	1,32	1,36	1,39	1,57
Cu	0,913	-	-	-
Mn	0,137	0,0035	0,0039	0,0036
Pb	0,109	-	-	-
Ti	0,124	0,175	0,165	0,208
Zn	0,0715	-	-	-
Cs	0,44	-	-	-
Zr	-	0,0251	0,0247	0,0278

Keterangan : ZA (Zeolit Alam), ZNH₄Cl (Zeolit-Ammonium Klorida), ZNH₄NO₃ (Zeolit-Ammonium Nitrat), ZNH₄F (Zeolit-Ammonium Florida)

Tabel 1 menunjukkan bahwa proses aktivasi dengan aktivator garam amonium menyebabkan terjadinya pengurangan kadar logam Na secara signifikan, penambahan garam amonium menyebabkan terjadinya pertukaran ion Na⁺ dengan ion amonium sehingga menambah situs-situs asam pada zeolit melalui mekanisme pertukaran ion tersebut. Berdasarkan Tabel 1, kadar Na⁺ yang mengalami pengurangan terbesar terjadi pada zeolit teraktivasi amonium klorida (ZNH₄Cl) sebesar 92,8% diikuti dengan amonium nitrat (ZNH₄NO₃) sebesar 91% dan amonium florida (ZNH₄F) sebesar 87,7%. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi pertukaran ion

Na⁺ dan ion amonium dalam jumlah besar pada zeolit dengan aktivator amonium klorida.

Gambar 2 menunjukkan bahwa rasio Si/Al yang paling tinggi ditunjukkan oleh zeolit yang diaktivasi oleh garam amonium klorida yaitu sebesar 15,56. Tingginya rasio Si/Al tersebut berkaitan dengan berkurangnya kadar logam Na, Ca, Mg, Fe, dan K. Penambahan amonium klorida ini selain menyebabkan terjadinya pertukaran ion Na⁺ dengan ion amonium juga terjadi pertukaran ion khususnya logam yang mudah membentuk garam klorida. Komponen yang mungkin larut dalam pertukaran ion ini adalah Mg, Ca, K, Na dan Fe. Dengan demikian, rasio Si/Al pada zeolit akan meningkat.



Gambar 2. Pengaruh aktivasi garam ammonium terhadap rasio Si/Al pada zeolit alam

Perbandingan Si/Al mempengaruhi aktivitas katalis, semakin tinggi rasio Si/Al maka semakin tinggi stabilitas termal dan kekuatan asam serta diperoleh sifat asam yang lebih besar dari semula. Modifikasi zeolit alam dengan variasi garam ammonium berhasil meningkatkan rasio Si/Al zeolit alam dari 6,03 menjadi > 10. Zeolit dengan perbandingan Si dan Al yang tinggi (10-100) dapat menyerap molekul non polar sehingga baik digunakan sebagai katalis asam dalam reaksi perengkahan hidrokarbon (Sutarti dan Rahmawati, 1994 ; Handhoyo dkk., 2005).

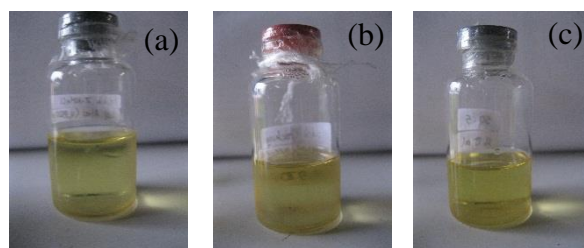
Karakteristik Fisik Produk Perengkahan Minyak Jelantah

Sifat fisik produk perengkahan yang diuji meliputi indeks bias, densitas dan viskositas kinematik. Hasil pengukuran sifat fisik produk perengkahan hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan uji produk perengkahan yang dilakukan menunjukkan bahwa karakteristik viskositas kinematik ketiga produk perengkahan telah memenuhi nilai standar ASTM D975 untuk bahan bakar solar standar.

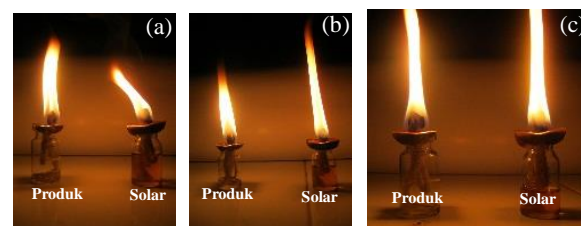
Nilai karakteristik densitas berada dibawah nilai standar SNI yaitu berkisar antara 0,76-0,77 g/mL dimana produk yang memiliki densitas terbesar yaitu produk perengkahan Z-NH₄Cl, rendahnya densitas ini menunjukkan bahwa pemisahan produk perengkahan masih belum optimal.

Tabel 2. Karakteristik Produk Perengkahan Minyak Jelantah yang dibandingkan dengan Karakteristik Solar Standar

Parameter	Solar Standar	Produk Perengkahan		
		ZNH ₄ Cl	ZNH ₄ NO ₃	ZNH ₄ F
Indeks Bias	1,3 – 1,45	1,431 (32,3 °C)	1,429 (32,3 °C)	1,435 (32,3 °C)
Densitas (g/mL) (SNI)	0,82 – 0,87 (40 °C)	0,77 (32,3 °C)	0,76 (32,3 °C)	0,76 (32,3 °C)
Viskositas kinematik (cSt) (ASTM D975)	1,9 – 4,0 (40 °C)	1,9 (40 °C)	1,9 (40 °C)	1,9 (40 °C)



Gambar 3. Produk Perengkahan Minyak Jelantah (a) Z-NH₄Cl, (b) Z-NH₄NO₃, (c) Z-NH₄F



Gambar 4. Hasil uji nyala produk perengkahan yang dibandingkan dengan solar (a) Z-NH₄Cl, (b) Z-NH₄NO₃, (c) Z-NH₄F

Produk perengkahan (Gambar 3) yang dihasilkan memiliki warna kuning bening dan bau yang tajam. Tiap produk perengkahan kemudian dilakukan uji nyala api. Uji nyala api dilakukan dengan membandingkan nyala api yang dihasilkan produk perengkahan minyak jelantah dengan nyala api yang dihasilkan oleh solar. Hasil uji nyala api pada masing-masing produk ditunjukkan pada Gambar 4.

Hasil uji nyala pada Gambar 4 menunjukkan bahwa hasil pembakaran produk perengkahan pada masing-masing produk menghasilkan sedikit asap dibandingkan nyala api yang dihasilkan solar. Walaupun nyala api tiap produk berbeda, namun secara tampak fisik hasil dari uji pembakaran ini hampir sama. Pembakaran solar menghasilkan asap yang lebih banyak dan berwarna hitam, hal ini membuktikan bahwa produk perengkahan minyak jelantah menghasilkan pembakaran yang sempurna dan emisi gas yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan emisi gas yang dihasilkan oleh solar.

KESIMPULAN

Aktivator garam ammonium berhasil meningkatkan keasaman zeolit alam dari rasio Si/Al 6,03 menjadi > 10 (Rasio Si/Al $\text{ZNH}_4\text{Cl} = 15,56$; $\text{ZNH}_4\text{NO}_3 = 12,08$; $\text{ZNH}_4\text{F} = 13,78$). Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh garam ammonium terhadap keasaman zeolit alam sangat besar sehingga dapat digunakan sebagai katalis asam dalam reaksi perengkahan minyak jelantah.

DAFTAR PUSTAKA

- Handhoyo, R, Herry P., Siti S., Iis N., Nita Y., Amelia, Ratna K., 2005, Peningkatan Rasio Si/Al Zeolit Alam Modernit sebagai Bahan Dasar Zeolit Katalis, *J. Zeolit Indonesia*. 4 : 19-23.
- Ismail, Hanudin, E., 2005, Degradasi Mineral Batuan Oleh Asam-Asam Organik, *J. Ilm. Tan. Ling.*, 5(1):1-17
- Jestyssa, A.H , Maygasari, D.A., 2010. Optimasi Proses Aktivasi Katalis Zeolit Alam dengan Uji Proses Dehidrasi Etanol, *Skripsi: Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro Semarang*.
- Li, L., Zhiyong, D., Kun, L., Junming, X., Fusheng, L., Shiwei, L., Shitao, Y., Congxia, X., Xiaoping, G., 2015. Liquid hydrocarbon fuels from catalytic cracking of waste cooking oils using ultrastable zeolite USY as catalyst, *J. Anal. Appl. Pyrol.* Article in press.
- Muller, J. M., 2014, Solid-State Dealumination of Zeolites for Use as Catalysts in Alcohol, *Microporous and Mesoporous Materials*. 204 : 50-57.
- Park, S., Turgren, B., Wang, Y., Toshiki, N., Junko, N.K., Toshiyuki, Y., 2017, Acidic and catalytic properties of ZSM-5 zeolites with different Al distributions, *Catal. Today*. Accepted Manuscript.
- Ramasamy, K.K., Zhang, H., Junming, S., Yong, W., 2014, Conversion of ethanol to hydrocarbons on hierarchical HZSM-5 zeolites, *Catal. Today*. Article in press
- Rival, Harrizul, 1995, Asas Pemeriksaan Kimia. UI Press. Jakarta.
- Saiapina, O.Y., Dzyadevych, S.V., Walcarius, A., Jafrezic-Renault, N., 2012, A Novel Highly Sensitive Zeolite-Based Conductometric Microsensor for Ammonium Determination, *Analytical Letters*, 45: 1467-1484.
- Silalahi I.H., Sianipar A. Sayekti E., 2011, Modifikasi Zeolit Alam menjadi Material Katalis Perengkahan, *Jurnal Kimia Mulawarman*, 8 : 89-93.
- Song, C., Wang, M., Zhao, L., Nianhua, X., Luming, P., Xuefeng, G., Weiping, D., Weimin, Y., Zaiku, X., 2013, Synergism between the Lewis and Brønsted acid sites on HZSM-5 zeolites in the conversion of methylcyclohexane, *Chin. J. Catal.*, 34 : 2153-2159.
- Sutarti, M., dan Minta Rahmawati, 1994, Zeolit: Tinjauan Literature, Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah. Jakarta.
- Tarach, K., Gora-Marek, K., Tekla, J., Brylewska, K., Datka, J., Mlekodaj, K., Makowski, W., Igualada Lopez, M.C., Martinez Triguero, J., Rey, F., 2014, Catalytic cracking performance of alkaline-treated zeolite Beta in the terms of acid sites properties and their accessibility, *J. Catal.* 312, 46e57.
- Tatsumi, Takashi, 2004, Zeolites: Catalysis, Encyclopedia of Supramolecular Chemistry, 1, 1610-1616, Yokohama National University, Yokohama, Japan
- Triwahyuni, E., 2003, Types and Distribution of The Iron Species Formed in The Zeolite Structure, *7th Eurasia Chemical Conference*. Karachi. Pakistan
- Xu, W., Li, L. Y. & Grace, J. R., 2014, Dealumination of Clinoptilolite and Its Effect on Zinc Removal from Acid Rock Drainage, *Chemosphere*. 111 : 427-433.