

Dealuminasi Zeolit Alam Menggunakan Asam (HCl dan H₂SO₄) untuk Katalis pada Proses Sintesis Biodiesel

Sugiarti Norvia^a, Suhartana^{a*}, Pardoyo^a

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

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

Article Info

Keywords:
zeolite,
dealumination,
catalysts, jelantah
oil, biodiesel, GC-
MS

Kata Kunci:
zeolit, dealuminasi,
katalis, minyak
jelantah, biodiesel,
GC-MS

Abstract

The natural zeolite dealumination using acid (HCl and H₂SO₄) for catalysts in the biodiesel synthesis process has been carried out. Zeolite was analyzed by AAS and FTIR and catalytic activity test on biodiesel synthesis by GC-MS method. It was found that H₂SO₄ is more effective at reducing zeolite than HCl. The FTIR spectrogram result showed that the acidous dealumination process resulted in a significant change of wave number and Si/Al ratio, at which the Si/Al zeolite ratio increased from 4.57 to 5.41 in the HCl dealumination natural zeolite and to 6.42 in zeolite natural dealumination H₂SO₄. Deodorized zeolites are capable of working as catalysts in biodiesel synthesis in which the H₂SO₄ dealer zeolite catalyst produces methyl esters with the dominant compound of 9-octadecenoic acid with a percentage of area area of 63.21% more than on the zeolite catalyzed HCl and zeolite zeolite yet.

Abstrak

Telah dilakukan dealuminasi zeolit alam menggunakan asam (HCl dan H₂SO₄) untuk katalis pada proses sintesis biodiesel. Zeolit dianalisis dengan AAS dan FTIR serta uji aktivitas katalis pada sintesis biodiesel dengan metode GC-MS. Didapatkan bahwa H₂SO₄ lebih efektif mendealuminasi zeolite dibandingkan dengan HCl. Hasil spektrogram FTIR menunjukkan bahwa proses dealuminasi asam mengakibatkan perubahan bilangan gelombang dan rasio Si/Al yang cukup signifikan, di mana pada rasio Si/Al zeolit meningkat dari 4,57 menjadi 5,41 pada zeolit alam dealuminasi HCl dan menjadi 6,42 pada zeolit alam dealuminasi H₂SO₄. Zeolit terdealuminasi mampu bekerja sebagai katalis dalam sintesis biodiesel di mana katalis zeolit dealuminasi H₂SO₄ menghasilkan metil ester dengan senyawa dominan asam 9-oktadekenoat dengan persentase luas area sebesar 63,21% lebih banyak dibandingkan pada katalis zeolit dealuminasi HCl dan zeolite belum didealuminasi.

1. Pendahuluan

Krisis energi dan isu lingkungan mendorong penemuan dan penggunaan bahan bakar alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan (*environment friendly fuels*). Berdasarkan data statistik dunia tahun 2009, bahwa cadangan minyak dunia diperkirakan masih 1,333 triliun barrel yang akan habis dalam waktu 45,7 tahun (BP Statistical Review of World Energy, 2010). Cadangan minyak bumi yang semakin menipis mendorong eksplorasi bahan bakar alternatif ramah lingkungan.

Salah satu bahan bakar alternatif yang cukup menarik untuk diteliti banyak orang yaitu biodiesel [1].

Biodiesel diketahui sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan dan dapat diperbarui [2]. Biodiesel memiliki beberapa keuntungan yaitu menurunkan efek rumah kaca, *biodegradable*, tidak toksik, serta secara spesifik menurunkan kadar CO 65%, CO₂ 78%, SO₂ 90%, dan karbon tidak terbakar 5% jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil [3]. Biodiesel yang diproduksi dari minyak tumbuhan atau lemak hewan biasanya lebih

mahal dibanding bahan bakar diesel konvensional dari minyak bumi [4]. Penggunaan bahan baku minyak yang melimpah dan murah merupakan upaya dalam menekan biaya produksi biodiesel.

Selama ini, proses produksi biodiesel menggunakan katalis homogen berupa NaOH dan KOH. Proses pembuatan biodiesel menggunakan cara ini memiliki kelemahan diantaranya terbentuk produk samping berupa sabun dan sulit dipisahkan dari sistem akhir proses. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, mulai dikembangkan penggunaan katalis heterogen (padat) untuk menggantikan katalis homogen (basa) [5]. Katalis zeolit merupakan katalis heterogen yang efektif pada sintesis biodiesel. Chung dan Park [6] melakukan penelitian yang efektif dalam penggunaan katalis zeolit. Sharma *dkk.* [7] melaporkan pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan katalis heterogen diperoleh konversi sebesar 90% pada suhu optimal 64°C.

Indonesia memiliki cadangan deposit zeolit yang melimpah. Zeolit merupakan sebuah kristal aluminosilikat terhidrat yang memiliki sifat dan struktur menarik pada permukaan mesoporinya. Saat ini jenis zeolit diklasifikasikan lebih dari 150, 40 diantaranya berasal dari alam (*analcime, chabazite, clinoptilolite (CL), erionite, ferrierite, heulandite, laumontite, mordenite, phillipsite*) dan yang lainnya sintesis (Zeolit A, X, Y, ZMS-5) [8]. Zeolit kini banyak digunakan sebagai katalis dan adsorpsi dalam suatu industri.

Zeolit alam pada umumnya memiliki stabilitas termal yang tidak terlalu tinggi, ukuran pori tidak seragam dan aktivitas katalitik rendah sehingga perlu dilakukan modifikasi untuk meningkatkan sifat adsorpsi dan katalitik zeolit alam. Modifikasi yang dilakukan dapat digunakan metode modifikasi kimia misalnya dealuminasi dengan asam atau pertukaran kation dengan logam. Pada dealuminasi, penambahan asam membuat aluminium keluar dari kerangka zeolit dan menaikkan rasio silika [9, 10].

Penelitian sebelumnya, Chung dan Park [6] membuat asam oleat menjadi biodiesel dengan katalis heterogen zeolit ZSM-5 (HMFI) dan mordenite (HMOR) pada suhu 60°C. Penelitian ini dilakukan dengan reaksi esterifikasi menggunakan perbandingan minyak dan metanol sebesar 1:6 serta menghasilkan konversi biodiesel sebesar 80%.

Mengacu dari penelitian dan asumsi di atas, mendorong dilakukannya penelitian dealuminasi zeolit alam menggunakan asam (HCl dan H₂SO₄) untuk katalis pada proses sintesis biodiesel menggunakan minyak jelantah dengan reaksi transesterifikasi pada suhu optimal 60°C.

Tujuan penelitian ini yaitu menentukan spektrogram IR dan memperoleh data kenaikan rasio Si/Al pada zeolit alam dan zeolit dealuminasi asam serta mendapatkan informasi karakteristik zeolit dealuminasi efektif untuk reaksi katalitik dalam sintesis biodiesel.

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan adalah ayakan 100-200 mesh, oven, gelas beker 250 mL, gelas ukur 100 mL, pipet tetes, corong pemisah, *furnace*, labu bulat, pengaduk magnetik, penangas air, seperangkat alat refluks, labu takar, timbangan elektrik, *hot plate*, spektrometer IR, *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS), dan seperangkat alat analisis GC-MS. Bahan-bahan yang digunakan adalah 250 g zeolit alam, asam sulfat (H₂SO₄) 6M, kalium permanganat (KMnO₄) 0,5M, akuades, asam klorida (HCl) 6M, minyak jelantah, metanol, AgNO₃, BaCl₂, pH meter.

Persiapan Sampel

Zeolit alam Bayat dicuci dan direndam dengan akuades selama semalam. dan dikeringkan pada suhu 110°C digerus sampai halus dan diayak dengan ukuran 100-200 mesh.

Dealuminasi zeolit alam

Sebanyak 50 gr zeolit ditambah 100 ml H₂SO₄ 6 M dan 100 ml KMnO₄ 0,5 M. Campuran dipanaskan pada temperatur 80°C selama 4 jam, didiamkan semalam pada temperatur kamar. Selanjutnya disaring dan dicuci dengan akuades sampai netral dan dikeringkan pada pada temperatur 110°C selama 5 jam dan dikalsinasi selama 3 jam pada suhu 500°C (KODE A1).

Sebanyak 50 gr zeolit ditambah 100 ml HCl 6 M dan 100 ml KMnO₄ 0,5 M. Campuran dipanaskan pada temperatur 80°C selama 4 jam, didiamkan semalam pada temperatur kamar. Selanjutnya disaring dan dicuci dengan akuades sampai netral dan dikeringkan pada pada temperatur 110°C selama 5 jam dan dikalsinasi selama 3 jam pada suhu 500°C (KODE A2).

Karakterisasi zeolit alam dan hasil dealuminasi

Karakterisasi dilakukan terhadap zeolit alam sebelum dan sesudah proses dealuminasi yaitu rasio Si/Al menggunakan spektroskopi serapan atom (AAS) dan perubahan struktur menggunakan spektroskopi infra merah (IR).

Sintesis Metil Ester (Biodiesel)

Sebelum melakukan uji aktivitas, dilakukan pemanasan pada minyak goreng bekas untuk menghilangkan kadar airnya pada suhu 110°C. Katalis zeolit dealuminasi sebanyak 1% dicampurkan dengan metanol (36 mL) dan minyak goreng bekas (6 mL) atau perbandingan 1:6, dipanaskan pada suhu 60°C dalam labu leher tiga yang sudah dilengkapi dengan termometer dan pengaduk dengan metode refluks selama 60 menit. Dilakukan pada variasi: zeolit terdealuminasi asam sulfat, asam klorida, dan tanpa zeolit.

Pemisahan Metil Ester, katalis zeolit, dan gliserol

Campuran heterogen hasil sintesis dipisahkan dengan corong biasa. Kemudian didapat filtrat dan residu. Filtrat merupakan metil ester dan gliserol,

sedangkan residu merupakan katalis zeolit. Filtrat didiamkan selama semalam dalam corong pemisah untuk memisahkan gliserol dan metil ester. Setelah semalam, terbentuk 2 lapisan yaitu gliserol bagian bawah berwarna kuning dan metil ester (biodiesel) bagian atas. Diambil biodiesel bagian atas untuk diuji dengan GC-MS.

Metode analisis

Setelah proses pemisahan, dilakukan analisis pada larutan sampel. Metil ester diuji secara kualitatif dari penampakan sifat fisiknya dan dari MS (*Mass Spectroscopy*) serta uji kuantitatif dari rendemen kelimpahannya dengan GC (*Gas Chromathography*).

3. Hasil dan Pembahasan

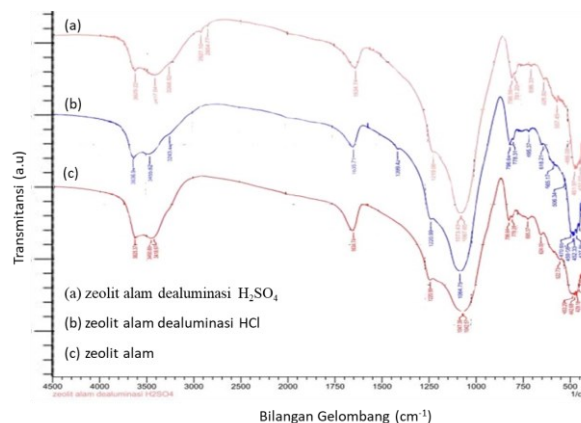
Zeolit alam Bayat dicuci dan direndam dengan akuades selama semalam dan dikeringkan pada suhu 110°C. Fungsi dari perendaman dengan akuades yaitu untuk menghilangkan pengotor organik. Zeolit yang sudah kering, digerus sampai halus dan diayak dengan ayakan 100-200 mesh. Penghancuran dilakukan untuk memperbesar luas permukaan zeolit alam sehingga kemampuan katalisis dapat lebih optimal.

Zeolit yang sudah bebas dari oksida pengotor, dilakukan proses dealuminasi dengan pengasaman dan penambahan $KMnO_4$. Proses pengasaman yaitu dengan H_2SO_4 dan HCl dan oksidator $KMnO_4$ serta waktu aktivasi 4 jam pada temperatur 80°C didiamkan selama semalam pada temperatur kamar, alumina yang keluar dari kerangka zeolit lebih banyak. Penambahan $KMnO_4$ berfungsi sebagai oksidator dan mampu bereaksi dengan asam untuk menghilangkan pengotor. Penambahan asam bertujuan untuk menukar kation membentuk zeolit-H. Pertukaran terjadi antara kation-kation di dalam zeolit dengan H^+ . Pertukaran ion antara kation dalam zeolit dengan H^+ bertujuan untuk mengganti semua kation didalam zeolit karena didalam zeolit masih terdapat kation alkali atau alkali tanah seperti Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} yang berperan sebagai penyeimbang zeolit yang dapat dipertukarkan dengan kation lain sehingga semua kation-kation tersebut akan tertukar menjadi H^+ .

Interaksi asam dengan permukaan zeolit mengakibatkan keluarnya spesies alumina dari zeolit. Ion H^+ yang berasal dari asam mempengaruhi elektron bebas pada atom O untuk membentuk ikatan koordinasi. Gugus Al-O akan kekurangan elektron sehingga akan bersifat lebih polar dan tidak sekuat sebelumnya, sehingga Al akan putus dari ikatannya [11].

Pada umumnya rentang bilangan gelombang 300-1300 cm^{-1} berbentuk ikatan tetrahedral yaitu O-Si-O dan O-Al-O. Pada pita 900-1250 cm^{-1} merupakan rentangan asimetris, rentangan simetris ditunjukkan pada pita 650-850 cm^{-1} , tekukan Si-O/Al-O (T-O) pada internal muncul pada daerah 420-500 cm^{-1} sedangkan untuk eksternal akan muncul pada 700-780 cm^{-1} [12].

Berikut hasil spektrum dari analisis spektrometer FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*) dari zeolit alam dan zeolit dealuminasi:



Gambar 1. Spektrum IR zeolit alam dealuminasi H_2SO_4 , zeolit alam dealuminasi HCl , dan zeolit alam

Interpretasi Spektrum FTIR dapat diketahui dari beberapa serapan yang ada. Dealuminasi terjadi apabila vibrasi ulur internal mengalami kenaikan dan vibrasi ulur eksternal mengalami penurunan bilangan gelombang. Pita serapan pada daerah bilangan gelombang 420-300 cm^{-1} menunjukkan pembukaan pori. Zeolit alam berada pada bilangan gelombang 322,13 cm^{-1} , zeolit alam dealuminasi H_2SO_4 berada pada 313,45 cm^{-1} dan HCl berada pada 316,34 cm^{-1} . Pembukaan pori termasuk pada spektrum vibrasi jalinan eksternal zeolit [13]. Dari hasil tersebut, vibrasi jalinan eksternal mengalami penurunan yang menunjukkan adanya dealuminasi pada zeolit alam.

Araújo *dkk.* [13] mengemukakan bahwa vibrasi internal berhubungan dengan TO_4 tetrahedral merupakan unit struktur yang utama. Spektrum yang dimaksud berada pada 950-1250 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang ini menunjukkan jalinan internal vibrasi ulur tetrahedral asimetri dan jalinan eksternal vibrasi ulur asimetri. Pada serapan ini terjadi kenaikan bilangan gelombang dari zeolit alam sebesar 1042,57 cm^{-1} menjadi 1072,47 cm^{-1} pada zeolit dealuminasi H_2SO_4 dan 1064,75 cm^{-1} pada zeolit dealuminasi HCl . Pergeseran ini disebabkan adanya dealuminasi pada zeolit alam, sehingga terjadi vibrasi ulur tetrahedral tekuk T-O (T = Si, Al). Dari kenaikan bilangan gelombang ini, zeolit alam dealuminasi H_2SO_4 mengalami kenaikan paling tajam dibandingkan zeolit alam dealuminasi HCl , hal ini menunjukkan bahwa dealuminasi H_2SO_4 lebih efektif dibandingkan dengan HCl .

Pada bilangan gelombang 3450,80 cm^{-1} pada zeolit alam, bilangan gelombang 3417,04 cm^{-1} pada zeolit alam dealuminasi H_2SO_4 , dan bilangan gelombang 3455,62 cm^{-1} pada zeolit dealuminasi HCl , menunjukkan adanya ikatan ulur -OH. Gugus ini memberikan informasi bahwa adanya air (hidrat) yang dimiliki oleh kristal zeolit.

Berikut merupakan tabel hasil dealuminasi zeolit alam dengan zeolit alam dealuminasi asam klorida dan asam sulfat:

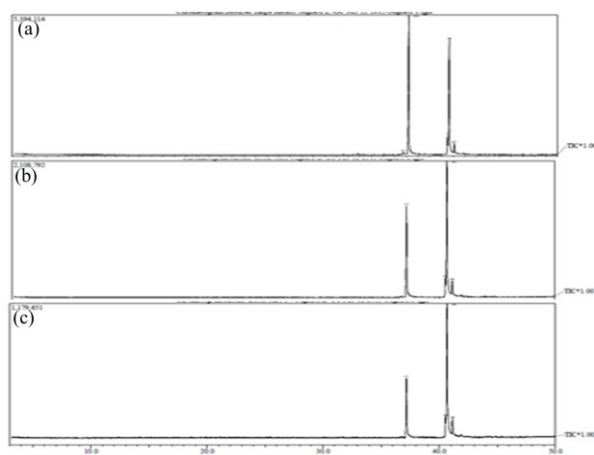
Tabel 1: Hasil Rasio Si/Al

| No | Sampel | Rasio Si/Al |
|----|--|-------------|
| 1 | Zeolit alam | 4,5662 |
| 2 | Zeolit alam dealuminasi HCl | 5,4098 |
| 3 | Zeolit alam dealuminasi H ₂ SO ₄ | 6,4159 |

Zeolit alam yang tidak terdealuminasi mempunyai rasio Si/Al yang paling rendah yaitu 4,57. Dapat dikatakan bahwa untuk waktu dan temperatur yang sama penggunaan H₂SO₄ dengan rasio Si/Al sebesar 6,42 sebagai agen dealuminasi lebih efektif dibandingkan HCl dengan rasio Si/Al sebesar 5,41. Hasil ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sriatun dan Darmawan [11] di mana dealuminasi dengan H₂SO₄ lebih efektif dibandingkan dengan HCl.

Uji aktivitas katalis zeolit dealuminasi dalam sintesis biodiesel dilakukan dengan mencampurkan katalis dengan metanol (6 mL) dan Minyak goreng bekas (36 mL) yang dipanaskan pada suhu 60°C dalam labu leher tiga yang sudah dilengkapi dengan termometer dan pengaduk. Suhu optimum dicapai pada 60°C dengan konversi 100%, pada suhu tersebut mendekati titik didih metanol sehingga dimungkinkan intensitas tumbukan antar reaktan meningkat dan mencapai titik optimum. Suhu optimum tersebut mendekati suhu optimum yang diperoleh beberapa penelitian terdahulu dengan katalis yang berbeda. Chung dan Park [6] melaporkan suhu optimum esterifikasi asam oleat menjadi biodiesel dengan katalis zeolit ZSM-5 (HMFI) dan mordenit (HMOR) diperoleh pada suhu 60°C dengan konversi 80%.

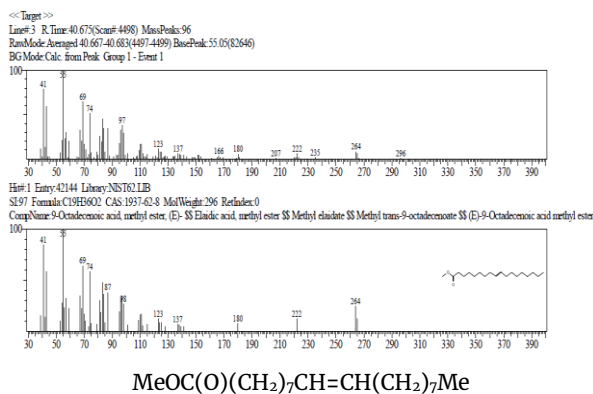
Hasil kromatogram GC biodiesel ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2. Kromatogram (a) Biodiesel tanpa katalis, (b) Biodiesel dengan Katalis Zeolit Dealuminasi HCl, dan (c) Biodiesel dengan Katalis Zeolit Dealuminasi H₂SO₄

Identifikasi komponen senyawa lebih lanjut dilakukan dengan spektrometer massa, dari hasil spektrometer massa akan diperoleh spektrum massa dari masing-masing puncak yang terdeteksi pada kromatogram GC. Analisa spektrum massa didasarkan pada nilai *Similarity Index* (SI), *base peak* (puncak dasar), dan *trend* pecahan spektrum massa yang

dibandingkan dengan spektrum dari senyawa standar. Berikut contoh gambar dari spektrum massa dari senyawa asam 9-oktadekenoat:



Gambar 3. Asam 9-oktadekenoat

Pada $m/z=74$ menunjukkan bahwa berat molekul tersebut merupakan berat molekul $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$, yang mengidentifikasi metil ester.

Berdasarkan hasil analisis GC-MS, maka interaksi antara minyak jelantah sebagai substrat dengan zeolit diduga terjadi berdasarkan reaksi protonasi hidrokarbon oleh katalis dan reaksi hidrogenasi hidrokarbon di mana kedua jenis reaksi tersebut akan menyebabkan pemutusan hidrokarbon menjadi molekul yang lebih pendek. Produk utama yang dihasilkan dengan luas area (%) terbesar yaitu senyawa asam karboksilat dari rantai trigliserida.

Pada sintesis biodiesel dengan menggunakan katalis zeolit dealuminasi, didapat metil ester pada asam lemak dengan senyawa yang sama, yaitu asam heksadekanoat, asam 9,12- oktadekadienoat, asam 9-oktadekenoat, dan asam oktadekanoat. Hal ini menunjukkan, bahwa adanya katalis dapat mempercepat reaksi pembentukan metil ester pada asam oleat (asam 9-oktadekenoat) dibandingkan tanpa katalis.

Asam lemak yang dihasilkan dari senyawa pada setiap biodiesel yang dihasilkan terdapat metil ester. Asam lemak yang dihasilkan sesuai dengan literatur yaitu asam oleat. Di mana asam oleat merupakan asam 9-oktadeenoat yang terdapat pada biodiesel dikatalisis oleh zeolit asam. Pada biodiesel yang tidak dikatalisis, tidak menghasilkan asam 9-oktadekenoat namun menghasilkan asam heksadekanoat dengan persentase luas area paling rendah, yaitu 49,1%. Asam dengan luas area terbesar yaitu terdapat pada biodiesel yang disintesis dengan katalis zeolit dealuminasi asam sulfat sebesar 63,21%. Sedangkan asam oleat pada biodiesel dengan katalis zeolit asam klorida sebesar 55,58%. Asam oleat yang mengandung metil ester luas areanya lebih besar dengan adanya katalis zeolit dealuminasi asam sulfat. Hal ini disebabkan karena zeolit dealuminasi asam sulfat memiliki rasio Si/Al lebih besar dan lebih efektif sebagai katalis dibandingkan asam klorida. Asam oleat merupakan asam lemak tak jenuh yang memiliki ikatan rangkap. Adanya ikatan rangkap membuat senyawa labil dan lebih reaktif. Ikatan rangkap lebih mudah mengikat oksigen, adanya oksigen pada kerangka zeolit

menyebabkan asam oleat berinteraksi fisik dengan zeolit. Hasil produksi metil ester dari asam oleat lebih besar dengan adanya interaksi dengan zeolit asam.

4. Kesimpulan

Hasil spektrogram IR dan rasio Si/Al zeolit menentukan bahwa zeolit dealuminasi asam akan menunjukkan perubahan bilangan gelombang dan rasio Si/Al yang cukup signifikan, di mana pada rasio Si/Al zeolit alam sebesar 4,57 naik menjadi 5,41 pada zeolit alam dealuminasi HCl dan menjadi 6,42 pada zeolit alam dealuminasi H₂SO₄. Zeolit mampu bekerja sebagai katalis dalam sintesis biodiesel di mana pada sintesis metil ester (biodiesel) dengan katalis zeolit dealuminasi H₂SO₄ menghasilkan metil ester dengan senyawa dominan asam 9-oktadekenoat dengan persentase luas area sebesar 63,21% lebih banyak dibandingkan pada katalis zeolit dealuminasi HCl dan tanpa katalis.

5. Daftar Pustaka

- [1] S Sayles, R Ohmes, Clean fuels: what are the issues? Critical hurdles such as testing and supply distribution must be resolved as part of new fuel mandates, *Hydrocarbon processing*, 84, 2, (2005) 39-44
- [2] Huaping Zhu, Zongbin Wu, Yuanxiong Chen, Ping Zhang, Shijie Duan, Xiaohua Liu, Zongqiang Mao, Preparation of Biodiesel Catalyzed by Solid Super Base of Calcium Oxide and Its Refining Process, *Chinese Journal of Catalysis*, 27, 5, (2006) 391-396
[http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2067\(06\)60024-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1872-2067(06)60024-7)
- [3] Hakim Firdaus Lukman, Wicaksono Adit Rizky, Pembuatan Katalis H-zeolit dengan Impregnasi Ki/kio₃ dan Uji Kinerja Katalis untuk Produksi Biodiesel, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2, 2, (2013) 148-154
- [4] Nalan Özbay, Nuray Oktar, N. Alper Tapan, Esterification of free fatty acids in waste cooking oils (WCO): Role of ion-exchange resins, *Fuel*, 87, 10, (2008) 1789-1798
<http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2007.12.010>
- [5] Dennis Y. C. Leung, Xuan Wu, M. K. H. Leung, A review on biodiesel production using catalyzed transesterification, *Applied Energy*, 87, 4, (2010) 1083-1095
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.006>
- [6] Kyong-Hwan Chung, Byung-Geon Park, Esterification of oleic acid in soybean oil on zeolite catalysts with different acidity, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 15, 3, (2009) 388-392
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2008.11.012>
- [7] LK Sharma, S Kumar, S Singh, RKP Singh, Electrochemical synthesis of 5-substituted-2-amino (substituted amino)-1, 3, 4-oxadiazoles at the platinum electrode, *Russian Journal of Electrochemistry*, 46, 1, (2010) 34-40
<http://dx.doi.org/10.1134/S1023193510010040>
- [8] Durali Danabas, Tulay Altun, Effects of zeolite (clinoptilolite) on some water and growth parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), *aquaculture*, 6, (2011) 10
- [9] Zelal Polat, Integrated approach to whey utilization through natural zeolite adsorption/desorption and fermentation, Chemistry, Izmir Institute of Technology, Turkey
- [10] Sriatun, Dimas Buntarto, Adi Darmawan, Pengaruh Penambahan Surfaktan Hexadecyltrimethylammonium (HDTMA) pada Zeolit Alam Terdealuminasi terhadap Kemampuan Mengadsorpsi Fenol, *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 11, 1, (2008) 20-24
- [11] Sriatun Sriatun, Adi Darmawan, Dealuminasi Zeolit Alam Cipatujah Melalui Penambahan Asam dan Oksidator, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 8, 2, (2005)
- [12] Halimaton Hamdan, Introduction to Zeolites: Synthesis, Characterization, and Modification, Universiti Teknologi Malaysia, Kuala Lumpur, 1992.
- [13] Jailson A. Araújo, Fernanda T. Cruz, Ivana H. Cruz, Dilson Cardoso, Encapsulation of polymers in CTA-MCM-41 via microemulsion, *Microporous and Mesoporous Materials*, 180, (2013) 14-21
<http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2013.05.010>