



## Modifikasi Katalis BaO/Zeolit Y pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Jarak (*Jatropha Curcas L.*) menjadi Biodiesel

Duwanda Anwaristiawan<sup>✉</sup>, Harjito, dan Nuni Widiarti

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

### Info Artikel

Diterima September 2018

Disetujui Oktober 2018

Dipublikasikan November  
2018

#### Keywords:

minyak jarak  
barium oksida  
zeolit y  
transesterifikasi  
biodiesel

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik katalis berdasarkan analisis gugus fungsi, kristalinitas, luas permukaan, serta aktifitas katalitik katalis BaO/Zeolit Y pada reaksi transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel. Preparasi katalis dilakukan dengan metode impregnasi. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan variasi waktu selama 30, 60, 90, dan 120 menit serta variasi jenis katalis BaO/Zeolit Y sebesar 1, 2, 4, dan 8%. Analisis kristalinitas pada  $2\theta = 6; 15,6$  dan  $23,5$  menunjukkan terjadinya penurunan intensitas dengan semakin bertambahnya oksida logam. Analisis karakteristik gugus fungsi menunjukkan komposisi katalis tidak mengalami perubahan, vibrasi renggangan asimetri Si-O, Al-O dan *double ring* masih dapat dilihat pada bilangan gelombang  $1043, 803$  dan  $582\text{ cm}^{-1}$ . Analisis karakteristik luas permukaan menunjukkan penurunan setelah dilakukan pengembangan. Aktifitas katalitik dari reaksi transesterifikasi berdasarkan rendemen biodiesel, diperoleh katalis optimum pada BaO/Zeolit Y 2%, Sedangkan waktu reaksi terbaik berlangsung selama 120 menit. Rendemen biodiesel berdasarkan metil ester yang terbentuk diperoleh yield 94%.

### Abstract

This study aims to determine the characteristics of catalyst based on functional group, crystallinity, surface area, and catalytic activity of BaO/Zeolite Y catalyst in transesterification reaction of castor oil into biodiesel. The catalyst preparation was carried out by impregnation method. The transesterification reaction was carried out using time variations for 30, 60, 90, and 120 minutes and variations of BaO/Zeolite Y catalysts of 1, 2, 4 and 8%. Analysis of crystallinity at  $2\theta = 6, 15.6$  and  $23.5$  indicate a decrease in intensity with increasing metal oxide. The characteristic analysis of the functional groups showed that the catalyst composition did not change, the sprinkling rhythms of the Si-O, Al-O and double-ring asymmetries can still be seen at wave numbers  $1043, 803$  dan  $582\text{ cm}^{-1}$ . Analysis of surface area characteristics showed a decrease after the impregnation. The catalytic activity of the transesterification reaction based on the yield of biodiesel, obtained the optimum catalyst on BaO/Zeolite Y 2%, while the best reaction time lasted for 120 minutes. The yield of biodeiesel based on methyl ester formed yielded 94% yield.

© 2018 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:  
Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229  
E-mail: duwandahyden@gmail.com

## Pendahuluan

Konsumsi bahan bakar minyak bumi dari tahun ke tahun mengalami kenaikan. Namun, kenaikan ini tanpa diiringi oleh sumber cadangan minyak yang semakin menurun dari hari ke hari. Tahun 1991 Indonesia memiliki 5,9 miliar barel cadangan minyak, namun jumlah ini telah menurun menjadi 3,3 miliar barel pada akhir 2016 (Anonim, 2016). Biodiesel saat ini mulai banyak diminati untuk menangani kelangkaan minyak. Bahan bakar ini dapat mengurangi emisi dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil (Atadashi *et al.*, 2010). Biodiesel dapat disintesis menggunakan bahan dasar minyak nabati, seperti CPO (Rachman *et al.*, 2013), minyak goreng bekas (Setiawati & Edwar, 2012), minyak kelapa (Putri *et al.*, 2012), dan minyak jarak pagar (Tiwari, 2007). Minyak jarak pagar merupakan salah satu bahan pembuatan biodiesel yang memiliki kandungan asam lemak bebas cukup tinggi, yaitu sekitar 14% (Tiwari *et al.*, 2007). Oleh karena itu untuk menurunkan angka asam yang lebih dari 2% diperlukan 2 (dua) tahap konversi untuk mengubah minyak jarak pagar menjadi biodiesel, yaitu proses esterifikasi dan transesterifikasi (Hambali *et al.*, 2008). Proses transesterifikasi dapat berlangsung maksimal apabila ditambahkan katalis, baik katalis homogen maupun katalis heterogen. Katalis homogen lebih dihindari karena memiliki fase yang sama dengan reaktan maupun produk sehingga sulit dipisahkan ketika proses reaksi berakhir (Pandiangan & Simanjuntak, 2013). Katalis heterogen sendiri terdiri dari dua komponen utama, yaitu situs aktif (*dopan*) dan penyangga. Situs aktif berfungsi untuk meningkatkan laju reaksi dan mengarahkan reaksi ke arah produk yang diinginkan (Pandiangan & Simanjuntak, 2013).

Oksida Alkali, terutama alkali tanah merupakan contoh *dopan* basa yang memiliki aktifitas katalitik tinggi apabila dibandingkan dengan oksida transisi. Oksida transisi lebih cenderung membentuk asam Lewis/Bronsted. Kelemahan oksida alkali adalah masih memiliki fase yang hampir sama dengan produk hasil transesterifikasi, sehingga oksida ini perlu ditambahkan kedalam suatu penyangga. Penyangga yang umum digunakan merupakan zat padat berpori sebagai wadah untuk distribusi situs aktif dan mempunyai luas permukaan yang lebih besar (Pandiangan & Simanjuntak, 2013). Penyangga yang umum digunakan dapat berupa silika (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), maupun zeolit. Zeolit, baik zeolit alam (*natural zeolite*) maupun zeolit sintesis (*synthesized zeolite*) banyak dimanfaatkan karena mempunyai sifat yang khas dan unik, terutama untuk proses adsorpsi maupun katalisis (Muhriz *et al.*, 2011).

Pada proses sintesis biodiesel melalui minyak nabati. Hasil *yield* dari produk transesterifikasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya waktu, luas permukaan, massa (Santoso *et al.*, 2012) jenis (Rachman *et al.*, 2013) dan suhu (Said *et al.*, 2010). Berdasarkan uraian pendahuluan, maka pada penelitian ini dilakukan modifikasi Zeolit Y dengan menggunakan oksida logam BaO melalui proses impregnasi. Katalis modifikasi yang dihasilkan akan digunakan untuk proses transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel dengan menggunakan variasi jenis katalis dan variasi waktu reaksi.

## Metode

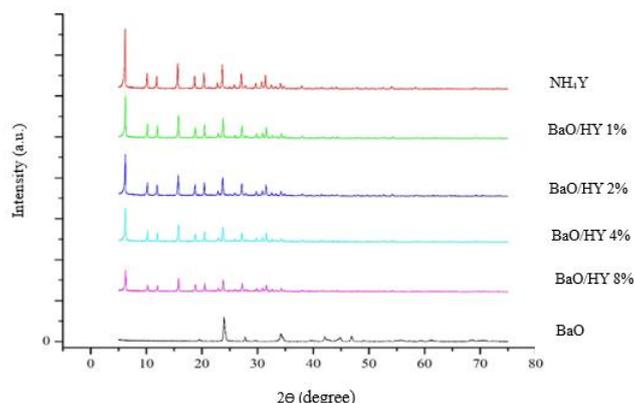
Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari peralatan gelas (*pyrex*), seperangkat alat *refluks*, *Hotplate stirrer J Lab Tech*, *Magnetic stirrer* (pengaduk magnetik), oven *memmert*, *Instrument X-Ray Diffraction Phillips Expert* (XRD) *Phillips pW 1800*, FT-IR *Spektrum 100-Perkin Elmer*, *Quantachrome Nova 1200e Instruments* untuk adsorpsi N<sub>2</sub>, *Gas Chromatography (GC) Agilent 6890 series*, *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS) Perkin Elmer Clarus 680SQ 8T*. Bahan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain minyak biji jarak pagar dari *Thai Castor Oil Industries*, aquades, air deionisasi, kertas *whatman 42*, kertas saring, adsorben zeolit alam, indikator phenolphthalein (PP), Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dan metanol dari *Merck*, alkohol, kalium hidroksida, zeolit Y dari *Sigma Aldrich* dengan *grade pro analyst*.

Penelitian ini diawali dengan proses *pre-treatment* minyak jarak melalui proses *bleaching* menggunakan zeolit alam teraktifasi HCl yang telah di kalsinasi pada suhu 550°C selama 4 jam. Impregnasi katalis dilakukan dengan memasukkan padatan Zeolit Y ke dalam larutan Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, setelah itu dipanaskan sambil diaduk sampai terbentuk *slurry*. *Slurry* BaO/Zeolit kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 2 jam. Setelah kering, BaO/Zeolit kemudian di kalsinasi pada suhu 550°C selama 4 jam. BaO/zeolit dengan konsentrasi BaO 1, 2, 4, dan 8 % b/b, kemudian digunakan pada aplikasi proses transesterifikasi minyak jarak dengan rasio molar minyak: metanol 1 : 9 secara *batch* dengan kecepatan pengadukan 300 rpm, pada suhu 65 °C. Variasi waktu yang digunakan adalah selama 30, 60, 90, dan 120 menit.

## Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji pengaruh variasi katalis optimum yang dapat digunakan untuk mengkonversi minyak jarak menjadi Biodiesel. Penelitian ini diawali dengan

proses *pretreatment* minyak jarak pagar (*Jatropha curcas L.*) melalui proses *bleaching*. Proses *bleaching* dilakukan dengan tujuan untuk menurunkan kadar angka asam minyak agar tidak melebihi 2%.

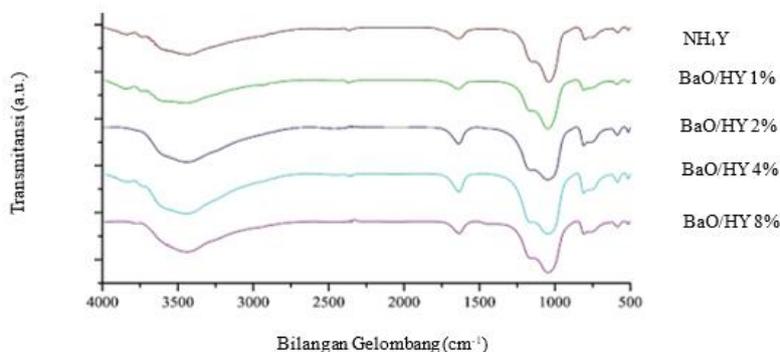


**Gambar 1.** Hasil analisis kristalinitas menggunakan XRD

Modifikasi zeolit dengan oksida logam BaO dilakukan dengan menggunakan metode impregnasi. Pada metode impregnasi, oksida logam yang digunakan sebagai dopan adalah Barium oksida, dengan variasi konsentrasi BaO 1,2,4,dan 8% b/b katalis. Katalis yang diperoleh, digunakan untuk reaksi katalisis para proses transesterifikasi minyak jarak menjadi Biodiesel dengan variasi waktu 30, 60, 90, dan 120 menit.

Difraktogram dari katalis BaO/Zeolit Y hasil sintesis dengan variasi jenis katalis sebesar 1, 2, 4, dan 8% b/b, Barium Oxide dan Zeolit standar *Sigma Aldrich* disajikan pada Gambar 1. Karakterisasi sifat kristal dengan menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction (XRD)* dimaksudkan untuk mengidentifikasi fase *bulk* suatu katalis serta menentukan sifat kristal atau kristalinitas dari suatu katalis. Semakin banyak dan tinggi puncak suatu katalis setelah dianalisa dengan menggunakan XRD, maka senyawa itu semakin kristalin. Zeolit Y merupakan senyawa yang pada dasarnya memiliki sifat yang kristalin dan memiliki titik puncak khusus yang terletak pada puncak yang kuat pada  $2\theta = 6; 15,6; 23,5$  (Huang *et al.*, 2010). Pada gambar 1 dapat dilihat intensitas dari masing-masing katalis Bao/Zeolit Y hasil modifikasi yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya BaO. Pada penambahan katalis BaO melalui metode impregnasi tidak menunjukkan peak-peak khusus BaO pada  $2\theta = 13,90^\circ; 18,88^\circ; 22,83^\circ; 25,58^\circ; 26,82^\circ; 29,82^\circ; 30,83^\circ; 34,58^\circ$  (Trivedi *et al.*, 2017). Puncak-puncak utama muncul pada  $2\theta$  yang sama, baik pada pola difraktogram zeolit *Sigma Aldrich* murni maupun pola difraktogram dari katalis BaO/Zeolit Y. Kesesuaian pola difraktogram tersebut mengindikasikan bahwa penambahan BaO pada zeolit tidak merubah struktur kristal Zeolit Y, perubahan terjadi hanya pada intensitas puncak (Rianto *et al.*, 2012).

Gambar 2 Menunjukkan hasil analisisa katalis berdasarkan karakteristik gugus fungsi. Menurut (Goncalves *et al.*, 2008), pita absorpsi sekitar 1250-950, 820-650 dan 500-420  $\text{cm}^{-1}$  merupakan puncak yang tidak sensitif terhadap perubahan stuktur dari zeolit. Sedangkan pada daerah 650-500  $\text{cm}^{-1}$  merupakan puncak yang sensitif terhadap perubahan struktur dan komposisi kerangka. Secara umum, dengan penambahan BaO mengakibatkan pergeseran gelombang terhadap masing-masing sampel yang digunakan. Vibrasi ulur O-H dari  $\text{H}_2\text{O}$  yang muncul pada bilangan gelombang 3446 dan 1640  $\text{cm}^{-1}$

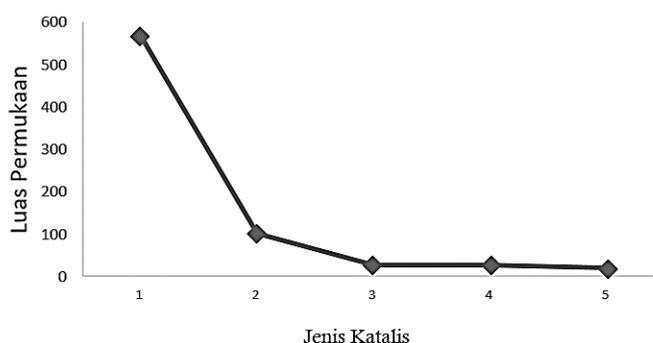


**Gambar 2.** Hasil analisis gugus fungsi menggunakan FT-IR

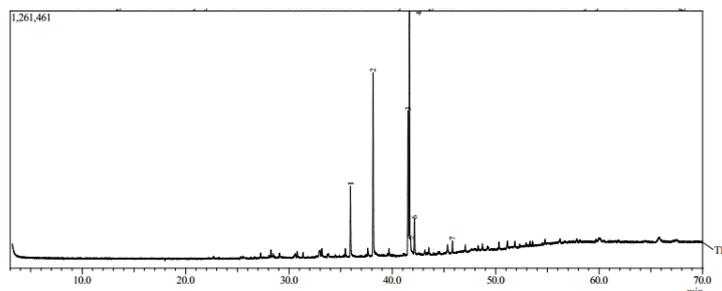
Hal ini menunjukkan adanya pengaruh unsur Oksigen dari BaO terhadap H parsial positif O-H dalam H<sub>2</sub>O yang menyebabkan terbentuknya ikatan hidrogen yang lebih panjang. Adanya pengaruh BaO terhadap vibrasi ulur O-H juga terlihat pada serapan 1640 cm<sup>-1</sup> yang mengalami penurunan intensitas. Pergeseran yang terjadi menunjukkan bahwa dengan penambahan BaO, menyebabkan rasio Si/Al pada zeolit semakin meningkat yang berpengaruh pada sifat higroskopis zeolit. Meningkatnya rasio Si/Al ini dikarenakan situs aktif [AlO<sub>4</sub>]<sup>-</sup> pada zeolit semakin berkurang, sehingga air yang terikat pada zeolit juga berkurang (Amri & Pranjoto, 2017). Vibrasi ulur Si-H pada serapan 2375 cm<sup>-1</sup> mengalami pergeseran dengan naiknya intensitas disebabkan oleh pengaruh oksida alkali yang mengakibatkan kandungan Al pada zeolit semakin berkurang (Rianto *et al.*, 2012). Pada bilangan gelombang 1042, 802, dan 467cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan adanya ikatan internal dalam zeolit (Khalifah & Prasetyoko, 2008), secara umum mengalami pergeseran dengan naiknya intensitas. Intensitas naik menunjukkan bahwa kandungan AlO dalam zeolit berkurang. Berkurangnya AlO disini mengakibatkan rasio SiO/AlO semakin tinggi, dan Al lebih sedikit dibanding Si. Pada pita serapan 581 dan 516cm<sup>-1</sup> menunjukkan adanya vibrasi eksternal cincin ganda dan vibrasi tekuk T-O yang secara umum juga mengalami pergeseran.

Analisis luas permukaan pada katalis BaO/ Zeolit hasil sintesis dilakukan dengan instrumen *Surface Area Analyzer type Quantachrome NovaWin 1200e* bertujuan untuk mengetahui luas permukaan material katalis dengan menggunakan metode BET. Metode BET didasarkan pada fenomena adsorpsi gas lapis tunggal yang berlangsung pada temperatur tetap. Pada analisis ini digunakan gas nitrogen sebagai adsorbat pada permukaan katalis. Hasil pengukuran luas permukaan spesifik diperlihatkan pada Gambar 3. Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa zeolit Y teremban BaO, memiliki luas permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan Zeolit Y murni dengan luas sebesar 568,547 m<sup>2</sup>/g. Impregnasi menggunakan BaO dengan luas permukaan 100,459 m<sup>2</sup>/g akan menurunkan luas permukaan katalis seiring dengan bertambahnya jumlah logam Ba yang di gunakan dalam proses impregnasi. Hal ini dikarenakan BaO memiliki luas permukaan yang lebih rendah dibanding luas permukaan zeolit murni. Menurunnya luas permukaan menurut Wisnu & Putra, (2017) dikarenakan terisinya pori-pori zeolit oleh partikel-partikel oksida logam serta adanya penutupan sebagian jaringan zeolit oleh partikel oksida logam yang membentuk agregat (Rahmawati *et al.*, 2012). Pada Penelitian ini terjadi penurunan luas permukaan yang signifikan dari konsentrasi 1%, dengan luas permukaan BaO/Zeolit Y adalah 27,730 m<sup>2</sup>/g, hingga konsentrasi 8% dengan luas permukaan BaO/Zeolit Y adalah 19,092 m<sup>2</sup>/g.

Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi antara metanol dengan trigliserida menghasilkan alkil ester dan produk samping berupa gliserol. Molekul trigliserida berupa tiga ester yang menempel pada suatu molekul gliserol dan gliserol digantikan oleh metanol pada proses reaksi transesterifikasi. Mekanisme reaksi transesterifikasi yang berlangsung dengan menggunakan katalis oksida logam yang dijelaskan oleh Kouzu *et al.*, (2008). Mekanisme yang terjadi pada reaksi ini diawali oleh penarikan proton dari metanol oleh Barium Oksida, sehingga akan dihasilkan anion metoksida. Anion metoksida yang terbentuk kemudian menyerang atom C karbonil dalam molekul trigliserida yang mengakibatkan terbentuknya alkoksi karbonil intermediet. Alkoksikarbonil yang terbentuk akan terbagi lagi menjadi dua, yaitu FAME dan anion digliserida. Reaksi terus berlangsung hingga alkoksi karbonil intermediet yang ada terbagi menjadi metil ester dan gliserol.



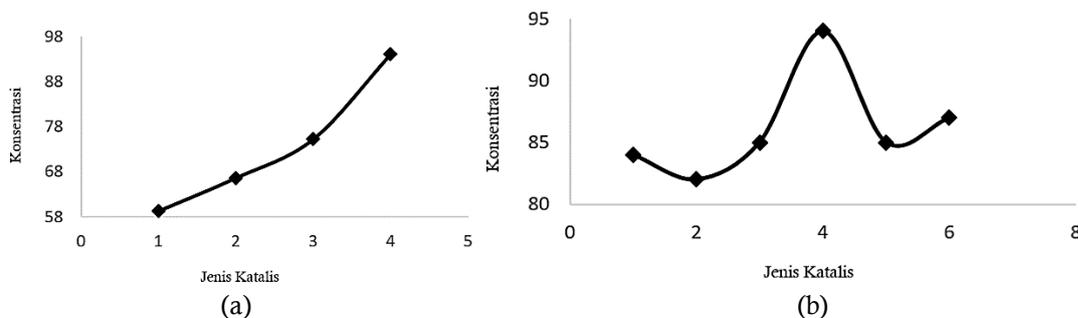
**Gambar 3.** Hasil analisis luas permukaan menggunakan instrument SAA



**Gambar 5.** Kromatogram biodiesel hasil karakterisasi dengan GC MS

Identifikasi senyawa hasil reaksi transesterifikasi pada kondisi optimum dilakukan dengan menggunakan *Gas Chromatography Mass Spectrofotometer Type QP2010S Shimadzu*. Metode pengujian GC-MS dilakukan untuk mengetahui komposisi jenis asam lemak penyusun metil ester dari minyak jarak pagar hasil transesterifikasi. Ningtyas *et al.*, (2013), menyatakan deteksi jenis asam lemak dan trigliserida dalam biofuel menggunakan metode kromatografi gas (*gas chromatography* =GC), dilanjutkan dengan analisis spektrometer massa (*mass spectroscopy* = MS). Metode GC dilakukan untuk tujuan pemisahan, kuantifikasi, dan analisis asam lemak dengan terlebih dahulu dibuat turunan asam lemaknya, serta analisis MS untuk menentukan fragmentasi asam lemak jenuh dan tak jenuh, serta letak ikatan rangkap jenis asam lemak.

Kromatogram biodiesel hasil karakterisasi dengan GC-MS ditunjukkan pada Gambar 5. Dari hasil analisa, didapatkan 7 puncak utama dalam kromatogram. Interpretasi data kromatogram GC-MS biodiesel hasil optimasi yang terdiri dari isopropil miristat dengan konsentrasi 9,85%, asam heksadekanat (palmitat) sebesar 26,28%, asam 9,12-oktadekanat (linoleat) sebesar 20,62%, asam 9-oktadekanat (oleat) sebesar 34,69%, asam 8-oktadekanat (arakidenat) sebesar 1,86%, asam oktadekanat (stearat) sebesar 4,88% dan asam eikosanat (eikosapentanoat) sebesar 1,82%.



**Gambar 6.** Kurva hasil transesterifikasi minyak variasi waktu (a) dan jenis katalis (b)

Setelah dilakukan analisis senyawa penyusun produk dengan menggunakan GC-MS. Dilakukan analisa dengan menggunakan GC untuk mengetahui konsentasi senyawa yang menyusun biodiesel. Gambar 6a menunjukkan persen area produk mengalami kenaikan seiring dengan bertambah lamanya waktu transesterifikasi. Hasil ini sesuai dengan metode yang digunakan oleh Sinta *et al.*, (2016) pada reaksi transesterifikasi minyak selama 120 menit. Peningkatan konsentrasi yang dihasilkan pada variasi ini disebabkan karena waktu tinggal yang lama akan memberikan kesempatan reaksi yang lebih besar antar reaktan. Reaktan akan bertumbukan satu sama lain sehingga meningkatkan konversi reaksi (Pavia *et al.*, 2006).

Gambar 6b menunjukkan persen area produk mengalami kenaikan dan penurunan. Variasi jenis katalis dengan konsentrasi 2% memiliki luas area yang paling tinggi dibanding yang lain, yaitu sebesar 94%. Pada katalis konsentrasi 0% hingga 2% secara umum mengalami kenaikan, namun pada konsentrasi 4% mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan karena pengaruh pengembangan BaO yang berlebihan, sehingga menyebabkan terbentuknya emulsi akibat dari reaksi penyabunan (Pahlevi *et al.*, 2015). Selain itu, dengan adanya penutupan pori seperti yang disampaikan oleh Wisnu & Putra (2017), hal ini akan menyebabkan penurunan selektifitas yang disebabkan karena tertutupnya sebagian sisi aktif dari katalis sehingga mengakibatkan konsentrasi metil ester yang diperoleh semakin sedikit.

## Simpulan

Variasi jenis katalis optimum pada reaksi transesterifikasi diperoleh pada jenis katalis 2%. Sedangkan pada perlakuan variasi waktu, diperoleh kondisi terbaik pada waktu 120 menit. Pada Karakterisasi untuk mengetahui kristalinitas menggunakan instrumen XRD dan analisis luas permukaan dengan menggunakan instrumen SAA, dapat diketahui bahwa dengan semakin banyak BaO yang diimbangkan ke dalam Zeolit Y maka kristalinitas dari katalis yang diperoleh semakin menurun dan luas permukaannya semakin kecil. Dari hasil reaksi transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel setelah dianalisa dengan menggunakan instrumen *Gas Chromatography*, diperoleh konsentrasi biodiesel dengan menggunakan katalis terbaik adalah sebesar 94 %.

## Daftar Pustaka

- Amri, S. & Pranjoto, M. 2017. Preparasi dan Karakterisasi Komposit ZnO-ZEOLIT untuk Fotodegradasi Zat Warna Congo Red. *Jurnal Kimia Dasar*, 6(2): 2936.
- Anonim. 2016. *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2016*. Han. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Tersedia di <https://www.esdm.go.id/id/publikasi/handbook-of-energy-and-economic>
- Atadashi, I.M., Aroua, M.K. & Aziz, A.A. 2010. High Quality Biodiesel and Its Diesel Engine Application: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7): 1999-2008
- Goncalves, L.M., D.Dimitrov, L., Hebling, J.M., Martin, W. & A.Urquieta-González, E. 2008. Synthesis of Mesoporous ZSM-5 by Crystallisation of Aged Gels in the Presence of Cetyltrimethylammonium Cations. *Catalysis Today*, 133-135(4): 69-79
- Hambali, E., Mujdalifah, S., Tambunan, Armansyah, H., Pattiwiri, Waries, A., Hendroko & Roy 2008. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: Agromedia Pustaka
- Huang, Y., Wang, K., Dong, D., Li, D., Hill, M.R., Hill, A.J. & Wang, H. 2010. Synthesis of Hierarchical Porous Zeolite NaY Particles with Controllable Particle Sizes. *Microporous and Mesoporous Materials*, 127(3): 167-175
- Khalifah, S.N. & Prasetyoko, D. 2008. Sintesis dan Karakterisasi ZSM-5 Mesoporous dengan Variasi Rasio SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Journal of Indo*, 7(2): 96-101
- Kouzu, M., Kasuno, T., Tajika, M. & Sugimoto, Y. 2008. Calcium Oxide as a Solid Base Catalyst for Transesterification of Soybean Oil and Its Application to Biodiesel Production. *Fuel*, 87: 2798-2806
- Muhriz, M., Subagio, A. & Pardoyo 2011. Pembuatan Zeolit Nanopartikel dengan Metode *High Energy Milling (Zeolite Nanoparticle Fabrication using High Energy Milling Method)*. *Jurnal Sains dan Matematika*, 19(1): 11-17
- Ningtyas, D.P., Sinta, A. & Latif, S. 2013. Pengaruh Katalis Basa (NaOH) pada Tahap Reaksi Transesterifikasi terhadap Kualitas Biofuel dari Minyak Tepung Ikan Sardin. *Jurnal Teknosains*, 2(2): 71-158
- Pahlevi, M.R., Anita, S. & Nurhayati 2015. Variasi Berat Katalis dan Suhu Reaksi Transesterifikasi *Crude Palm Oil* Menggunakan Katalis Cangkang Kerang Darah Kalsinasi 800°C. *Jom Fmipa*, 2(1): 186-191
- Pandiangan, K.D. & Simanjuntak, W. 2013. Sintesis Katalis Heterogen MgO-SiO<sub>2</sub> Sekam Padi dengan Metode Sol-Gel dan Aplikasinya pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa. *Prosiding Seminar Nasional Sains & Teknologi V Lembaga Penelitian Universitas Lampung*. Lampung: Universitas Lampung, Hal.: 516-524
- Pavia, D.L., Lampman, G.M., Kriz, G.S. & Engel, R.G. 2006. Introduction to Organic Laboratory Techniques (4th Ed.). *Thomson Brooks*, 797-817
- Putri, S.K., Supranto & Sudiyo, R. 2012. Studi Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa (*Coconut Oil*) dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(1): 20-25
- Rachman, S.A. & Septian, R. 2013. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis CaO Disinari dengan Gelombang Mikro. *Jurnal Teknik Kimia*, 19(4): 45-52

- Rahmawati, F., Wahyuni, S. & Kadarwati, S. 2012. Studi Deaktivasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam pada Reaksi Hidrodenitrogenasi (HDN) Piridin. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(1): 20-26
- Rianto, L.B., Amalia, S. & Khalifah, S.N. 2012. Pengaruh Impregnasi Logam Titanium pada Zeolit Alam Malang terhadap Luas Permukaan Zeolit. *Alchemy*, 2(1): 58-67
- Said, M., Septiarty, W., & Tutiwi, T. 2010. Studi Kinetika Reaksi pada Metanolisis Minyak Jarak Pagar. *Jurnal Teknik Kimia* 17(1): 15-22
- Santoso, M.P.B., E.B. Santoso, & A.T. Prasetya. 2012. Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk dengan Katalis Zeolit Sekam Padi. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(2252): 98-103
- Setiawati, E. & Edwar, F. 2012. Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. *Riset Industri*, VI(2): 117-127
- Sinta, T. & Saleh, C. 2016. Optimasi Suhu Reaksi Transesterifikasi pada Minyak Jerami Padi (*Oryza sativa L.*) menjadi Biodiesel dengan Menggunakan Katalis CaO dari Kulit Telur Ayam. *Jurnal Kimia Mulawarman*, 14(11): 19-23
- Tiwari, A.K., Kumar, A. & Hifjur, R. 2007. Biodiesel Production from Jatropha Oil (*Jatropha curcas*) with High Free Fatty Acids: an Optimized Process. *Biomass and Bioenergy*, 31(8): 569-575
- Trivedi, M.K., Tallapragada, R.M., Branton, A., Trivedi, D., Latiyal, O. & Jana, S. 2017. Influence of Biofield Treatment on Physical and Structural Characteristics of Barium Oxide and Zinc Sulfide. *Journal of Lasers, Optics & Photonics*, 5(2): 25-34
- Wisnu, I.M. & Putra, A. 2017. Pembuatan dan Karakterisasi Katalis CaO/Zeolit Alam. *Media Sains*, 1(1): 12-18