

Artikel Riset

## Sintesis Natrium Zirkonia Sebagai Katalis Reaksi Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas

Niyar Candra Agustin<sup>1\*</sup>, Ricka Prasdiantika<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran, Jl. Banjarsari Barat No. 01, Pedalangan, Banyumanik, Semarang, Indonesia 50268

\*Penulis korespondensi, e-mail: [niyaragustin@gmail.com](mailto:niyaragustin@gmail.com)

### Abstrak

Katalis merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi hasil reaksi kimia. Katalis memiliki sifat spesifik yang hanya dapat digunakan pada reaksi tertentu. Sehingga untuk melakukan reaksi transesterifikasi dibutuhkan katalis yang sesuai dan mempunyai daya yang optimal agar menghasilkan produk. Pada penelitian ini dilakukan sintesis natrium zirkonia ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$ ) sebagai katalis reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas menjadi biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi larutan NaOH pada sintesis katalis zirkonia ( $\text{ZrO}_2$ ). Katalis Natrium zirkonia ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$ ) disintesis menggunakan metode impregnasi basah dengan mencampurkan padatan  $\text{ZrO}_2$  dan larutan NaOH pada variasi konsentrasi 2, 4, dan 6 M. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan jumlah katalis sebanyak 3% (b/b), waktu reaksi selama 20 menit, dan pemanasan *microwave* pada daya 400 watt. Perbandingan molar minyak dengan metanol yang digunakan pada penelitian ini yaitu 1:15. Katalis  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  dikarakterisasi dengan *Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrophotometer*, *X-Ray Diffraktometer (XRD)*, dan *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray (SEM/EDX)*. Biodiesel yang dihasilkan dikarakterisasi dengan *Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS)*. Penggunaan katalis  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2M menghasilkan produk biodiesel yang paling banyak yaitu sebesar 85,5% (b/b). Biodiesel yang terbentuk mengandung metil palmitat (25,11%), metil linoleat (10,87%), metil elaidat (57,88%), dan metil stearat (6,14%). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  sebagai katalis reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas berhasil disintesis.

Kata Kunci: katalis; minyak goreng bekas; natrium zirkonia; transesterifikasi

### Abstract

*Catalyst is one of factor that affect the results of the transesterification reaction. Catalyst has specific properties that can only be used in certain reaction. In order to carry out the transesterification reaction a suitable catalyst is needed and has optimal performance. This research aims to synthesize sodium zirconia ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$ ) as a catalyst for transesterification reaction of used cooking oil into biodiesel and the effect of the concentration of NaOH solution on the zirconia catalyst ( $\text{ZrO}_2$ ). The sodium zirconia catalyst ( $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$ ) was synthesized by wet impregnation method by mixing  $\text{ZrO}_2$  and NaOH solution with variations in concentrations of 2, 4 and 6 M. Transesterification reaction is carried out with catalyst amount of 5% (w/w), with areaction time of 20 minutes, and by microwave heating at 400 watt microwave power. The comparison of oil molar with methanol was 1:15.  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  catalysts was characterized by *Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrophotometer*, and *X-Ray Diffractometer (XRD)* and *Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray (SEM/EDX)*. The resulting biodiesel was characterized by *Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS)*. Using  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2 M catalysts produced the most*

biodiesel which was 85.5% (w/w). The formed biodiesel contained methyl palmitate (25,11%), methyl linoleate (10,87%), methyl elaidate (57,88%), and methyl stearate (6,14%). The characterization results showed that  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  as the transesterification used cooking oil catalyst was successfully synthesized.

Keywords: catalyst; used cooking oil; sodium zirconia; transesterification

---

## 1. Pendahuluan

Minyak goreng yang sudah digunakan berkali-kali akan berwarna cokelat kehitaman yang biasanya akan dibuang sebagai limbah minyak goreng. Sebagian besar limbah minyak goreng tersebut akan dibuang begitu saja ke pembuangan sampah dan sungai, sehingga dapat menyebabkan terjadinya pencemaran tanah dan air, yang lama-kelamaan akan menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan (Erna dan Wiwit, 2018). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah minyak goreng bekas. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meminimalisir limbah minyak goreng tersebut yaitu dengan mengolah minyak goreng bekas menjadi produk tepat guna.

Menurut Liu dkk., (2010) minyak goreng bekas dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk mensintesis biodiesel. Selain itu, penggunaan minyak goreng bekas dapat mengurangi biaya produksi pembuatan biodiesel. Penggunaan minyak goreng bekas sebagai sumber bahan baku biodiesel merupakan metode yang efektif untuk menurunkan biaya bahan baku. Biaya produksi biodiesel dengan bahan baku minyak goreng bekas hanya membutuhkan setengah dari biaya produksi biodiesel dengan bahan baku dari *virgin oil* (Nurfitri dkk., 2013). Salah satu metode dalam pembuatan biodiesel adalah reaksi transesterifikasi.

Reaksi transesterifikasi merupakan metode yang paling banyak diteliti, dan telah banyak digunakan pada berbagai industri untuk mengubah minyak nabati menjadi biodiesel, serta metode yang paling efektif karena kemudahan dalam proses pembuatannya (Enweremadu dan Mbarawa, 2009). Menurut Leung dkk., (2010) reaksi transesterifikasi merupakan metode yang paling banyak dipilih dibandingkan metode lainnya, dikarenakan produk biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi memiliki karakteristik yang sesuai dengan minyak diesel yang diperoleh dari bahan baku minyak nabati atau hewani. Minyak nabati atau lemak hewani bereaksi dengan alkohol (metanol) dengan bantuan katalis (basa) akan menghasilkan alkil ester (metil ester). Transesterifikasi merupakan reaksi yang berlangsung bolak-balik (*reversible*). Salah satu reaktan dibuat berlebih agar diperoleh hasil yang maksimal. Minyak goreng bekas (trigliserida) dan alkohol merupakan senyawa polar yang dapat menyerap radiasi *microwave* (gelombang mikro). Radiasi *microwave* membutuhkan input energi yang lebih kecil, aman, lebih ramah lingkungan, dan lebih efisien dibandingkan dengan pemanasan konvensional. Kelebihan utama pemanfaatan *microwave* dalam proses pembuatan biodiesel adalah dapat meningkatkan kecepatan reaksinya (Gude dkk., 2013).

Reaksi transesterifikasi dari minyak nabati menjadi biodiesel biasanya menggunakan katalis homogen untuk mempercepat laju reaksinya menjadi produk. Katalis homogen yang sering digunakan yaitu katalis basa seperti NaOH dan KOH (Qiu dkk., 2011). Pada reaksi transesterifikasi, katalis basa lebih sering digunakan karena laju reaksinya lebih cepat dibandingkan dengan katalis asam. Namun, katalis basa homogen memiliki kekurangan seperti dapat menyebabkan terjadinya korosi pada peralatan, membutuhkan penetralan, dan menghasilkan limbah (Takase dkk., 2014). Untuk mengatasi hal tersebut, dapat digunakan jenis katalis lain yaitu katalis basa heterogen.

Total konsumsi energi pada pembuatan biodiesel dari minyak *Jatropha* dengan katalis sodium amida ( $\text{NaNH}_2$ ) menggunakan pemanasan konvensional membutuhkan energi sebesar 11.000 kJ, sedangkan pada pemanasan menggunakan *microwave* hanya membutuhkan energi sebesar 1.040 kJ (Lin dkk., 2014). Menurut Patil dkk.(2010), total energi yang dibutuhkan pada pemanasan *microwave* 10 kali lebih kecil dibandingkan pada pemanasan konvensional. Konsumsi energi pemanasan konvensional

pada pembuatan biodiesel dari minyak *Camellia Sativa* dengan katalis NaOH 23 kali lebih besar dibanding dengan pemanasan *microwave*. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemanasan dengan *microwave* lebih hemat energi dibandingkan dengan pemanasan konvensional. Oleh karena itu, pemanasan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *microwave*.

Katalis basa heterogen memiliki keunggulan antara lain tidak mengakibatkan terjadinya korosif, ramah terhadap lingkungan, memiliki waktu hidup yang panjang, dapat memberikan aktifitas, dan selektifitas yang tinggi, serta menyediakan luas permukaan yang tinggi untuk tempat terjadinya reaksi kimia (Srilatha dkk., 2012). Salah satu kelompok dari katalis basa heterogen yang dapat digunakan yaitu katalis oksida logam (Borges dan Díaz, 2012). Katalis oksida logam basa memiliki kelebihan yaitu sifatnya non-korosif dan basisitas yang tinggi dari golongan alkali dan alkali tanah sebagai spesies aktif dari katalis oksida basa. Salah satu contoh katalis oksida logam yaitu zirkonium oksida ( $ZrO_2$ ). Zirkonium oksida ( $ZrO_2$ ) adalah suatu material polimorfik yang memiliki tiga fasa yaitu monoklinik, tetragonal, dan kubik (Lara-garcía dkk., 2014).  $ZrO_2$  memiliki daya tahan kimia yang kuat, tahan korosi, tidak menghantarkan listrik, konduktifitas termal rendah, dan memiliki kekuatan termal lebih baik daripada alumina. Zirkonia juga memiliki kestabilan termal dan mekanik yang tinggi sehingga sangat berpotensi sebagai katalis. Sifat basa dari zirkonia dapat ditingkatkan dengan cara modifikasinya menggunakan logam alkali seperti kalium hidroksida (Takase, 2014) dan logam alkali tanah (Omar and Amin, 2011). Takase dkk., 2014 telah mensintesis katalis  $ZrO_2$  yang dimodifikasi dengan KOH sebagai katalis pembuatan biodiesel dari minyak silybum marianum dan hasilnya 90,8% biodiesel. Pada penelitian ini dibuat katalis  $ZrO_2$  yang dimodifikasi dengan NaOH. Sintesis katalis natrium zirkonia ( $Na_2O/ZrO_2$ ) dilakukan dengan memvariasi konsentrasi larutan NaOH yang diimpregnasi pada  $ZrO_2$ . Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan katalis yang dengan performa yang optimal sehingga menghasilkan biodiesel dengan jumlah yang maksimal dengan bahan baku berupa minyak goreng bekas.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Metode

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk mengumpulkan data adalah metode eksperimen di laboratorium. Data yang diperoleh dari eksperimen dilakukan analisis dengan cara menginterpretasi hasil karakterisasi material.

### 2.2 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini meliputi peralatan penunjang dan peralatan analisis. Peralatan penunjang yang digunakan terdiri dari *hot plate stirrer* (Amtast), oven (Memmert), tanur (*Carbolite*), sentrifuse (Kokusan Ogawa Seiki Co. Ltd H-107) dan *microwave* (Electrolux). Peralatan analisis katalis terdiri dari spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR, Shimadzu 8201 PC) untuk identifikasi gugus fungsional katalis, *X-Ray Diffraction* (XRD, Shimadzu XRD 6000) untuk identifikasi struktur kristal dan kristalinitas katalis, dan *Scanning Electron Microscopes/Energy Dispersive X-Ray* (SEM/EDX, Jeol JSM-6510) untuk mengamati morfologi dan banyaknya  $Na_2O$  yang teremban pada  $ZrO_2$ . Biodiesel yang dihasilkan dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS, Shimadzu QP2010S) untuk mengidentifikasi kandungan senyawa metil ester pada biodiesel. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari padatan  $ZrO_2$  (Jiaozou Huasu Chemical Co., Ltd), minyak goreng bekas dengan kandungan FFA kurang dari 2%, dan akuades. Bahan kimia lain yang digunakan memiliki kualitas *pro analysis* dari Merck, diantaranya metanol, NaOH, dan  $Na_2SO_4$  anhidrat.

### 2.3 Prosedur Percobaan

#### a. Pembuatan katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$

Katalis  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  dibuat dengan metode impregnasi basah. Sebanyak 10 g  $\text{ZrO}_2$  ditambahkan 150 mL larutan  $\text{NaOH}$  dengan variasi konsentrasi 2, 4, dan 6 M kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam. Padatan yang dihasilkan dikeringkan pada temperatur 115 °C selama 24 jam kemudian dikalsinasi pada temperatur 600°C selama 5 jam. Material dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer FT-IR, dan XRD. Katalis yang menghasilkan biodiesel yang paling banyak dianalisis dengan SEM/EDX.

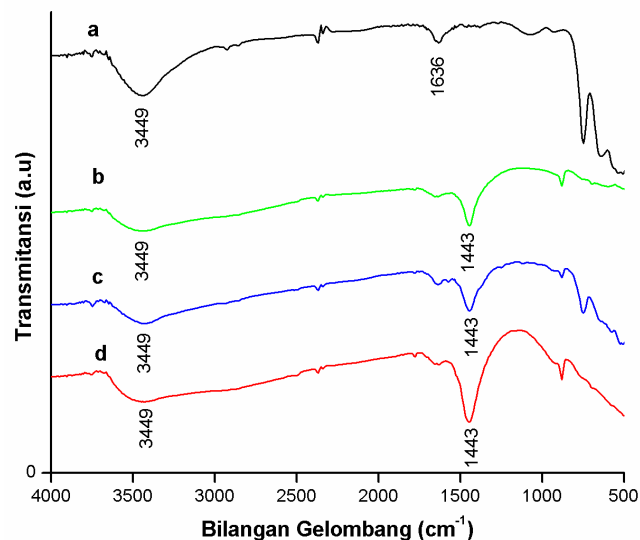
#### b. Transesterifikasi minyak goreng bekas

Sebanyak 30 g minyak goreng bekas direaksikan dengan metanol dengan perbandingan minyak dan metanol yaitu 1:15. Katalis yang digunakan adalah  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2 M,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  4 M, dan  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  6 M sebanyak 3% dari berat total minyak dan metanol. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan pemanasan *microwave* pada daya radiasi 400 watt dengan waktu reaksi selama 20 menit. Hasil reaksi dipisahkan dari katalis melalui sentrifugasi dengan kecepatan putar 1500 rpm selama 20 menit untuk memisahkan katalis, biodiesel, dan gliserol. Kemudian dimasukkan kedalam corong pisah dan dicuci dengan akuades panas untuk melarutkan sisa gliserol. Biodiesel yang diperoleh kemudian dievaporasi untuk menghilangkan sisa metanol dan ditambahkan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anhidrat. Kemudian dianalisis dengan GC-MS.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Hasil Analisis Gugus Fungsional (Uji FT-IR)

Katalis dianalisis dengan spektrofotometer FT-IR untuk mengetahui gugus fungsi pada katalis tersebut. Data spektra FT-IR katalis  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2 M,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  4 M, dan  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  6 M disajikan pada **Gambar 1**. Puncak pada pita serapan 501,00-748,38  $\text{cm}^{-1}$  merupakan vibrasi regangan Zr-O-Zr (Kuwahara dkk., 2013). Berdasarkan spektra FT-IR menunjukkan pita serapan yang sama dari  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2 M,  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  4 M, dan  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  6 M yaitu pada bilangan gelombang sekitar 3449  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi regangan OH dan 1636  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan vibrasi lekukan dari air ( $\delta\text{-HOH}$ ).



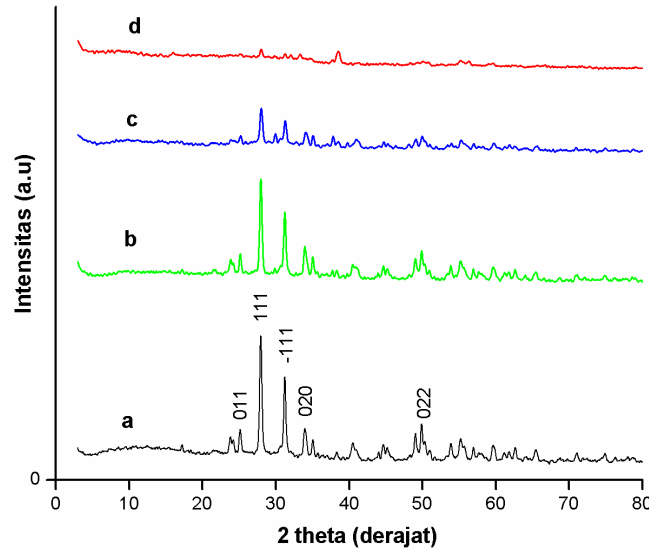
**Gambar 1.** Spektra FT-IR (a)  $\text{ZrO}_2$ , (b)  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2 M, (c)  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  4 M, dan (d)  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  6 M

Pada spektra FT-IR  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  (2, 4, dan 6 M) muncul pita serapan baru yaitu pada bilangan gelombang 1443  $\text{cm}^{-1}$  yang diperkirakan vibrasi ion karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) pada permukaan  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  memiliki kecenderungan untuk menyerap  $\text{CO}_2$  dari

lingkungan. Puncak melebar pada pita serapan  $3000-3300\text{ cm}^{-1}$  merupakan vibrasi regangan Zr-O-Na (Li dkk., 2013).

### 3.2 Hasil Analisis Struktur Kristal dan kristalinitas (Uji XRD)

Hasil karakterisasi menggunakan XRD dari  $\text{ZrO}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  (2, 4, 6 M) ditunjukkan pada Gambar 2.

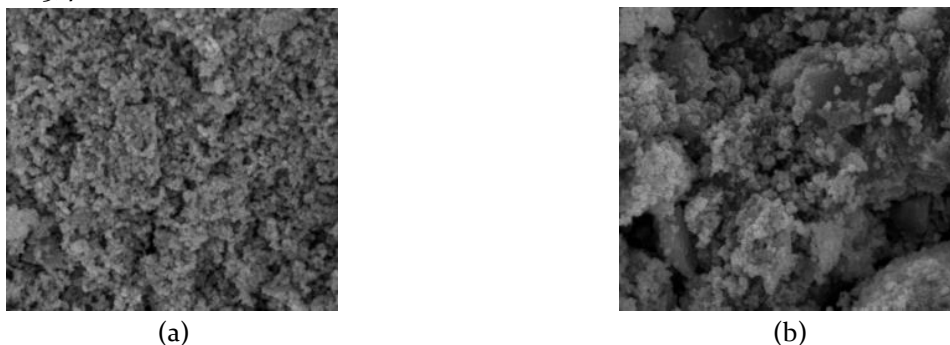


Gambar 2. Pola difraksi sinar-X: (a)  $\text{ZrO}_2$ , (b)  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2 M, (c)  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  4 M, dan (d)  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  6 M

Berdasarkan difraktogram tersebut, dapat dilihat difraksi sinar X dari  $\text{ZrO}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  yang menunjukkan bahwa struktur kristal dari katalis tersebut adalah monoklinik sesuai dengan JCPDS card No. 00-002-0536 yang teramati pada puncak  $2\theta$ : 27,98; 31,25; dan 49,90°. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses impregnasi dengan larutan NaOH tidak mengubah struktur  $\text{ZrO}_2$ , akan tetapi menurunkan intensitas difraksi pada  $2\theta$ : 27,96; 31,23; dan 49,89. Struktur monoklinik merupakan struktur yang memberikan kestabilan pada  $\text{ZrO}_2$  (Patel dkk., 2013).

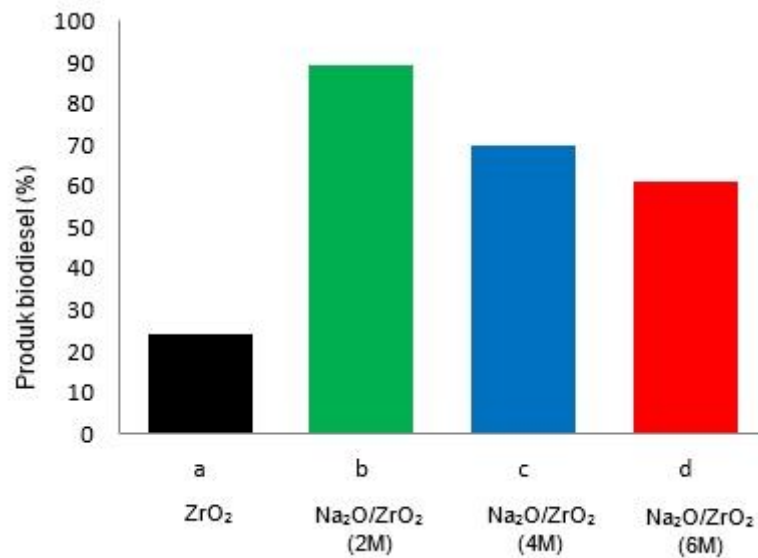
### 3.3 Hasil Analisis Morfologi Material (Uji SEM/EDX)

Pada Gambar 3 dapat dilihat bentuk morfologi dari katalis  $\text{ZrO}_2$  dan  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2M. Morfologi permukaan  $\text{ZrO}_2$  memperlihatkan distribusi partikel kecil berbentuk bulat kecil. Setelah proses impregnasi dan pemanasan bentuk partikel  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  menjadi partikel yang lebih besar. Berdasarkan hasil pengukuran persen massa pada katalis  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2M, jumlah oksida  $\text{Na}_2\text{O}$  yang teremban pada  $\text{ZrO}_2$  sebesar 15,4%.



Gambar 3. Foto SEM/EDX (a)  $\text{ZrO}_2$  dan (b)  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2M

Reaksi transesterifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan variasi katalis yaitu  $ZrO_2$ ,  $Na_2O/ZrO_2$  2 M,  $Na_2O/ZrO_2$  4 M, dan  $Na_2O/ZrO_2$  6 M untuk mengetahui katalis yang memiliki kemampuan paling maksimal dalam reaksi transesterifikasi minyak goreng bekas menjadi produk biodiesel.

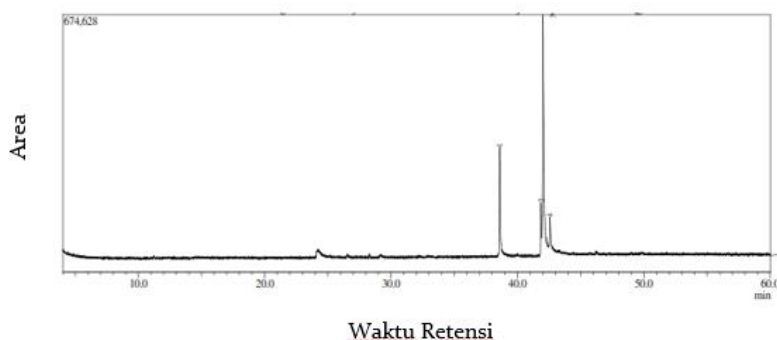


Gambar 4. Grafik hubungan antara jenis katalis dengan produk biodiesel.

Berdasarkan Gambar 4, menunjukkan bahwa pada penelitian ini jenis katalis mempengaruhi jumlah biodiesel yang dihasilkan. Katalis  $Na_2O/ZrO_2$  (2, 4, 6 M) menghasilkan produk biodiesel yang lebih banyak dibandingkan dengan katalis  $ZrO_2$ . Kemampuan dari  $Na_2O/ZrO_2$  disebabkan oleh sifat basa yang kuat. Sifat basa  $Na_2O/ZrO_2$  berasal dari  $Na_2O$  yang terdispersi pada  $ZrO_2$ . Katalis  $Na_2O/ZrO_2$  2 M menghasilkan produk biodiesel yang paling besar yaitu sebesar 85,5%.

### 3.4 Hasil Analisis Uji GC-MS

Analisis dengan GC-MS dilakukan terhadap biodiesel yang diperoleh pada katalis  $Na_2O/ZrO_2$  2 M pada daya 400 watt dengan konversi biodiesel yang paling besar untuk mengetahui komponen senyawa yang terkandung secara kualitatif.



Gambar 5. Kromatogram GC-MS Biodiesel

Gambar 5 menunjukkan 4 puncak yang terdeteksi sebagai metil ester yang mengindikasikan bahwa terdapat minimal 4 senyawa yang terkandung pada biodiesel. Waktu retensi dan luas area dari 4 puncak tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Waktu retensi dan luas area dari 4 puncak kromatogram hasil GC

Puncak	Senyawa	Waktu Retensi (menit)	Luas Area (%)
1	Metil palmitat	38,595	25,11
2	Metil linoleat	41,858	10,87
3	Metil elaidat	42,031	57,88
4	Metil stearat	42,569	6,14

Berdasarkan pada tabel tersebut, metil ester yang terkandung pada biodiesel hasil transesterifikasi dengan katalis katalis  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2 M terdiri dari metil palmitat (25,11%), metil linoleat (10,87%), metil elaidat (57,88%), dan metil stearat (6,14%).

#### 4. Kesimpulan

Katalis  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  telah berhasil disintesis yang ditunjukkan dari data hasil karakterisasi FT-IR, XRD, dan SEM/EDX. Biodiesel terbanyak dihasilkan oleh katalis  $\text{Na}_2\text{O}/\text{ZrO}_2$  2 M sebanyak 85,5%. Biodiesel yang dihasilkan mengandung metil palmitat (63,44%), metil oleat (28,56%), metil linoleat (3,19%), metil miristat (2,41%), dan metil stearat (2,39%).

#### Daftar Pustaka

- Borges, M. E. & Díaz, L. 2012. Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions : A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 2839–2849.
- Enweremadu, C. C. & Mbarawa, M. M. 2009. Technical aspects of production and analysis of biodiesel from used cooking oil — A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2205–2224.
- Erna, N. & Wiwit, W. S. 2018. Pengolahan Minyak Goreng Bekas (Jelantah) Sebagai Pengganti Bahan Bakar Minyak Tanah (Biofuel) Bagi Pedagang Gorengan Di Sekitar Fmipaunnes. *Rekayasa*, 15(2), 89–95.
- Gude, V. G., Patil, P., Martinez-Guerra, & E., Deng, S., 2013. Microwave energy potential for biodiesel production. *Sustainable Chemical Processes*, 1(5), 1–31.
- Kuwahara, Y., Fujitani, T. & Yamashita, H. 2013. Esterification of levulinic acid with ethanol over sulfated mesoporous zirconosilicates: Influences of the preparation conditions on the structural properties and catalytic performances. *Catalysis Today*, 1–11.
- Lara-garcía, H. A., Romero-ibarra, I. C. & Pfeiffer, H. 2014. Journal of Solid State Chemistry Hierarchical Na-doped cubic  $\text{ZrO}_2$  synthesis by a simple hydrothermal route and its application in biodiesel production. *Journal of Solid State Chemistry*, 218, 213–220.
- Leung, D. Y. C., Wu, X. & Leung, M. K. H. 2010. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 87(4), 1083–1095.
- Li, Y., Ye, B., Shen, J., Tian, Z., Wang, L., Zhu, L., Ma, T., Yang, D., & Qiu F. 2013. Optimization of biodiesel production process from soybean oil using the sodium potassium tartrate doped zirconia catalyst under Microwave Chemical Reactor, *Bioresource Technology*, 137, 220–225.
- Lin, Y., Chen, S-C., Chen, C-E., Yang, P-M., & Jhang, S-R. 2014. Rapid Jatropa-biodiesel production assisted by a microwave system and a sodium amide catalyst. *Fuel*, 135, 435–442.
- Liu, S., Mcdonald, T. & Wang, Y. 2010. Producing biodiesel from high free fatty acids waste cooking oil assisted by radio frequency heating, *Fuel*, 89(10), 2735–2740.
- Omar, W.N.N., & Amin, N.A.S. 2011. Optimization of heterogeneous biodiesel production from waste cooking palm oil via response surface methodology. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1329–1338.
- Nurfitri, I., Manian, G.P., Hindryawati, N., Yusoff, M.M., & Ganesan, S. 2013. Potential of feedstock and catalysts from waste in biodiesel preparation : A review. *Energy Conversion and Management*, 74, 395–402.
- Patel, A., Brahmkhatri, V. & Singh, N. 2013. Biodiesel production by esterification of free fatty acid over sulfated zirconia, *Renewable Energy*. 51, 227–233.
- Patil, P. D., Gude, V.G., Camacho, L.M., & Deng, S. 2010. Microwave-Assisted Catalytic Transesterification of Camelina Sativa Oil. *Energy Fuels*, (14), pp. 1298–1304.
- Qiu, F., Li, Y., Yang, D., Li, X., & Sun, P. 2011. Heterogeneous solid base nanocatalyst : Preparation, characterization and application in biodiesel production, *Bioresource Technology*, 102(5), 4150–

4156.

Srilatha, K., Devi, B.L.A.P., Lingaiah, N., Prasad, R.B.N., and Prasad, P.S.S. 2012. Bioresource Technology Biodiesel production from used cooking oil by two-step heterogeneous catalyzed process', *Bioresource Technology*, 119, 306-311.

Takase, M., Zhang, M., Feng, W., Chen, Y., Zhao, T., Cobbina, S.J., Yang, L., and Wu, X. 2014. Application of zirconia modified with KOH as heterogeneous solid base catalyst to new non-edible oil for biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 80, 117-125.