

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KATALIS CaO-BENTONIT UNTUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK JELANTAH MENJADI BIODIESEL

James Sibarani*, Martha Zulfihardini, I Wayan Suarsa

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran-Badung, Bali-Indonesia

[*james_sibarani@unud.ac.id](mailto:james_sibarani@unud.ac.id)

ABSTRAK: Katalis basa heterogen paling banyak digunakan dalam produksi biodiesel. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan konsentrasi $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dan suhu optimum dalam sintesis katalis basa CaO-Bentonit sebagai katalis heterogen dalam proses reaksi transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. Bentonit terlebih dahulu diaktivasi dengan larutan NaOH 5% (b/v) kemudian dipanaskan pada suhu 500°C . Pembuatan CaO-Bentonit dilakukan dengan proses impregnasi larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dengan konsentrasi 0,10M; 0,25M; dan 0,50M pada bentonit teraktivasi tersebut dan dikalsinasi pada suhu 500°C sampai 700°C selama 5 jam. Karakterisasi CaO-Bentonit dilakukan dengan FTIR, XRD dan BET. Hasil karakterisasi CaO-Bentonit menunjukkan bahwa konsentrasi $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ dan suhu kalsinasi optimum berturut-turut adalah 0,10 M dan 700°C . Aplikasi dari katalis CaO-Bentonit tersebut pada proses transesterifikasi minyak jelantah menghasilkan biodiesel dengan rendemen sebesar 66,74% dan telah memenuhi standar baku mutu nasional Indonesia SNI.

Kata kunci: CaO-Bentonit, reaksi transesterifikasi, minyak jelantah, biodiesel

ABSTRACT: Heterogeneous base catalysts are commonly used in biodiesel production. The purpose of this study is to obtain the optimum concentration of aqueous solution of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and the optimum temperature in the synthesis of CaO-Bentonite catalysts for transesterification reaction of waste cooking oil to produce biodiesel. Firstly, the bentonite was activated with NaOH 5% (w/v) following by calcination at 500°C . Secondly, the activated bentonite was impregnated with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ solution with various concentration of 0.10M, 0.25M, and 0.50M and calcinated at temperature of 500°C , 600°C , and 700°C . The characterizations of the CaO-bentonite were conducted by FTIR, RXD, and BET. The results revealed that the optimum concentration of $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and the optimum calcination temperature were 0.1 M and 700°C , respectively. Application of the CaO-bentonite catalyst on transesterification reaction of waste cooking oil to biodiesel yielded 66.74% of biodiesel fulfilling the Indonesian Standard Qualities.

Keywords: CaO-Bentonite, transesterification, waste cooking oil, biodiesel

1. PENDAHULUAN

Biodiesel adalah salah satu bahan bakar alternatif yang digunakan untuk mesin diesel. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa berbagai minyak nabati maupun hewani digunakan sebagai bahan bakar alternatif (biodiesel). Biodiesel atau metil ester dapat diperoleh dengan

melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis asam atau basa. Katalis basa merupakan katalis yang paling banyak digunakan pada proses transesterifikasi untuk memproduksi biodiesel. Terdapat dua jenis katalis basa yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel, yaitu katalis basa homogen dan

katalis basa heterogen. Katalis basa heterogen seperti CaO, memiliki kemampuan katalisator yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan katalis basa homogen tetapi dapat menjadi alternatif yang baik dalam proses pembuatan biodiesel [1]. Stojković [2] telah menggunakan CaO pada reaksi transesterifikasi minyak bunga matahari dengan yield 98%. Namun, ketika CaO direaksikan langsung, ion oksigen (O^{2-}) pada permukaannya mudah membentuk ikatan hidrogen dengan metanol atau gliserol yang akan meningkatkan viskositas gliserol dan membentuk suspensi dengan CaO. Sehingga CaO maupun gliserol akan sulit dipisahkan [3]. Solusi yang bisa dilakukan adalah melakukan proses penambahan penunjang katalis pada CaO. Bentonit salah satu katalis heterogen yang sangat potensial sebagai penunjang katalis dalam pembuatan biodiesel. Selain penunjang katalis, bentonit ini membantu dalam pemisahan dengan asam lemak dalam minyak nabati.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah bentonit alam yang berasal dari Jawa Barat, minyak jelantah yang berasal dari minyak sisa rumahan, larutan $Ca(NO_3)_2$, NaOH, CH_3OH , C_2H_5OH 95%, KOH, $H_2C_2O_4$, dan HCl 37%.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat refluks, *hot plate*, tanur, pengaduk magnet, oven, cawan porselen, mortar, ayakan dengan ukuran 200 mesh, pipet mikro, timbangan analitik, desikator, piknometer, viskometer oswald, termometer, FTIR, NOVA 1000 *Gas Sorbtion Analyzer* dan X'PertProPANalytical.

2.2. Metode

Aktivasi bentonit dengan NaOH

Bentonit dipanaskan pada suhu $500^\circ C$ kemudian diaktivasi dengan NaOH 5% dengan rasio 1:10 (bentonit:NaOH) [4].

Campuran diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 12 jam pada suhu $60^\circ C$, lalu disaring dan dikeringkan didalam oven. Bentonit teraktivasi kemudian dikalsinasi pada suhu $500^\circ C$ selama 3 jam.

Sintesis CaO-Bentonit

Sebanyak 10 g bentonit teraktivasi diimpregnasi dengan larutan $Ca(NO_3)_2$ dengan konsentrasi 0,10 M; 0,25 M; 0,50 M selama 12 jam pada suhu $60^\circ C$ menggunakan pengaduk magnet dengan modifikasi dari Jurnal Kouzu [4,5]. Kemudian, campuran bentonit disaring dan bubuk $Ca(NO_3)_2$ dikeringkan di dalam oven pada suhu $110^\circ C$. Setelah itu bentonit kering dikalsinasi dengan variasi suhu $500^\circ C$, $600^\circ C$, dan $700^\circ C$ selama 5 jam. Lalu, katalis CaO-Bentonit digerus, diayak dan dikarakterisasi dengan XRD, FTIR, dan BET.

Penentuan situs basa katalis

Sebanyak 0,1 g katalis CaO-Bentonit dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 10 mL HCl 0,10 M sambil diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet selama 15 menit [5]. Lalu, ditambahkan 3 tetes indikator phenolphetalin dan dititrasi dengan larutan NaOH 0,10 N hingga terjadi perubahan warna menjadi merah muda. Volume NaOH yang didapatkan dicatat.

Sintesis biodiesel dari minyak jelantah

Sebanyak 1,5 g katalis CaO-Bentonit dan 51,3761 g metanol direfluks selama 1 jam pada suhu $60^\circ C$ diatas *hot plate* [6]. Lalu, 30 g minyak jelantah dimasukkan ke dalam campuran sambil tetap dipanaskan selama 3 jam. Kemudian, campuran didinginkan pada suhu kamar dan dipisahkan menggunakan corong pisah. Setelah terjadi pemisahan, biodiesel disaring dengan kertas saring dan dilakukan pengujian biodiesel viskositas, densitas, angka asam, kadar air.

2.3. Karakterisasi biodiesel

Penentuan densitas

Piknometer kosong ditimbang lalu dicatat beratnya. Kemudian, piknometer diisi dengan biodiesel lalu ditimbang, dicatat beratnya dan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali [7].

Penentuan viskositas

Viskometer otswald dibersihkan dengan aseton, lalu dimasukkan 5 mL sampel biodiesel dan dibiarkan cairan turun, dicatat waktu yang diperlukan untuk melewati 2 tanda batas pada viskometer [8].

Penentuan angka asam

Sebanyak 2 g sampel biodiesel dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Lalu, ditambahkan 20 mL etanol 95% [9]. Ditambahkan 2 tetes indikator PP kemudian dititrasi dengan larutan KOH 0,1 N dititrasi hingga terbentuk warna merah jambu yang stabil selama 10 detik dan dilakukan pengulangan tiga kali.

Penentuan kadar air

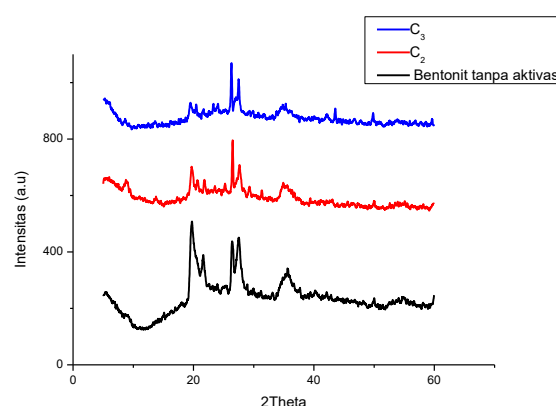
Sampel minyak jelantah sebanyak 2 g ditempatkan pada cawan porselin lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 104-106°C selama 2 jam [9]. Sampel diangkat dari oven dan didinginkan dalam desikator, setelah itu minyak ditimbang. Dilakukan penimbangan sampai bobotnya stabil (tidak berbeda lebih dari 0.005 %).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi struktur katalis dengan X-ray diffraction (XRD)

Pada Gambar 1 difraktogram bentonit tanpa katalis terdapat puncak 2θ : 9,0159°; 19,6161°; 26,3434°. Refleksi 2θ : 9°, 20°, 26°, 30°, 62° mengindikasikan keberadaan montmorilonit dalam bentonit [10]. Sedangkan, difraktogram katalis CaO-Bentonit dengan penambahan konsentrasi $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,25 M pada suhu kalsinasi 500°C (C_2) terdapat puncak pada 2θ : 21,81°

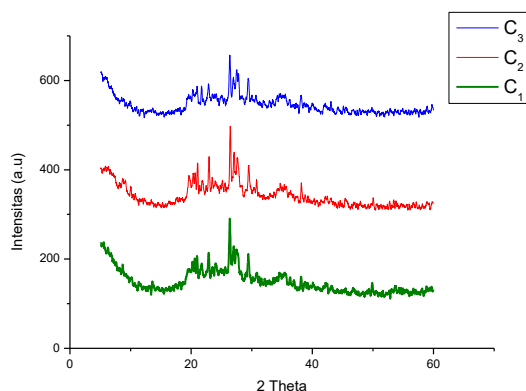
yang mengindikasikan puncak kuarsa dan puncak pada 2θ : 31,36° mengindikasikan puncak kristobalit. Refleksi sekitar 2θ : 34° menunjukkan adanya kristal Na_2O yang terbentuk selama aktivasi dengan NaOH [4]. Pada difraktogram katalis CaO-Bentonit dengan penambahan konsentrasi $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,50 M dengan suhu kalsinasi 700°C (C_3) terdapat puncak pada 2θ : 27,80° yang mengindikasikan puncak mineral illit sesuai dengan JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) No.24-0495 yang digunakan sebagai data pembanding [11].



Gambar 1. Spektra XRD dari bentonit, CaO- bentonit dengan penambahan konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,25 M (C_2), CaO-bentonit dengan penambahan konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,50 M (C_3).

Pada Gambar 1 terlihat bahwa kristalinitas pada katalis CaO-Bentonit dengan penambahan konsentrasi $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,1 M dan 0,25 M memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran partikel dari bentonit tanpa aktivasi. Hal ini bisa diperkuat karena intensitas pada pola difraksi XRD berhubungan dengan tingkat kristalinitas dimana umumnya semakin tinggi kristalinitas maka semakin besar ukuran partikelnya [12]. Spektra XRD dari katalis CaO-Bentonit dengan penambahan konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,10 M (C_1), 0,25 M (C_2) dan 0,50 M (C_3) menunjukkan puncak yang cenderung sama setelah diimpregnasi dengan katalis CaO yang mengindikasikan bahwa sampel tersebut

memiliki fase yang sama. Hal ini terjadi karena CaO tidak merubah struktur dari bentonit tersebut.



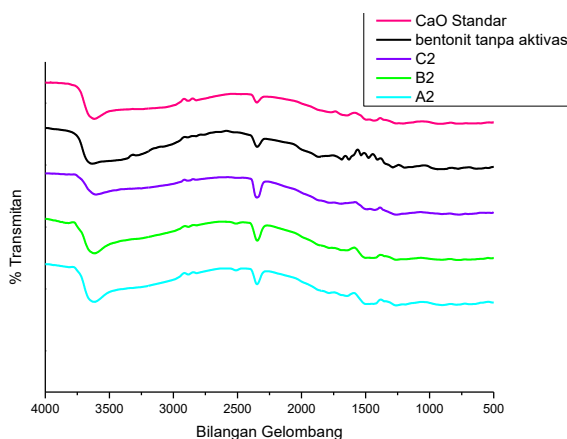
Gambar 2. Spektra XRD CaO-Bentonit dari proses impregnasi menggunakan konsentrasi $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,10 M (C₁), 0,25 M (C₂), 0,50 M (C₃)

Karakterisasi gugus fungsi dengan FTIR

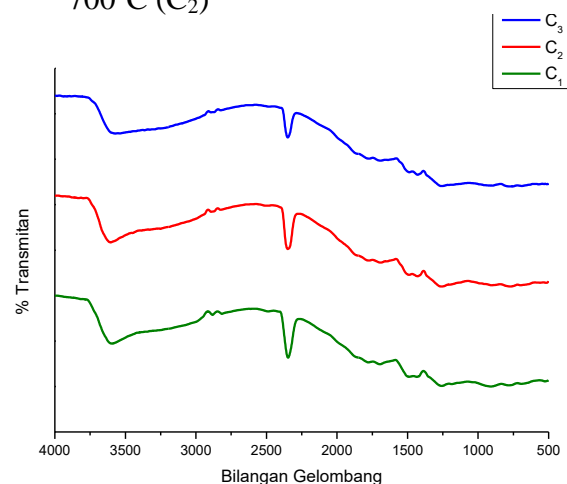
Analisis FTIR dilakukan pada bilangan gelombang 4000-500 cm^{-1} . Spektra inframerah bentonit murni pada Gambar 3 adanya pita gugus OH di daerah sekitar 3631,96 cm^{-1} , pita C=C aromatik muncul pada bilangan gelombang 1535,34 cm^{-1} dan pita CH asitilen pada bilangan gelombang 2345,44 cm^{-1} [13]. Pada spektra inframerah kalsium oksida (CaO) standar menunjukkan adanya pita gugus OH di daerah sekitar 3732,26 cm^{-1} , pita C=O stretching muncul pada bilangan gelombang 1697,36 cm^{-1} hal ini diperkuat dengan C=O bending pada bilangan gelombang 1245,61 cm^{-1} dan pita Ca=O pada daerah sekitar 491,85 cm^{-1} . Pada Gambar 3 menunjukkan adanya puncak yang muncul pada ketiga katalis CaO-Bentonit yang dihasilkan dari variasi suhu 500°C, 600°C dan 700°C pada proses kalsinasi secara umum hampir sama.

Gambar 4 menunjukkan spektra hasil katalis CaO-Bentonit yang dihasilkan dari variasi konsentrasi dengan suhu kalsinasi 700°C terlihat bahwa puncak OH berturut-turut sebesar 3597,24 cm^{-1} , 3604,96 cm^{-1} , dan 3595,31 cm^{-1} . Puncak tersebut

mengalami pergeseran yang tidak terlalu signifikan. Bilangan gelombang pada daerah serapan 2347,37 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan CH pada katalis CaO-Bentonit yang dihasilkan dari penambahan konsentrasi $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,1 M dengan suhu kalsinasi 700°C pada Gambar 4 menunjukkan puncak yang tajam. Berdasarkan variasi konsentrasi katalis CaO-Bentonit semakin bertambah konsentrasi hanya mengalami pergeseran bilangan gelombang saja dengan gugus fungsi yang sama.



Gambar 3. Spektra FTIR Bentonit murni, CaO standar, dan atalis CaO-Bentonit yang dihasilkan dari variasi suhu kalsinasi 500°C (A₂), 600°C (B₂) dan 700°C (C₂)



Gambar 4. Spektra Katalis CaO-Bentonit yang dihasilkan dari variasi penambahan konsentrasi larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0,10 M (C₁), 0,25 M (C₂) dan 0,50 M (C₃) dengan suhu kalsinasi 700°C.

Tabel 1. Nilai Kebasaan Permukaan dan Situs Aktif Basa Katalis

Sampel Katalis	Kebasaan Permukaan (mmol/g)	Situs aktif basa (atom/g)
A ₁	19,6690 ± 0,0056	11,8446 x 10 ²¹
A ₂	19,6735 ± 0,0205	11,8473 x 10 ²¹
A ₃	19,6590 ± 0	11,8386 x 10 ²¹
B ₁	18,9760 ± 0,9446	11,4273 x 10 ²¹
B ₂	18,9835 ± 0,9553	11,4318 x 10 ²¹
B ₃	19,6585 ± 0,0205	11,8383 x 10 ²¹
C ₁	19,7240 ± 0,0232	11,8777 x 10 ²¹
C ₂	19,6875 ± 0,0205	11,8558 x 10 ²¹
C ₃	19,6880 ± 0	11,8561 x 10 ²¹

A₁ = Katalis CaO-Bentonit dengan konsentrasi 0,10 M pada suhu kalsinasi 500°C
A₂ = Katalis CaO-Bentonit dengan konsentrasi 0,25 M pada suhu kalsinasi 500°C
A₃ = Katalis CaO-Bentonit dengan konsentrasi 0,50 M pada suhu kalsinasi 500°C
B₁ = Katalis CaO-Bentonit dengan konsentrasi 0,10 M pada suhu kalsinasi 600°C
B₂ = Katalis CaO-Bentonit dengan konsentrasi 0,25 M pada suhu kalsinasi 600°C
B₃ = Katalis CaO-Bentonit dengan konsentrasi 0,50 M pada suhu kalsinasi 600°C
C₁ = Katalis CaO-Bentonit dengan konsentrasi 0,10 M pada suhu kalsinasi 700°C
C₂ = Katalis CaO-Bentonit dengan konsentrasi 0,25 M pada suhu kalsinasi 700°C
C₃ = Katalis CaO-Bentonit dengan konsentrasi 0,50 M pada suhu kalsinasi 700°C

Kebasaan permukaan katalis

Kebasaan permukaan katalis pada reaksi transesterifikasi dapat meningkatkan aktifitas katalis sehingga berpengaruh terhadap *yield* biodiesel. Semakin tinggi kebasaan katalis, maka semakin tinggi *yield* biodiesel yang dihasilkan. Selain itu kekuatan basa katalis memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap *yield* biodiesel dibandingkan dengan pengaruh luas permukaan katalis [14]. Karakterisasi kebasaan permukaan katalis dilakukan dengan titrasi asam basa. Nilai kebasaan permukaan tertinggi yaitu pada sampel B₁ yaitu sebesar 18,9760 ± 0,9446 mmol g⁻¹ dengan jumlah situs aktif basa sebesar 11,4273 x 10²¹ atom g⁻¹

Luas permukaan spesifik

Luas permukaan spesifik katalis ditentukan dengan metode BET dimana prinsipnya yaitu menghitung jumlah gas yang teradsorpsi pada permukaan bahan yang dikarakterisasi. Berdasarkan hasil dari kebasaan permukaan yang tidak terlalu

memberikan efek yang signifikan, luas permukaan spesifik katalis CaO-Bentonit hanya salah satu sampel katalis yang dikarakterisasi dengan metode BET. Hasil karakterisasi luas permukaan spesifik katalis menunjukkan bahwa katalis CaO-Bentonit yang dihasilkan dari penambahan konsentrasi Ca(NO₃)₂ 0,25 M dengan proses suhu kalsinasi 700°C (C₂) memiliki luas permukaan sebesar 1,974 m²/g. Kecilnya luas permukaan katalis ini mungkin disebabkan karena proses preparasi katalis dan proses kalsinasi [15]. Ukuran pori rata-rata dari katalis meningkat karena runtuhnya pori-pori kecil dari dukungan bentonit selama langkah impregnasi. Peningkatan luas permukaan pada material yang difungsikan sebagai katalis, umumnya akan meningkatkan kinerja katalis tersebut dalam hal aktivitasnya.

Karakterisasi biodiesel hasil reaksi transesterifikasi minyak jelantah menggunakan katalis CaO-Bentonit

Tabel 2. Karakterisasi Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Jelantah Menggunakan Katalis dan Tanpa Katalis yang Dibandingkan dengan SNI

	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (cSt)	Angka Asam (mg-KOH/g)	Kadar Air (%)
Bentonit	923	19,00	1	0,1
Bentonit teraktivasi NaOH	921	16,61	0,8	0,06
C ₁	890	6,7	0,6	0,01
C ₂	890	7,6	0,6	0,03
C ₃	889	7,3	0,7	0,04
Tanpa katalis	935	22,00	2,4	0,1
SNI	850-890	2,3-9,0	Maks 0,8	Maks 0,05

Pada reaksi transesterifikasi, mula-mula katalis direaksikan dengan metanol agar terbentuk spesi metoksi yang merupakan inisiator reaksi transesterifikasi. Selama reaksi berlangsung suhu harus tetap dijaga karena suhu merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi reaksi. Suhu reaksi diatur sesuai dengan zat yang memiliki titik didih terendah yakni metanol (titik didih metanol 65°C) apabila reaksi dilakukan pada suhu penangas diatas titik didih metanol maka metanol akan lebih cepat habis menguap, namun apabila suhu reaksi terlalu rendah reaksi pembentukan metil ester menjadi lebih lambat. Setelah melalui reaksi transesterifikasi sifat fisik yang terlihat pada minyak jelantah mengalami perubahan menjadi lebih jernih dan encer. Perubahan tersebut mengindikasikan bahwa minyak jelantah sudah menjadi biodiesel. Biodiesel pada rasio molar minyak:metanol adalah 1:15 dengan katalis CaO-Bentonit 5% menghasilkan rendemen sebesar 66,74%.

Biodiesel yang dianalisis adalah biodiesel yang dihasilkan dengan penambahan larutan Ca(NO₃)₂ dengan variasi konsentrasi 0,10 M (C₁), 0,25 M (C₂) dan 0,50 M (C₃) pada suhu kalsinasi 700°C, bentonit tanpa katalis dan bentonit teraktivasi NaOH. Berdasarkan Tabel 2 biodiesel yang diperoleh dari penggunaan ketiga katalis hasil transesterifikasi mampu melakukan proses reaksi transesterifikasi minyak jelantah menjadi metil ester. Hal ini bisa dilihat dari nilai densitas, viskositas,

angka asam dan kadar air yang mengalami penurunan sesuai dengan standar baku mutu yang ditetapkan dalam SNI-04-7128-2006. Untuk bentonit tanpa katalis dan bentonit teraktivasi NaOH masih belum berada dalam standar, hal ini dikarenakan bentonit hanya digunakan sebagai *support* atau adsorben. Berikut hasil pengujian biodiesel yang dibandingkan dengan minyak jelantah (tanpa katalis) disajikan dalam Tabel 2 dihasilkan dengan penambahan larutan Ca(NO₃)₂ dengan variasi konsentrasi 0,1 M (C₁), 0,25 M (C₂) dan 0,5 M (C₃) pada suhu kalsinasi 700°C.

4. KESIMPULAN

Pembuatan katalis heterogen CaO-Bentonit untuk reaksi transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel sudah berhasil dilakukan. Konsentrasi larutan Ca(NO₃)₂ dan suhu kalsinasi yang optimum untuk mendapatkan katalis CaO-Bentonit adalah larutan Ca(NO₃)₂ 0,10 M dan suhu kalsinasi sebesar 700°C. Karakterisasi biodiesel hasil reaksi transesterifikasi minyak jelantah menggunakan katalis CaO-Bentonit telah memenuhi SNI-04-7182-2006

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wei Z., Xu C., Liu B., 2009. Application of Waste Eggshell as Low-Cost Solid Base Catalyst for Biodiesel Production, *Journal Bioresource Technology*, 100 (11): 6362-6368.

- [2] Stojković, Ivan J., Stamenković O., S., Dragan S., Povrenović, Veljković V., B., 2014. Purification Technologies For Crude Biodiesel Obtained By Alkali-Catalyzed Transesterification, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32 (3): 1-15.
- [3] Liu C., L., V., Pengmei, Yuan Z., F., Yan, W., Luo, 2009. The Nanometer Magnetic Solid Base Catalyst For Production of Biodiesel, *Journal Renewable Energy*, 35 (7): 1531-1536.
- [4] Ali B., Yusup S., Armando T., Quitain, Alnarabiji M., S., Ruzaimah N., M., Kamil., Kida T., 2018. Synthesis of Novel Graphene Oxide/Bentonite bi-functional Heterogeneous Catalyst for One-pot Esterification and Transesterification Reactions, *Journal Elsevier Energy Conversion and Management*, 171 (1): 1801-1812.
- [5] Kouzu, M., Kazuno T., Tajika M., Sugimoto Y., Yamanaka S., Hidaka J., 2008. Calcium Oxide as a Solid Base Catalyst for Transesterification of Soybean Oil and its Application to Biodiesel Production, *Journal Fuel*, 87 (12): 2798- 2806.
- [6] Setiowati R., Nurhayati, Linggawati A., 2014. Produksi Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Menggunakan Katalis CaO Cangkang Kerang Darah Kalsinasi 900°C, *Jurnal Online Mahasiswa FMIPA Universitas Riau*, 1 (2): 383-388.
- [7] Yusuf M., M., F., 2010. Sintesis dan Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Biji Karet (*Hevea Brasiliensis*) Melalui Proses Estrans (Esterifikasi-Transesterifikasi), Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [8] Laila L., Oktavia L., 2017. Kaji Eksperimen Angka Asam dan Viskositas Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit dari PT. Smart TBK, *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, 2 (1): 27-31.
- [9] Badan Standarisasi Nasional, 2013. *SNI No. 01-3741 Minyak Goreng*, <<http://sispk.bsn.go.id/SNI/DetailSNI/9013>> tanggal akses 30 April 2019.
- [10] Soetaredjo F., A., Ayucitra A., Ismadji S., Maukar A., L., 2011. KOH/Bentonite Catalysts for Transesterification of Palm Oil to Biodiesel, *Journal Elsevier Applied Clay Science*, 53 (2): 341-346.
- [11] Hidayat M., T., Nugraha I., 2018. Kajian Kinerja Ca-Bentonit Kabupaten Pacitan-Jawa Timur Teraktivasi Asam Sulfat Sebagai Material Lepas Lambat (Slow Release Material) Pupuk Organik Urin Sapi, *Indonesian Journal of Materials Chemistry*, 1 (1): 27-37.
- [12] Horiba Scientific, 2010. *A Guidebook to Particle Size Analysis*, Horiba Instruments Inc, USA
- [13] Ruiz M.G., Hernández J., Baños L., Montes J.N., and García M.E.R., 2009. Characterization of Calcium Carbonate, Calcium Oxide, and Calcium Hydroxide as Starting Point to the Improvement of Lime for Their Use in Construction, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21 (11): 694- 698.
- [14] Helwani Z., Yoesepha W., Saputra E., 2016. Produksi Biodiesel dari Minyak Sawit Off Grade Menggunakan Katalis $\text{Na}_2\text{O}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ Pada Tahap Transesterifikasi, *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 3 (2): 1-8.
- [15] Wistanto E., Trisuryananti W., Triyono., 2010. *Preparasi dan Karakterisasi Katalis Ni/Zeolit Alam Aktif*, *Prosiding: Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta.