

PROSES PRODUKSI KATALIS $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ DENGAN METODE IMPREGNASI DALAM PEMBUATAN BIODIESEL DARI MINYAK KELAPA

Production Process of $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ using Impregnation Method in Biodiesel Production from Coconut Oil

Andi Suryanto¹, Wahyuni²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo Km. 05 Makassar, Sulawesi Selatan

²Balai Besar Industri Hasil Perkebunan, Jl. Prof. Abdurahman Basalamah No.28 Makassar, Sulawesi Selatan
e-mail: a.suryanto@umi.ac.id

Abstract: Biodiesel is an alternative energy to replace diesel fuel in diesel engines. Biodiesel is produced through the transesterification reaction of vegetable oils. Biodiesel from vegetable oil is a new, renewable and environmentally friendly energy. This study aims to determine the effect of $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ catalyst on biodiesel recovery. Making biodiesel requires a solid catalyst $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ which is produced by impregnation method and characterized by XRD and SEM tests. The results of the XRD test showed the presence of densely attached lumps at an angle of 29.57 and 43.34 and the results of the morphology test of CaO had almost the same grain with a particle size of 5.844 μm . Yield of methyl ester with coconut oil as raw material at mole ratio 1:9 with catalyst concentration of 2.5% with a reaction time of 3 minutes by microwave heating of 35%. Biodiesel is characterized by a viscosity value of 2.6 mm^2/s , a density of 0.86 gr/mL and an acid number value. The characteristics of the biodiesel produced have met the SNI standard.

Keywords: biodiesel, transesterification, $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, coconut oil.

Abstrak: Biodiesel merupakan energi alternatif pengganti bahan bakar solar pada mesin diesel. Biodiesel diproduksi melalui reaksi transesterifikasi dari minyak nabati. Biodiesel dari minyak nabati merupakan energi baru terbarukan dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh katalis $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ terhadap perolehan biodiesel. Pembuatan biodiesel menggunakan katalis padatan $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yang diproduksi dengan metode impregnasi dan dikarakterisasi dengan uji XRD dan SEM. Hasil uji XRD menunjukkan adanya gumpalan yang menempel padat sudut 29,57 dan 43,34 ° serta hasil uji morfologi CaO mempunyai butiran yang hampir sama dengan ukuran partikel 5,844 μm . Perolehan *yield* metil ester dengan bahan baku minyak kelapa pada ratio mol 1:9 konsentrasi katalis 2,5% dengan waktu reaksi 3 menit pemanasan microwave sebesar 35%. Biodiesel dikarakterisasi dengan nilai viskositas 2,6 mm^2/s , densitas 0,86 gr/mL dan nilai angka asam. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan telah memenuhi standar SNI.

Kata kunci: biodiesel, transesterifikasi, $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, minyak kelapa.

PENDAHULUAN

Pengembangan energi baru terbarukan menjadi solusi dalam mengatasi kelangkaan energi BBM khususnya dari bahan baku fosil. Dalam mengantisipasi kemungkinan akan terjadinya kelangkaan energi fosil pemerintah dengan gencar mencanangkan pengembangan energi alternatif yang dapat diperbaharui. Disamping itu penggunaan minyak bumi juga membawa dampak yang negatif terhadap lingkungan. Kajian ekologi modern dan lingkungan hidup (*environmental studies*) yang dilakukan

oleh para ilmuwan menerangkan bahwa pembakaran bahan bakar fosil sangat mungkin mengubah susunan dan kandungan gas-gas yang berada di lapisan atas atmosfer bumi. Kondisi ini kemungkinan akan meningkatkan suhu rata-rata permukaan bumi. Untuk menghindari terjadinya krisis bahan bakar dan kerusakan lingkungan berbagai upaya untuk mencari sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan semakin digalakkan.

Beberapa minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku

pembuatan biofuel adalah *palm oil*, minyak nyamplung, minyak bunga matahari, minyak jarak dan minyak kedelai, minyak biji kapuk dan minyak kelapa. Penggunaan minyak kelapa (*coconut oil*) sebagai bahan bakar telah dimulai sejak Perang Dunia kedua. Termasuk juga yang dilakukan oleh sebagian masyarakat di Indonesia, yaitu menggunakan minyak kelapa sebagai bahan bakar lampu penerang. Indonesia, sebagai negara yang memiliki luas kelapa terbesar memiliki potensi sangat besar mengembangkan bahan bakar dari minyak kelapa, khususnya bagi daerah terpencil, dimana bahan bakar sering langka dan mahal, sementara pemanfaatan kelapa dan harganya masih rendah. Pengembangan di daerah lainnya yang dekat perkotaan perlu pertimbangan lebih lanjut mengingat nilai tambah untuk menghasilkan produk lainnya masih lebih tinggi.

Pembuatan biodiesel dapat dilakukan dengan mereaksikan minyak nabati (kelapa) dengan suatu alkohol dengan penambahan katalis. Beberapa penelitian menunjukkan dengan menggunakan katalis padat menghasilkan *yield* produk lebih tinggi tetapi membutuhkan konsentrasi yang besar dan waktu yang lama, kualitas produk metil ester dan hasil samping gliserol lebih baik (Furuta *et al.*, 2006), proses pemisahan katalis dengan hasil reaksi jauh lebih mudah (Di Serio *et al.*, 2007), proses menjadi lebih ramah lingkungan, dan biaya produksi metil ester menjadi lebih ekonomis (Di serio *et al.*, 2007, Ilgen *et al.*, 2008, Zabeti *et al.*, 2009). Penggunaan katalis asam membutuhkan waktu reaksi yang paling lama dan suhu reaksi yang relatif lebih tinggi (Furuta *et al.*, 2006, Marchetti *et al.*, 2007). Peran katalis yang mempengaruhi konversi, *yield* metil ester yang diinginkan. Dalam suatu reaksi sifat katalis yang ideal atau yang diharapkan adalah aktif, selektif, stabil dan ekonomis. Aktif berarti dapat mempercepat reaksi pembentukan produk antara akibat adanya interaksi antar reaktan. Selektif berarti dapat

memperbesar produk utama dan memperkecil produk samping dari reaksi katalisis. Stabil berarti katalis tidak merubah sifat dan kimianya setelah reaksi selesai. Ekonomis berarti pertimbangan biaya jika reaksi dilangsungkan dengan jumlah katalis yang sedikit dan dapat menghasilkan produk yang lebih baik. Dengan demikian pemilihan katalis yang akan digunakan mempertimbangkan fungsi dari jenis katalisnya. Pengembangan katalis bisa dilakukan dengan berbagai metode salah satunya adalah metode *impregnasi*. Metode yang banyak digunakan dalam *preparasi* katalis adalah metode *impregnasi* dimana katalis dibuat dengan menempelkan logam aktif kedalam suatu bahan penyangga. Proses pembuatannya lebih sederhana, mudah dilakukan dan murah bila dibandingkan *sol-gel* dan *ko-presipitasi*. Dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bahan CaO dan γ -Al₂O₃.

Pengembangan proses reaksi dapat dilakukan dengan menggunakan energi pancaran gelombang elektromagnetik. Gelombang mikro merupakan salah satu sumber energi yang dapat digunakan pada suatu reaksi yang dapat mempercepat proses reaksi berlangsung (Suryanto *et al.*, 2018). Jika proses reaksi transesterifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan *microwave* sebagai sumber energi yang dapat menurunkan penggunaan jumlah katalis dengan waktu yang singkat dan tekanan atmosferik akan lebih baik dan efisien apabila dibandingkan dengan metode konvensional dan superkritis yang sudah dilakukan selama ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh katalis CaO/ γ -Al₂O₃ terhadap perolehan biodiesel menggunakan pemanasan gelombang mikro.

METODOLOGI

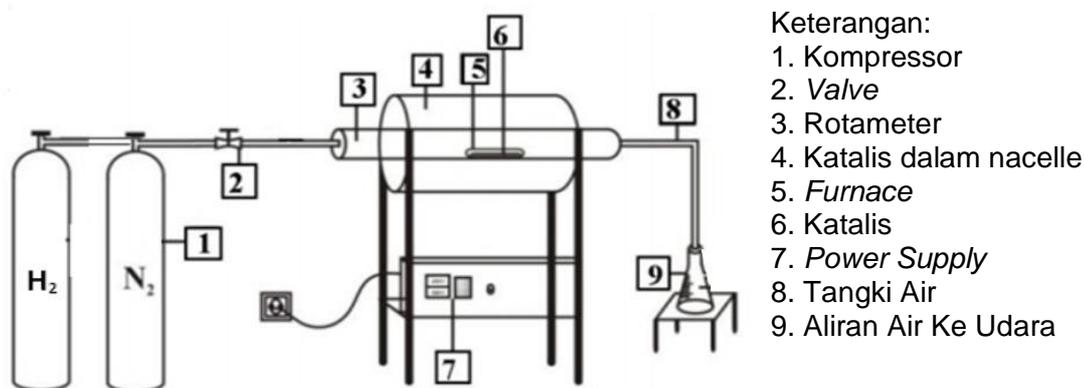
Preparasi Katalis CaO/ γ -Al₂O₃

Katalis CaO/ γ -Al₂O₃ dipreparasi dengan metode *impregnasi* kering (*wet impregnation method*) yang dikembangkan oleh Nagaraju

Pasupulety *et al.*, (2020) dengan prosedur sebagai berikut: Kalsium oksida (CaO) dengan konsentrasi sebesar 20% *loading* (terhadap alumina yang berfungsi sebagai *support*) untuk disintesa, kemudian ditambahkan 100 mL aquades dalam sebuah *beaker glass*. Konsentrasi katalis yang digunakan adalah 0,5; 1; 1,5; 2 dan 2,5% (b/b) dengan waktu reaksi 3 menit. Hasil sintesa kemudian ditambahkan 10 gram $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ diikuti dengan pengadukan selama 3 jam menggunakan *magnetic stirrer*. *Slurry* yang terbentuk dipanaskan pada suhu 120 °C di dalam oven selama 12 jam untuk menghilangkan kandungan air

dan kemudian dikalsinasi dalam *muffle furnace* pada suhu 650 °C dengan aliran gas nitrogen selama 2 jam dan dilanjutkan dengan aliran gas hidrogen selama 3 jam.

Katalis hasil kalsinasi didinginkan hingga suhu kamar lalu disimpan dalam deksikator. Katalis dikarakterisasi dengan metode XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui difraktogram katalis dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) untuk mengetahui morfologi ukuran partikel. Rancangan peralatan yang digunakan pada proses kalsinasi seperti pada Gambar 1.

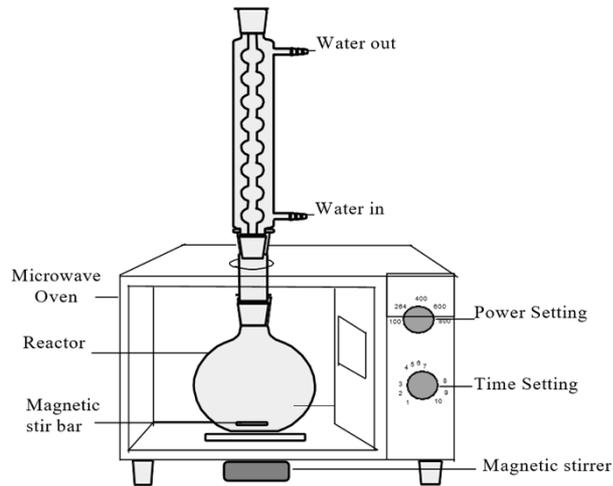


Gambar 1. Rangkaian Peralatan Pembuatan Katalis $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Reaksi Transesterifikasi

Seperangkat alat utama pada penelitian ini berupa *Microwave Electrolux* model EMM2007X dengan frekuensi 50 Hz, tegangan listrik 220 Volt dan daya maksimum sebesar 800 Watt dengan pengaturan waktu 0 sampai 30 menit. Reaktor pada

penelitian ini terdiri dari kaca labu alas datar yang dilengkapi dengan alat kondensor dan pengaduk pada bagian bawah *microwave*. Rancangan alat sintesis biodiesel dengan *microwave* dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2.
Peralatan pada
Transesterifikasi
Menggunakan

Rangkaian
Proses
Biodiesel dengan
Microwave

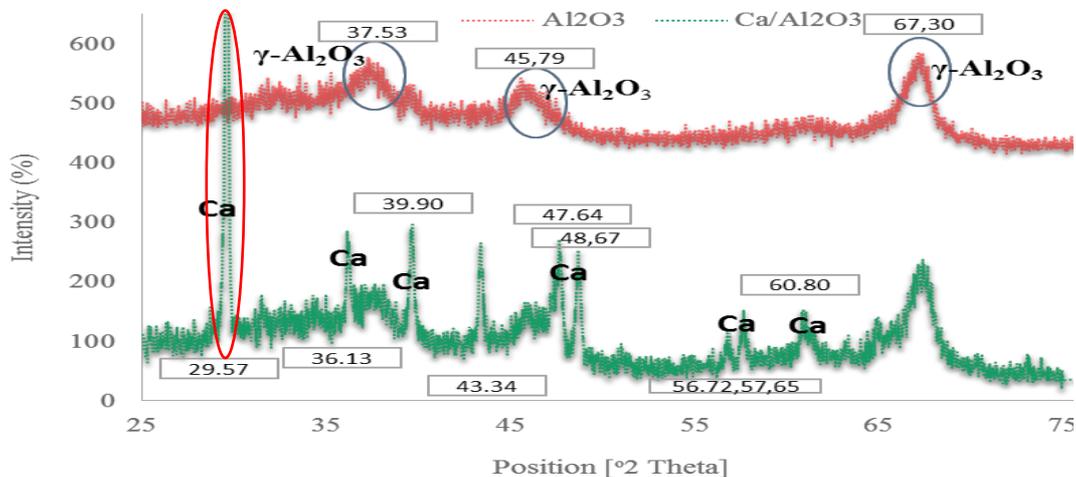
(Suryanto, Suprpto dan Mahfud, 2015)

Penelitian dilakukan dengan melarutkan katalis sebanyak 0,25% (b/b) kedalam metanol dengan ratio minyak dan metanol 1:9 mol serta diaduk dengan *magnetik stirrer*. Campuran metanol dan katalis dimasukkan kedalam reaktor dalam *microwave* dengan 240 Watt. Proses ini dilakukan pada semua variabel rasio minyak-metanol, jenis dan konsentrasi katalis 2,5% serta daya microwave (Mahfud *et al.*, 2018). Setelah proses reaksi selesai produk yang terbentuk dimasukkan kedalam corong pisah dan diamkan selama 3 s/d 6 jam sampai terjadi dua lapisan. Kedua lapisan yang terbentuk dipisahkan dimana lapisan atas adalah metil ester dan lapisan bawah adalah gliserol. Produk metil ester dilakukan pencucian dengan

penambahan aquades sebanyak 30% volume produk yang dipisahkan. Selanjutnya metil ester dipanaskan dalam oven pada suhu 110 °C selama 1 jam. Selanjutnya produk yang terbentuk dianalisis dan dibandingkan dengan karakteristik bahan bakar minyak komersil.

HASIL DAN PEMBAHASAN Difraksi Sinar-X (XRD) CaO/ γ -Al₂O₃

Pada tahapan preparasi ini dilakukan *loading* sebesar 20% CaO kedalam penyangga γ -Al₂O₃ untuk membentuk CaO/ γ -Al₂O₃. Adapun hasil analisis dari hasil *impregnasi* tersebut sebagaimana pada Gambar 3 berikut.



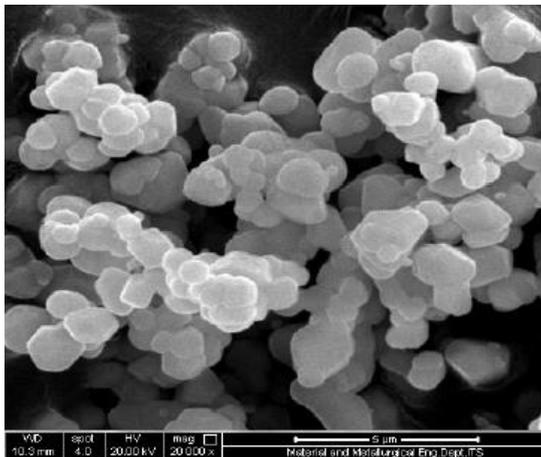
Gambar 3. Hasil Impregnasi Preparasi Katalis CaO dan γ -Al₂O₃

Gambar 3. menunjukkan hasil analisis XRD (*X-ray diffraction*) untuk mengetahui bentuk kristalinitas katalis dan difraktogram katalis. Hasil analisis memperlihatkan pola difraktogram katalis $\text{Ca}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ini menggambarkan bahwa *peak* Ca muncul pada sudut 2θ yaitu: $29,57^\circ$; $36,13^\circ$; $39,90^\circ$; $43,34^\circ$; $47,64^\circ$; $48,67^\circ$; $56,72^\circ$; $57,65^\circ$ dan $60,80^\circ$. Sedangkan *peak* $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ muncul pada sudut 2θ , yaitu: $37,53^\circ$, $45,79^\circ$ dan $67,30^\circ$. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa Ca terdispersi dengan baik pada support $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, sehingga dapat disimpulkan bahwa promotor Ca menempel pada support $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Ukuran kristalin ditentukan berdasarkan pelebaran puncak difraksi X yang muncul.

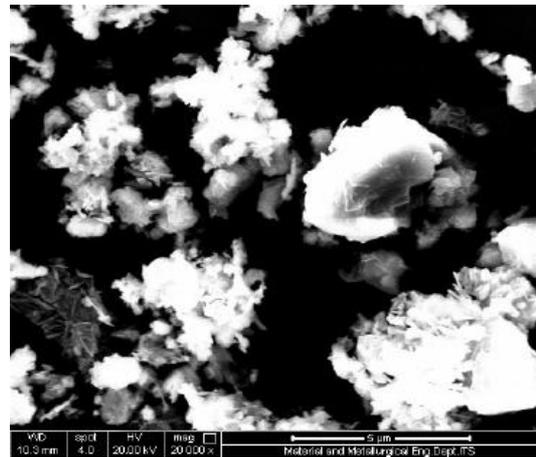
Morfologi Partikel

Karakterisasi dengan SEM ini bertujuan untuk melihat morfologi dan ukuran dari katalis. Hasil SEM ini dilakukan pada perbesaran 5.000 s/d 25.000 untuk masing masing katalis. Berikut gambar SEM dengan perbesaran 20.000 CaO dan $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. Analisa SEM CaO

Dari Gambar 4 menunjukkan hasil analisis CaO menggunakan SEM terlihat bahwa morfologi katalis CaO mempunyai butiran partikel $5,844 \mu\text{m}$ hampir sama dengan hasil penelitian yang dilakukan Emsal Yanuar *et al.*, 2019, sedangkan pada Gambar 5 memperlihatkan morfologi dengan adanya gumpalan gumpalan yang menempel pada permukaan alumina. Hal ini menunjukkan adanya penempelan oksida logam pada permukaan katalis dan tampak bahwa bentuk partikel setelah loading CaO 20% tidak mengalami perubahan yang signifikan, ini membuktikan bahwa sebagian CaO terdispersi baik pada pori



Gambar 5. Analisa SEM $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$

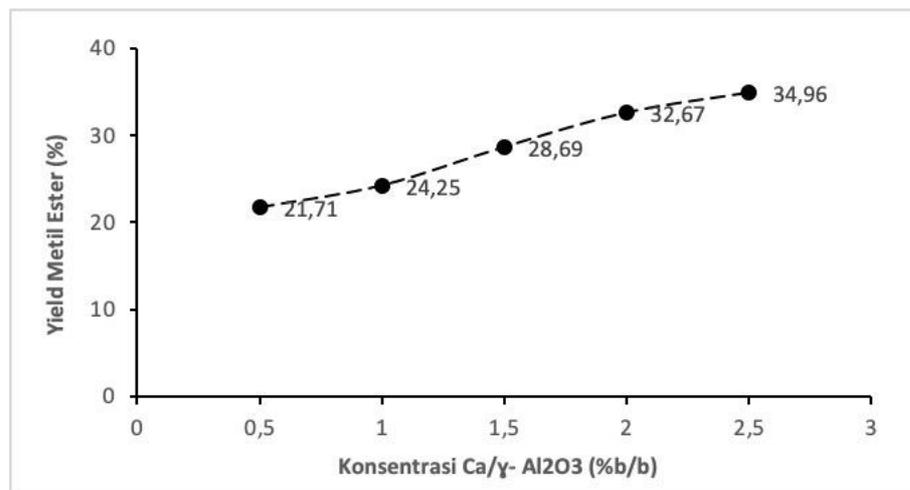
alumina (Xie W *et al.*, 2006). Ukuran partikel katalis $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ adalah $2,914 \mu\text{m}$.

Katalis yang berukuran mesoporus mempunyai kemampuan yang besar untuk menghasilkan produk yang banyak, karena bahan yang bersifat porous mempunyai peluang yang lebih besar untuk terjadinya kontak dengan bahan lainnya dan dapat digunakan pada suhu yang tinggi walaupun dengan konsekuensi deaktivasi katalis (Xie W *et al.*, 2006, Zhang S *et al.*, 2010). Hal ini juga didukung dengan hasil analisis XRD $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ muncul puncak-puncak dari kristal kalsium.

Uji Katalis Ca/γ-Al₂O₃ pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa

Hasil *impregnasi* katalis CaO/Al₂O₃ dilakukan uji aktifitas katalis pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa dan metanol dengan ratio 1:9 mol dengan bantuan pemanasan *microwave*. Penggunaan katalis dari 0,5; 1; 1,5; 2 dan 2,5% (b/b)

menunjukkan adanya peningkatan perolehan *yield*. Pada konsentrasi katalis 0,5 hingga 1,5% (b/b) diperoleh *yield* sebesar 22% naik menjadi 29% dan pada konsentrasi 2% (b/b) diperoleh *yield* sebesar 35%. Perolehan *yield* metil ester dari minyak kelapa menjadi metil ester dengan variasi konsentrasi dan perubahan waktu seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Konsentrasi Katalis CaO/γ-Al₂O₃ terhadap *yield* metil ester

Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan peningkatan jumlah katalis pada reaksi transesterifikasi sangat berpengaruh terhadap konstanta dan laju reaksi ini menunjukkan peningkatan perolehan *yield* yang terbentuk. Peningkatan jumlah katalis pada reaksi transesterifikasi sangat berpengaruh terhadap konstanta dan laju reaksi karena secara langsung dapat menurunkan energi aktivasi. Sesuai dengan hukum Arrhenius turunnya energi aktivasi menyebabkan naiknya konstanta kecepatan reaksi. Naiknya konstanta kecepatan reaksi berdampak terhadap peningkatan kecepatan reaksi karena konstanta kecepatan reaksi berbanding lurus terhadap kecepatan reaksi.

Uji aktifitas katalis CaO/γ-Al₂O₃ pada reaksi transesterifikasi dengan bahan baku minyak kelapa dengan

waktu reaksi 3 menit dengan konsentrasi katalis dari 2% sampai 2,5% (b/b) pada ratio molar 1:9 menunjukkan konversi reaksi 34,42% dan hasil karakterisasi standar diperoleh pengukuran viskositas sebesar 2,78 mm/s² dan densitas sebesar 0,857 gr/mL. Penggunaan katalis heterogen CaO/γ-Al₂O₃ belum menunjukkan perolehan *yield* yang besar karena hanya menggunakan waktu reaksi 3 menit sebagai uji aktifitas katalis yang dihasilkan.

Penggunaan katalis sangat diperlukan pada reaksi transesterifikasi. Katalis akan memberikan pengaruh terhadap produk yang dihasilkan, tetapi dalam penelitian ini *yield* produk yang dihasilkan belum didapatkan hasil yang maksimum. Hal ini dimungkinkan karena konsentrasi (%) *loading* CaO terhadap γ-Al₂O₃ dan jumlah katalis yang

digunakan relatif rendah, sedangkan pada beberapa peneliti melakukan hal yang sama namun menggunakan konsentrasi katalis $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ adalah >5% (b/b) dengan perbandingan molar ratio minyak terhadap metanol lebih besar dari 1:9. Beberapa peneliti sebelumnya juga menyebutkan bahwa penggunaan katalis heterogen basa akan menghasilkan *yield* produk yang tinggi apabila menggunakan perbandingan molar ratio minyak dan metanol antara lain: 1:15 hingga 1:18 (Zabeti *et al.*, 2009, Pasupulety *et al.*, 2013). Secara umum dapat dinyatakan bahwa penggunaan katalis pada reaksi transesterifikasi dengan pemanasan *microwave* dapat mempengaruhi perolehan *yield* produk metil ester, Semakin besar penggunaan katalis yang digunakan maka produk yang dihasilkan semakin banyak. Sesuai dengan hukum Arrhenius, menyatakan bahwa dengan penambahan katalis dapat mengaktifkan zat-zat pereaksi sehingga energi aktivasi semakin kecil dan nilai konstanta laju reaksi semakin besar, sehingga dapat meningkatkan kecepatan reaksi dimana konstanta laju reaksi berbanding lurus dengan kecepatan reaksi (Kusdiana dan Saka, 2001; Pasupulety *et al.*, 2013).

SIMPULAN

Hasil preparasi katalis $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ metode *impregnasi* mampu meningkatkan laju reaksi dalam pembuatan metil ester (biodiesel) dari minyak kelapa. Katalis $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dari hasil uji XRD menunjukkan adanya gumpalan yang menempel padat sudut 29,57 dan 43,34 ° serta hasil uji morfologi CaO mempunyai butiran yang hampir sama dengan ukuran partikel 5,844 μm ini menunjukkan adanya gumpalan gumpalan CaO yang menempel pada permukaan alumina. Hasil katalis $\text{CaO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ pada pembuatan biodiesel pada ratio mol 1:9 konsentrasi katalis 2,5% (b/b) dengan pemanasan *microwave* *yield* biodiesel yang dihasilkan sebanyak 35%. Dari hasil karakterisasi menunjukkan biodiesel

yang dihasilkan dengan densitas 0,86 gr/mL dan viskositas 2,6 mm/s². Secara umum kualitas produk metil yang dihasilkan telah memenuhi standar yang disyaratkan (SNI 04-7182-2006).

DAFTAR PUSTAKA

1. Di Serio, M., Santacesaria, E, Tesser R. Lu Pengmei. (2008). *Energi Fuel*, 22, 207-217.
2. Emsal Yanuar, Wiry Sarwana, Zulkifli, Ardila Agustina, Sudirman. (2019). *Preparasi Dan Karakterisasi Cao/Al₂O₃ sebagai Katalis*, Vol.1.(01), 1-7.
3. Furuta, S., Matshashi, H., Rata, K. (2006). Green Diesel Fuel Production with Solid Amorphous-Zirconia Catalyst in Fixed Bed Reactor. *J. Biomass and Bioenergy*, 30, 870-873.
4. Ilgen, O.,Akin, A.N. (2008). Development of Alumina Supported Alkaline Catalyst Used for Metil ester Production, *J. Turkey*, 33, 281-287.
5. Kusdiana, D., Saka, S. (2001). Kinetics of Transesterification in Rapeseed Oil to Biodiesel Fuel as Treated in Supercritical Metanol, *Fuel*, Vol.80, hal. 693-698.
6. Mahfud Mahfud, Andi Suryanto, Lailatul Qadariah, Suprpto Suprpto and Heri Septya Kusuma. (2018). Production of Methyl Ester from Coconut Oil using Microwave: Kinetic of Transesterification Reaction using Heterogeneous CaO Catalyst, *Korean Chem. Eng. Res.*, 56(2), 275-280.
7. Marchetti, J.M, V.U., Errasu, A.F. (2007). Heterogeneous Esterification of Oil With High Amount Of Fatty Acid, *Fuel*, 88, 906-910.
8. Nagaraju Pasupulety, Abdurrahim, A. Al-Zahrani, Mohammad A. Daoush Hafedh, DrissLachezar, A. Petrov. (2020). Studies on molybdenum carbide supportedHZSM-5 (Si/Al = 23, 30, 50 and 80)catalysts for aromatization of methane, *Arabian Journal Of Chemistry*, 13(5):5199-5207
9. Pasupulety, N., Gunda, K., Liu, Y., Rempel, G.L., Ng, F.T.T. (2013). Production Biodiesel from Soybean Oil on $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ Solid Base, *Applied Catalysis A : General*, Vol. 452, hal. 189-202.
10. Suryanto. A, S. Suprpto, M. Mahfud. (2015). *Production Biodiesel from Coconut Oil Using Microwave: Effect of Some Parameters on*

- Transesterification Reaction by NaOH Catalyst*, 10(2):162-168.
11. Suryanto, A. Zakir Sabara, Andi Artiningsih, Wahyuni, Almukmin. (2018). Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Biji Kapuk Menggunakan Katalis Rendah Dengan Bantuan Microwave. *JIHP*, 13(2): 71-74.
 12. Xie W, Li Haitato. (2006). Alumina Supported Potassium Iodide as a Heterogeneous Catalyst for Metil ester Production from Sobebean Oil, *J. Molecular Catalyst A: Chemical*, 255, 1-9.
 13. Zhang S, Zu Y-G, Fu Y-J, Zhang D-Y, Efferth T. (2010). Rapid Microwave Assisted Transesterification of Yellow Horn Oil To Metil Ester Using Heteropolyacid Solid Catalyst, *Bioresource Technology*, 101(3): 931-936.
 14. Zabeti, M., W.M. Daud., M. Kheireddine Aroua. (2009). Activity of Solid Catalysts for Metil ester Production: A Review, *Fuel Processing Technology*, 90, 770-777.