

Sintesis Biodiesel Minyak Ampas Tahu Terkatalisis Lempung Termodifikasi Kalsium Oksida dengan Pemanasan *Microwave*

Niyar Candra Agustin*, Ricka Prasdiantika, Sri Subekti

Fakultas Teknik, Universitas Pandanaran
Jl. Banjarsari Barat No. 1, Pedalangan, Banyumanik, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia
Email: niyaragustin@gmail.com

Abstrak

Biodiesel telah menjadi sumber energi alternatif yang terus dikembangkan. Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis biodiesel dari minyak ampas tahu menggunakan katalis lempung termodifikasi Kalsium Oksida (CaO) dengan pemanasan *microwave* untuk menghasilkan biodiesel. Sintesis Katalis lempung termodifikasi CaO menggunakan metode impregnasi basah. Sintesis biodiesel dari minyak ampas tahu melalui reaksi transesterifikasi dengan variasi jumlah katalis lempung termodifikasi CaO 1, 2, 3, 4, 5 % (b/b) dan variasi daya *microwave* 150, 300, 450, 600, dan 800 watt. Katalis Lempung termodifikasi CaO dikarakterisasi SEM EDX (*Scanning Electron Microscopes/Energy Dispersive X-Ray*) dan uji kebasannya dengan metode Hammett. Produk biodiesel dikarakterisasi dengan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa biodiesel minyak ampas tahu telah berhasil disintesis. Biodiesel optimum dicapai pada jumlah katalis lempung termodifikasi CaO sebesar 3% dan daya *microwave* 600 watt dengan waktu reaksi 15 menit sebesar 90%. Terbentuknya biodiesel dibuktikan dengan beberapa puncak metil ester yaitu metil oleat (59,88%), metil palmitat (36,74%), metil stearat (2,94%), dan metil miristat (0,28%).

Kata kunci: biodiesel, ampas tahu, lempung termodifikasi CaO, *microwave*

Abstract

Synthesis of Tofu Dregs Oil Biodiesel Catalyzed Clay Modified Calcium Oxide by Microwave Heating

Biodiesel has become an alternative energy source that continues to be developed. In this study, biodiesel was synthesized from tofu dregs oil using a clay modified calcium oxide (CaO) catalyst with microwave heating to produce biodiesel. Synthesis of clay modified CaO catalyst using wet impregnation method. Synthesis of biodiesel from tofu dregs oil through transesterification reaction with variations in the amount of modified clay catalyst CaO 1, 2, 3, 4, 5 % (w/w) and variations in microwave power 150, 300, 450, 600, and 800 watts. The CaO-modified clay catalyst was characterized by SEM EDX (Scanning Electron Microscopes/Energy Dispersive X-Ray) and tested for basicity using the Hammett method. The biodiesel products were characterized by Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS). The characterization results show that the tofu dregs oil biodiesel has been successfully synthesized. Optimum biodiesel was achieved at 3% CaO-modified clay catalyst and 600 watt microwave power with a reaction time of 15 minutes by 90%. The formation of biodiesel was evidenced by several peaks of methyl esters, namely methyl oleate (59.88%), methyl palmitate (36.74%), methyl stearate (2.94%), and methyl myristate (0.28%).

Keywords: *biodiesel, tofu dregs, clay modified CaO, microwave*

PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui, gas emisinya rendah, dan

energi yang berkelanjutan (Ayoub *et al.*, 2016). Biodiesel dapat disintesis dari berbagai minyak (trigliserida) yang direaksikan dengan alkohol seperti methanol dengan bantuan katalis

(Zulqarnain *et al.*, 2021). Minyak hewani maupun minyak nabati dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel dapat berasal dari (Mishra dan Goswami, 2018). Minyak hewani dapat berasal dari lemak hewan dan berbagai macam minyak nabati seperti minyak kelapa sawit, minyak jagung, minyak biji bunga matahari, minyak kelapa, dan minyak kedelai telah banyak diteliti sebagai bahan baku biodiesel (Lin *et al.*, 2014). Penggunaan minyak-minyak tersebut sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel dapat menimbulkan masalah persaingan dengan kebutuhan manusia yang lain yaitu pangan. Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah tersebut dengan memanfaatkan minyak yang terkandung dalam ampas tahu sebagai sumber minyak dalam pembuatan biodiesel (Agustin *et al.*, 2021).

Pembuatan biodiesel dari minyak ampas tahu dapat dibuat dengan reaksi transesterifikasi dengan bantuan katalis (Anggraini dan Fitriani, 2018). Katalis merupakan material yang memegang peranan penting dalam pembuatan biodiesel yaitu mempercepat terbentuknya produk. Dibutuhkan katalis yang sesuai untuk mendapatkan biodiesel yang optimal. NaOH dan KOH merupakan katalis basa homogen yang sering digunakan dalam reaksi transesterifikasi karena kecepapatan reaksinya yang tinggi (Sajjadi *et al.*, 2014). Dibalik keunggulan tersebut, katalis basa homogen dapat menyebabkan korosi pada peralatan, tidak dapat digunakan kembali, biodiesel yang dihasilkan membutuhkan penetralan, dan menghasilkan limbah sehingga membutuhkan penanganan (Takase *et al.* 2014). Salah satu alternatif untuk mengatasi hal tersebut dengan menggunakan jenis katalis yang lain yaitu katalis basa heterogen. Keunggulan dari katalis basa heterogen yaitu tidak bersifat korosif, ramah lingkungan, dan memiliki aktifitas, dan selektifitas yang tinggi, serta memiliki luas permukaan yang tinggi untuk tempat terjadinya reaksi (Helwani *et al.*, 2018). Selain itu katalis basa heterogen dalam reaksi memiliki keuntungan yaitu karena sifatnya yang tidak mudah larut dalam campuran sehingga mudah dipisahkan dengan dekantasi maupun filtrasi.

Oksida alkali tanah merupakan alternatif katalis basa heterogen yang dapat digunakan sebagai katalis untuk reaksi transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel (Marinković *et al.*, 2016). Di

antara oksida alkali tanah, aktivitas katalitik CaO ada lebih rendah dibanding dengan SrO dan BaO. Meskipun aktivitas katalitiknya lebih rendah daripada SrO dan BaO, CaO lebih banyak digunakan pada reaksi transesterifikasi karena sifatnya yaitu kelarutan rendah dalam metanol, ketersediaan yang melimpah, toksisitas rendah, dan hasil ester yang tinggi serta harga yang rendah (Roschat *et al.*, 2016). Akan tetapi CaO juga memiliki sifat yang mudah bereaksi dengan CO₂ dan H₂O yang ada di lingkungan dan pada permukaan CaO terdapat ion oksigen yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan methanol atau gliserol pada reaksi transesterifikasi yang dapat menyebabkan terbentuknya suspensi sehingga sulit untuk dipisahkan dengan produk biodiesel (Marinković *et al.*, 2016). Oleh karena itu, CaO perlu diimpregnasi pada material penyangga katalis atau oksida logam. Salah satu mineral yang memiliki potensi material penyangga katalis adalah lempung.

Lempung merupakan mineral yang ketersedian yang melimpah di alam dan mempunyai banyak aplikasi sebagai adsorben, katalis, penyangga katalis, komposit dan resin penukar ion. Potensi lempung sebagai katalis pada pembuatan biodiesel ditunjukkan dengan hasil penelitian penggunaan katalis lempung termodifikasi KOH telah berhasil digunakan sebagai katalis basa pada reaksi transesterifikasi minyak kelapa dengan metode pemanasan konvensional selama 3 jam menghasilkan biodiesel sebesar 98% (Ayoub *et al.*, 2017). Pada pembuatan biodiesel, metode pemanasan yang digunakan selain metode pemanasan konvensional yaitu pemanasan microwave.

Pemanasan dengan *microwave* dalam sintesis senyawa organik telah memainkan peran penting dalam mengembangkan dunia yang lebih berkelanjutan. Pemanasan *microwave* telah mempersingkat waktu yang dibutuhkan untuk banyak reaksi dan efisiensi reaksi meningkat secara nyata (Nomanbhay dan Ong, 2017). Keunggulan dari *microwave* yaitu hanya membutuhkan input energi yang lebih kecil dibandingkan dengan pemanasan konvensional, lebih aman, waktu pemanasan lebih cepat, dan lebih ramah lingkungan (Sajjadi *et al.*, 2014). Faktor-faktor yang mempengaruhi pada

pembuatan biodiesel yaitu jumlah katalis, perbandingan reaktan, dan waktu reaksi (Handayani *et al.*, 2017). Pada pembuatan biodiesel dengan menggunakan pemanasan *microwe*, besarnya daya *microwave* dapat mempengaruhi hasil reaksi reaksi transesterifikasi pada pembuatan biodiesel (Purwaningrum dan Sukaryo, 2020). Sehingga harus ditentukan daya *microwave* untuk menghasilkan biodiesel yang optimum. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan sintesis biodiesel dari minyak ampas tahu menggunakan katalis lempung termodifikasi CaO dengan pemanasan *microwave*, dengan penentuan jumlah katalis dan daya *microwave* optimum pada reaksi transesterifikasi untuk memperoleh jumlah biodiesel minyak ampas tahu yang optimum.

METODOLOGI

Peralatan yang digunakan terdiri dari alat tanur (*furnace*), ayakan 100 *mesh*, ekstraksi sokhletasi, corong pisah, set alat pemanas *microwave* (*Microwave*, Samsung ME83M Solo). Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi katalis yang dihasilkan yaitu SEM EDX (*Scanning Electron Microscopes/Energy Dispersive X-Ray*). Peralatan yang digunakan untuk analisis biodiesel yang dihasilkan yaitu *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS, Shimadzu QP2010S) untuk mengetahui senyawa ester yang terkandung pada biodiesel dan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS) untuk analisis konversi trigliserida menjadi biodiesel.

Bahan yang digunakan terdiri dari lempung, ampas tahu, dan bahan lain memiliki kualitas *pro analysis* yaitu n-heksana (Merck, 99,0%), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich), metanol (Merck, 99,8%), $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ (Merck), Na_2SO_4 anhidrat (Merck), dan indikator *phenolphthalein* (Merck).

Pembuatan Katalis lempung termodifikasi CaO

Katalis lempung termodifikasi CaO dibuat dengan mencampurkan padatan lempung dengan larutan $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1 M kemudian dikeringkan dan dikalsinasi dengan temperatur 800 °C selama 5 jam. Katalis yang dihasilkan dikarakterisasi dengan SEM/EDX dan uji kebasaaan.

Penentuan kebasaaan katalis Lempung termodifikasi CaO

Uji kebasaaan katalis dilakukan dengan metode Hammet. Katalis Lempung termodifikasi CaO dengan berat 0,1 g dimasukkan ke dalam erlenmeyer lalu ditambahkan 10 mL metanol. Diaduk rata selama 1 jam menggunakan *magnetic stirrer* kemudian ditambahkan indikator PP 2-3 tetes dan dititrasi dengan asam benzoat 0,1 M dalam etanol sampai terbentuk titik ekuivalen yang ditandai dengan perubahan warna merah muda menjadi bening. Semakin banyak asam benzoat yang digunakan untuk titrasi maka semakin banyak situs basa katalis.

Ekstraksi Minyak Ampas Tahu

Sebanyak 100 gram ampas tahu diekstrak minyaknya dengan ekstraksi sokhletasi menggunakan pelarut n-heksana dengan selama 4 jam dilanjutkan evaporasi untuk menghilangkan sisa pelarutnya.

Pembuatan Biodiesel

Pada penelitian ini, pembuatan biodiesel dari minyak ampas tahu menggunakan reaksi transesterifikasi. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan mencampurkan minyak ampas sebanyak 10 gram dengan metanol dengan perbandingan minyak dengan metanol yaitu 1:12. Katalis lempung termodifikasi CaO yang digunakan pada reaksi transesterifikasi sebanyak 1, 2, 3, 4, 5 % (b/b) dari berat total minyak dan metanol pada daya *microwave* 450 Watt selama 15 menit. Reaksi transesterifikasi dengan *microwave* dilakukan dengan variasi daya yaitu 150, 300, 450, 600, dan 800 watt selama 15 menit. Pemisahan biodiesel dengan gliserol menggunakan corong pisah. Biodiesel yang dihasilkan dicuci dengan aquades panas untuk melarutkan sisa gliserol dan ditambahkan Na_2SO_4 anhidrat untuk menghilangkan sisa air kemudian dianalisis dengan GC-MS. Kromatografi Gas (GC) digunakan sebagai metode analisis untuk mengetahui kandungan metil ester secara kuantitatif. Dengan GC dapat diketahui persentase komponen-komponen penyusun campuran metil ester. Selanjutnya, karakterisasi kandungan metil ester secara kualitatif dilakukan dengan mengkombinasikan hasil GC dengan hasil Spektroskopi Massa (MS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kebasaan

Analisis kebasaaan pada katalis lempung termodifikasi CaO digunakan untuk mengetahui pengaruh CaO yang diimbakan ke dalam lempung. Hasil perhitungan jumlah situs basa katalis lempung termodifikasi CaO sebesar 1,56 mmol/gram. Hal ini menunjukkan bahwa impregnasi CaO telah berhasil meningkatkan kebasaaan lempung.

Karakterisasi katalis lempung termodifikasi CaO

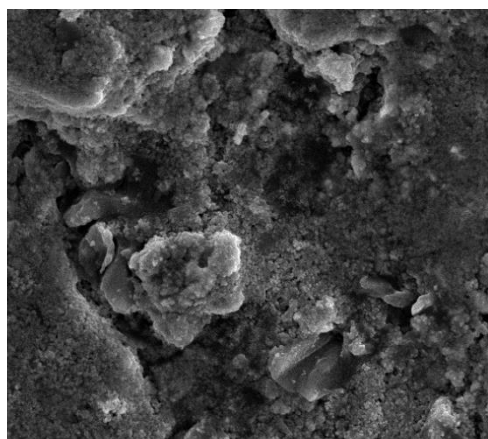
Gambar 1 memperlihatkan morfologi lempung dan lempung termodifikasi CaO. Pada permukaan lempung termodifikasi CaO menunjukkan warna lebih keabu-abuan dibanding pada permukaan lempung. Berdasarkan hasil pengukuran persen massa senyawa CaO, jumlah oksida CaO yang teremban pada lempung sebesar 18,75%. Hasil analisis kandungan oksida CaO ditunjukkan pada Tabel 1.

Sintesis Biodiesel dari Minyak Ampas Tahu

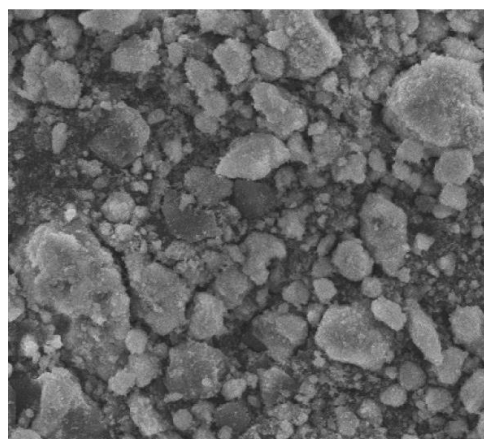
Pada sintesis biodiesel dari minyak ampas tahu digunakan *microwave* sebagai sumber pemanasan. Pemanasan dengan *microwave* terjadi dengan adanya interaksi antara medan elektrik dari radiasi dengan senyawa polar sehingga dapat menimbulkan gerakan molekul seperti rotasi dipole atau migrasi ions. Radiasi *microwave* tidak dapat mengubah struktur molekul karena energinya kecil sehingga energinya tidak cukup untuk memutus ikatan (Sajjadi *et al.*, 2014). Reaksi transesterifikasi dengan radiasi *microwave* berkaitan dengan adsorpsi radiasi *microwave* secara langsung oleh gugus polar (OH) dari reaktan. Metanol merupakan material yang sangat baik dalam menyerap radiasi *microwave* karena *dipole* metanol mengalami reorientasi, dimana dapat merusak lapisan antar muka antara metanol dan minyak sehingga meningkatkan terjadinya reaksi anantara alkohol dengan minyak. Oleh karena itu radiasi *microwave* meningkatkan kelarutan metanol dan minyak serta meningkatkan kecepatan reaksi transesterifikasi (Gude *et al.* 2013).

Tabel 1. Hasil analisis SEM/EDX pada (a) lempung dan (b) lempung termodifikasi CaO

Senyawa	Massa (%)	
	lempung	Lempung termodifikasi CaO
CaO	-	18,75
Al ₂ O ₃	34,31	33,74
SiO ₂	28,25	25,25
Fe ₂ O ₃	7,56	6,23
dll	28,88	16,03



(a)



(b)

Gambar 1. Foto SEM/EDX (a) lempung dan (b) Lempung termodifikasi CaO

Variasi berat katalis lempung termodifikasi CaO

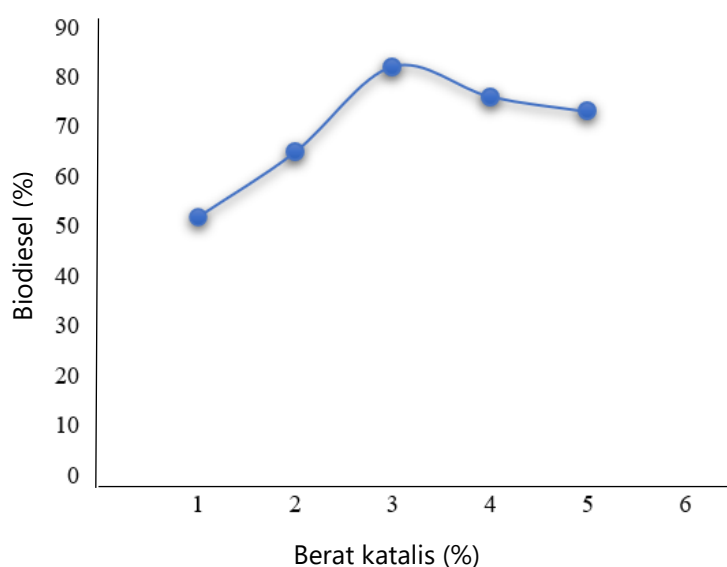
Sintesis biodiesel minyak ampas tahu menggunakan reaksi transesterifikasi dengan katalis lempung termodifikasi CaO dengan variasi berat katalis 1, 2, 3, 4, dan 5% (b/b) dari berat minyak ampas tahu. Perbandingan methanol: minyak yaitu 1: 12 dan daya *microwave* yang digunakan yaitu 450 Watt dengan waktu reaksi selama 15 menit. Gambar 2. menunjukkan hubungan antara % berat katalis lempung termodifikasi CaO dengan dengan hasil produk biodiesel. Hasil konversi biodiesel meningkat seiring peningkatan jumlah katalis yang digunakan. Berat katalis optimum yaitu 3% dengan jumlah biodiesel yang dihasilkan sebesar 83%. Roschat *et al.*, 2016 menyatakan bahwa jika jumlah % katalis berlebih tidak akan pernah memberikan hasil biodiesel yang tinggi karena perpindahan massa reaktan ke katalis terbatas, di mana perpindahan massa merupakan langkah penentu reaksi.

Berdasarkan Gambar 2. dapat diketahui bahwa dengan katalis katalis lempung termodifikasi CaO menggunakan pemanasan *microwave* telah mengubah minyak ampas tahu menjadi biodiesel. Peningkatan jumlah biodiesel yang dihasilkan sebanding peningkatan % berat katalis lempung termodifikasi CaO yang digunakan. Biodiesel optimum diperoleh pada berat katalis sebesar 3%.

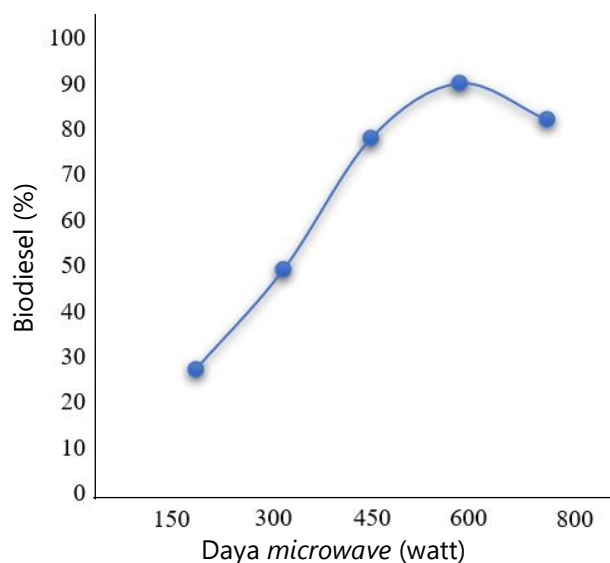
Variasi daya microwave

Gambar 3 menunjukkan hubungan antar daya *microwave* dengan biodiesel. Hasil konversi biodiesel meningkat seiring peningkatan daya *microwave* yang digunakan. Daya *microwave* optimum yaitu pada 600 Watt dengan jumlah biodiesel yang dihasilkan sebesar 90%. Jumlah biodiesel minyak ampas tahu yang diperoleh pada daya 150 watt masih sedikit yaitu sebesar 23%. Hal ini dapat disebabkan pada daya tersebut minyak belum sepenuhnya bereaksi metanol. Semakin bertambahnya daya *microwave* maka radiasi *microwave* yang terpancar semakin besar. Semakin besar radiasi *microwave* yang terpancar ke minyak dan metanol maka radiasi yang diserap oleh senyawa-senyawa tersebut juga semakin besar. Medan elektromagnet dari radiasi *microwave* menyebabkan terjadinya reorientasi senyawa minyak dan metanol. Semakin besar reorientasi dari senyawa minyak dan metanol akan menghasilkan konversi energi kinetik menjadi energi panas yang besar pula sehingga gerak acak molekul semakin besar. Gerak acak molekul minyak dan metanol yang semakin banyak, menyebabkan semakin banyak terjadinya reaksi transesterifikasi antara minyak dan metanol yang menghasilkan biodiesel (Sajjadi *et al.*, 2014).

Pada daya *microwave* 800 watt, biodiesel minyak ampas tahu lebih rendah dibandingkan pada daya *microwave* 600 Watt. Hal ini dapat



Gambar 2. Grafik hubungan antara % katalis lempung termodifikasi CaO (b/b) dengan biodiesel



Gambar 3. Grafik hubungan antara daya *microwave* dengan biodiesel.

Tabel 3. Hasil analisis senyawa metil ester pada biodiesel

Puncak	Senyawa	Waktu retensi (menit)	Luas Area (%)
1	Metil Miristat	29,308	0,28
2	Metil Palmitat	33,982	36,74
3	Metil Oleat	37,529	59,88
4	Metil stearat	37,733	2,97

disebabkan oleh peningkatan temperatur reaksi yang berlebih akan menyebabkan penguapan metanol sehingga menurunkan kandungan metanol pada reaktan, penurunan ini akan menyebabkan berkurangnya reaksi antara trigliserida dan metanol sehingga jumlah biodiesel yang dihasilkan akan berkurang.

Karakterisasi Biodiesel dari minyak ampas tahu

Analisis GC-MS terhadap biodiesel bertujuan untuk mengetahui komponen senyawa yang terkandung pada biodiesel. Gambar merupakan kromatogram dari hasil analisis biodiesel minyak ampas tahu hasil analisis menggunakan GC. Gambar tersebut menunjukkan terdapat beberapa puncak yang terdeteksi sebagai metil ester. Kandungan senyawa dari biodiesel minyak ampas tahu ditunjukkan pada Tabel 3.

Puncak-puncak hasil analisis GC selanjutnya dianalisis dengan MS dan pola spektra massa yang dihasilkan dibandingkan dengan *database*. Hasilnya menunjukkan bahwa kandungan utama dari biodiesel yang telah sintesis dalam penelitian

ini merupakan metil ester (biodiesel) yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Luas area yang dinyatakan (%) pada hasil karakterisasi dengan GC-MS menunjukkan kadar senyawa metil ester yang terkandung dalam biodiesel dari ampas tahu.

KESIMPULAN

Modifikasi lempung menggunakan CaO telah berhasil meningkatkan kebasahan. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa biodiesel minyak ampas tahu telah berhasil disintesis. Biodiesel optimum dicapai pada % berat katalis lempung termodifikasi CaO sebesar 3% dan pada daya *microwave* 600 watt dengan waktu reaksi 15 menit sebesar 90%. Terbentuknya biodiesel dibuktikan dengan beberapa puncak metil ester yaitu metil oleat (59,98%), metil linolenat (28,13%), metil palmitat (8,54%), dan metil sterat (2,32%).

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Kemenristekdikti

yang telah membiayai penelitian ini dengan skema hibah Penelitian Dosen Pemula tahun anggaran 2021 dengan nomor kontrak Tahun Tunggal Penelitian Dasar dan Pembinaan/Kapasitas antara Direktorat Sumber Daya Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi dengan LLDIKTI Wilayah VI Nomor: 067/E4.1/AK.04.PT/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustin, N.C., Prasdiantika, R. & Kusumawardani, Y. 2021. Jurnal Presipitasi Synthesis and Characterization of Biodiesel from Tofu Dregs Oil through Esterification and Transesterification Irradiated by Microwave. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 18(1): 28–36.
- Anggraini, T.M. & Fitriani, N. 2018. Limbah Ampas Tahu sebagai Bahan Baku untuk Produksi Biodiesel. *Jurnal Integrasi Proses*, 7(1): 13–19.
- Ayoub, M., Ullah, S., Inayat, A., Bhat, A.H. & Hailegiorgis, A.M.. 2016. Process Optimization for Biodiesel Production from Waste Frying Oil over Montmorillonite Clay K-30, *Procedia Engineering*, 148: 742–49.
- Ayoub, M., Bhat, A.H., Ullah, S., Ahmad, M. & Uemura, Y. 2017. Optimization of Biodiesel Production over Alkaline Modified Clay Catalyst. *Journal of the Japan Institute of Energy*, 96(10): 456–62
- Gude, V.G., Patil, P., Guerra, E.M., Deng, S. & Nirmalakhandan, N. 2013. Microwave Energy Potential for Biodiesel Process. *Journal Sustainable Chemistry*, 1(5):1-31.
- Handayani, P.A., Abdullah, A. & Hadiyanto, H. 2017. Biodiesel Production from Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Oil Using Ionic Liquid as a Catalyst and Microwave Heating System. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 12(2): 293–98.
- Helwani, Z., Fatra, W., Saputra, E. & Maulana, R. 2018. Preparation of CaO/Fly Ash as a Catalyst Inhibitor for Transesterification Process off Palm Oil in Biodiesel Production, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 334(1):1-10.
- Purwaningrum, S.D. & Sukaryo. 2020. Pengolahan Limbah Ikan Menjadi Biodiesel Dengan Radiasi Mikrogelombang. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 17(1): 38–43.
- Lin, Y.C., Chen, S.C., Chen, C.E., Yang, P.M. & Jhang, S.R. 2014. Rapid Jatropha-Biodiesel Production Assisted by a Microwave System and a Sodium Amide Catalyst. *Fuel*, 135: 435–42.
- Marinković, D.M., Stankovic, M.V., Velickovic, A.V., Avramovic, J.M., Miladinovic, M.R., Stamenkovic, O.O., Veljkovic, V.B., & Jovanovic, D.M. 2016. Calcium Oxide as a Promising Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production: Current State and Perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56: 1387–1408.
- Mishra, V.K. & Goswami, R. 2018. A Review of Production, Properties and Advantages of Biodiesel. *Biofuels*, 9(2): 273–89.
- Nomanbhay, S. & Ong, M.Y. 2017. A Review of Microwave-Assisted Reactions for Biodiesel Production, *Bioengineering*, 4(2):1-21.
- Roschat, W., Siritanon, T., Yoosuk, B. & Promarak, V. 2016. Biodiesel Production from Palm Oil Using Hydrated Lime-Derived CaO as a Low-Cost Basic Heterogeneous Catalyst, *Energy Conversion and Management*, 108: 459–467.
- Sajjadi, B., Aziz, A.R.A., & Ibrahim, A. 2014. Investigation, Modelling and Reviewing the Effective Parameters in Microwave-Assisted Transesterification, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37: 762–777
- Takase, M., Zhang, M., Feng, W., Chen, Y., Zhao, T., Cobbina, S.J., Yang, L. & Wu, X. 2014. Application of Zirconia Modified KOH as Heterogeneous Solid Base Catalyst to New Non-edible Oil for Biodiesel, *Energy Conversion and Management*, 80:117-125.
- Zulqarnain, Ayoub, M., Yusoff, M.H.M., Nazir, M.H., Zahid, I., Ameen, M., Sher, F., Florensyona, D., & Nursanto, E.B. 2021. A Comprehensive Review on Oil Extraction and Biodiesel Production Technologies, *Sustainability*, 13(2): 1–28.