

POTENSI LIMBAH CANGKANG KERANG SEBAGAI KATALIS HETEROGEN UNTUK PEMBUATAN BIODIESEL

Abdi Hanra Sebayang ¹⁾ ✉, Muhammad Anhar Pulungan ¹⁾, Sihar Siahaan ¹⁾, Siti Maretia Benu ¹⁾, Husin Ibrahim ¹⁾, Munawar Alfansury Siregar ¹⁾, Arridina Susan Silitonga ¹⁾.

¹⁾Jurusan Teknik Mesin

Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan, 20155 – Sumatera Utara.

abdisebayang@yahoo.co.id

anhar.240205@gmail.com

siharsiahaan22@gmail.com

sitimaretia@gmail.com

husin.19611018@polmed.ac.id

ardinsu@yahoo.co.id

²⁾ Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jl. Kapt. Mukhtar Basri No. 3 Medan, 20238 – Sumatera Utara.

munawaralfansury@umsu.ac.id

Abstract

Biodiesel is a potential energy source that has attracted attention recently because it can be produced from renewable energy sources and produces low pollutants. Biodiesel is produced by transesterifying edible or non-edible vegetable oils using a catalyst. Homogeneous catalytic processes have disadvantages, such as the catalyst residue cannot be reused. Therefore, heterogeneous or solid catalysts are used, which can be easily separated from the reaction mixture by filtration and reused. A waste cockle shell can be used as a green base catalyst to synthesize waste cooking oil into methyl ester (WCME). The free fatty acid content of used cooking oil (2.19% wt.) was initially reduced to 0.11% wt., using a methanol-oil ratio of 6:1, waste cockle shell 2% wt., reaction time 60 minutes and temperature 60 °C. The effectiveness of the developed waste cockle shell contains high CaO. The results of this study indicated the potential of clam waste cockle shells and used cooking oil as a source of raw materials available in the community for biodiesel production.

Keywords: Heterogeneous Catalyst, Biodiesel, Transesterification, Waste Cockle Shell, Waste Cooking Oil.

1. PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya konsumsi energi dunia dan menurunnya cadangan minyak bumi serta isu lingkungan yang timbul mendorong para peneliti untuk melakukan penelitian dalam mencari alternatif sumber energi. Sumber energi alternatif yang dimaksud bersifat terbarukan dan ramah lingkungan. *Biodiesel* telah menjadi pusat perhatian baru-baru sebagai bahan bakar yang berkelanjutan. *Biodiesel* adalah bahan bakar dapat diperbarui, *biodegradable*, dengan emisi gas buang rendah, tidak beracun, pelumasan yang sangat baik, dan ramah lingkungan ^[1,2]. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa perdebatan antara bahan baku pangan dan non pangan untuk produksi bahan bakar merupakan isu yang sangat penting. Untuk mengatasi hal tersebut dapat diatasi dengan penggunaan minyak yang tidak dapat dimakan atau limbah ^[3,4].

Salah satu sumber bahan baku yang potensial dikembangkan dalam pembuatan biodiesel adalah minyak Jelantah ^[5]. Namun, viskositas minyak Jelantah masih perlu diturunkan agar tidak menghambat proses injeksi yang akan mengakibatkan pembakaran menjadi tidak sempurna. Salah satu reaksi yang dapat menurunkan viskositas minyak Jelantah adalah reaksi transesterifikasi. Reaksi ini akan berjalan lebih cepat dengan adanya penambahan

Corresponding Author:

✉ Abdi Hanra Sebayang

Received on: 2022-12-01

Revised on: 2023-11-12

Accepted on: 2023-11-12

katalis. Pada dasarnya sumber bahan baku pembuatan *biodiesel* memang penting untuk dikaji, namun hal yang paling krusial lainnya yang perlu diteliti adalah jenis katalis yang digunakan. Hal ini dikarenakan, kualitas *biodiesel* yang dihasilkan dan efisiensi proses pembuatannya sangat ditentukan oleh katalis yang digunakan.

Pembuatan *biodiesel* banyak menggunakan katalis basa homogen seperti NaOH dan KOH karena memiliki kemampuan katalisator yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis lainnya [6]. Namun, penggunaan katalis ini memiliki kelemahan antara lain sulit didegradasi, sulitnya pemisahan gliserol dari metil ester, pembentukan emulsi, menimbulkan reaksi penyabunan dan *biodiesel* masih mengandung katalis sehingga perlu dilakukan separasi lagi [7]. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi kondisi tersebut adalah menggunakan katalis basa heterogen seperti CaO. Menurut Mazaheri dkk. [8], limbah cangkang kerang dapat dijadikan sebagai sumber katalis CaO melalui proses kalsinasi CaCO_3 .

Perkembangan katalis berbasis bio saat ini juga telah menunjukkan bahwa biaya produksi *biodiesel* dapat dikurangi dengan menggunakan katalis heterogen. Penggunaan katalis heterogen memiliki keuntungan, seperti dapat digunakan kembali dan mudah dipisahkan dari metil ester (*biodiesel*) [9, 10]. Disamping itu, katalis heterogen lebih stabil, rendah kemungkinan penyebab korosi pada peralatan, dan ramah lingkungan dibanding katalis homogen. Karena berfasa padat, katalis ini mudah dipisahkan dari campuran reaksi dengan cara filtrasi. Selain itu, katalis padat dinilai lebih ekonomis karena berpotensi digunakan berkali-kali. Katalis yang dikembangkan digunakan untuk produksi *biodiesel* dengan menggunakan bahan baku minyak Jelantah. Kualitas *biodiesel* yang dihasilkan dibandingkan dengan spesifikasi standar ASTM D 6751 dan EN 14214

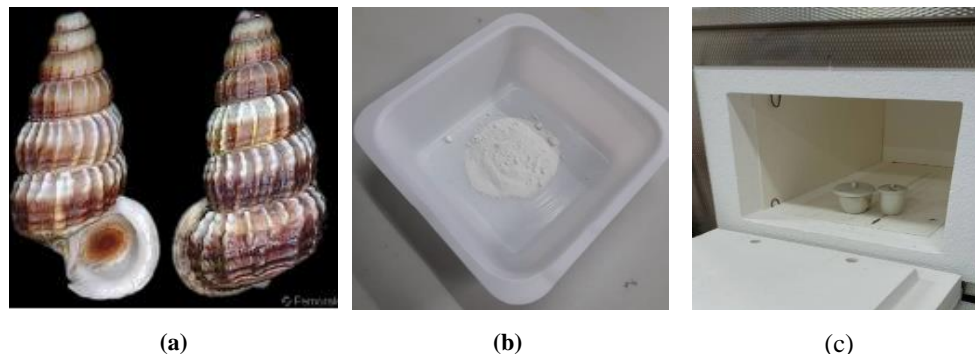
2. METODE DAN BAHAN

2.1. Bahan

Minyak Jelantah yang digunakan untuk penelitian ini diperoleh dari restoran di Medan, Sumatera Utara, Indonesia. Limbah cangkang kerang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan dari pasar tradisional di Medan, Sumatera Utara, Indonesia. Semua bahan kimia yang digunakan untuk penelitian ini adalah kelas analitis. *Reagen* yang digunakan dalam pembuatan *biodiesel* adalah sebagai berikut: metanol (kemurnian: 99,9%), sulfur asam (H_2SO_4 , kemurnian: >98,9%). Kertas saring *Whatman* (Filtres Fioroni, Prancis) dibeli dari toko Kimia di Medan, digunakan untuk menyaring *biodiesel*.

2.2. Persiapan katalis dari limbah cangkang kerang

Limbah cangkang kerang yang terkumpul dicuci 3 kali dengan air suling dan dipotong kecil-kecil setelah itu dikeringkan dalam oven pada temperatur 80 °C selama 24 jam. Limbah cangkang kerang yang telah kering digiling menggunakan alu dan mortar porselen. Butiran cangkang dihomogenkan dengan ukuran kecil, kemudian dikalsinasi dalam tungku pada suhu 1000 °C selama 12 jam. Gambar 1 menunjukkan limbah cangkang kerang dan serbuk halus limbah cangkang kerang dan proses pemanasan pada dapur pemanas.



Gambar 1. (a) Cangkang kerrang, (b) Bubuk dari Cangkang Kerang, (c) Proses kalsinasi bubuk cangkang kerang

2.3. Karakterisasi katalis heterogen

Pembentukan struktur mikro dan komposisi unsur sampel limbah cangkang kerang pada 1000 °C yang diselidiki ditentukan menggunakan *Phenom Pro X*, *Featest* dekstop SEM digabungkan dengan detektor CDU-lead pada 5 kV dengan filamen tungsten (Zeiss Jerman) yang terintegrasi dengan spektroskopi sinar-x dispersif energi (EDS). Komposisi unsur yang dilaporkan dalam penelitian ini adalah rata-rata dari tiga data ulangan yang ditentukan di lokasi berbeda pada sampel struktur mikro yang diperoleh dengan SEM. Porositas dan luas permukaan limbah cangkang kerang ditentukan melalui *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) metode adsorpsi gas nitrogen dengan bantuan instrumen *Micromeritics* (ASAP 2020). Sedangkan volume pori total dan ukuran pori rata-rata limbah cangkang kerang diukur dengan metode Barret-Joyner- Halenda (BJH). Pola XRD direkam pada difraktometer D8 *Advance* (Bruker AXS, Karlsruhe, Jerman) dengan Cu-K α radiasi ($\lambda_{K\alpha 1} = 1,5406 \text{ \AA}$) yang dilengkapi dengan detektor PSD *Lynx Eye* untuk penentuan struktur *amorphous* dan kristal.

2.4. Sintesis *biodiesel* minyak jelantah (*waste cooking metil ester, WCME*)

Proses transesterifikasi digunakan untuk sintesis metil ester, sebelumnya kami telah menunjukkan bahwa nilai bilangan asam minyak Jelantah dapat dikurangi dari 2,19^[11] menjadi 0,11%, dalam proses transesterifikasi minyak Jelantah dicampur dengan menggunakan metanol dalam reaktor kaca berjaket ganda 500 ml dan diaduk selama 60 menit. Campuran minyak Jelantah dengan metanol diaduk secara konstan pada 800 rpm menggunakan overhead stirrer dan suhunya konstan pada 60 °C selama proses transesterifikasi. Setelah reaksi selesai, metil ester (*biodiesel* WCME) dituangkan ke dalam corong pisah selama 4 jam untuk memisahkan gliserol dari WCME. Setelah ini, WCME dituangkan ke dalam *rotary evaporator* untuk dihilangkan residu metanol, kemudian dicuci dengan air suling beberapa kali untuk menghilangkan gliserol dan kotoran. Dalam proses ini, 50% (v/v) air suling pada 50 °C disemprotkan ke permukaan WCME dan diaduk perlahan. WCME lebih lanjut dimurnikan untuk menghilangkan kelebihan air dan metanol dengan menggunakan pompa vakum pada suhu 60 °C.

Selain itu, WCME yang telah dicuci selanjutnya dikeringkan menggunakan natrium sulfat dan terakhir disaring menggunakan kertas saring. Hasil *biodiesel* ditentukan secara gravimetri menggunakan Persamaan (1)^[11].

$$\text{Redemen WCME (\%wt.)} = \frac{\text{Berat WCME}}{\text{Berat Minyak Jelantah}} \times 100 \quad 1)$$

2.5. Pengukuran sifat fisikokimia WCME

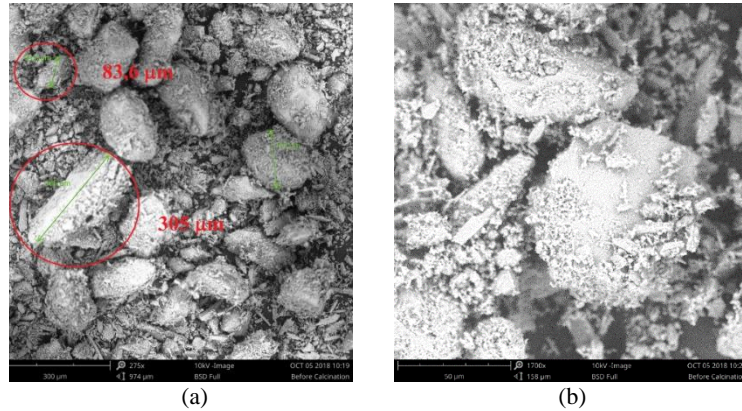
Sifat fisik dan kimia dari minyak Jelantah dan biodiesel WCME yang dihasilkan diuji sesuai dengan standar ASTM D6751 atau EN 14214. Viskositas merupakan parameter sifat fisika dan kimia penting bagi *biodiesel*. Viskositas yang tinggi akan menyebabkan masalah pada performa mesin dan menyisakan deposit karbon yang tinggi pada mesin [12]. Peningkatan viskositas berhubungan dengan semakin panjangnya rantai asam lemak tak jenuh sedangkan penurunan viskositas seiring dengan banyaknya jumlah ikatan rangkap pada rantai asam lemak tak jenuh [13]. Viskositas yang rendah juga akan mempermudah aliran bahan bakar dalam pompa mesin injeksi [14]. Adanya peningkatan daya akan memberikan efek thermal yang besar yang ditandai dengan adanya kenaikan suhu dan penurunan viskositas produk biodiesel yang dihasilkan. Menurut persyaratan EN 14214 nilai viskositas kinematik yang diperbolehkan adalah 1,9–6,0 mm²/s pada temperatur 40 °C [15]. Densitas yang tinggi akan meningkatkan keausan mesin, tingginya emisi, dan dapat merusak komponen mesin yang berhubungan dengan laju alir minyak *biodiesel*. *Biodiesel* yang baik seharusnya sesuai dengan ASTM D6751 (max 850-890 kg/m³) [16]. Kandungan air dalam *biodiesel* ini dikarenakan pada proses pemurnian dengan cara pencucian biodiesel menggunakan aquadest untuk memisahkan *biodiesel* dengan sisa reaktan. Berdasarkan Standar ASTM D6751 kadar air yang terkandung dalam *biodiesel* maksimum sebesar 0,05% [17].

3. HASIL DAN DISKUSI

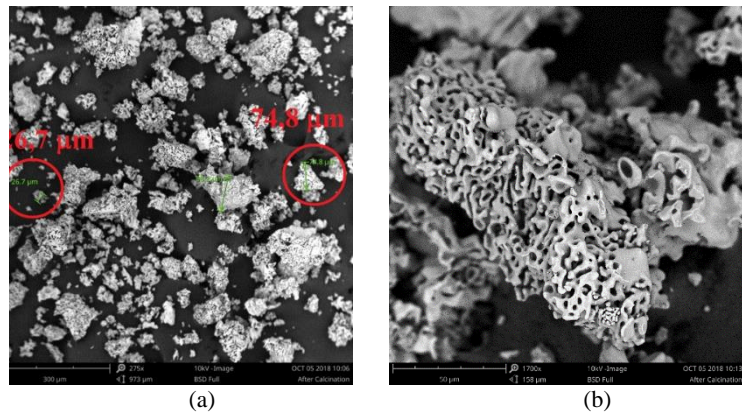
3.1. Karakterisasi limbah cangkang kerang

Rendemen katalis heterogen sebesar 97,65% diperoleh dari penimbangan sebelum dan sesudah kalsinasi pada temperature 1000 °C selama 12 jam. Kalsinasi pada temperatur yang lebih tinggi menyebabkan desorpsi karbon dioksida dari katalis limbah cangkang kerang dapat dijadikan sebagai katalis heterogen yang ramah lingkungan dalam proses konversi minyak Jelantah menjadi biodiesel. Gambar 2 dan 3 menampilkan gambar SEM yang diambil pada perbesaran 1700x untuk sampel limbah cangkang kerang tanpa kalsinasi dan terkalsinasi. Transformasi permukaan katalis dapat dilihat dari sifat halus dan rata dari sisa cangkang kerang (Gambar 2) menjadi campuran selisih yang lebih kecil dan permukaan datar yang diperoleh dari katalis yang dipanaskan (Gambar 3) dan *spongy* dan mikro berserat yang dihasilkan dari kalsinasi pada 1000 °C selama 12 jam. Struktur mikro yang dihasilkan menunjukkan peningkatan luas permukaan katalis karena kalsinasi, yang dapat meningkatkan aktivitas katalitiknya. Perlakuan termal melalui kalsinasi mencegah kehilangan K sehingga meningkatkan *reusability* katalis [18]. Perbesaran dengan 1700x, katalis tanpa dikalsinasi menunjukkan partikel seperti batu dengan ukuran tidak beraturan. Katalis heterogen limbah cangkang kerang menunjukkan ukuran pori sebesar yaitu 83,6 µm. Gambar 3 menggambarkan *mikrograf* SEM katalis heterogen dari limbah cangkang kerang setelah dikalsinasi dengan 1000 °C. Gambar tersebut menunjukkan adanya morfologi relatif lebih kecil dan mirip satu sama lain meningkatkan luas permukaan katalis. Pada pembesaran yang sama dari 1700x, sebaran ukuran molekul merata dan bentuk teratur. Struktur gumpalan atau aglomerasi ini menunjukkan adanya logam oksida yang terbentuk pada perlakuan panas pada katalis. Pengamatan ini menunjukkan permukaan pori memiliki ukuran yang lebih kecil yaitu 26,7 µm. Hasil morfologi SEM mengungkapkan bahwa komposisi CaCO₃ pada cangkang kerang tidak berubah apabila tidak adanya puncak CaO. Tetapi dengan temperatur tinggi maka CaCO₃ berubah menjadi CaO dengan berubah menjadi CO₂. Komposisi katalis heterogen dari cangkang kerang yang dikalsinasi pada 1000 °C memiliki bahan aktif seperti CaO (kapur). Puncak-puncak karakteristik CaCO₃ dari limbah cangkang kerang yang dikalsinasi mendefinisikan struktur katalis yang dikristalisasi dengan baik. Fenomena ini

mengisyaratkan bahwa pengaruh kalsinasi cangkang kerang pada temperatur tinggi dapat menyebabkan konversi CaCO_3 menjadi CaO sehingga distribusi partikel lebih teratur. Penurunan ukuran partikel meningkatkan luas permukaan katalis CaO . Hal ini diharapkan dapat meningkatkan luas permukaan kontak antara fasa aktif katalis dengan minyak dan alkohol.



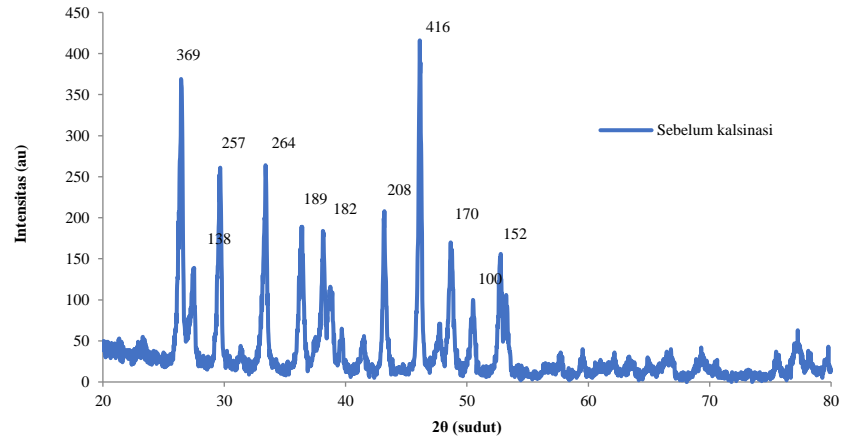
Gambar 2. Morfologi SEM dari katalis heterogen dari cangkang kerang sebelum dikalsinasi



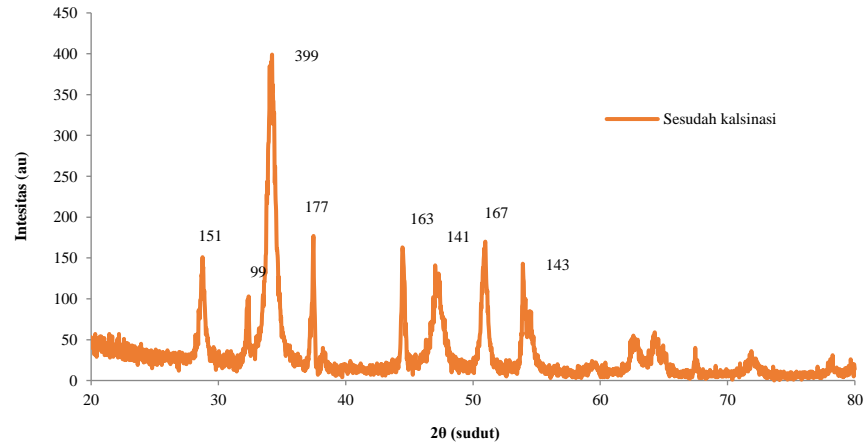
Gambar 3. Morfologi SEM dari katalis heterogen dari cangkang kerang setelah dikalsinasi pada 1000 °C

Kristalinitas limbah cangkang kerang diamati dengan difraksi XRD. Pola XRD katalis heterogen cangkang kerang disajikan pada Gambar 4. Dari pola XRD limbah cangkang kerang tanpa kalsinasi tidak terdapat puncak karakteristik CaO . Hal ini dapat dimengerti karena sekitar 98,5% kandungan dari limbah cangkang kerang adalah CaCO_3 [19]. Pada Gambar 4, intensitas tertinggi terdapat pada 2θ sekitar 27° dan 47° . Sedangkan pada pada Gambar 5, intensitas tertinggi yaitu pada 2θ sekitar 35° . Pola XRD seperti Gambar 5 mirip dengan pola CaO yang dilaporkan oleh Ramli dkk. [20]. Hal ini menunjukkan bahwa kalsinasi pada 1000 °C dapat membuat struktur CaO menjadi lebih kristalin. Temperatur kalsinasi yang tinggi menyebabkan kalsium karbonat sepenuhnya diubah menjadi kalsium oksida. Ukuran kristal rata-rata katalis CaO disintesis 1000 °C adalah 97 ± 2 nm. Semua cangkang kerang merupakan bahan yang kurang berpori karena dari volume pori jejak mereka di cangkang sangat kecil [21]. Luas permukaan yang lebih rendah dari katalis cangkang kerang sangat sensitif terhadap temperatur. Temperatur kalsinasi yang tinggi akan menyebabkan

sintering partikel halus dan akan menyebabkan aglomerasi kluster sehingga menghasilkan pengurangan luas permukaan dalam katalis heterogen [22].



Gambar 4. XRD limbah cangkang kerang tanpa kalsinasi



Gambar 5. XRD kalsinasi limbah cangkang kerang pada 1000 °C

3.2. Karakterisasi kualitas WCME

Sifat bahan bakar WCME yang dihasilkan menggunakan katalis heterogen limbah cangkang kerang ditentukan dan hasilnya dirangkum dalam Tabel 1. Sifat biodiesel yang dihasilkan sangat baik dibandingkan dengan spesifikasi standar EN 14214 dan ASTM D 6751. Nilai viskositas dan nilai kalor masing-masing adalah 4,52 mm²/s dan 40,490 MJ/kg dibandingkan dengan solar (2,91 mm²/s dan 45,825 MJ/kg) dan hasil ini dalam batas yang ditentukan oleh standar [23]. Stabilitas oksidasi WCME adalah 6,33 jam dibandingkan dengan WCME hasil produksi dari [11] dimana mereka memproduksi biodiesel dengan menggunakan katalis homogen memiliki stabilitas oksidasi adalah 4,61 jam. WCME mencapai stabilitas oksidatif di atas nilai yang ditentukan ASTM D6751 yaitu 3,0 jam. Titik nyala relatif lebih tinggi (156,5 °C) daripada solar (71,5 °C). Hal ini menunjukkan bahwa biodiesel lebih aman untuk penyimpanan dan digunakan di sektor transportasi sesuai dengan ASTM D 6751 [24]. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa minyak Jelantah dapat dikonversi menjadi metil ester atau biodiesel dengan kualitas SNI menggunakan katalis hasil dekomposisi dari limbah cangkang kerang.

Selain itu, kelayakan limbah cangkang kerang sebagai katalis untuk produksi biodiesel diteliti dengan melakukan uji masing-masing pada WCME. Pada penelitian, kami melakukan perbandingan antara WCME yang tidak dicuci dan dicuci. Unsur-unsur logam dianalisis dalam WCME yaitu Na, K, Ca dan Mg. WCME yang tidak dicuci memiliki konsentrasi 1,8 ppm Na+K dan 0,42 ppm Ca+Mg, sedangkan WCME yang dicuci memiliki konsentrasi Na+K sebanyak 115,6 ppm dan konsentrasi Ca+Mg yaitu 0,96 ppm. Nilai yang diamati dari sampel yang dicuci memenuhi spesifikasi standar ASTM D 6751. Metode pemurnian merupakan metode yang efektif dalam menghilangkan unsur logam yang mungkin telah terlarut ke dalam biodiesel [25].

Tabel 1. Karakterisasi metil ester minyak Jelantah dan diesel.

| SIFAT-SIFAT | SATUAN | METODE | DIESEL | WCME ^A | WCME ^B |
|----------------------------------|------------------------|--------------|--------|-------------------|-------------------|
| Viskositas kinematik pada 40 °C | mm ² /s | ASTM D445 | 2,91 | 4,52 | 5,12 |
| Kepadatan pada 15 °C | kg/m ³ | ASTM D1298 | 839 | 862,9 | 862,1 |
| Nilai asam | mg KOH/g | ASTM D664 | 0,17 | 0,11 | 0,13 |
| Nilai kalori | MJ/kg | EN 14214 | 45,825 | 40,49 | 38,766 |
| Kandungan air | % vol. | EN ISO 12937 | 0,0038 | 0,01 | 0,014 |
| Titik nyala | °C | ASTM D93 | 71,5 | 156,5 | 154 |
| Titik Tuang | °C | ASTM D97 | 1 | 2,8 | 12 |
| Strip korosi tembaga 50 °C 3 jam | - | ASTM D130 | 1a | 1a | 1a |
| nilai yodium | g I ₂ /100g | EN 14111 | - | 103 | - |
| Stabilitas oksidasi, 110 °C | % m/m | EN 14112 | 23,7 | 6,33 | 4,61 |
| ^A hasil - | | | | | |
| ^B [11] | | | | | |

4. KESIMPULAN

Sintesis biodiesel dilakukan dengan menggunakan minyak jelantah, metanol dan dengan bantuan katalis heterogen limbah cangkang kerang dalam proses transesterifikasi. Minyak jelantah dengan kandungan asam lemak bebas pertama-tama direduksi menjadi 0,11% wt. Dalam reaksi transesterifikasi melalui metanol: minyak 6:1, CaO (katalis heterogen limbah cangkang kerang) 2% wt., waktu reaksi 60 menit dan temperatur 60 °C. Karakterisasi limbah cangkang kerang yang dihasilkan oleh XRD dan SEM menunjukkan bahwa aktivitas katalitiknya meningkat karena kandungan K yang tinggi dan perubahan mikrostruktur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa katalis heterogen dari limbah cangkang kerang merupakan pilihan untuk proses transesterifikasi dan biodiesel yang dihasilkan memenuhi spesifikasi standar EN 14214 dan astm D 6751. Potensi limbah cangkang kerang sebagai katalis heterogen untuk produksi biodiesel memiliki prospek yang sesuai standar untuk dijadikan bahan baku dalam memproduksi biodiesel, sehingga krisis energi dapat diatasi dengan penggunaan bahan baku yang tersedia dan lebih ekonomis.

PERNYATAAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan finansial yang diberikan oleh Pusat Penelitian Pengabdian Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Medan (Nomor Kontrak: B/255/PL5/PT.01.05/2023), Medan, Indonesia, dan Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (LPPM 2023), Medan, Indonesia

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Singh, D. Sharma, S. Soni, S. Sharma, P. K. Sharma dan A. Jhalani, *A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel*, *Fuel*, 262, 116553, 2020.
- [2] Y. W. Mirzayanti, K. Udyani, R. Cahyaningsih dan M. P. T. Darmawan, *Konversi minyak biji kapuk menjadi biodiesel menggunakan katalis CaO/HTC*, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13, 417-425, 2022.
- [3] M. A. H. Shaah, M. S. Hossain, F. A. S. Allafi, A. Alsaedi, N. Ismail, M. O. Ab Kadir dan M. I. Ahmad, *A review on non-edible oil as a potential feedstock for biodiesel: physicochemical properties and production technologies*, *RSC advances*, 11, 25018-25037, 2021.
- [4] H. H. Mardhiah, H. C. Ong, H. Masjuki, S. Lim dan H. Lee, *A review on latest developments and future prospects of heterogeneous catalyst in biodiesel production from non-edible oils*, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 67, 1225-1236, 2017.
- [5] S. Sukri, M. N. Sasongko dan T. D. Widodo, *Pengaruh campuran bahan bakar biodiesel WCO-diesel terhadap karakteristik api hasil pembakaran spray difusi pada concentric jet burner*, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12, 459-466, 2021.
- [6] Y.-C. Lin, P.-M. Yang, S.-C. Chen dan J.-F. Lin, *Improving biodiesel yields from waste cooking oil using ionic liquids as catalysts with a microwave heating system*, *Fuel Processing Technology*, 115, 57-62, 2013.
- [7] A. Talebian-Kiakalaieh, N. A. S. Amin dan H. Mazaheri, *A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil*, *Applied Energy*, 104, 683-710, 2013.
- [8] H. Mazaheri, H. C. Ong, H. H. Masjuki, Z. Amini, M. D. Harrison, C.-T. Wang, F. Kusumo dan A. Alwi, *Rice bran oil based biodiesel production using calcium oxide catalyst derived from *Chicoreus brunneus* shell*, *Energy*, 144, 10-19, 2018.
- [9] M. Gohain, A. Devi dan D. Deka, *Musa balbisiana Colla peel as highly effective renewable heterogeneous base catalyst for biodiesel production*, *Industrial Crops and Products*, 109, 8-18, 2017.
- [10] J. Nisar, R. Razaq, M. Farooq, M. Iqbal, R. A. Khan, M. Sayed, A. Shah dan I. Rahman, *Enhanced biodiesel production from *Jatropha* oil using calcined waste animal bones as catalyst*, *Renewable Energy*, 101, 111-119, 2017.
- [11] J. Milano, H. C. Ong, H. H. Masjuki, A. S. Silitonga, F. Kusumo, S. Dharma, A. H. Sebayang, M. Y. Cheah dan C.-T. Wang, *Physicochemical property enhancement of biodiesel synthesis from hybrid feedstocks of waste cooking vegetable oil and Beauty leaf oil through optimized alkaline-catalysed transesterification*, *Waste Management*, 80, 435-449, 2018.
- [12] R. Hartono, Y. R. Denny, D. S. Ramdhani, L. D. Assaat, A. W. Priakbar dan W. H. Ribawa, *Pembuatan biodiesel dengan reaktor bersirkulasi sederhana menggunakan katalis KOH*, *Jurnal Teknologi*, 15, 123-132, 2023.
- [13] I. A. Ibadurrohman, N. Hamidi dan L. Yuliati, *Pengaruh panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan terhadap karakteristik pembakaran droplet asam lemak tunggal*, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12, 331-347, 2021.
- [14] D. Hendra, S. Wibowo, N. Hastuti dan H. S. Wibisono, *Karakteristik biodiesel biji Bintaro (*Cerbera manghas* L) dengan proses modifikasi*, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34, 11-21, 2016.
- [15] R. Prasetyowati, *Uji Viskositas Pemakaian Pelumas Mesin Kendaraan Bermotor*, *J. Sains Dasar*, 42-48, 2015.

- [16] M. S. Rusli, G. Ramadhan, H. Setiaprada dan O. Farobie, Pengaruh penambahan bioaditif minyak atsiri pada bahan bakar biosolar terhadap kinerja mesin diesel, *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32, 65-73, 2022.
- [17] D. P. Ningtyas, Pengaruh katalis basa (NaOH) pada tahap reaksi transesterifikasi terhadap kualitas biofuel dari minyak tepung ikan sardin, *Jurnal Teknosains*, 2, 2013.
- [18] M. Sharma, A. A. Khan, S. Puri dan D. Tuli, Wood ash as a potential heterogeneous catalyst for biodiesel synthesis, *Biomass Bioenergy*, 41, 94-106, 2012.
- [19] N. A. Rashidi, M. Mohamed dan S. Yusup, *The kinetic model of calcination and carbonation of Anadara Granosa*, *International Journal of Renewable Energy Research*, 2, 497-503, 2012.
- [20] M. Ramli, R. B. Rossani, Y. Nadia, T. B. Darmawan, Febriani, Saiful dan Y. S. Ismail, *Proceedings, Nanoparticle fabrication of calcium oxide (CaO) mediated by the extract of red dragon fruit peels (Hylocereus Polyrhizus) and its application as inorganic-anti-microorganism materials*, 2019.
- [21] N. Viriya-empikul, P. Krasae, B. Puttasawat, B. Yoosuk, N. Chollacoop dan K. Faungnawakij, *Waste shells of mollusk and egg as biodiesel production catalysts*, *Bioresource Technology*, 101, 3765-3767, 2010.
- [22] N. Nakatani, H. Takamori, K. Takeda dan H. Sakugawa, *Transesterification of soybean oil using combusted oyster shell waste as a catalyst*, *Bioresource Technology*, 100, 1510-1513, 2009.
- [23] H. Muthu, V. SathyaSelvabala, T. Varathachary, D. Kirupha Selvaraj, J. Nandagopal dan S. Subramanian, *Synthesis of biodiesel from Neem oil using sulfated zirconia via tranesterification*, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27, 601-608, 2010.
- [24] U. Rashid, F. Anwar dan G. Knothe, *Evaluation of biodiesel obtained from cottonseed oil*, *Fuel Processing Technology*, 90, 1157-1163, 2009.
- [25] F. A. Dawodu, O. Ayodele, J. Xin, S. Zhang dan D. Yan, *Effective conversion of non-edible oil with high free fatty acid into biodiesel by sulphonated carbon catalyst*, *Applied Energy*, 114, 819-826, 2014.