Vol 7 No 1 Tahun 2025 E-ISSN: 2715-9469

PRODUKSI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS KOMPOSIT CaO/KARBON AKTIF DARI CANGKANG KERANG DAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) LIMBAH LOKAL

Rini Maisari[1], Latera Enjelina Simanullang[1], Rabiatul Alvira[1], Rahmawati[1], Teuku Andi Fadlly[1*],Rachmad Almi Putra[2],
[1]Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra
[2]Program Studi Geofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Samudra
*Email : andifadly@unsam.ac.id
(Received: April 2025 / Revised: April 2025 / Accepted: April 2025)

ABSTRAK

Penelitian ini memproduksi biodiesel menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif dari cangkang kerang dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). Limbah minyak goreng dapat di ubah menjadi biodiesel, perlu adanya inovasi material maju sebagai katalis terkait limbah tersebut. Karbon aktif di hasilkan dari karbonisasi TKKS dengan temperatur 600 °C selama 1 jam dan aktivasi kimia menggunakan KOH 1M direndam selama 24 jam. CaO dihasilkan dengan melakukan furnace pada cangkang kerang dengan temperatur 1000 °C selama 4 jam. Sintesis komposit CaO/karbon aktif dilakukan dengan metode *solid state*. Hasil data XRD pada komposit CaO/karbon aktif menunjukkan tidak terbentuk puncak baru pada pola difraksi CaO, sehingga dinyatakan terbentuknya komposit. Sintesis biodiesel menggunakan minyak goreng bekas dilakukan dengan metode transesterifikasi. Hasil metil ester dari uji GCMS pada katalis komposit CaO/karbon aktif 5 wt.%, yaitu 93,05 %. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan dengan katalis CaO dan komposit CaO/karbon aktif 2,5 wt.%. Karakteristik biodiesel menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 5 wt.% memiliki nilai viskositas sebesar 1,012 mm^2/s, densitas sebesar 0,8467 gr/ml, dan angka asam 7.
Kata Kunci: *biodiesel, tandan kosong kelapa sawit, CaO, karbon aktif, transesterifikasi.*

1. PENDAHULUAN

Saat ini karbon aktif banyak berperan penting sebagai bahan utama dan bahan pembantu dalam proses industri untuk meningkatkan kualitas produk yang dihasilkan. Limbah biomassa dari limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti bahan baku energi terbarukan, pengomposan dan juga dapat digunakan sebagai karbon aktif [1]. Karbon aktif dari TKKS banyak digunakan sebagai bahan baku pada industri pengolahan air minum, industri gula, industri farmasi dan banyak industri lain. Selain digunakan sebagai bahan baku, karbon aktif dapat digunakan sebagai adsorben [2]. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300 hingga 3500 m^2/g, yang terkait dengan struktur pori internal yang memberikan karbon aktif sifat adsorpsinya [3]. Karbon aktif dapat menyerap gas atau senyawa tertentu dan memiliki sifat adsorpsi yang selektif, tergantung pada ukuran atau volume dan luas permukaan pori [3].

Penggunaan sistem adsorpsi merupakan salah satu proses yang digunakan dalam penyimpanan gas. adsorpsi membutuhkan adsorben sebagai media penyerap salah satunya adalah karbon aktif [4]. Selain itu, karbon aktif bisa dijadikan komposit dengan mencampur bahan lainnya. Komposit dapat berupa campuran karbon aktif dan CaO. Sumber CaO dapat diperoleh dari limbah cangkang kerang. Pemanfaatan limbah cangkang kerang berpotensi dalam mengurangi biaya produksi serbuk CaO. Komposit campuran karbon aktif dan CaO dari cangkang kerang dapat digunakan sebagai katalis heterogen untuk memproduksi biodiesel [5].

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan produksi biodiesel dengan metode transesterifikasi dari minyak sawit mentah atau CPO menggunakan montmorilonite nanopartikel (nano-MMT) yang merupakan padatan heterogen katalisator [6]. Selain itu, menggunakan katalis heterogen CaO dari cangkang kerang darah (*Anadara Gronusa*) yang dikalsinasi pada temperatur 900 $^{\circ}C$ sebagai produksi biodiesel [7]. Selanjutnya metode proses pembuatan katalis dengan berbasis karbon aktif menggunakan tempurung kelapa dengan diimpregnasi KOH yang digunakan dalam proses reaksi transesterifikasi dalam memproduksi biodiesel [8]. Produksi biodiesel juga dilakukan dengan menggunakan katalis abu tandan kelapa sawit [9].

Berdasarkan latar belakang diatas komposit CaO/karbon aktif dapat digunakan sebagai katalis untuk memproduksi biodiesel. Penelitian ini menggunakan cara baru untuk membuat biodiesel dengan memanfaatkan dua jenis limbah lokal, yaitu cangkang kerang dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Cangkang kerang diolah menjadi kalsium oksida (CaO), sedangkan TKKS dijadikan karbon aktif. Kedua bahan ini digabungkan menjadi katalis komposit yang digunakan dalam proses pembuatan biodiesel. Cara ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan satu jenis limbah sebagai katalis. Selain itu, penelitian ini menggunakan minyak goreng bekas sebagai bahan baku, sehingga lebih ramah lingkungan dan murah. Diharapkan metode ini bisa menghasilkan biodiesel dengan hasil yang tinggi dan menjadi solusi pengolahan limbah yang bermanfaat Harapan dalam penelitian ini, minyak goreng bekas memiliki potensi persentasi hasil biodiesel yang tinggi.

2. METODE PENELITIAN

TKKS yang diambil dari Pabrik PKS Koperasi Prima Jasa dibersihkan dengan air aquades, sehingga kotoran atau debu hilang, selanjutnya dipotong-potong kecil-kecil dan dikeringkan dengan oven pada suhu 150 °C selama 1 jam. Cangkang kerang pertama kali diambil di kuala langsa, Kota Langsa, kemudian dicuci menggunakan aquades agar kotoran yang lengket pada kerang tersebut bersih. Setelah dicuci, kemudian cangkang kerang dioven pada suhu 150 °C selama 3 jam, selanjutnya cangkang kerang ditumbuk sampai halus.

Tahap pertama pada pembuatan karbon aktif ialah karbonisasi TKKS yang telah dioven dengan menggunakan furnace dengan temperatur 600 °C selama 1 jam. Proses selanjutnya karbon aktif dimortal dan dilakukan aktivasi kimia, sampel karbon TKKS direndam dalam larutan KOH 1 mol [10], kemudian campuran sampel tersebut dipanaskan dan diaduk menggunakan *hotplate* dan *magnetic stirrer* pada suhu 80 °C dengan putaran 200 rpm selama 4 jam. Campuran tersebut kemudian didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk endapan. Kemudian campuran disaring menggunakan kertas saring sehingga menyisakan karbon aktif. Karbon lalu dicuci berulang kali menggunakan aquades hingga pH netral. Selanjutnya karbon aktif akan dilakukan proses pengeringan pada suhu 150 °C menggunakan oven selama 3 jam. Proses dalam pembuatan serbuk CaO dihasilkan dari serbuk cangkang kerang yang dihaluskan kemudian dikalsinasi pada temperatur 1.000 °C selama 4 jam. Serbuk CaO dan karbon aktif kemudian disaring menggunakan ayakan 100 mesh.

Katalis komposit CaO/karbon aktif dari cangkang kerang dan TKKS dibuat dengan menggunakan metode *solid state* [11] dengan mencampurkan serbuk CaO dari cangkang kerang dan karbon aktif dari TKKS secara merata, lalu dipanaskan pada suhu tinggi tanpa menggunakan pelarut. Proses ini memungkinkan terjadinya reaksi langsung antara bahan padat untuk membentuk katalis komposit yang stabil dan efektif digunakan dalam reaksi transesterifikasi. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan mencampurkan kedua bahan dengan perbandingan berat persen 0, 2.5, dan 5 wt.%. Setelah dicampurkan, kedua bahan digerus menggunakan mortar selama 30 menit sampai teraduk rata dan tidak terdapat gumpulan.

Proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan metode transesterifikasi, dimana perbandingan minyak goreng bekas dengan methanol adalah 1:6. Transesterifikasi adalah proses kimia yang mengubah minyak atau lemak menjadi biodiesel dan gliserol. Reaksi ini memutus ikatan trigliserida dan menggantikannya dengan gugus metil dari metanol, sehingga terbentuk metil ester (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping.Campuran tersebut dimasukkan ke dalam labu bulat leher tiga dan selanjutnya campurkan komposit CaO/karbon aktif sebanyak 4 gram yang berperan sebagai katalis. Campuran dari ketiga bahan tersebut direfluks selama 3 jam dengan kecepatan 250 rpm pada suhu 60 °C [6]. Setelah proses tersebut selesai, cairan didiamkan dalam corong pisah selama 24 jam sehingga membentuk 2 lapisan yaitu biodiesel pada lapisan atas dan gliserol pada lapisan bawah. Selanjutnya gliserol dipisahkan sehingga tersisa biodiesel.

Identifikasi biodiesel dilakukan pengujian GCMS dengan parameter konsentrasi (%) terhadap waktu retensi (menit) yang menggambarkan kromatogram. Selain itu, dilakukan uji densitas biodiesel menggunakan alat piknometer dengan pemanasan sampel 40 °C. Uji viskositas biodiesel menggunakan metode uji lauda 900 dengan pemanasan sampel pada suhu 40 °C. Uji angka asam biodiesel dengan menggunakan pH meter.

3. HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil sintesis karbon aktif dari TKKS ditunjukkan pada Gambar 1. Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa karbon aktif dari TKKS yang sudah berbentuk serbuk berwarna hitam pekat dan tidak memiliki bau. Warna hitam pekat tersebut diakibatkan proses karbonisasi untuk menghasilkan karbon aktif [12]. Aktivasi kimia dilakukan untuk membuka pori karbon aktif agar kinerjanya lebih optimal [13].



Gambar 1. Hasil sintesis karbon aktif dari TKKS..

Hasil sintesis CaO dari cangkang kerang ditunjukkan pada Gambar 2. Pada Gambar 2 menunjukkan cangkang kerang telah menjadi serbuk halus berwarna putih. Sebelum dilakukan kalsinasi cangkang kerang memiliki unsur $CaCO_3$, kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan komponen-komponen organik dan mengubah senyawa $CaCO_3$ pada cangkang kerang menjadi CaO [14].



Gambar 2. Hasil sintesis CaO dari cangkang kerang.

Hasil sintesis katalis komposit CaO/karbon aktif menggunakan ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 2 bentuk fisik dari hasil sintesis komposit CaO/karbon aktif berwarna abu-abu. Warna abu-abu komposit CaO/karbon aktif semakin dominan seiring kenaikan komposisi karbon aktif yang digunakan.



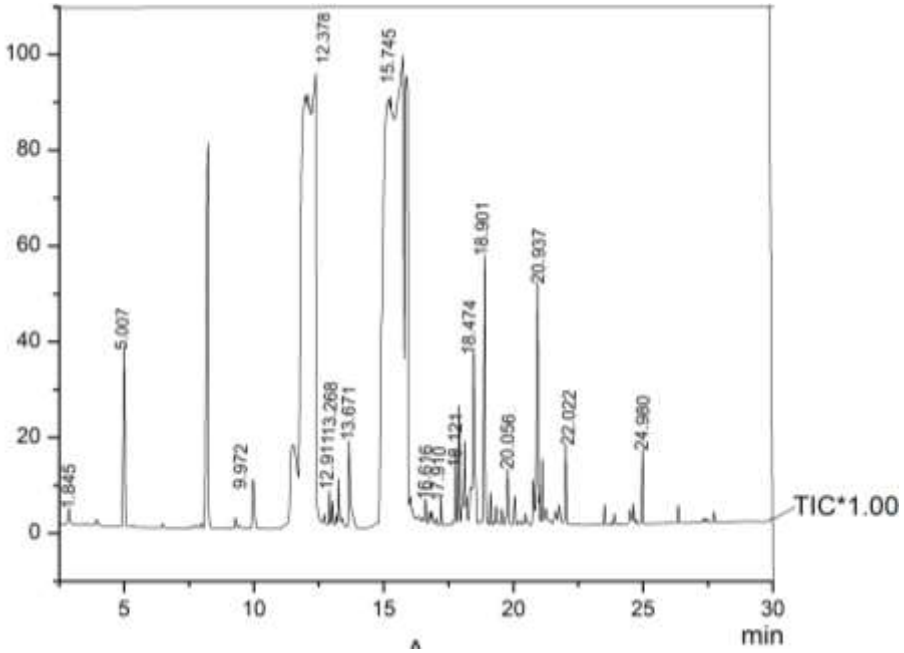
Gambar 3. Hasil sintesis katalis komposit CaO/karbon aktif.

Hasil sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas ditunjukkan pada Gambar 4. Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa hasil biodiesel menggunakan CaO memiliki warna yang lebih keruh yang mengindikasikan reaksi kurang optimal atau masih banyak sisa pengotor dibandingkan hasil biodiesel dari katalis komposit CaO/karbon aktif yang memiliki warna lebih bening(reaksi lebih efisien dan kulaitas lebih baik). Selain itu, menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 5 wt.% lebih bening dibandingkan 2,5 wt.%. membuat biodiesel semakin bening, artinya lebih banyak trigliserida berhasil dikonversi menjadi metil ester (biodiesel).



Gambar 4. Hasil sintesis biodisel dari minyak goreng bekas.

Identifikasi FAME (Fatty Acid Methyl Ester) atau biodiesel dilakukan menggunakan GC-MS. Hasil uji GC-MS menggunakan katalis CaO menghasilkan biodiesel dari minyak goreng bekas ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kromatogram GCMS biodiesel dari minyak goreng bekas menggunakan katalis CaO cangkang kerang.

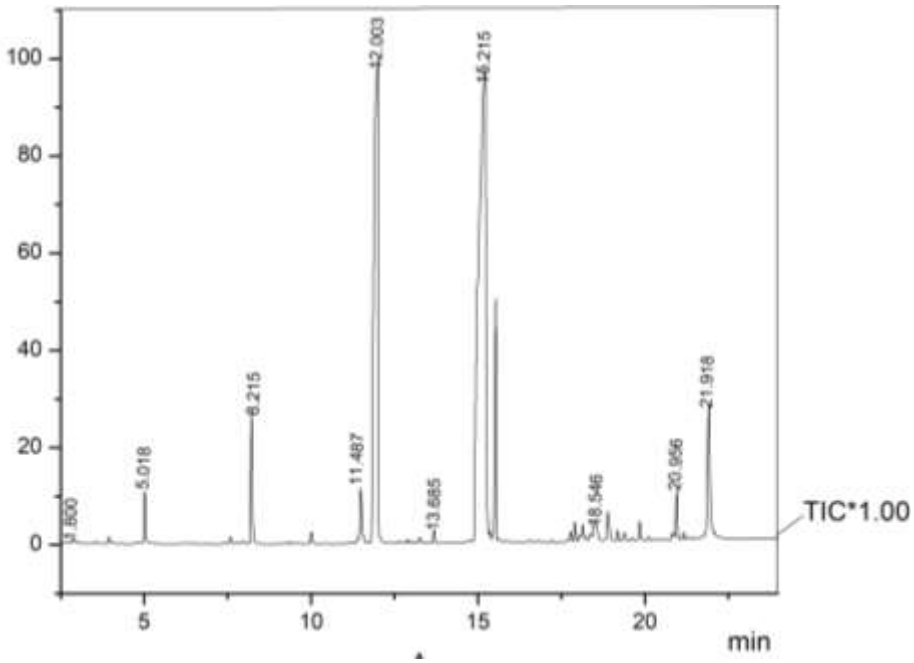
Berdasarkan Gambar 5 teridentifikasi metil ester 9- Octadecenoic acid tertinggi, yaitu 37,91%. Tertinggi kedua teridentifikasi metil ester Hexadecenoic acid, yaitu 36,78%. Selain itu, metil ester yang dihasilkan di bawah 3%, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil keseluruhan metil ester yang dihasilkan menggunakan katalis CaO sebesar 88.57%. Identifikasi FAME dari hasil uji GC-MS menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 2,5 wt.% dari minyak goreng bekas ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 1. Identifikasi dan komposisi biodiesel dari minyak goreng bekas dengan katalis CaO dari hasil GCMS.

No Peak	R. Time	Area%	Name
1	1.845	0.17	Octanoic acid, methyl ester (CAS) methyl ester
2	5.007	1.61	Dodeconoic acid, methyl ester (CAS) methyl
4	9.972	0.52	Pentadecanoic acid,methyl ester
5	12.378	36.78	Hexadecenoic acid, methyl ester (CAS) methyl
6	12.911	0.19	6-Hexadecenoic acid, 7-methyl,methyl ester
7	13.268	0.25	Cis-10-Heptadecenoic acid, methyl ester
8	13.671	0.59	Heptadecenoic acid, methyl ester
9	15.745	37.91	9-Octadecenoic acid, methyl ester (CAS) methyl ester
11	16.616	0.17	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester
12	17.910	1.34	5,8,11,14-Eicosatetraenoic acid, methy ester, (all-Z)-
13	18.121	1.45	Oxiraneoctanoic acid, 3-0ctyl-, methy ester
14	18.474	1.95	Cis-11-Eicosenoic acid, methyl ester
15	18.901	2.26	Eicosanoic acid, methyl ester (CAS) Arachidic acid methy ester
16	20.056	0.24	Oxiraneoctanoic acid, 3-0ctyl-, methy ester
18	20.937	2.18	4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid, methyl ester, (all-Z)-
20	22.002	0.48	Docosanoic acid, methyl ester
21	24.980	0.48	Tetracosanoic acid, methy ester
	Total	88.57	Fatty acid methyl ester (FAME)

Identifikasi FAME dari hasil uji GC-MS menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 2,5 wt.% dari minyak goreng bekas ditunjukkan pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5 teridentifikasi metil ester 9- Octadecenoic acid tertinggi, yaitu 46,10%. Tertinggi kedua teridentifikasi metil ester Hexadecenoic acid, yaitu 28,78%. Selain itu, metil

ester yang dihasilkan di bawah 5%, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil keseluruhan metil ester yang dihasilkan menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 2,5 wt.% sebesar 87.20%. Hasil tersebut lebih rendah dibandingkan metil ester menggunakan katalis CaO.



Gambar 5. Kromatogram GCMS biodiesel dari minyak goreng bekas menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 2,5 wt.%

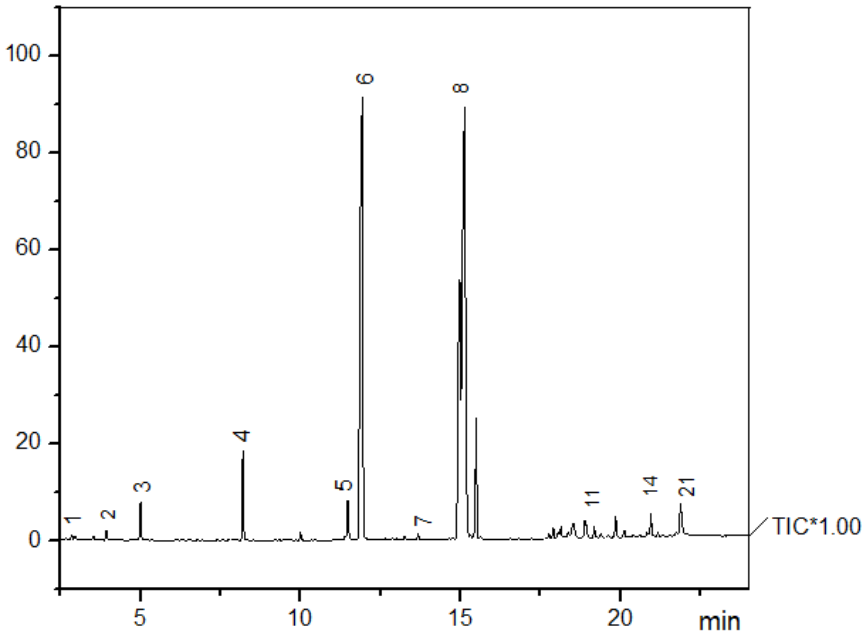
Tabel 2. Identifikasi dan komposisi biodiesel dari minyak goreng bekas dengan katalis komposit CaO/karbon aktif 2,5 wt.% dari hasil GCMS.

No peak	R.Time	Area %	Name
1	1.8	0.38	Octanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl octanoate
2	5.018	1.07	Dodecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl laurate
3	8.215	2.72	Tetradecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate
4	11.487	1.33	9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-
5	12.003	28.78	Hexadecanoic acid, methyl ester
6	13.685	0.26	Heptadecanoic acid, methyl ester
7	15.215	46.10	9-Octadecenoic acid, methyl ester
10	18.546	1.53	Oxiraneoctanoic, 3-octyl-, methyl ester, trans-(CAS) Methyl trans-9, 10-epoxystearate
12	20.956	0.90	4, 7,10, 13, 16, 19-Docosahexaenoic acid, methyl ester, (all-Z)-
13	21.918	4.13	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hyroxymethyl) methyl ester
	Total	87.20	Fatty acid methyl ester (FAME)

Identifikasi FAME dari hasil uji GC-MS menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 5 wt.% dari minyak goreng bekas ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6 teridentifikasi metil ester 9-Octadecenoic acid tertinggi, yaitu 35,05%. Tertinggi kedua teridentifikasi metil ester Hexadecenoic acid, yaitu 31,94%. Tertinggi ketiga teridentifikasi metil ester 12- Octadecadienoic acid, yaitu 16,28%. Selain itu, metil ester yang dihasilkan di bawah 3%, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil keseluruhan metil ester yang dihasilkan menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 5 wt.% sebesar 93.05%. Hasil tersebut lebih tinggi menghasilkan metil ester dibandingkan menggunakan katalis CaO dan komposit katalis CaO/karbon aktif 2,5 wt.%.

Berdasarkan hasil analisis GC-MS tersebut diatas menggunakan katalis CaO dan katalis komposit CaO/karbon aktif 2,5 wt.% serta 5 wt.%, seiring dengan meningkatnya karbon aktif meningkatkan hasil metil ester. Akan tetapi, katalis CaO tanpa karbon menghasilkan metil ester lebih tinggi dari katalis komposit CaO karbon aktif 2,5 wt.%. Hal tersebut akibat dari sifat CaO yang mudah bereaksi dengan CO_2 dan H_2O. Selain itu, CaO akan membentuk emulsi [15]. Hal ini disebabkan kelebihan atau kekurangan metanol hanya akan mengakibatkan peningkatan pembentukan gliserol

dan emulsi. Artinya, gliserol akan larut dalam metanol berlebihan dan kemudian menghambat metanol [16]. Selain hal tersebut, karbon aktif dapat berfungsi menurunkan asam lemak pada minyak goreng bekas [17]. Hasil metil ester dengan metode transesterifikasi dipengaruhi oleh suhu reaksi, rasio molar antara minyak dan metanol, waktu reaksi dan berat katalis [18]. Karakteristik biodiesel tidak hanya jumlah metil ester, tetapi terdiri nilai densitas, viskositas dan angka asam. Hal ini secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4 dengan membandingkan syarat mutu biodiesel SNI 7182:2015.



Gambar 6. Kromatogram GCMS biodiesel dari minyak goreng bekas menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 5 wt.%.

Tabel 3. Identifikasi dan komposisi biodiesel dari minyak goreng bekas dengan katalis komposit CaO/karbon aktif 5 wt.% dari hasil GCMS.

No Peak	R. Time	Area%	Name
1	1.797	0.77	Octanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl octanoate
2	3.938	0.34	Nonanoic, 9-oxo-,methyl ester
3	5.004	1.28	Dodecanoic acid, methyl ester (CAS) Methyl laurate
4	8.202	2.85	Tetradecanoid acid, methyl ester (CAS) Methyl myristate
5	11.475	1.38	9-Hexadecenoid acid, methyl ester, (Z)-
6	11.938	31.94	Hexadecanoic acid, methyl ester
7	14.971	16.28	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-,methyl ester
8	15.139	35.05	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester (CAS) methyl oleate
11	18.532	0.99	2-Furanotanoic acid, 5-hexytetrahydro-,methyl ester
14	20.944	0.65	4, 7, 10, 13, 16,19-Docosahexaenoic acid, methyl ester
15	21.871	1.52	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl) methyl ester
	Total	93.05	Fatty acid methyl ester (FAME)

Berdasarkan Tabel 4, hasil karakteritik biodiesel belum memenuhi SNI 7182:2015. Hasil biodiesel minyak goreng bekas menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif belum dilakukan permurnian atau pencucian menggunakan air/aquades dengan temperatur 55 °C [6]. Hal tersebut kemungkinan akan meningkatkan kadar metil ester jika dilakukan pencucian sehingga bisa mencapai persyaratan SNI.

Tabel 4. Hasil karakterisitik biodiesel dengan menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 5 wt.%.

Parameter uji	Satuan, min/maks	Persyaratan (SNI 7182:2015)	Hasil		
			0 wt.%	2,5 wt.%	5 wt.%
Kadar metil ester	%-massa, min	96,5	88,57	87,20	93,05
Viskositas	mm^2/s (cSt)	2,3-6,0	-	-	1,012
Densitas	kg/m^3	850-890	-	-	0,8467
Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5	-	-	7

4. KESIMPULAN

Katalis komposit CaO/karbon aktif dapat menghasilkan metil ester dari minyak goreng bekas. Metil ester tertinggi dihasilkan dengan menggunakan katalis komposit CaO/karbon aktif 5 wt.%, yaitu 93,05%. Viskositas yang dihasilkan, yaitu 1,021 mm^2/s. Selain itu, densitas sebesar 0,8467 kg/m^3 dan angka asam pada pH 7. Perlu adanya penelitian lanjut terkait rekayasa material CaO dari limbah kerang dan karbon aktif dari TKKS. Untuk memperbaiki kualitas biodiesel agar memenuhi standar SNI, minyak goreng bekas sebaiknya diolah terlebih dahulu dengan proses esterifikasi menggunakan asam kuat seperti asam sulfat untuk menurunkan kadar asam lemak bebas. Selain itu, jumlah metanol, waktu reaksi, dan suhu perlu disesuaikan agar hasil metil ester lebih banyak.Hal tersebut memungkinkan akan meningkatkan hasil metil ester dari minyak goreng bekas, sehingga memenuhi persyaratan SNI mengenai biodiesel..

5. UCAPAN TERIMA KASIH (Jika ada)

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, dan Universitas Samudra yang telah memberikan dana penelitian ini. Penulis memperoleh dana melalui Program Penelitian tersebut No. 580/UN54.6/PG/2023.

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] R. Yanti Novia, E. Hambali, G. Pari, and A. Suryani, "Karakteristik Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Yang Dimpregnasi Logam Nikel Sebagai Katalis," *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 38, no. 3, pp. 129–138, 2020, doi: 10.20886/jphh.2020.38.3.129-138.

[2] R. Dewi, A. Azhari, and I. Nofriadi, "Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh," *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 9, no. 2, p. 12, 2021, doi: 10.29103/jtku.v9i2.3351.

[3] A. Purwanti, Sumarni, and A. Alvian, "Pirolisis Limbah Pangkal Bambu Menjadi Karbon Aktif dan Asap Cair Menggunakan Zat Aktivator Asam Phosfat," *J. Teknol. Technoscientia*, vol. 9, no. 2, pp. 111–117, 2017.

[4] N. Ibrahim, Awaludin Martin, "Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Dasar Cangkang Sawit dengan Metode Aktivasi Fisika Menggunakan Rotary Autoclave," vol. 1, pp. 1–11, 2014.

[5] D. Khoiruummah, N. Sundari, M. Zamhari, Yuniar, and S. Yuliati, "Aplikasi Katalis Berbasis Karbon Aktif Dari Kayu Akasia (Acacia Mangium) Diimpregnasi Basa Pada Sintesis Biodiesel," *Politek. Negeri Surabaya Pros. Semin. Mhs. Tek. Kim.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–28, 2020.

[6] T. A. F. Harmawan, Tisna Windi Ani, Putri Andani, "Produksi Biodiesel Melalui Transesterifikasi Minyak Sawit Mentah (CPO) Menggunakan Montmorillonite Nanoparticles (Nano-MMT) Sebagai Padatan Heterogen Katalisator Tisna," vol. 576, no. Icstms 2020, pp. 69–72, 2021.

[7] N. Nurhayati, A. Mukhtar, and A. Gapur, "Transesterifikasi Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) Kalsinasi 900oC," *J. ICA Indones*, vol. 5, no. 1, 2014.

[8] M. Zamhari *et al.*, "Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (Cocos nucifera) Diimpregnasi KOH Pada Reaksi Transesterifikasi," *J. Kinet.*, vol. 12, no. 01, pp. 23–31, 2021.

[9] K. A. Sarandon, A. L. Siregar, and I. B. Rahardja, "Pembentukan Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi Dengan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS)," *Sains Dan Teknol.*, no. 22, pp. 1–7, 2019.

[10] L. E. Simanullang, Nasruddin, and T. A. Fadlly, "Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Pada Elektrolit Padat Baterai Berbasis CaO dari Limbah Cangkang Kerang," *J. HADRON*, vol. 6, no. 2, pp. 27–32, Nov. 2024, doi: 10.55377/hadron.v6i2.11249.

[11] Y. Arsita and A. Astuti, "Sintesis Komposit TiO2/Karbon Aktif Berbasis Bambu Betung (Dendrocalamus asper) dengan Menggunakan Metode Solid State Reaction," *J. Fis. Unand*, vol. 5, no. 3, pp. 268–272, 2016, doi: 10.25077/jfu.5.3.268-272.2016.

[12] R. W. Putri, S. Haryati, and Rahmatullah, "Pengaruh suhu karbonisasi terhadap kualitas karbon aktif dari limbah ampas tebu," *J. Tek. Kim.*, vol. 25, no. 1, pp. 1–4, 2019, doi: 10.36706/jtk.v25i1.13.
[13] S. Hartanto and Ratnawati, "Sawit Dengan Metode Aktivasi Kimia Pada Karbonisasi Terjadi Proses Penguapan Air," *Sains Materi Indones.*, vol. 12, no. 1, pp. 12–16, 2010.
[14] R. Atika Oktaviana Maisyarah, Anis Shofiyani, "Sintesis CaO dari Cangkang Kerang Ale-ale (Meretrix meretrix)," *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 8, no. 1, pp. 37–40, 2019.
[15] R. P. Rahayu, Z. Helwani, and A. Amri, "CaO Berbasis Kulit Telur Ayam Dengan Penambahan Karbon Aktif Dan Natrium Hidroksida (CaO-NaO/C) Sebagai Katalis Untuk Sintesis Biodiesel Dari Minyak Sawit Off-Grade," *Jom FTEKNIK*, vol. 6, pp. 1–6, 2019.
[16] T. A. F. Harmawan, Tisna Windi Ani, Putri Andani, "Produksi Biodiesel Melalui Transesterifikasi Minyak Sawit Mentah (CPO) Menggunakan Montmorillonite Nanoparticles (Nano-MMT) Sebagai Padatan Heterogen Katalisator Tisna," vol. 576, no. Icstms 2020, pp. 69–72, 2021.
[17] N. Nuraeni, Y. F. Yun, and D. M. Agustini, "Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Karbon Aktif dan Pembuatan Triasetin dengan Katalis Asam Nitrat," *J. Kartika Kim.*, vol. 2, no. 1, pp. 17–22, 2019, doi: 10.26874/jkk.v2i1.26.
[18] N. Sutanto and S. Samik, "Artikel Review : Pemanfaatan Katalis CaO Untuk Pembuatan Biodiesel Menggunakan Metode Transesterifikasi dari Non Edible Oil Article Review : Utilization of CaO Catalyst to Produce Biodiesel by Transesterification Method from Non-Edible Oil," *Univ. Negeri Surabaya Jur. Kim.*, pp. 46–55, 2021.