



SINTESIS KATALIS KARBON AKTIF TANDAN KOSONGSAWIT TERIMPREGNASI NaOH UNTUK REAKSI TRANSESTERIFIKASI BIODIESEL MINYAK JELANTA

Afrah Nabillah*, Mustain Zamhari, Erwana Dewi

Jurusan Teknik Kimia, prodi Teknologi Kimia Industri, Politeknik Negeri Sriwijaya
Kampus Utama Jl.Srijaya Negara, Bukit Lama, Kota Palembang, Sumatera Selatan-30128
Korespondensi: *e-mail: afrahnabillah0202@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis katalis tandan kosong terimpregnasi NaOH untuk reaksi tranesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. Katalis heterogen dihasilkan dengan memanfaatkan tandan kosong kelapa sawit yang diolah menjadi karbon aktif, lalu diimpregnasi dengan larutan NaOH. Katalis basa heterogen yang dihasilkan akan aplikasikan dalam reaksi tranesterifikasi biodiesel untuk mengukur aktifitas dari katalis. Karbon aktif harus dimodifikasi dengan menambahkan sisi aktif pada karbon aktif agar dapat digunakan sebagai katalis dalam reaksi tranesterifikasi biodiesel, sehingga dilakukan impregnasi sisi aktif ke permukaan karbon dengan larutan NaOH dengan memvariasi konsentrasi impregnasi 1N, 2N, 3N, 4N dan 5N selama 18, 21, 24 jam untuk mendapatkan katalis karbon aktif terbaik berdasarkan kandungan natrium terserap. Penentuan jumlah natrium teradsorpsi pada karbon aktif dilakukan dengan analisis Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) dan untuk menganalisis sifat-sifat katalis karbon aktif dilakukan analisis Fourier Transform Infrared (FTIR) dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Hasil penelitian menunjukkan Katalis NaOH/karbon aktif terbaik dengan kandungan natrium tertinggi, yakni sebesar 4,38% diperoleh pada konsentrasi 5N selama 24 jam dengan yield sebesar 91,15%. Dengan nilai densitas sebesar 866 kg/m³, viskositas 5,2 Cst, angka asam 0,5 mg-KOH/g dan titik nyala 91°C, Biodiesel yang diperoleh dengan menggunakan katalis NaOH/Karbon aktif masuk kedalam standar parameter SNI:7182-2015.

Kata Kunci : Biodiesel, Impregnasi NaOH, Karbon aktif, Katalis, Tandan Kosong Kelapa Sawit

Doi: <https://doi.org/10.29103/jtku.v12i2.12917>

1. Pendahuluan

Katalis memiliki peran penting dalam industri kimia, petrokimia, dan banyak bidang lainnya. Katalis merupakan suatu zat atau substansi yang dapat mempengaruhi kecepatan reaksi kimia tanpa terlibat dalam reaksi itu sendiri, maka penggunaan katalis berdampak pada suatu reaksi kimia (Narowska dkk, 2019). Katalis dapat meningkatkan efisiensi proses, mempercepat laju reaksi, dan meningkatkan produk yang dihasilkan (Islami, A.P, 2022). Aplikasi katalis dapat digunakan dalam reaksi tranesterifikasi yang mengkonversikan trigliserida menjadi biodiesel atau metil ester (Suzihaque dkk, 2022).

Katalis basa NaOH dan KOH sering digunakan dalam pembuatan biodiesel. Jika dibandingkan menggunakan katalis asam, katalis basa menghasilkan biodiesel 4000 kali lebih efisien, (Maleki dkk, 2022). Katalis heterogen, yang bekerja dengan mengadsorpsi zat yang dikontakan, telah digunakan dalam berbagai reaksi kimia. Cara ini mempercepat proses reaksi antara alkohol dan trigliserida (Maleki dkk, 2022). Difusi merupakan tantangan yang muncul dalam menggunakan katalis heterogen, dan antisipasi yang dapat dilakukan dengan menggunakan penyangga dengan luas permukaan yang besar. Karbon aktif merupakan bahan yang memiliki luas permukaan besar dan berpotensi sebagai penyangga katalis (Kaban, 2018).

Karbon aktif dibuat dengan berbahan dasar yang mengandung lignoselulosa yang tinggi. TKKS (Tandan kosong kelapa sawit) menurut penelitian Yulianto T (2020) TKKS merupakan limbah berlignoselulosa yang belum dimanfaatkan dengan baik. Karbon aktif memerlukan modifikasi sebelum diaplikasikan sebagai katalis dalam reaksi tranesterifikasi biodiesel. Karbon aktif belum memiliki sisi aktif, sehingga harus dimodifikasi dengan menambahkan prokusor yang bertindak sebagai sisi aktif pada permukaannya. Berbagai metode, seperti kopresipitasi dan impregnasi dapat digunakan untuk memodifikasi karbon aktif (Bankovic-Ilie dkk, 2017). Metode impregnasi menjadi metode yang paling efektif dan menghasilkan katalis karbon aktif dengan sisi aktif yang optimal pada permukaan karbon aktif berpenyangga (Faria dkk, 2020). Metode impregnasi

merupakan prosedur sederhana yang melibatkan pengontakkan partikel penyangga berpori dengan larutan yang bermuatan logam yang berperan sebagai perkursor untuk sisi aktif (Hadiyanto dkk, 2017).

Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan katalis karbon aktif tandan kosong kelapa dawit terimpregnasi NaOH dengan variasi konsentrasi dan waktu impregnasi terbaik berdasarkan kandungan natrium terserap dan mendapatkan biodiesel yang memenuhi beberapa parameter SNI 7182: 2015.

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan dan Alat

Penelitian yang dilakukan menggunakan bahan tandan kosong kelapa sawit, *aquadest*, HCl, NaOH, minyak jelantah sisa pengorengan ayam, metanol, etanol, indikator pp (*phenolphthalain*) dan KOH. Penentuan jumlah natrium teradsorpsi pada karbon aktif dilakukan dengan analisis *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) dan menggunakan analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk menganalisis sifat-sifat katalis karbon aktif.

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Sintesis Katalis NaOH/karbon Aktif

Tandan kosong kelapa sawit yang kering merata setelah dijemur. TKKS dikarboknasi menggunakan *muffle furnace* pada suhu 500°C selama 3 jam lalu dihaluskan dan diayak hingga berukuran 200 mesh. Kemudian dilanjutkan dengan aktivasi karbon menggunakan HCl 0,1 M lalu dinetralkan menggunakan *aquadest* hingga netral.

Impregnasi pada karbon aktif menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi impregnasi 1N, 2N, 3N, 4N dan 5N selama 18 Jam, 21 jam dan 24 jam kecepatan pengadukan 250rpm selama 30 menit lalu didiamkan sesuai waktu yang diinginkan. Karbon disaring dan dikeringkan menggunakan oven selama 30 menit dengan suhu 200°C lalu kalsinasi dalam *muffle furnace* pada suhu 400°C selama 2 jam.

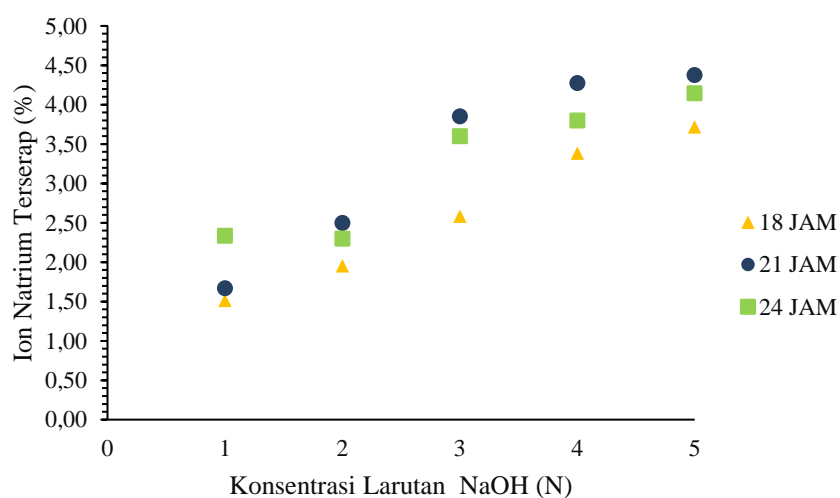
2.2.2 Transesterifikasi Biodiesel

Pengujian aktifitas katalis NaOH/karbon aktif dilakukan pada reaksi transesterifikasi biodiesel. Bahan baku yang digunakan minyak jelantah, yang dicampur dengan pelarut etanol dalam perbandingan 1:12. Dalam reaksi ini, digunakan 2% katalis NaOH/karbon terhadap total massa bahan baku. Proses transesterifikasi dilakukan pada suhu 60°C selama 2 jam.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Pengaruh Konsentrasi NaOH dan Waktu Impregnasi

Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) digunakan untuk mengakumulasi natrium tertinggi yang teradsorpsi pada karbon aktif yang juga digunakan untuk melihat pengaruh konsentrasi NaOH pada penyerapan natrium pada karbon aktif yang telah terimpregnasi. Dengan menggunakan konsentrasi NaOH dan waktu impregnasi yang berbeda, analisis AAS pada Gambar 2 memberikan hasil sebagai berikut :



Gambar 1 Grafik Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Impregnasi Karbon Aktif Terimpregnasi NaOH Terhadap Ion Natrium Terserap.

Meningkat bersamaan dengan konsentrasi NaOH yang terimpregnasi pada karbon aktif. Jumlah natrium yang teradsorpsi meningkat secara signifikan seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan NaOH yang sangat pekat selama periode

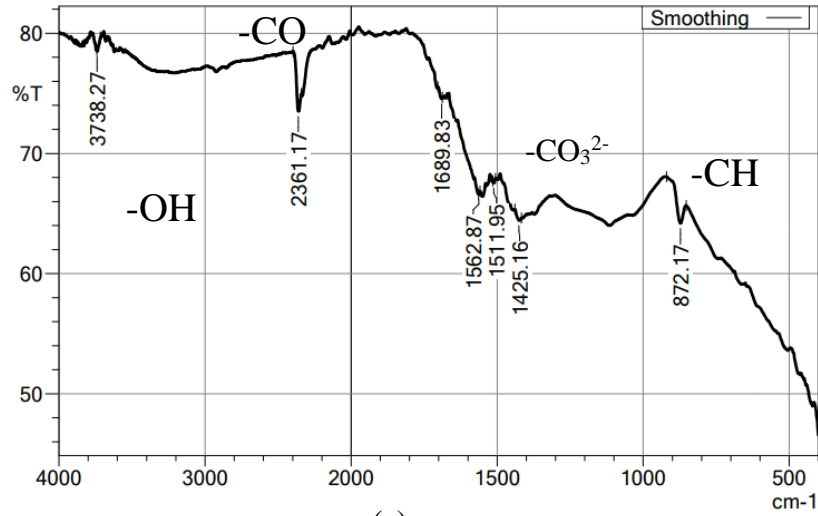
impregnasi 18, 21 dan 24 jam. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah natrium yang terserap meningkat sejalan dengan peningkatan konsentrasi NaOH.

Hal ini menunjukkan adanya peningkatan sisi aktif penyangga katalis karbon aktif. kapasitas karbon aktif untuk adsorpsi meningkat dengan jumlah natrium yang dilarutkan dalam larutan NaOH setelah proses impregnasi. Semakin tinggi konsentrasi natrium terlarut pada larutan NaOH maka semakin besar kapasitas adsorpsi karbon aktif. Terdapat lebih banyak molekul natrium yang dapat berinteraksi dengan permukaan karbon aktif (Fauzan dkk, 2022). pada penelitian yang dilakukan diperoleh penyerapan kandungan ion natrium tertinggi dihasilkan pada konsentrasi 5N sebesar 4,37%. Namun pada waktu impregnasi selama 24 jam terjadi penurunan dengan 4,14% kandungan natrium yang terserap pada karbon aktif.

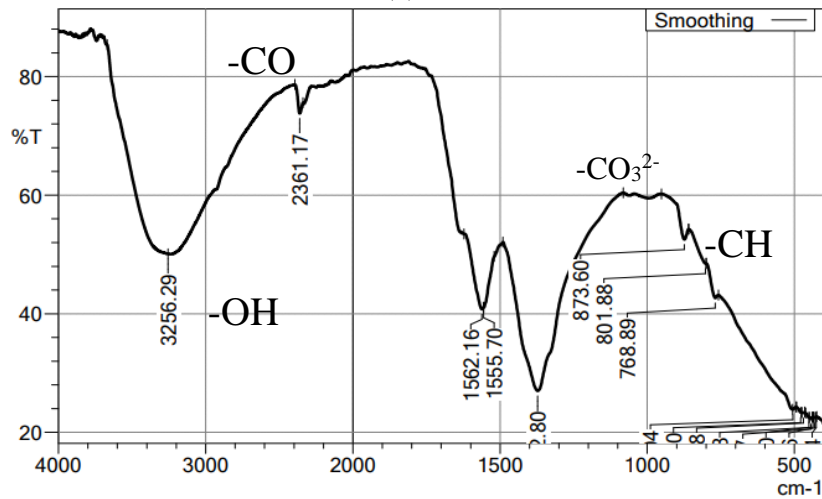
Semakin lama waktu impregnasi, daya adsorpsi mengalami penurunan yang disebabkan oleh berkurangnya pori yang belum terisi molekul natrium. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi telah mencapai kesetimbangan atau titik jenuh adsorpsi, di mana tidak ada perubahan signifikan dalam jumlah natrium yang teradsorpsi pada karbon aktif. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil terbaik diperoleh pada waktu impregnasi 21 jam dengan konsentrasi 5N dengan penyerapan logam natrium sebesar 4.37%.

3.2 *Fourier Transfer Infra Red (FTIR) Karbon dan Katalis Terimpregnasi*

Terlihat adanya modifikasi pada struktur molekul karbon aktif sebelum dan sesudah impregnasi NaOH. Selain itu, setelah impregnasi NaOH, gugus baru terbentuk pada karbon aktif dianalisis menggunakan FTIR untuk menentukan apakah proses impregnasi benar terjadi perubahan pada struktur molekul karbon aktif. Grafik pada Gambar 2 (a) dan (b) menunjukkan hasil analisis FTIR sebelum dan sesudah impregnasi.



(a)



(b)

Gambar 2 Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit (a) Sebelum Terimpregnasi NaOH (b) Setelah Terimpregnasi NaOH

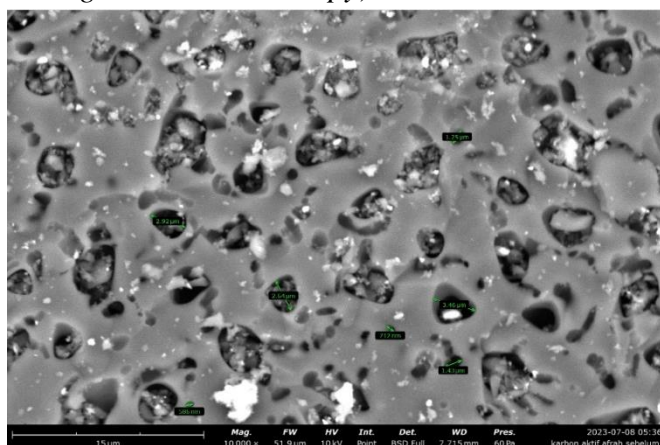
Karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit, sebelum dan setelah impregnasi NaOH, menunjukkan perbedaan intensitas puncak yang signifikan pada rentang gelombang 2800–3300 cm^{-1} , mengindikasikan adanya gugus karboksil (-OH) (Nayebzabeh dkk, 2018). Selain itu, baik sebelum maupun sesudah impregnasi, menunjukkan keberadaan gugus karboksilat (-CO) dalam wilayah spektrum inframerah sekitar 2000- 2300 cm^{-1} (Taslim dkk, 2018).

Perbedaan gelombang yang paling signifikan terlihat pada karbon aktif setelah impregnasi adalah dengan munculnya gugus karbonat (-CO) pada rentang

gelombang $870\text{-}1715\text{ cm}^{-1}$. Terbentuknya *peak* pada sekitar gelombang 873 cm^{-1} menunjukkan indikasi keberadaan gugus -CO_3^{2-} (Wang dkk, 2017). Perbedaan spektrum FTIR ini menunjukkan bahwa impregnasi dengan NaOH telah menyebabkan perubahan Pada analisis FTIR, ditemukan bahwa sampel strukturan dan pembentukan gugus karboksil karbonat (-CO_3^{2-}) (Prajapati dkk,2023).

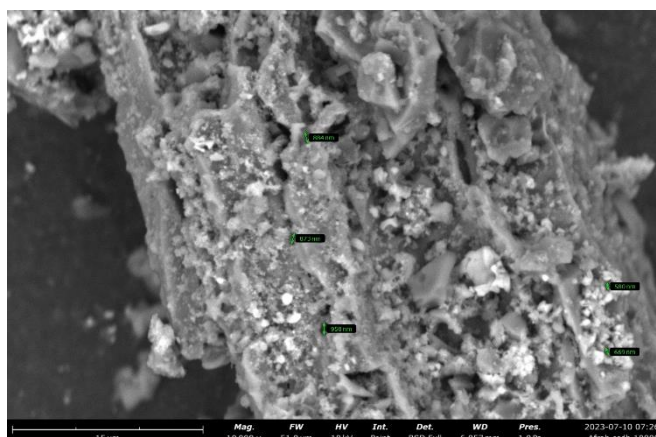
3.3. Scanning Elektron Microscopy (SEM) Karbon dan Katalis Terimpregnasi

Karakteristik katalis dapat dilakukan dengan melihat sifat permukaan yang meliputi struktur dan morfologi suatu katalis yang dapat dilakukan dengan analisis SEM (*Scanning Electron Micriscipy*).



Gambar 3 Hasil Analisis SEM (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) karbon aktif sebelum impregnasi

Pada Gambar 3 menunjukkan morfologi permukaan karbon aktif sebelum impregnasi terlihat berbentuk bongkahan, memiliki susunan pori-pori yang teratur, datar dan solid. Dari gambar tersebut terlihat ukuran yang terbentuk, yang terbesar adalah $3,46\text{ }\mu\text{m}$ ($3,46 \times 10^{-2}\text{ cm}$) dan pori terkecil adalah 586 nm ($5,86 \times 10^{-5}\text{ cm}$). Diameter pori dan struktur pori berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori yang didapatkan mengakibatkan luas permukaan semakin besar. Maka daya serap karbon aktif semakin tinggi.



Gambar 4 Hasil Analisis SEM (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) karbon aktif setelah diimpregnasi NaOH

Pada Gambar 5 menunjukkan morfologi permukaan karbon aktif setelah diimpregnasi terlihat berbentuk bongkahan, memiliki susunan pori-pori yang tidak teratur, bergelombang dan solid. Dari gambar tersebut terlihat ukuran yang terbentuk, yang terbesar adalah 958 nm ($9,58 \times 10^{-5}$ cm) dan pori terkecil adalah 580 nm ($5,8 \times 10^{-5}$ cm). Jumlah pori setelah impregnasi mengalami penurunan pada jumlah pori dan ukuran diameter pori. Hal ini disebabkan oleh hancurnya permukaan karbon aktif yang diakibatkan banyaknya sisi aktif yang terimpregnasi kedalam pori karbon sehingga mengalami kerusakan.

Tertutupnya permukaan pori karbon aktif setelah diimpregnasi menunjukkan terjadinya disagregasi dan penurunan ukuran pori setelah diimpregnasi NaOH. Reaksi yang terjadi selama proses impregnasi ini menyebabkan kerusakan atau hancurnya pori karbon aktif (Ali dkk, 2020). Interaksi yang terjadi dapat menyebabkan terjadinya pengendapan pada permukaan karbon aktif dan larutan NaOH dapat mengendap pada permukaan karbon aktif dan menyumbat pori-pori, mengakibatkan hancurnya struktur pori (Takase dkk, 2023). Hal ini diduga ialah logam natrium yang telah terjerap selama proses impregnasi yang menandakan bahwa NaOH telah terdispersi dengan baik pada permukaan karbon aktif (Abu-Jrai dkk, 2017) .

Diperkuat dengan hasil analisis AAS dan FTIR yang menunjukkan adanya peningkatan kandungan logam natrium pada karbon aktif setelah imregnasi semakin menegaskan bahwa logam natrium telah berhasil tersebar dengan baik pada permukaan karbon aktif. Analisis permukaan morfologi pada karbon aktif setelah impregnasi mengindikasikan bahwa karbon aktif telah memiliki sisi aktif yang bersifat basa karena mengandung logam natrium sehingga dapat mengkatalis suatu reaksi.

3.4 Analisa Pengaplikasian Katalis Karbon Aktif Terimpregnasi NaOH dalam Pembuatan Biodiesel

Hasil dari proses impregnasi karbon aktif dengan larutan NaOH menghasilkan katalis heterogen yang diaplikasikan dalam pembuatan biodiesel. Tujuan dari aplikasi ini untuk menguji kemampuan aktifitas katalis atau persentase produk yang dihasilkan (% *Yield*) dan mengevaluasi kualitas mutu biodiesel sesuai dengan standar SNI 7182-2015. Densitas, Viskositas, angka asam dan titik nyala adalah beberapa parameter biodiesel yang diuji.

Biodiesel dengan menggunakan katalis karbon aktif tandan kosong kelapa sawit terimpregnasi NaOH menghasilkan produk sebesar 90,15%. Persentase produk yang dihasilkan menunjukkan aktifitas katalis yang telah disintesis. Perbandingan aktifitas katalis yang dihasilkan dengan penelitian terdahulu terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Bahan	Katalis		Kondisi Reaksi				Referensi
	Metode	Katalis	Wt %	Ratio	Temperatur (°C)	% Yeild	
Tandan Kosong Kalapa sawit	Impregnasi	Karbon aktif TKKS/NaOH	2%	1:12	60 °C	90,15 %	Penelitian yang dilakukan
Tempurung Kelapa	Impregnasi	Karbon aktif Tempurung Kelapa/NaOH	3%	1: 6	55 °C	89,72%	Rahayu F, 2020

Serbu Kayu Akasia	Impregnasi	Serbuk Kayu Akasia/NaOH	3%	1:12	60 °C	96,15%	Khoirum mah dkk, 2019
Bentonit	Impregnasi	Bentonit/NaOH	4%	1:9	60 °C	91,20%	Ulakpa dkk, 2022
Zeolit	Aktivasi	Zeolit teraktivasi KOH 25%	4%	1:12	60 °C	86,05%	Berghauis dkk, 2022

Berdasarkan Tabel 1. Menunjukkan perbandingan *yield* yang dihasilkan pada penelitian dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan Rahayu dkk, 2020 dengan menggunakan karbon aktif berbahan dasar tempurung kelapa menghasilkan % *yield* sebesar 89,72% dan penelitian yang dilakukan Khoiruummah dkk, 2020 dengan menggunakan karbon aktif dari serbuk kayu aksia menghasilkan % *yeild* sebesar 96,15%. Dari hasil penelitian terdahulu ini menunjukkan bahwa katalis karbon aktif tandan kosong kelapa sawit memiliki aktifasi yang lebih tinggi dibandingkan katalis karbon aktif tempurung kelapa namun, aktifitas katalis sebuk kayu akasia sangatlah tinggi dibandingkan dengan katalis karbon lain. Hal ini disebabkan oleh diameter pori dari ketiga bahan yang dihasilkan bervariasi dan karbon aktif serbuk kayu memiliki sebaran pori yang lebih banyak dibandingkan karbon aktif tandan kosong kelapa sawit sehingga hal ini juga mempengaruhi tingginya aktifitas katalis.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan ulakpa dkk, 2022 menghasilkan % *yield* sebesar 91,20% dengan menggunakan katalis bentonit dan penelitian yang dilakukan Berghauis dkk, 2022 dengan menggunakan zeolit alam didapatkan % *yeild* sebesar 86%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis karbon aktif memiliki aktifitas katalis yang lebih tinggi dari pada katalis yang berbahan bentonit namun, katalis berbahan dasar zeolit memiliki aktifitas yang sangat tinggi dibandingkan dengan katalis karbon aktif dan bentonit. Hal ini juga menunjukkan bahwa perbedaan bahan baku pembuatan katalis dapat mempengaruhi aktifitas katalis yang dihasilkan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat dinyatakan bahwa katalis karbon aktif tandan kosong kelapa sawit memiliki aktifitas yang baik.

Tabel 2. Mutu Biodiesel Katalis Karbon Aktif TKKS/NaOH

Parameter	Satuan	SNI-04-7182-2015	Hasil
Massa Jenis pada 40°C	kg/m ³	850-890	866
Viskositas Kinematik pada 40°C	mm ² /s (Cst)	2,3-6,0	5,2
Titik Nyala	°C	Min 100	91
Angka Asam	mg-KOH/g	Maks 0,5	0,5

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan Kondisi terbaik konsentrasi NaOH dan waktu impregnasi pada katalis karbon aktif tandan kosong kelapa sawit terhadap kandungan natrium terserap pada karbon aktif adalah 5N selama 21 jam dengan logam natrium yang terserap sebesar sebesar 4,3775% Biodiesel yang dihasilkan memenuhi beberapa parameter SNI:7182-2015, dimana menghasilkan mutu biodiesel dengan densitas 866 Kg/m³, viskositas 5,2 cSt, angka asam 0,5 mg-KOH/g dan titik nyala pada 91°C.

5. Daftar Pustaka

1. Anugrahwati, M. (2020). *Modifikasi Karbon Aktif dari Kulit Salak dengan Surfaktan Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate (SDBS) untuk Adsorpsi Zat Warna Eriochrome Black-T (EBT)*.
2. Banković-Ilić, I. B., Miladinović, M. R., Stamenković, O. S., dan Veljković, V. B. (2017): *Application of nano CaO-based catalysts in biodiesel synthesis*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 72, 746–760. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.076>
3. Berghuis, N. T., Mutaqqin, M., Hidayat, F. I., Sugianto, S., Pratama, H., Kirana, A., Rifaldi, D. A., Jesica, A., Maulana, P., & Thufail, A. (2022). *Perbandingan Penggunaan Katalis Alam (Zeolit dan Bentonit) dalam Sintesis Biodiesel dari Minyak Goreng Komersil*. <https://doi.org/10.20961/alchemy.18.2.57616.174-182>
4. Chua, S. Y., Periasamy, L. A., Goh, C. M. H., Tan, Y. H., Mubarak, N. M., Kansedo, J., Khalid, M., Walvekar, R., dan Abdullah, E. C. (2020): *Biodiesel Synthesis Using Natural Solid Catalyst Derived from Biomass*

- Waste* — A Review, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 81, 41–60.
5. Faria, D. N., Cipriano, D. F., Schettino, M. A., Neto, Á. C., Cunha, A. G., & Freitas, J. C. C. (2020). *Na,Ca-based catalysts supported on activated carbon for synthesis of biodiesel from soybean oil*. *Materials Chemistry and Physics*, 249. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123173>
 6. Hadiyanto, H., Afianti, A. H., Navi'a, U. I., Adetya, N. P., Widayat, W., & Sutanto, H. (2017). *The development of heterogeneous catalyst C/CaO/NaOH from waste of green mussel shell (Perna varidis) for biodiesel synthesis*. *Journal of environmental chemical engineering*, 5(5), 4559-4563.
 7. Islami, A. P. (2022). *Upgrading Bio-Crude Oil Hasil Pirolisis Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biogasoline Menggunakan Zeolit-Y Terprotonasi Sebagai Katalis*.
 8. Kaban, Gapenda Sari. 2018. *Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif dari Cangkang Kemiri yang diimpregnasi KOH: Pengaruh Konsentrasi KOH dan Waktu Impregnasi*. Skripsi. Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara.
 9. Khoiruummah, D. (2019). *Uji Kinerja Katalis Berbasis Karbon Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu Akasia (Acacia Mangium) Diimpregnasi Koh Pada Reaksi Transesterifikasi Sintesis Biodiesel*. Doctoral dissertation Politeknik Negeri Sriwijaya)
 10. Maleki, B., Ashraf Talesh, S. S., dan Mansouri, M. (2022): *Comparison of catalysts types performance in the generation of sustainable biodiesel via transesterification of various oil sources: a review study*, *Materials Today Sustainability*, 18(May), 100157.
 11. Yulianto, T. (2020). *Pengaruh Torefaksi Terhadap Sifat Fisis Black Pellet Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)* (Doctoral dissertation, Universitas Lampung).
 12. Naji, S. Z., & Tye, C. T. (2022). *A review of the synthesis of activated carbon for biodiesel production: Precursor, preparation, and modification*. *Energy Conversion and Management: X*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100152>
 13. Narowska, B., Kułazyński, M., Łukaszewicz, M., & Burchacka, E. (2019). *Use of activated carbons as catalyst supports for biodiesel production*. *Renewable Energy*, 135, 176–185. *Energy*, 135, 176–185. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.006>

14. Nayebzadeh, H., Haghghi, M., Saghatoleslami, N., Tabasizadeh, M., & Yousefi, S. (2018). *Fabrication of carbonated alumina doped by calcium oxide via microwave combustion method used as nanocatalyst in biodiesel production: Influence of carbon source type*. *Energy conversion and management*, 171, 566-575.
15. Prajapati, P., Shrivastava, S., Sharma, V., Srivastava, P., Shankhwar, V., Sharma, A., & Agarwal, D. D. (2023). *Karanja seed shell ash: A sustainable green heterogeneous catalyst for biodiesel production*. *Results in Engineering*, 18, 101063.
16. Rahayu, F. (2020). *Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Diimpregnasi Naoh (Variasi Konsentrasi Dan Waktu Impregnasi) pada Reaksi Transesterifikasi Sintesis Biodisel*. *KINETIKA*, 12(1), 23-31.
17. SNI 06-3730-1995. (1995). *Standar Kualitas Karbon Aktif*. Indonesia: Badan Standarisasi Nasional. Diakses 23 Juli 2023.
18. SNI 06-7182-2015. (2015). *Standar Kualitas Biodisel*. Indonesia: Badan Standarisasi Nasional. Diakses 23 Juli 2023
19. Suzihaque, M. U. H., Alwi, H., Kalthum Ibrahim, U., Abdullah, S., dan Haron, N. (2022): *Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review*, *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, Malaysia, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.527>
20. Taslim, T., Bani, O., Iriany, I., Aryani, N., & Kaban, G. S. (2018). *Preparation of activated carbon-based catalyst from candlenut shell impregnated with KOH for biodiesel production*. *Key Engineering Materials*, 777, 262-267.
21. Ulakpa, W. C., Ulakpa, R. O. E., Eyankware, E. O., & Egwunyenga, M. C. (2022). *Statistical optimization of biodiesel synthesis from waste cooking oil using NaOH/ bentonite impregnated catalyst*. *Cleaner Waste Systems*, 3, 100049. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100049>
22. Wang, S., Yuan, H., Wang, Y., & Shan, R. (2017). *Transesterification of vegetable oil on low cost and efficient meat and bone meal biochar catalysts*. *Energy Conversion and Management*, 150, 214-221.