Katalis: Jurnal Penelitian Kimia dan Pendidikan Kimia e-ISSN: 2721-9038
Vol. 8, No. 2, Tahun 2025 p-ISSN: 2721-902X
https://ejurnalunsam.id/index.php/katalis/

PENGARUH PENAMBAHAN KOH TERHADAP KULIT KERANG (ANADARA GRANOSA) SEBAGAI KATALIS DALAM PEMBUATAN BIODIESEL

Trisno Afandi[1], Nurhayati[*2], Amir Awaluddin[2], Fernando Nainggolan[1], Nahzim Rahmat[3]

[1]Program Studi Teknik Kimia, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Medan
[2]Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Pekanbaru
[3]Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Medan
*Email: nurhayati@lecturer.unri.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan limbah sebagai sumber material katalitik dalam pembuatan biodiesel terus dikembangkan. Penelitian ini mempelajari pengaruh penambahan KOH pada kalsinasi kulit kerang terhadap peningkatan aktivitas katalis dalam pembuatan biodiesel. Katalis dipreparasi melalui tahapan: 1) kulit kerrang dikalsinasi pada 900°C selama 10 jam, 2) KOH ditambahkan pada kalsinasi kulit kerang dengan variasi persentase K masing-masing sebesar 1%, 3%, dan 5%, lalu campuran dikalsinasi pada 600°C. Katalis yang terbentuk mengandung mineral *portlandite* dan *calcite* berdasarkan uji *X-ray diffraction*. Penambahan KOH pada kalsinasi kulit kerang berhasil dilakukan melalui uji kandungan K menggunakan Spektroskopi Serapan Atom. Data pengukuran konsentrasi K mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan jumlah K yang ditambahkan. Nilai kadar K pada 0% K, 1% K, 3% K dan 5% K masing-masing sebesar 2381 ppm, 2425 ppm, 3183 ppm dan 3800 ppm. Tingkat kebasaan katalis diukur melalui titrasi menggunakan asam benzoat dengan hasil peningkatan nilai kebasaan katalis setelah penambahan KOH. Nilai kebasaan katalis pada 0% K; 1% K; 3% K dan 5% K masing-masing sebesar 1,700 mmol/g, 1,700 mmol/g, 1,865 mmol/g dan 1,965 mmol/g. Data uji aktivitas katalis dalam pembuatan biodiesel menunjukkan adanya peningkatan persentase yield biodiesel pada 0% K, 1% K, 3% K dan 5% K masing-masing sebesar 56,17%, 57,72%, 76,33% dan 76,85%. Aktivitas katalis juga mengalami peningkatan berdasarkan data pengukuran kandungan metil ester pada biodiesel menggunakan *gas chromatography* pada 0% K, 1% K, 3% K dan 5% K masing-masing sebesar 96,42%, 97,5%, 98,36% dan 97,79%. Hasil menunjukkan bahwa katalis berpotensi untuk dikembangkan dan diaplikasikan di industri biodiesel sebagai material katalitik ramah lingkungan.

Kata Kunci: *Biodiesel, Limbah, KOH, Kulit kerang, Katalis*

Abstract

The utilisation of waste as a source of catalytic material in biodiesel production continues to be developed. This study investigates the effect of adding KOH to the calcined cockle shells on increasing catalyst activity in biodiesel production. The catalyst was prepared through the following stages: 1) cockle shells was calcined at 900°C for 10 hours, 2) KOH was added to the calcined cockle shells with varying K percentages of 1%, 3%, and 5%, respectively, then the mixture was calcined at 600°C. The formed catalyst contained the minerals portlandite and calcite, based on the X-ray diffraction test. The addition of KOH to the calcined cockle shells was successfully carried out through the K content test using Atomic Absorption Spectroscopy. The K concentration measurement data increased along with the increase in the amount of K added. The K concentration at 0% K, 1% K, 3% K and 5% K was 2381 ppm, 2425 ppm, 3183 ppm and 3800 ppm, respectively. The basicity of catalyst was measured by titration using benzoic acid, with the result of increasing basicity of catalyst after the addition of KOH. The basicity of catalyst at 0% K, 1% K, 3% K and 5% K was 1.700 mmol/g, 1.700 mmol/g, 1.865 mmol/g, and 1.965 mmol/g, respectively. The catalyst activity test data in biodiesel production showed an increase in the percentage

of biodiesel yield at 0% K, 1% K, 3% K and 5% K of 56.17%, 57.72%, 76.33% and 76.85%, respectively. The catalyst activity also increased based on the measurement data of methyl ester content in biodiesel using gas chromatography at 0% K, 1% K, 3% K and 5% K of 96.42%, 97.5%, 98.36% and 97.79%, respectively. The results indicate that the catalyst has the potential to be developed and applied in the biodiesel industry as an environmentally friendly catalytic material.

Keywords: *Biodiesel, Waste, KOH, Cockle shells, Catalyst*

PENDAHULUAN

Biodiesel hingga saat ini menjadi salah satu bahan bakar nabati prioritas Indonesia yang terus dikembangkan melalui Kebijakan Energi Nasional yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah Nomor 40 Tahun 2025. Biodiesel diproyeksikan agar dimanfaatkan sebagai bahan campuran dan/atau untuk mensubtitusi bahan bakar minyak khususnya dalam sektor industri dan transportasi. Pemerintah menargetkan agar bauran Energi Primer nasional yang optimal tercapai salah satunya dengan memaksimalkan peran Energi bahan bakar nabati termasuk biodiesel yang terpenuhi pada tahun 2030 antara 5,1-5,2%.

Pengembangan biodiesel terus dilakukan, termasuk dalam upaya mengeksplorasi material katalitik yang digunakan dalam pembuatannya agar proses produksinya menjadi lebih cepat dan efisien. Pemanfaatan limbah sebagai sumber material katalitik dalam pembuatan biodiesel terus dikembangkan (Nurhayati dkk., 2025; Sahu, 2021; Lathiya dkk., 2018; Nath dkk., 2023). Sumber-sumber seperti tulang hewan (Asaad dkk., 2023; Madhu dkk., 2017) dan kulit telur (Falowo dkk., 2024; Mansir dkk., 2018; Tan dkk., 2015; Peng dkk., 2018; Goli & Sahu, 2018) mengandung $CaCO_3$ sebagai komponen utama yang berpotensi diubah menjadi katalis basa yang selanjutnya digunakan dalam pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi.

Katalis basa dapat dimodifikasi untuk meningkatkan aktivitas katalitiknya. Salah satu caranya melalui penambahan logam alkali pada CaO (Mahesh dkk., 2015). Etim & Musonge (2025) telah melakukan modifikasi katalis untuk pembuatan biodiesel dengan cara penambahan KOH pada CaO dari limbah kulit telur. Kulit telur yang telah halus direndam dalam larutan KOH, lalu campuran direfluks. Terakhir campuran dikalsinasi pada temperatur 900°C selama 3 jam. Hasil XRD menunjukkan puncak yang mengindikasikan adanya CaO sebagai fase utama, puncak $K_2Ca(CO_3)_2$, sedikit puncak K_2O dan puncak $Ca(OH)_2$. Munculnya puncak $K_2Ca(CO_3)_2$ menandakan penambahan KOH pada CaO dari kulit telur telah berhasil dilakukan. Pembentukan puncak $K_2Ca(CO_3)_2$ menunjukkan interaksi yang kuat antara KOH dan $CaCO_3$ selama kalsinasi, menghasilkan campuran oksida yang stabil yang berdampak pada peningkatan kebasaan dan aktivitas katalitik katalis pada proses transesterifikasi dengan persentase yield biodiesel >94% (Etim & Musonge, 2025). Penelitian lain yang dilakukan oleh Nurhayati dkk., (2022) yang berfokus pada modifikasi katalis CaO dari kulit kerang dengan perlakuan penambahan NaOH yang kemudian digunakan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel. Hasil menunjukkan penambahan NaOH menyebabkan peningkatan luas permukaan. Peningkatan luas permukaan pada katalis berdampak pada peningkatan kinerja katalis dengan persentase biodiesel >89% (Nurhayati dkk., 2022).

Logam golongan alkali memiliki kebasaan yang tinggi (Maisarah dkk., 2020). Penambahan logam alkali pada CaO dimaksudkan untuk meningkatkan kebasaan sehingga kebasaan katalis meningkat disertai dengan aktivitas katalitiknya dalam reaksi transesterifikasi menghasilkan biodiesel dengan persentase hasil semakin tinggi. Meskipun penelitian sebelumnya telah melakukan sintesis CaO dari beberapa limbah yang dimodifikasi dengan penambahan

beberapa logam alkali dan karakterisasi katalis, namun penelitian yang melakukan sintesis CaO dari limbah kulit kerang dengan penambahan KOH dengan metode yang sederhana serta karakterisasi khususnya penentuan kebasaan dengan metode sederhana belum ada yang melaporkan secara lengkap. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan KOH dengan menggunakan limbah yang berbeda yakni kulit kerang dengan metode sintesis yang berbeda, kulit kerang yang telah bersih dikalsinasi pada temperatur 900°C selama 10 jam, selanjutnya penambahan KOH terhadap hasil kalsinasi kulit kerang dengan cara diteteskan secara perlahan, campuran kemudian dikalsinasi pada temperatur 600°C selama 5 jam. Penelitian ini juga mempelajari karakterisasi jenis mineral, kandungan logam K katalis, dan penentuan kebasaan secara titrimetri serta pengujian aktivitas katalis dalam reaksi transesterifikasi menghasilkan biodiesel berdasarkan persentase yield biodiesel dan kandungan metil ester.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, diantaranya sebagai berikut.

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan peralatan gelas dalam proses sintesis katalis serta instrumen untuk menguji karakteristik katalis dan kemurnian produk biodiesel, seperti X-Ray Diffractometer (Philips tipe PW1710 Based) dan Atomic Absorption Spectrometer (Ray Leight WFX-320), serta Gas Chromatography (Shimadzu QP 2010S). Penelitian ini menggunakan bahan untuk sintesis katalis diantaranya kulit kerang (Anadara granosa), KOH (Merck), dan aquadest serta bahan dalam pembuatan biodiesel seperti minyak jelantah, metanol p.a (Merck), dan metil ester (Merck).

Preparasi Katalis

Katalis disintesis dengan menambahkan KOH ke dalam suspensi hasil kalsinasi kulit kerang. Pada tahap awal, serbuk hasil kalsinasi disiapkan menggunakan limbah kulit kerang yang telah dicuci bersih. Kulit kerang dikeringkan, kemudian dikalsinasi selama 10 jam pada temperatur 900°C. Hasil kalsinasi dihaluskan menggunakan mortar, lalu disaring dengan ayakan 200 mesh. Tahap selanjutnya adalah KOH sebanyak 25 mL ditambahkan ke dalam suspensi hasil kalsinasi kulit kerang (50 g dalam 200 mL akuades) dengan memvariasikan persentase K sebesar 1%; 3%; dan 5% (w/w) disertai dengan pengadukan selama 3 jam. Campuran dikeringkan selama 24 jam di dalam oven dengan temperatur 120°C. Selanjutnya campuran dikalsinasi selama 5 jam dengan temperatur 600°C.

Karakterisasi Katalis

Katalis hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*), Spektroskopi Serapan Atom, dan titrimetri.

Pengujian Katalis dalam Sintesis Biodiesel

Katalis diaplikasikan dalam pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan kondisi reaksi berikut: rasio mol minyak: metanol 1:6, temperatur reaksi 60°C, waktu reaksi 3 jam. Biodiesel yang dihasilkan ditimbang dan dihitung persentasenya. Selain itu, biodiesel diuji kandungan metil esternya menggunakan GC (*Gas Chromatography*).

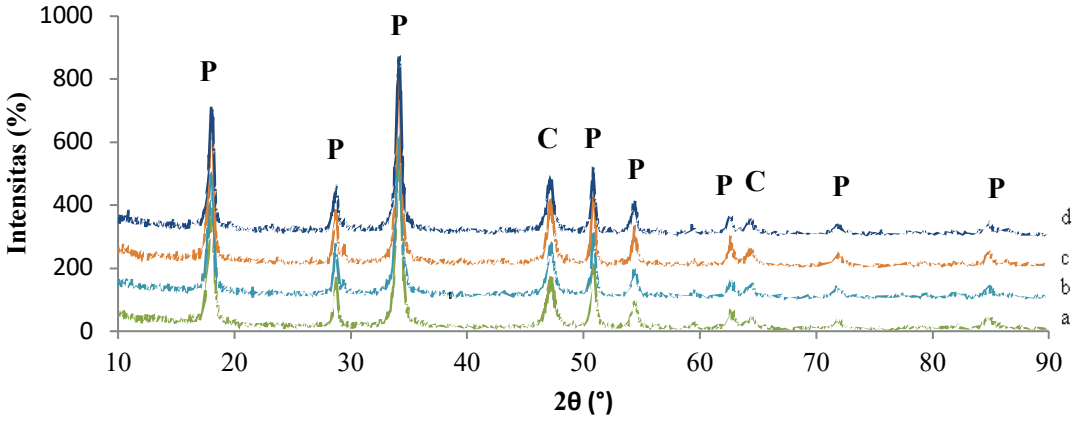
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Katalis

Pola XRD katalis pada Gambar 1 mengindikasikan adanya kandungan mineral portlandite ($Ca(OH)_2$) dan calcite ($CaCO_3$). Puncak pada 2θ = 18,1°, 28,7°, 34,2°, 50,9°, 54,3°, 62,6°, 71,6°, dan 84,7° mengindikasikan $Ca(OH)_2$. Puncak pada 2θ = 47,0° dan 64,4° mengindikasikan $CaCO_3$. Kulit kerang yang dikalsinasi pada temperatur 900°C umumnya menghasilkan lime (CaO) karena terjadinya dekomposisi sempurna $CaCO_3$ menjadi CaO. Namun,

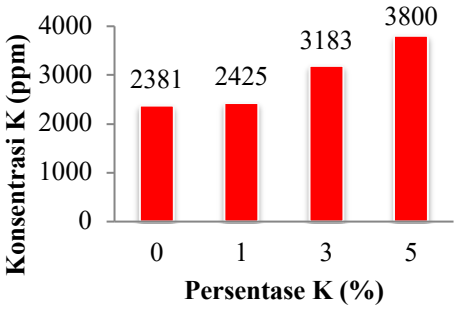
e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

pada katalis hasil sintesis puncak CaO tidak muncul karena hasil kalsinasi kulit kerang pada tahap awal sintesis diduga mengalami reaksi dengan air menghasilkan $Ca(OH)_2$ akibat penambahan dengan larutan KOH. Tahap kalsinasi lanjutan menggunakan temperatur 600°C tidak mampu mendekomposisi $Ca(OH)_2$ menjadi CaO. Kondisi temperatur ideal untuk menghasilkan CaO dari $Ca(OH)_2$ adalah 650°C. Selain itu, munculnya puncak $CaCO_3$ pada pola XRD karena adanya CO_2 di udara yang mengalami reaksi karbonasi dengan $Ca(OH)_2$ (Mirghiasi dkk., 2014). Puncak K_2O tidak muncul pada pola XRD, K_2O dimungkinkan tidak berada dalam bidang kristal, namun berikatan secara elektrostatis. Penambahan alkali pada oksida logam dimaksudkan untuk meningkatkan kebasaan. Peningkatan kebasaan diperkirakan terjadi melalui pembentukan pusat O^- karena adanya substitusi ion alkali M^+ ke dalam kisi oksida alkali tanah (MacLeod dkk., 2008). Penambahan alkali seperti K dan Sr menginisiasi terjadinya cacat pada kisi kristal CaO, lebih lanjut menghasilkan situs katalitik yang potensial karena semakin banyaknya kekosongan O^- di permukaan (Tavizón-Pozos dkk., 2025).



Gambar 1. Pola difraksi katalis dengan penambahan KOH (a) 0%, (b) 1%, (c) 3%, (d) 5% dengan keterangan: P: Portlandite ($Ca(OH)_2$) dan C: Calcite ($CaCO_3$)

Data kandungan K dalam katalis ditentukan menggunakan spektroskopi serapan atom dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 2. Katalis kulit kerang secara alamiah mengandung K. Hal ini juga dilaporkan oleh Widyastuti & Pramushinta (2018) kulit kerang hasil ekstraksi dan kalsinasi mengandung K sebesar 0,277% w/w.

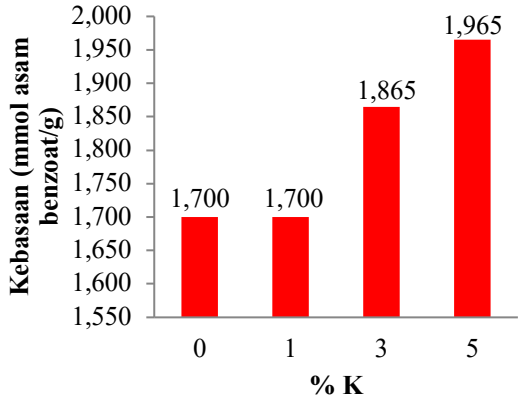


Gambar 2. Penentuan kadar K pada katalis menggunakan spektroskopi serapan atom

Pada penelitian ini, kandungan K yang teridentifikasi sebelum dilakukan penambahan KOH sebesar 2381 ppm. Penambahan KOH pada katalis telah

berhasil dilakukan yang ditunjukkan dengan peningkatan kadar K seiring dengan semakin banyaknya persentase K yang ditambahkan. Dengan demikian, katalis setelah penambahan KOH diduga mengalami peningkatan kebasaan.

Peningkatan kebasaan katalis dapat ditentukan secara titrimetri. Asam benzoat digunakan sebagai titran yang kemudian jumlah mmol yang bereaksi dengan filtrat basa dari katalis dihitung. Nilai kebasaan katalis dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penentuan kadar K pada katalis menggunakan spektroskopi serapan atom

Data kebasaan katalis mengalami kenaikan seiring dengan semakin banyaknya kadar K yang ditambahkan. Hal ini membuktikan penambahan KOH pada katalis telah berhasil dilakukan. Katalis dengan penambahan K 5% memiliki nilai kebasaan tertinggi sebesar 1,965 mmol asam benzoat/g. Hal ini berkaitan erat dengan data penentuan konsentrasi K menggunakan spektroskopi serapan atom. Data penambahan K 5% memiliki konsentrasi K tertinggi sebesar 3800 ppm. Akibatnya, semakin tinggi konsentrasi K, dimungkinkan semakin banyak jumlah K yang berada di dalam kisi $Ca(OH)_2$ sehingga pembentukan pusat O^- semakin banyak yang meningkatkan kebasaan katalis (MacLeod dkk., 2008). Dengan semakin meningkatnya kebasaan katalis, maka katalis tersebut berpotensi mengkonversi minyak jelantah menjadi biodiesel secara optimal dalam reaksi transesterifikasi.

Pengujian Katalis dalam Sintesis Biodiesel

Peningkatan kebasaan katalis menghasilkan kenaikan yield dalam konversi minyak jelantah menjadi biodiesel berdasarkan hasil uji aktivitas katalis melalui reaksi transesterifikasi dengan kondisi reaksi: rasio mol minyak: metanol 1:6, temperatur reaksi 60°C, waktu reaksi 3 jam.



Gambar 4. Uji aktivitas katalis dalam pembuatan biodiesel menggunakan minyak jelantah dengan kondisi reaksi: rasio mol minyak: metanol 1:6, temperatur reaksi 60°C, waktu reaksi 3 jam

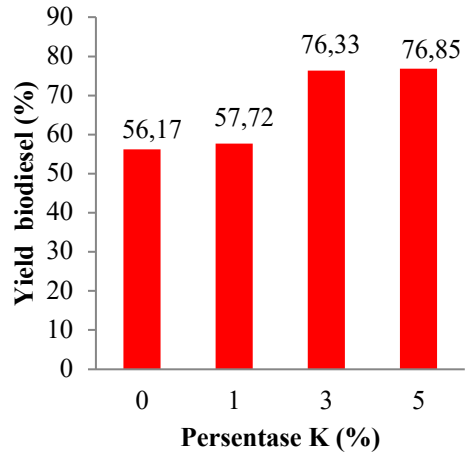
Persentase yield biodiesel yang dihasilkan beserta kemurnian metil esternya dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan data yang diperoleh, terjadi peningkatan yield biodiesel dan kandungan metil ester dengan adanya penambahan KOH pada katalis. Hal ini diduga karena penambahan KOH menyebabkan peningkatan kebasaan katalis sehingga aktivitas katalis dalam reaksi transesterifikasi menghasilkan peningkatan yield biodiesel dan kandungan metil esternya. Persentase yield biodiesel dan kandungan metil ester tertinggi pada penelitian ini masing-masing sebesar 76,3% dan 98,36%. Penelitian yang dilakukan oleh Etim & Musonge (2025) juga melaporkan hasil yang sejalan bahwa peningkatan kebasaan katalis meningkatkan yield biodiesel. Etim & Musonge (2025) mensintesis katalis CaO dari kulit telur yang dimodifikasi dengan penambahan KOH. Katalis digunakan dalam

e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

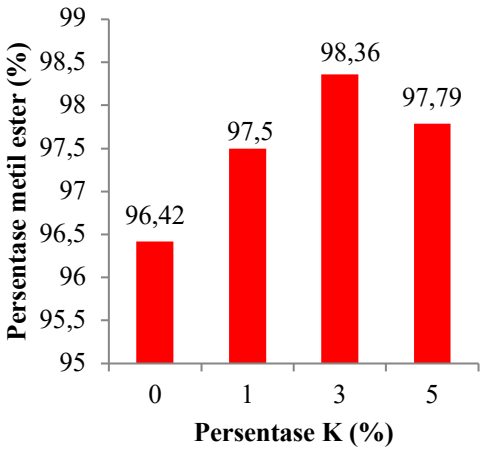
pembuatan biodiesel dari campuran minyak biji rami dan baobab dengan persentase yield >94%. Menurut Abu-Ghazala dkk. (2025), peran ion K dalam meningkatkan kebasaan katalis CaO adalah karena terjadinya peningkatan kerapatan dan keragaman situs basa. Efek sinergis ini meningkatkan kinerja katalis dalam reaksi yang dikatalisis basa termasuk reaksi transesterifikasi. Ion K berperan dengan cara memudahkan pemutusan hidrogen dari metanol dalam pembentukan ion metoksida (Abu-Ghazala dkk., 2025). Sementara itu, penurunan kandungan metil ester pada katalis dengan penambahan K 5% dimungkinkan karena adanya aglomerasi di bagian katalis yang menyebabkan jumlah situs aktif katalis berkurang sehingga mengurangi kinerja katalis (Barata dkk., 2025; Changmai dkk., 2020; Bekele dkk., 2022; Mirshafiee & Rezaei, 2024).

Tabel 1. Penggunaan katalis dalam penentuan jumlah yield biodiesel dan kemurnian metil ester menggunakan kromatografi gas

No	Variasi penambahan KOH (% K)	*Yield* biodiesel (%)	Persentase kemurnian metil ester (%)
1	0	56,17	96,42
2	1	57,72	97,50
3	3	76,33	98,36
4	5	76,85	97,79



Gambar 5. Penentuan jumlah yield biodiesel menggunakan katalis dengan penambahan KOH pada persentase K: 0, 1, 3 dan 5%.



Gambar 6. Penentuan kemurnian metil ester hasil transtesterifikasi minyak jelantah menggunakan katalis dengan penambahan KOH pada persentase K: 0, 1, 3 dan 5% secara kromatografi gas

KESIMPULAN

Pembuatan biodiesel berhasil dilakukan dari reaksi transesterifikasi minyak jelantah menggunakan katalis dari kalsinasi limbah kulit kerang dengan penambahan KOH. Katalis mengandung mineral portlandite dan calcite berdasarkan hasil pengujian menggunakan XRD. Penambahan KOH berhasil dilakukan yang dibuktikan dengan adanya penambahan jumlah kandungan K berdasarkan uji menggunakan Spektroskopi Serapan Atom (data kadar K

masing-masing pada katalis K 0%, 1%, 3%, dan 5% adalah 2381 ppm, 2425 ppm, 3183 ppm, dan 3800 ppm). Tingkat kebasaan katalis mengalami peningkatan setelah penambahan KOH, masing-masing nilai kebasaan katalis K 0%, 1%, 3%, dan 5% adalah 1,700 mmol asam benzoat/g, 1,700 mmol asam benzoat/g, 1,865 mmol asam benzoat/g, dan 1,965 mmol asam benzoat/g. Aktivitas katalis dengan penambahan KOH mengalami peningkatan berdasarkan data persentase yield biodiesel dan kemurnian metil ester yang optimal pada katalis dengan penambahan KOH 3% dengan yield biodiesel sebesar 76,33% dan kemurnian metil ester sebesar 98,36%.

DAFTAR PUSTAKA

Abu-Ghazala, A. H., Abdelhady, H. H., Abd El-Moghny, M. G., Saied, B. B., Sayed, A. H., Kenawy, S. T., Khalifa, O. H., Rwash, M. A., & El-Deab, M. S. (2025). Boosting biodiesel production from WCO utilizing marble waste powder as precursor for CaO/K_2CO_3 nanocatalyst at low temperature via RSM optimization. *RSC advances*, *15*(37), 30829-30848.

Asaad, S. M., Inayat, A., Jamil, F., Ghenai, C., & Shanableh, A. (2023). Optimization of biodiesel production from waste cooking oil using a green catalyst prepared from glass waste and animal bones. *Energies*, *16*(5), 2322.

Barata, A. O., Reshad, A. S., & Gnaro, M. A. (2025). Synthesis and characterization of potassium hydroxide impregnated cassava leaves heterogeneous catalyst for biodiesel production from waste cooking oil. *Results in Chemistry*, 102433.

Bekele, D. T., Shibeshi, N. T., & Reshad, A. S. (2022). KNO_3-loaded coffee husk ash as a heterogeneous alkali catalyst for waste frying oil valorization into biodiesel. *ACS omega*, *7*(49), 45129-45143.

Changmai, B., Vanlalveni, C., Ingle, A. P., Bhagat, R., & Rokhum, S. L. (2020). Widely used catalysts in biodiesel production: a review. *RSC advances*, *10*(68), 41625-41679.

Etim, A. O., & Musonge, P. (2025). Process analysis and optimization of biocompatible diesel production from blended vegetable oils using KOH-impregnated eggshells derived CaO catalyst. *Green Technologies and Sustainability*, 100262.

Lathiya, D. R., Bhatt, D. V., & Maheria, K. C. (2018). Synthesis of sulfonated carbon catalyst from waste orange peel for cost effective biodiesel production. *Bioresource Technology Reports*, *2*, 69-76.

MacLeod, C. S., Harvey, A. P., Lee, A. F., & Wilson, K. (2008). Evaluation of the activity and stability of alkali-doped metal oxide catalysts for application to an intensified method of biodiesel production. *Chemical engineering journal*, *135*(1-2), 63-70.

Madhu, D., Arora, R., Sahani, S., Singh, V., & Sharma, Y. C. (2017). Synthesis of high-quality biodiesel using feedstock and catalyst derived from fish wastes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *65*(10), 2100-2109.

Mahesh, S. E., Ramanathan, A., Begum, K. M. S., & Narayanan, A. (2015). Biodiesel production from waste cooking oil using KBr impregnated CaO as catalyst. *Energy conversion and management*, *91*, 442-450.

Maisarah, Nurhayati, and Linggawati, A. (2020, October). Transesterification of Crude Palm Oil (CPO) to Biodiesel Using Heterogeneous Catalyst K-CaO from Anadara Granosa Synthesized by Sol Gel Method. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1655, No. 1, p. 012035). IOP Publishing.

Mansir, N., Teo, S. H., Rashid, U., Saiman, M. I., Tan, Y. P., Alsultan, G. A., & Taufiq-Yap, Y. H. (2018). Modified waste egg shell derived bifunctional catalyst for biodiesel production from high FFA waste cooking oil. A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 3645-3655.

Mirghiasi, Z., Bakhtiari, F., Darezereshki, E., and Esmaeilzadeh, E. 2014. Preparation and characterization of CaO nanoparticles from $Ca(OH)_2$ by direct thermal decomposition method. *Journal of industrial and Engineering chemistry*, 20: 113-117.

Mirshafiee, F., & Rezaei, M. (2024). Enhancing hydrogen generation from sodium borohydride hydrolysis and the role of a $Co/CuFe_2O_4$ nanocatalyst in a continuous flow system. *Scientific Reports*, 14(1), 9659.

Nath, B., Basumatary, B., Wary, N., Basumatary, U. R., Basumatary, J., Rokhum, S. L., Azam, M., Min, K., & Basumatary, S. (2023). Agricultural Waste-Based Heterogeneous Catalyst for the Production of Biodiesel: A Ranking Study via the VIKOR Method. *International Journal of Energy Research*, *2023*(1), 7208754.

Nurhayati, N., Muhdarina, M., Linggawati, A., & Siregar, S. S. Synthesis and Characterization of $CaO\text{-}SiO_2$ Heterogeneous Catalyst of Blood Cockle Shells and Coconut Fiber Ash for Biodiesel Production from Crude Palm Oil. *Indonesian Journal of Chemistry*.

Nurhayati, Saputra, L., Awaluddin, A., & Kurniawan, E. (2021). Converting waste cooking oil to biodiesel catalyzed by NaOH-impregnated CaO derived from cockle shell (Anadara granosa). *Kinetics and Catalysis*, *62*(6), 860-865.

Peng, Y. P., Amesho, K. T., Chen, C. E., Jhang, S. R., Chou, F. C., & Lin, Y. C. (2018). Optimization of biodiesel production from waste cooking oil using waste eggshell as a base catalyst under a microwave heating system. *Catalysts*, *8*(2), 81.

Sahu, O. (2021). Characterisation and utilization of heterogeneous catalyst from waste rice-straw for biodiesel conversion. *Fuel*, *287*, 119543.

Tan, Y. H., Abdullah, M. O., Nolasco-Hipolito, C., & Taufiq-Yap, Y. H. (2015). Waste ostrich-and chicken-eggshells as heterogeneous base catalyst for biodiesel production from used cooking oil: Catalyst characterization and biodiesel yield performance. *Applied Energy*, *160*, 58-70.

Tavizón-Pozos, J. A., Cervantes-Cuevas, H., Garcia-Camacho, G. G., Chavez-Esquivel, G., & Acosta-Najarro, D. R. (2025). Biodiesel Production Using K–Sr/CaO and CaO Catalysts Derived from Eggshells by Canola Oil Transesterification. *ACS omega*, 10(7), 6827-6838.

Widyastuti, S., & Pramushinta, I. A. (2018, March). Mineral contents and their

e-ISSN: 2721-9038
p-ISSN: 2721-902X

solubility on calcium carbonat calcite nanocrystals from cockle shell powder (Anadara granosa Linn). In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 983, No. 1, p. 012164). IOP Publishing.