

## Pemanfaatan Serbuk Sekam Padi sebagai Katalis Basa Heterogen pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa

### *Utilization of Rice Husk Powder as a Heterogeneous Base Catalyst in Biodiesel Production from Coconut Oil*

FBA Fitriani\*, Elgrini Togatorop, Chintya Sinar Lumbantoruan

Teknik Bioproses, Institut Teknologi Del, Laguboti, 22381, Indonesia

\*Email: [fa.fitriani@del.ac.id](mailto:fa.fitriani@del.ac.id)

#### Article history:

Diterima : 17 November 2025  
Direvisi : 20 Januari 2026  
Disetujui : 23 Januari 2026  
Mulai online : 27 Maret 2026

E-ISSN: 2337-4888

#### How to cite:

FBA Fitriani, Elgrini Togatorop, Chintya Sinar Lumbantoruan. (2026). Pemanfaatan Serbuk Sekam Padi sebagai Katalis Basa Heterogen pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa. Jurnal Teknik Kimia USU, 15(1), 40-48.

#### ABSTRAK

Produksi beras yang tinggi di Indonesia menghasilkan limbah sekam padi sekitar 0,53–5,8 juta ton pada tahun 2024 dan sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal. Menurut Kementerian Pertanian (2022), limbah ini umumnya hanya ditimbun atau dibakar tanpa pemanfaatan lanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh suhu pembakaran terhadap karakteristik katalis heterogen berbasis sekam padi, pengaruh konsentrasi katalis terhadap hasil biodiesel, serta kemampuan penggunaan ulang katalis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pembakaran 600 °C menghasilkan katalis berpori dengan situs aktif yang lebih luas. Penggunaan konsentrasi katalis 9% b/v memperoleh hasil biodiesel tertinggi sebesar 91 mL. Penggunaan ulang katalis hingga dua kali menurunkan *yield* biodiesel akibat berkurangnya situs aktif, namun tetap berada di atas 50%. Karakterisasi pori katalis dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* dan biodiesel memenuhi parameter SNI 7182:2015 yaitu densitas berada di rentang 850–890 kg/m<sup>3</sup>. Korosi lempeng tembaga pada nomor 2 dan uji angka asam maksimal 0,5 mg KOH/g.

**Kata kunci:** biodiesel, katalis basa heterogen, minyak kelapa, sekam padi, transesterifikasi

#### ABSTRACT

High rice production in Indonesia generates rice husk waste of approximately 0.53–5.8 million tons in 2024, most of which has not been optimally utilized. According to the Ministry of Agriculture (2022), this waste is generally stockpiled or openly burned without further valorization. This study aims to analyze the effect of calcination temperature on the characteristics of rice husk-based heterogeneous catalysts, the effect of catalyst concentration on biodiesel yield, and the reusability of the catalyst. The results show that a calcination temperature of 600°C produces a porous catalyst with a larger number of active sites. The highest biodiesel yield of 91 mL was obtained using a catalyst concentration of 9% w/v. Catalyst reuse for up to two cycles resulted in a decrease in biodiesel yield due to the reduction of active sites; however, the yield remained above 50%. Catalyst pore characteristics were analyzed using Scanning Electron Microscopy and the produced biodiesel met the requirements of SNI 7182:2015, including a density in the range of 850–890 kg/m<sup>3</sup>, copper strip corrosion rating of No. 2, and an acid value not exceeding 0.5 mg KOH/g.

**Keyword:** biodiesel, heterogeneous base catalyst, coconut oil, rice husk, transesterification



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.  
<https://doi.org/10.32734/jtk.v15i1.23521>

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil beras terbesar di dunia. Menurut [1], Indonesia memproduksi 52,65 juta ton padi dan menghasilkan sekam padi sebanyak 0,53–5,8 juta ton setiap tahun. Namun, sebagian besar limbah ini masih belum dimanfaatkan secara optimal dan umumnya hanya ditimbun di lahan sekitar pabrik penggilingan sebagai solusi sementara untuk mengurangi penumpukan limbah [2]. Alternatif pemanfaatan sekam padi yaitu sebagai bahan baku katalis basa heterogen untuk produksi biodiesel. Penggunaan katalis basa heterogen menjadi alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan katalis basa homogen, yang hanya dapat digunakan sekali dan memerlukan proses pemisahan tambahan yang menghasilkan limbah cair. Sekam padi yang dibakar pada suhu terkontrol dapat diubah menjadi abu yang kaya silika. Abu sekam padi mengandung sekitar 87%  $\text{SiO}_2$  [3] serta unsur lain seperti nitrogen, fosfat, kalium, kalsium, dan mineral jejak seperti Fe, Mn, dan Zn [4]. Kandungan  $\text{SiO}_2$  yang tinggi memberikan sifat asam-basa, stabilitas termal, serta struktur pori yang luas, sehingga mendukung aktivitas katalitik [3]. Pori abu sekam padi terdistribusi dalam rentang ukuran 5–200  $\mu\text{m}$ , yang berperan penting dalam meningkatkan kontak antara reaktan dengan permukaan katalis [5]. Penelitian yang mengkaji sintesis katalis heterogen berbasis  $\text{SiO}_2$  yang diimpregnasi dengan logam kalium pada dasarnya sudah banyak dilakukan, namun sebagian besar penelitian dilakukan hanya pada satu variasi pembakaran ataupun satu variasi konsentrasi. Pada penelitian ini, dilakukan variasi pada beberapa rentang variasi pembakaran sekam padi dan konsentrasi yang digunakan pada proses transesterifikasi. Pendekatan ini dilakukan untuk memperoleh informasi hubungan kuantitatif antara efek suhu pembakaran, jumlah konsentrasi katalis, dan hasil biodiesel dalam satuan volume (mL) yang memberikan perspektif aplikatif yang jarang dibahas dalam studi sebelumnya yang cenderung fokus pada *yield* atau *Fatty Acid Methyl Ester (FAME) content* saja. Selain itu, penelitian ini juga akan membahas penurunan kinerja katalis setelah penggunaan ulang yang dianalisis secara fungsional dan dikaitkan dengan berkurangnya situs aktif yang akan berpengaruh pada stabilitas katalis. Hal ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang hanya melaporkan penurunan *yield* saja tanpa informasi tentang pemahaman mekanistik katalis.

Salah satu penggunaan katalis basa heterogen dari sekam padi ini adalah sebagai katalis pada produksi energi terbarukan seperti biodiesel. Biodiesel adalah jenis bioenergi atau bahan bakar berbasis nabati yang dapat dihasilkan dari minyak tumbuhan melalui proses transesterifikasi [6]. Dalam produksi biodiesel melalui transesterifikasi, pemilihan katalis sangat memengaruhi efisiensi dan hasil akhir [7]. Katalis basa heterogen memiliki keunggulan karena dapat dipisahkan dengan mudah dan dapat digunakan kembali. Hal ini berbeda dengan katalis basa homogen yang tidak dapat digunakan ulang dan memerlukan proses netralisasi tambahan [8,9]. Pemilihan KOH dilakukan karena spesies  $\text{K}^+$  yang terimpregnasi pada matriks  $\text{SiO}_2$  cenderung membentuk situs basa kuat (misalnya  $\text{K}_2\text{O}$  atau  $\text{K}-\text{O}-\text{Si}$ ) setelah kalsinasi. Situs basa ini lebih aktif dalam memfasilitasi reaksi transesterifikasi dibandingkan dengan spesies berbasis  $\text{Na}^+$ . Ion  $\text{K}^+$  juga memiliki jari-jari ionik yang lebih besar dibandingkan dengan  $\text{Na}^+$ , sehingga menghasilkan interaksi yang lebih stabil dengan permukaan silika. Hal ini mengurangi kemungkinan aglomerasi dan *leaching* logam selama reaksi, terutama pada penggunaan ulang katalis [10].

Untuk memperoleh katalis basa heterogen, dilakukan pembakaran dengan suhu terkontrol terlebih dahulu terhadap sekam padi sehingga dihasilkan abu sekam padi. Abu sekam padi ini selanjutnya dilakukan proses aktivasi kimia, yaitu impregnasi. Impregnasi melibatkan proses penangkapan gugus KOH ke permukaan material, yang memberikan sifat basa kuat pada katalis tersebut [8]. Penerapan proses impregnasi ini dilakukan agar gugus  $\text{SiO}_2$  pada abu sekam padi dapat dimodifikasi sehingga memiliki situs basa yang kuat dan reaktif dalam mempercepat reaksi transesterifikasi. Untuk mengidentifikasi karakteristik katalis basa heterogen dari sekam padi, dalam penelitian ini akan dilakukan pembakaran sekam padi di *furnace* pada dua suhu terkontrol, kemudian akan diuji efektivitas katalis ini berdasarkan reaksi transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel dan penggunaan kembali katalis. Analisis karakteristik katalis ini akan dilakukan dengan pengujian SEM.

## 2. Metode

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven (Labtech), *furnace* (Carbolite), alat kaca seperti gelas ukur, *beaker* gelas, kaca arloji, dsb (Pyrex) dan alat SEM yang digunakan di Laboratorium Terpadu Universitas Sumatera Utara. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi, kalium hidroksida (KOH 5 N, Merck), akuades, lempeng tembaga, metanol pa (Merck), fenolftalein (Merck) dan kertas saring.

### **Pembuatan katalis basa heterogen**

Penelitian ini diawali dengan pembuatan katalis basa heterogen yang terlebih dahulu dicuci untuk membersihkan sekam padi dari debu atau kotoran. Sekam padi yang telah dicuci kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 200°C selama 2 jam. Suhu ini digunakan bukan hanya untuk menghilangkan air bebas, tetapi juga untuk menghilangkan air terikat dan volatil ringan sehingga mencegah kerusakan struktur pori dan meningkatkan efektivitas pembentukan situs aktif katalis pada tahap kalsinasi berikutnya. Sekam padi yang sudah kering dibakar menggunakan *furnace* dengan tiga variasi suhu pembakaran, yaitu 500 °C, 600 °C dan 700 °C selama 4 jam untuk mengubah sekam padi menjadi abu sekam padi [11]. Abu yang dihasilkan kemudian didinginkan. Setelah dingin, abu kemudian diayak hingga 60 *mesh* dan dihitung rendemen yang terbentuk. Abu yang sudah jadi ditimbang dan dimasukkan ke dalam gelas kimia untuk disimpan untuk proses selanjutnya. Pada proses impregnasi dengan larutan KOH 5 N, sekam padi yang telah disiapkan selanjutnya dicampurkan dengan larutan KOH 5 N. Proses ini dilakukan selama 24 jam sembari dilakukan pengadukan. Setelah proses impregnasi selesai, katalis dikeringkan dalam oven dengan tujuan menghilangkan kelembapan dalam katalis [12]. Setelah semua proses pembakaran katalis dan proses impregnasi abu dengan KOH selesai dilakukan, selanjutnya akan dianalisis permukaan katalis basa heterogen dengan uji SEM.

### **Transesterifikasi minyak nabati**

Tahapan kedua adalah reaksi transesterifikasi minyak nabati, yaitu menggunakan minyak kelapa. Perbandingan mol antara minyak kelapa dan metanol yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1:6. Campuran metanol dan katalis abu sekam padi dimasukkan dalam labu leher tiga dan dipanaskan hingga campuran bersuhu 55 °C. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan 3 variasi konsentrasi penggunaan yang berbeda dari volume total minyak kelapa [8]. FAME yang telah dipisahkan dicuci menggunakan akuades panas. Campuran diaduk secara perlahan untuk mencegah terbentuknya emulsi antara akuades dan biodiesel. Campuran didiamkan sampai membentuk dua fasa. Proses pencucian dilakukan 2-3 kali atau hingga air bilasan yang digunakan menjadi jernih. FAME yang telah dipisahkan dikeringkan untuk menghilangkan sisa akuades.

### **Penggunaan kembali katalis**

Tahapan ketiga adalah penggunaan kembali katalis, dimana setelah proses transesterifikasi selesai, katalis yang digunakan dikumpulkan dari campuran reaksi. Katalis yang telah digunakan dicuci menggunakan akuades dan aseton dengan perbandingan katalis (g) dan volume akuades/aseton (mL) sebesar 1:5. Setelah dicuci, katalis disaring dan dikeringkan dalam oven. Katalis dapat digunakan sampai 3 kali perulangan reaksi. Katalis yang digunakan adalah katalis yang menghasilkan *yield* paling besar dari proses transesterifikasi sebelumnya.

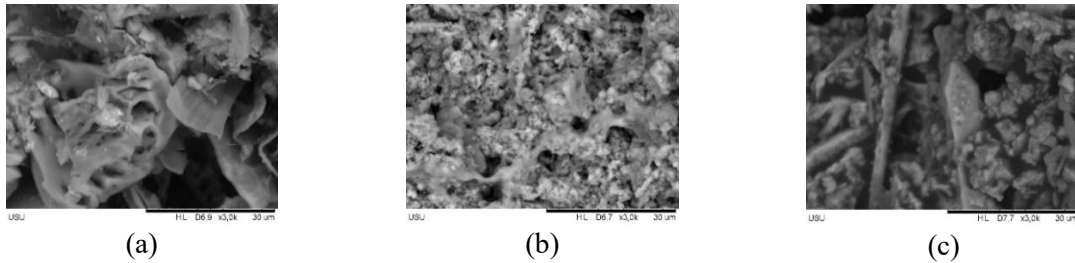
### **Uji kualitas biodiesel**

Tahap terakhir adalah uji kualitas biodiesel, yaitu densitas, korosi lempeng tembaga, dan angka asam biodiesel. Setelah semua data diperoleh, akan diidentifikasi bagaimana hubungan suhu pembakaran sekam padi terhadap morfologi dan ukuran partikel material, hubungan antara konsentrasi katalis terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan, hubungan penggunaan berulang katalis terhadap morfologi katalis basa heterogen dan *yield* biodiesel. Melalui pembahasan tersebut, dapat diidentifikasi efektivitas dan efisiensi dari abu sekam padi secara kualitatif dan kuantitatif dari variasi eksperimen yang telah dilakukan.

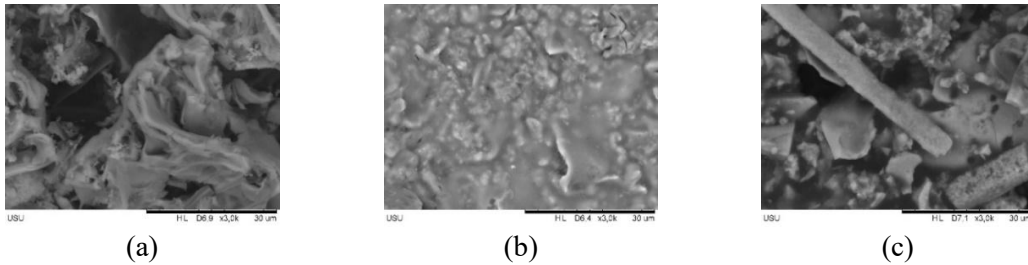
## **3. Hasil**

### **Analisis Morfologi Sekam Padi Terhadap Hasil Uji SEM**

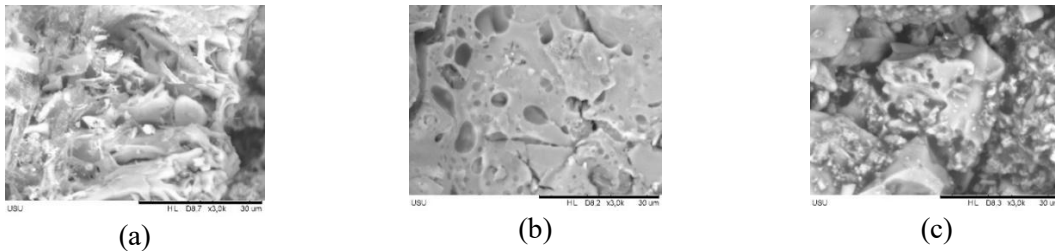
Hasil karakterisasi morfologi katalis yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi pada tiga variasi percobaan yaitu 500 °C, 600 °C dan 700 °C. Karakterisasi dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat perubahan struktur permukaan dan distribusi partikel pada abu sekam padi.



Gambar 1. Hasil SEM dengan perbesaran 3000x terhadap sekam padi yang dibakar pada suhu 500 °C (a), sekam padi yang ditambah KOH (b) dan katalis heterogen yang sudah digunakan(c)



Gambar 2. Hasil SEM dengan perbesaran 3000x terhadap sekam padi yang dibakar pada suhu 600 °C (a), sekam padi yang ditambah KOH (b) dan katalis heterogen yang sudah digunakan(c)



Gambar 3. Hasil SEM dengan perbesaran 3000x terhadap sekam padi yang dibakar pada suhu 700 °C (a), sekam padi yang ditambah KOH (b) dan katalis heterogen yang sudah digunakan(c)

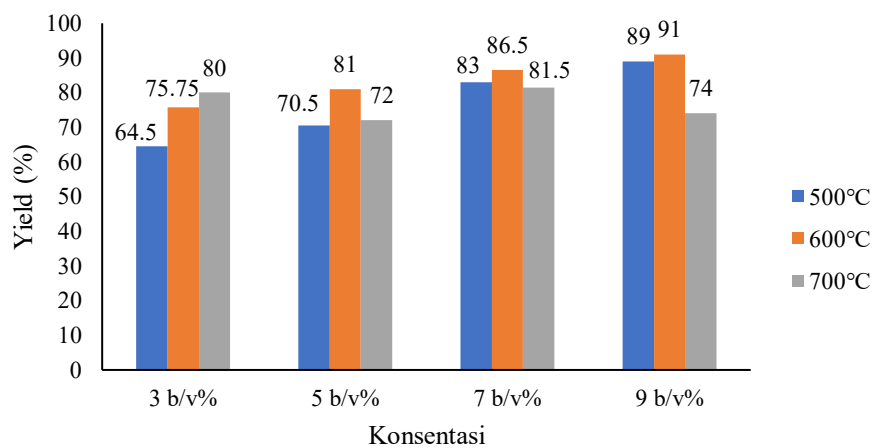
Proses pembakaran sekam padi bertujuan menghilangkan komponen organik seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang terdegradasi menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Pada suhu 200–400 °C sebagian besar senyawa organik habis terbakar, dan pada 500–700 °C fraksi organik hampir hilang seluruhnya, menyisakan abu anorganik yang didominasi silika ( $\text{SiO}_2$ ). Silika stabil pada suhu tinggi, namun struktur permukaannya berubah sesuai suhu: pada suhu sedang silika berada dalam fase amorf, sedangkan pada suhu lebih tinggi mulai berubah menjadi kristalin [13]. Hasil SEM yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa pembakaran pada 500 °C dan 600 °C menghasilkan abu dengan pori-pori lebih terbuka dan merata. Pada suhu ini silika masih dalam fase amorf, sehingga mendukung impregnasi KOH dan pembentukan situs basa. Pada suhu 500 °C, struktur permukaan masih didominasi oleh partikel besar dan tidak beraturan dengan pori yang relatif tertutup, menandakan proses dekomposisi organik yang belum optimal. Setelah penambahan KOH (Gambar 1b), permukaan mulai mengalami pengikisan, namun distribusi pori masih belum merata, yang berpotensi membatasi jumlah situs aktif katalitik. Pada suhu 600 °C, morfologi katalis menunjukkan perubahan yang lebih signifikan. Permukaan katalis setelah impregnasi KOH (Gambar 2b) tampak lebih homogen dengan pori-pori yang lebih terbuka dan terdistribusi merata. Struktur berpori ini meningkatkan luas permukaan spesifik dan jumlah situs basa aktif, sehingga mendukung peningkatan interaksi antara katalis dan reaktan selama reaksi transesterifikasi. Kondisi ini sejalan dengan hasil *yield* biodiesel yang diperoleh, dimana *yield* biodiesel tertinggi pada katalis yang dibakar pada suhu 600 °C. Hal ini sejalan dengan penelitian [14], yang menyatakan bahwa pembakaran hingga 600 °C mempertahankan bentuk amorf dan struktur pori yang reaktif.

Pada Gambar 3, yaitu pada suhu 700 °C, permukaan katalis menjadi kasar dan pori-pori tertutup akibat aglomerasi dan peningkatan kristalinitas. Meskipun pori terlihat lebih besar (Gambar 3b), sebagian struktur mengalami sintering dan kerusakan dinding pori. Fenomena ini berpotensi menurunkan kestabilan struktur katalis dan menyebabkan berkurangnya jumlah situs aktif yang efektif. Kondisi ini menurunkan luas

permukaan dan menghambat difusi KOH, sehingga aktivitas katalis menurun. Hal tersebut menjelaskan penurunan kinerja katalitik yang dilihat dari perolehan *yield* biodiesel yang lebih rendah dibandingkan dengan *yield* yang dihasilkan menggunakan katalis yang dibakar pada suhu 600°C. Hasil ini sesuai dengan [15] dan [16] yang menyatakan bahwa suhu  $\geq 700$  °C menyebabkan perubahan permukaan yang kurang optimal untuk katalis. Data SEM pada 500 °C dan 600 °C juga memperlihatkan pori berukuran 5–20  $\mu\text{m}$ , sesuai dengan rentang umum 5–200  $\mu\text{m}$  menurut [17] yang menunjukkan struktur amorf khas pembakaran suhu sedang. Pori yang terbuka pada 600 °C meningkatkan efektivitas impregnasi KOH dan distribusi situs basa. Secara keseluruhan, hasil SEM menegaskan bahwa 500 °C dan 600 °C merupakan suhu pembakaran yang menghasilkan morfologi paling berpori dan paling sesuai untuk katalis heterogen pada proses transesterifikasi.

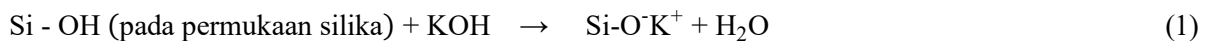
### Pengaruh Konsentrasi Katalis Basa Heterogen Terhadap *Yield* Biodiesel

Pengaruh konsentrasi katalis basa heterogen terhadap volume biodiesel yang diperoleh dari minyak kelapa. Untuk mengetahui konsentrasi katalis yang memberikan pengaruh terbaik, digunakan empat variasi konsentrasi katalis, yaitu 3, 5, 7 dan 9% b/v dengan suhu pembakaran sekam padi 500 °C, 600 °C dan 700 °C. Hasil dari percobaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi katalis terhadap volume biodiesel

Proses pembentukan biodiesel dari minyak kelapa terbentuk melalui reaksi transesterifikasi, yaitu konversi trigliserida menjadi metil ester dengan bantuan katalis. Dalam penelitian ini digunakan katalis basa heterogen berbasis abu sekam padi yang telah diaktivasi dengan larutan KOH. Proses impregnasi KOH ke dalam abu sekam padi berlangsung melalui interaksi antara KOH dan permukaan silika, membentuk situs basa seperti silanol terionisasi ( $\text{Si-O}^-\text{K}^+$ ). Secara sederhana, reaksi aktivasi ini dapat dijabarkan melalui Persamaan 1.

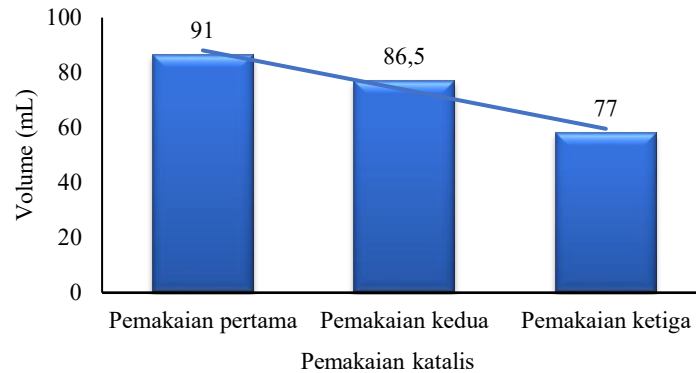


Situs basa pada katalis berperan sebagai pusat aktif transesterifikasi, membantu metanol menyerang gugus ester trigliserida untuk menghasilkan metil ester. Morfologi abu yang memiliki pori terbuka dan luas permukaan tinggi memungkinkan lebih banyak KOH terimpregnasi, sehingga situs basa meningkat. Penambahan KOH pada abu sekam padi menyediakan gugus basa aktif yang mempercepat reaksi, dan semakin tinggi konsentrasi katalis, semakin tinggi pula perolehan biodiesel. Pada 500 °C, peningkatan katalis dari 3% b/v ke 9% b/v menaikkan biodiesel dari 64,5% menjadi 89%. Pada 600 °C, *yield* meningkat dari 75,75% menjadi 89% pada konsentrasi yang sama. Uji SEM menunjukkan bahwa suhu 600 °C menghasilkan pori lebih terbuka dan merata dibandingkan dengan 500 °C maupun 700 °C, sehingga impregnasi KOH dan pembentukan situs basa lebih optimal. Hal ini meningkatkan interaksi metanol dan trigliserida serta konversi biodiesel. Sebaliknya, pada 700 °C, *yield* menurun, yaitu konsentrasi 9% b/v hanya menghasilkan 74%, lebih rendah dari 7% b/v (81,5%). Studi [13] dan [8] menjelaskan bahwa suhu terlalu tinggi merusak pori melalui aglomerasi dan kristalisasi silika, menurunkan luas permukaan efektif. Secara teoritis, peningkatan luas permukaan katalis berbanding lurus dengan jumlah situs aktif yang tersedia, sehingga frekuensi tumbukan efektif antara reaktan dan situs basa katalis meningkat. Kondisi ini menurunkan hambatan difusi dan meningkatkan laju reaksi transesterifikasi, yang pada akhirnya menghasilkan *yield* biodiesel yang lebih tinggi [18]. Konsentrasi katalis

yang terlalu tinggi juga dapat meningkatkan viskositas campuran dan menghambat pemisahan fasa. Pada suhu 600 °C dan konsentrasi 9% b/v, diperoleh *yield* tertinggi yaitu 91%. Kondisi ini memberikan morfologi katalis paling stabil dan pori tetap terbuka, sehingga reaksi berjalan dengan baik. Secara keseluruhan, efektivitas katalis ditentukan oleh kombinasi konsentrasi dan morfologi, dan kondisi pembakaran pada suhu 600 °C serta penggunaan konsentrasi katalis sebesar 9% b/v menghasilkan *yield* biodiesel tertinggi, yaitu 91 mL.

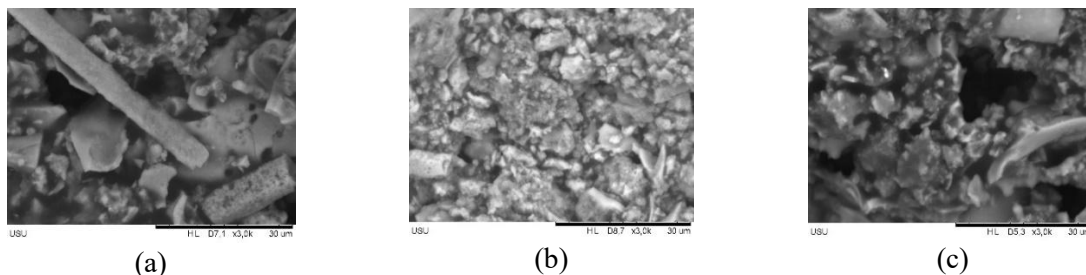
### Pengaruh Penggunaan Ulang Katalis Terhadap *Yield* Biodiesel dan Analisis Morfologi SEM

Penggunaan berulang katalis heterogen terhadap perolehan volume biodiesel dilakukan terhadap perolehan biodiesel paling tinggi pada tahap sebelumnya, yaitu katalis yang dibakar pada suhu 600 °C dengan konsentrasi 9% b/v. Hasil dari percobaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh penggunaan berulang katalis terhadap volume biodiesel

Pada pemakaian pertama, biodiesel yang dihasilkan mencapai 91%. Namun, pada pemakaian kedua turun menjadi 86,5% dan pada pemakaian ketiga menurun lagi menjadi 77%. Penurunan ini menunjukkan degradasi kemampuan katalis dalam mengonversi minyak kelapa menjadi biodiesel. Hal ini disebabkan oleh menurunnya stabilitas termal dan kimia katalis setelah digunakan berulang kali pada kondisi reaksi yang bersuhu tinggi dan reaktif. Menurut [19], katalis yang dipakai berulang akan mengalami penyumbatan pori akibat akumulasi gliserol dan sisa produk, serta perubahan morfologi yang mengurangi jumlah situs aktif. Proses pencucian dan pengeringan juga tidak mampu sepenuhnya mengembalikan katalis ke kondisi awal, sehingga efektivitasnya terus menurun pada siklus berikutnya. Penelitian yang dilakukan [20] juga mendukung hasil ini, dimana katalis berbasis karbon aktif yang diimpregnasi KOH mengalami penurunan reaktivitas setelah penggunaan berulang. Hal ini disebabkan oleh adanya sisa alkohol, produk samping, dan senyawa polar yang terimpregnasi permanen pada permukaan katalis, sehingga menghambat aktivitas katalitik dan mengurangi kemampuan katalis yang diregenerasi untuk menjerap KOH kembali. Akibatnya, aktivitas katalis menurun secara bertahap dari satu siklus ke siklus berikutnya. Karakterisasi dilakukan dengan SEM untuk mengetahui bagaimana penggunaan berulang memengaruhi sifat fisik katalis yang secara langsung berdampak pada efektivitas proses transesterifikasi biodiesel yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil analisis SEM dengan perbesaran 3000x terhadap sekam padi yang digunakan dalam proses transesterifikasi (a), katalis yang digunakan dua kali (b) dan katalis yang digunakan tiga kali (c)

Pada Gambar 6, terlihat bahwa katalis baru memiliki permukaan berpori yang menunjukkan keberadaan situs aktif. Setelah diimpregnasi KOH, permukaan katalis menjadi lebih tertutup, namun penggunaan berulang

menyebabkan permukaan tampak lebih kasar. Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian lapisan KOH terlepas selama proses reaksi dan pencucian, sehingga menurunkan luas permukaan aktif dan efektivitas katalis dalam transesterifikasi [21]. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa abu sekam padi masih dapat digunakan kembali sebagai katalis, namun performanya menurun seiring bertambahnya siklus penggunaan. Hal ini menegaskan pentingnya strategi regenerasi yang efektif untuk mempertahankan stabilitas dan efisiensi katalis. Menurut [22], metode regenerasi sangat penting untuk mendukung keberlanjutan produksi biodiesel, terutama dalam skala besar. Oleh karena itu, pengembangan metode regenerasi yang lebih baik diperlukan agar katalis tetap aktif dan layak digunakan dalam jangka panjang.

### **Pengaruh Konsentrasi Katalis Basa Heterogen terhadap Kualitas Biodiesel**

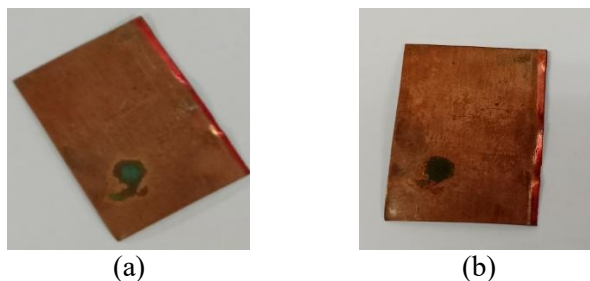
Uji kualitas biodiesel yang dilakukan adalah pengujian densitas, angka asam, dan korosi lempeng tembaga. Densitas merupakan parameter utama dalam menentukan mutu biodiesel karena berhubungan langsung dengan kinerja pembakaran dan efisiensi mesin diesel. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 7.

Tabel 1. Kualitas biodiesel

Suhu	Konsentrasi	Densitas ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ )	Angka Asam (mg-KOH/g)
500 °C	3 % b/v	875,264	0,161
	5 % b/v	871,742	0,182
	7 % b/v	886,084	0,146
	9 % b/v	884,126	0,406
600 °C	3 % b/v	887,436	0,208
	5 % b/v	878,402	0,217
	7 % b/v	881,999	0,196
	9 % b/v	883,706	0,336
600 °C	9 % b/v (pengulangan 1)	886,456	0,168
	9 % b/v (pengulangan 2)	897,222	0,252
700 °C	3 % b/v	884,272	0,378
	5 % b/v	885,196	0,308
	7 % b/v	887,629	0,476
	9 % b/v	888,8985	0,561

Nilai densitas penting karena berpengaruh langsung pada efisiensi pembakaran, performa mesin, dan kecocokan bahan bakar. Densitas yang terlalu tinggi dapat menandakan adanya pengotor seperti gliserol, air, atau sisa metanol [23]. Menurut SNI 7182:2015, densitas biodiesel harus berada pada rentang 850–890 kg/m<sup>3</sup> pada 40 °C. Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa variasi konsentrasi dan suhu katalis menghasilkan biodiesel dengan densitas sesuai standar SNI, kecuali pada pengulangan kedua yang mencapai 897,22 kg/m<sup>3</sup>. Nilai yang sedikit melebihi batas ini diduga akibat penurunan aktivitas katalis setelah regenerasi sehingga produk biodiesel masih mengandung pengotor yang meningkatkan densitas [24]. Pengujian angka asam biodiesel juga digunakan untuk menentukan sisa asam lemak bebas (FFA), dinyatakan dalam mg KOH/g. Angka asam tinggi menunjukkan konversi trigliserida yang tidak optimal atau proses pemurnian yang kurang efektif. FFA yang tinggi dapat memicu oksidasi, degradasi biodiesel, dan korosi pada sistem bahan bakar [25]. Berdasarkan SNI 7183:2015, angka asam maksimal yang diperbolehkan adalah 0,5 mg KOH/g.

Uji kualitas biodiesel selanjutnya adalah pengujian korosi pada lempeng tembaga. Uji ini dilakukan untuk mengetahui potensi keberadaan senyawa korosif seperti asam lemak bebas, air dan metanol dalam biodiesel yang dapat merusak sistem bahan bakar berbahan logam. Kandungan senyawa tersebut dapat merusak komponen logam dalam sistem bahan bakar, terutama injektor dan saluran distribusi [24]. Nilai korosi rendah dengan hasil kelas No.1 menunjukkan bahwa proses transesterifikasi berjalan baik dan pemurnian berhasil menghilangkan senyawa reaktif penyebab korosi. Sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015, biodiesel memenuhi standar apabila uji korosi pada lempeng tembaga selama tiga jam pada suhu 50 °C menghasilkan kelas korosi maksimum No.1, yaitu tanpa perubahan warna signifikan. Hasil pengujian ini ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Lempeng tembaga sebelum uji (a) lempeng tembaga sesudah uji

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Suhu pembakaran  $600^{\circ}\text{C}$  menghasilkan katalis berpori dengan situs aktif tinggi, dan konsentrasi 9% b/v memberikan *yield* biodiesel tertinggi (91 mL). Namun, penggunaan katalis berulang menyebabkan penurunan hasil menjadi 86,5 mL dan 77 mL akibat berkurangnya situs aktif dan perubahan struktur permukaan.
2. Biodiesel memenuhi tiga parameter mutu SNI 7182:2015, yaitu densitas, korosi lempeng tembaga, dan angka asam. Hanya densitas pada penggunaan katalis ketiga yang tidak lagi sesuai standar.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Institut Teknologi Del yang telah memberikan bantuan dana penelitian untuk penelitian ini dan juga kepada Institut Teknologi Del yang menyediakan fasilitas laboratorium dan memberikan dukungan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

#### 6. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

#### Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik, “Luas panen, produksi, dan produktivitas padi menurut provinsi,” 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTQ5OCMy/luas-panen--produksi--dan-produktivitas-padi-menurut-provinsi.html>. [Accessed: Nov. 9, 2024].
- [2] Kementerian Pertanian, “Potensi arang sekam padi sebagai sumber hara untuk meningkatkan produksi pertanian,” 2022. [Online]. Available: <https://bppjambi.bppsdp.pertanian.go.id/berita/detail/potensi-arang-sekam-padi-sebagai-sumber-hara-untuk-meningkatkan-produksi-pertanian>. [Accessed: Nov. 23, 2024].
- [3] K. T. Chen *et al.*, “Rice husk ash as a catalyst precursor for biodiesel production,” *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 44, no. 4, pp. 622–629, 2013.
- [4] I. Listiana *et al.*, “Pemanfaatan limbah sekam padi dalam pembuatan arang sekam di Pekon Bulurejo Kecamatan Gadingrejo Kabupaten Pringsewu,” vol. 3, no. 1, pp. 1–3, 2021.
- [5] A. A. Kiswandono *et al.*, “Pemanfaatan karbon aktif sekam padi sebagai adsorben phenantrena dalam solid phase extraction,” *J. Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, vol. 6, no. 2, 2019.
- [6] H. Omidvarborna, A. Kumar, and D.-S. Kim, “NO<sub>x</sub> emissions from low-temperature combustion of biodiesel made of various feedstocks and blends,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 140, pp. 113–118, 2015.
- [7] J. Clohessy and W. Kwapinski, “Carbon-based catalysts for biodiesel production,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 3, p. 918, 2020.
- [8] K. Kusyanto and P. A. Hasmara, “Pemanfaatan abu sekam padi menjadi katalis heterogen dalam pembuatan biodiesel dari minyak sawit,” *J. Trop. Pharm. Chem.*, vol. 4, no. 1, pp. 14–21, 2017.
- [9] M. Yaghu *et al.*, “An overview of biodiesel production via heterogeneous catalysts: Synthesis, current advances, and challenges,” *Clean Technol.*, vol. 7, no. 3, p. 62, 2025.
- [10] M. R. Avhad and J. M. Marchetti, “A review on recent advancement in catalytic materials for biodiesel production,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 696–718, 2015.
- [11] S. Chellappan *et al.*, “Synthesis, optimization and characterization of biochar-based catalyst from sawdust for simultaneous esterification and transesterification,” *Chinese J. Chem. Eng.*, pp. 2654–2663, 2018.

- [12] M. Zamhari *et al.*, “Pembuatan katalis berbasis karbon aktif dari tempurung kelapa (*Cocos nucifera*) diimpregnasi KOH pada reaksi transesterifikasi sintesis biodiesel,” *J. Kinetika*, vol. 12, no. 1, pp. 23–31, 2021.
- [13] B. Narowska *et al.*, “Use of activated carbons as catalyst supports for biodiesel production,” *Renew. Energy*, vol. 135, pp. 176–185, 2019.
- [14] M. Y. Albalushi *et al.*, “Efficient and stable rice husk bioderived silica supported  $\text{Cu}_2\text{S}$ -FeS for one-pot esterification and transesterification of a Malaysian palm fatty acid distillate,” *Catalysts*, vol. 12, no. 12, p. 1537, 2022.
- [15] A. Bhardwaj, S. K. S. Hossain, and M. R. Majhi, “Preparation and characterization of clay bonded high strength silica refractory by utilizing agriculture waste,” *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidrio*, vol. 56, no. 6, pp. 256–262, 2017.
- [16] S. Solihudin *et al.*, “Pengaruh suhu kalsinasi terhadap karakteristik komposit forsterit-karbon tersintesis dalam medium gas argon,” *ALCHEMY J. Penelit. Kim.*, vol. 16, no. 2, pp. 163–170, 2020.
- [17] R. Rinawati *et al.*, “Pemanfaatan karbon aktif sekam padi sebagai adsorben phenantrena dalam solid phase extraction,” *Al-Kimiya*, vol. 6, no. 2, pp. 75–80, 2020.
- [18] R. Ruatpuia, G. Halder, and S. L. Rokhum, “Biodiesel production through heterogeneous catalysis route: A review,” *Science Vision*, vol. 22, no. 1, pp. 1–19, Apr. 2022
- [19] M. Abdullah *et al.*, “Optimization of esterification and transesterification processes for biodiesel production from used cooking oil,” *J. Res. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 207–216, 2021.
- [20] A. I. Nurhasyiri *et al.*, “Sintesis katalis abu sekam padi terimpregnasi dengan CaO dari cangkang telur dan KOH untuk pembuatan biodiesel dari minyak jelantah,” *Kinetika*, vol 13, no 3, pp 56-61, 2022
- [21] W. Roschat *et al.*, “Rice husk-derived sodium silicate as a highly efficient and low-cost basic heterogeneous catalyst for biodiesel production,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 119, pp. 453–462, 2016.
- [22] R. Slinksiene *et al.*, “The regeneration of dolomite as a heterogeneous catalyst for biodiesel production,” *Catalysts*, vol. 14, no. 2, pp. 1–11, 2024.
- [23] C. Decarpigny *et al.*, “Bioprocesses for the biodiesel production from waste oils and valorization of glycerol,” *Energies*, vol. 15, no. 9, 2022.
- [24] M. Y. Albalushi *et al.*, “Efficient and stable rice husk bioderived silica supported  $\text{Cu}_2\text{S}$ -FeS for one-pot esterification and transesterification of a Malaysian palm fatty acid distillate,” *Catalysts*, vol. 12, no. 12, art. 1537, 2022.
- [25] B. S. Sazzad *et al.*, “Retardation of oxidation and material degradation in biodiesel: A review,” *RSC Adv.*, vol. 6, no. 65, pp. 60244–60263, 2016.