

Studi Komparatif Adsorben Sekam Padi Terkalsinasi Furnace dan Microwave Untuk Reduksi FFA Jelantah

Rosmawati Sipayung*, Rahma Amalia, Rara Ayu Lestary, Nita Widyastuti,
Oki Alfernando, Ira Galih Prabasari, Putri Ananda, Intan Nandia Sakti

Teknik Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi
Muara Bulian No.KM. 15, Mendalo Darat, Kec. Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi, 36361 Indonesia
Email: rosmawatisipayung@unja.ac.id

Abstrak

Minyak jelantah merupakan limbah domestik dan industri pangan yang berpotensi mencemari lingkungan serta memiliki kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) tinggi sehingga menurunkan kualitas dan efisiensi konversinya menjadi biodiesel. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar FFA adalah proses adsorpsi menggunakan material berbasis biomassa, seperti sekam padi. Penelitian ini bertujuan membandingkan efektivitas adsorben sekam padi hasil kalsinasi menggunakan *furnace* konvensional dan *microwave digestion* (MD) dalam menurunkan kadar FFA minyak jelantah. Sekam padi dikalsinasi pada suhu 500 °C selama 4 jam menggunakan *furnace* dan menggunakan *microwave digestion* selama total 15–20 menit (*heat time* 3–7 menit dan *hold time* 8–15 menit) pada suhu 120–140 °C dan tekanan 2–6 bar. Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi massa adsorben (1–5%), suhu (30–60 °C), dan waktu kontak (30–90 menit). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *microwave digestion* mampu menurunkan kadar FFA dari 3,10% menjadi 1,22% dengan efisiensi reduksi sebesar 60,65%, sedangkan metode *furnace* menghasilkan efisiensi reduksi sebesar 53,23%. Analisis FTIR menunjukkan bahwa adsorben hasil MD memiliki intensitas gugus silanol (Si–OH) yang lebih tinggi, yang berperan dalam pembentukan ikatan hidrogen dengan gugus –COOH dari FFA. Secara keseluruhan, metode *microwave digestion* menghasilkan adsorben dengan morfologi lebih halus, mengindikasikan luas permukaan lebih besar, dan aktivitas kimia yang lebih tinggi, sehingga berpotensi diterapkan sebagai teknologi pemurnian minyak jelantah yang cepat, hemat energi, dan ramah lingkungan.

Kata kunci : Asam Lemak Bebas, *Furnace*, *Microwave Digestion*, Minyak Jelantah, Sekam Padi.

Abstract

Comparative Study of Rice Husk Adsorbents Calcined Using Furnace and Microwave Methods for Free Fatty Acid Reduction in Waste Cooking Oil

Waste cooking oil is a domestic and food industry waste that has the potential to pollute the environment and contains a high level of free fatty acids (FFA), which reduces its quality and conversion efficiency into biodiesel. One method that can be applied to reduce FFA content is adsorption using biomass-based materials such as rice husk. This study aims to compare the effectiveness of rice husk adsorbents calcined using a conventional furnace and microwave digestion (MD) in reducing the FFA content of waste cooking oil. Rice husk was calcined at 500 °C for 4 hours using a conventional furnace and thermally treated at 120–140 °C under a pressure of 2–6 bar using microwave digestion for a total duration of 15–20 minutes, consisting of a heat time of 3–7 minutes and a hold time of 8–15 minutes. The adsorption process was conducted by varying the adsorbent mass (1–5%), temperature (30–60 °C), and contact time (30–90 minutes). The results showed that the microwave digestion method reduced the FFA content from 3.10% to 1.22% with a reduction efficiency of 60.65%, whereas the furnace method achieved a reduction efficiency of 53.23%. FTIR analysis indicated that the MD-derived adsorbent exhibited higher silanol (Si–OH) group intensity, which plays a role in forming hydrogen bonds with

*)Corresponding author

the $-COOH$ group of FFA. Overall, the microwave digestion method produced an adsorbent with finer morphology, which indicates larger surface area, and higher chemical activity, suggesting its strong potential as a rapid, energy-efficient, and environmentally friendly technology for waste cooking oil purification.

Keywords: Free Fatty Acid, Furnace, Microwave Digestion, Rice Husk, Waste Cooking Oil.

PENDAHULUAN

Minyak jelantah merupakan salah satu limbah domestik dan industri pangan yang berpotensi mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu. Penggunaan minyak goreng secara berulang mengakibatkan peningkatan kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acids*, FFA) serta terjadinya oksidasi dan polimerisasi trigliserida yang menurunkan kualitas minyak (Zein *et al.*, 2016). Kandungan FFA yang tinggi tidak hanya mempengaruhi stabilitas minyak, tetapi juga menurunkan efisiensi konversi pada proses esterifikasi dan transesterifikasi apabila minyak jelantah digunakan sebagai bahan baku biodiesel (Prianto, 2019). Hal ini sejalan dengan laporan Sipayung dan Budiyo (2022) yang menunjukkan bahwa penurunan kadar FFA merupakan tahapan penting dalam optimalisasi produksi biodiesel dari minyak jelantah untuk mencegah reaksi penyabunan dan meningkatkan kinerja katalis. Salah satu metode yang banyak dikembangkan untuk menurunkan kadar FFA minyak jelantah adalah proses adsorpsi menggunakan material berpori berbasis biomassa. Sekam padi, sebagai salah satu limbah pertanian dengan ketersediaan melimpah di Indonesia, mengandung sekitar 15–20% silika (SiO_2) yang dapat diolah menjadi material adsorben berpori melalui proses aktivasi (Ridhanisa, 2020). Kandungan silika amorf pada abu sekam padi memberikan kemampuan adsorpsi yang baik terhadap senyawa polar, termasuk asam lemak bebas (Zein *et al.*, 2016).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa abu sekam padi berpotensi sebagai adsorben untuk menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA) minyak jelantah. Prianto (2019) melaporkan bahwa abu sekam padi efektif digunakan sebagai tahap pretreatment bahan baku biodiesel. Penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan sekam padi mampu menurunkan kadar FFA hingga 62,88% dengan FFA akhir sebesar 0,40% pada kondisi optimum tertentu (Ananda *et al.*, 2025). Selain itu, Gala *et al.* (2025) melaporkan bahwa kombinasi abu sekam padi dan karbon aktif dapat menurunkan FFA hingga 0,23%. Namun, efektivitas adsorpsi sangat dipengaruhi oleh jenis adsorben dan kondisi proses, sehingga diperlukan kajian lanjutan untuk memperoleh kondisi optimum yang lebih konsisten.

Efisiensi adsorpsi dari material sekam padi sangat dipengaruhi oleh metode preparasi dan kondisi aktivasi. Metode kalsinasi menggunakan *furnace* konvensional merupakan teknik umum yang mampu mengubah sekam padi menjadi silika berpori dengan kestabilan termal tinggi (Dhaneswara *et al.*, 2020). Namun demikian, proses ini membutuhkan waktu dan energi yang relatif besar. Alternatif yang kini mulai dikembangkan adalah metode *microwave digestion*, yaitu proses aktivasi dengan bantuan gelombang mikro yang mampu mempercepat reaksi dan menghasilkan morfologi partikel lebih seragam (Gala *et al.*, 2025). Perbedaan mendasar antara kedua metode tersebut dapat memengaruhi karakteristik fisik dan kimia adsorben, seperti ukuran pori, luas permukaan spesifik, serta kandungan silika aktif. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi komparatif untuk menentukan metode terbaik dalam menghasilkan adsorben sekam padi yang paling efektif menurunkan kadar FFA minyak jelantah.

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia SNI 7182:2015, kadar asam lemak bebas (FFA) pada bahan baku biodiesel sebaiknya berada di bawah 2% agar proses transesterifikasi dapat berlangsung secara efisien tanpa memerlukan tahap esterifikasi pendahuluan. Minyak jelantah umumnya memiliki kadar FFA di atas batas tersebut, sehingga diperlukan metode prapemurnian yang efektif dan efisien. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan memperdalam kajian sebelumnya (Sakti *et al.*, 2025) melalui analisis kuantitatif persentase penurunan FFA dengan membandingkan kinerja adsorben sekam padi yang dipreparasi menggunakan metode *furnace* konvensional dan *microwave digestion*. Inovasi yang ditawarkan adalah penerapan metode *microwave digestion* sebagai alternatif perlakuan termal adsorben sekam padi dan diharapkan mampu menghasilkan material dengan aktivitas permukaan lebih tinggi, waktu proses lebih singkat, serta konsumsi energi lebih rendah dibandingkan metode *furnace*, sehingga kadar FFA minyak jelantah dapat diturunkan hingga memenuhi standar yang dipersyaratkan.

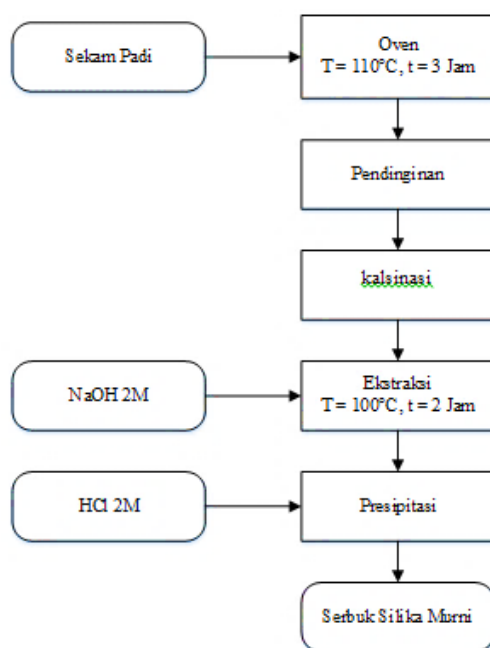
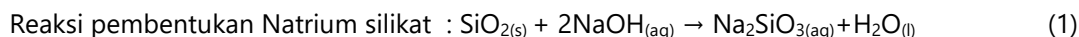
METODOLOGI

Penelitian dilakukan di *Engineering Laboratory* Universitas Jambi menggunakan bahan utama dalam penelitian ini adalah sekam padi yang diperoleh dari limbah penggilingan padi di Kabupaten Muaro Jambi. Minyak jelantah digunakan sebagai sampel adsorpsi dan diperoleh dari limbah rumah tangga di sekitar Kota Jambi. Bahan kimia yang digunakan meliputi Natrium Hidroksida (NaOH, p.a., Merck), Asam Klorida (HCl, p.a., Merck), Etanol 96% (Merck), indikator fenolftalein (Merck), dan akuades.

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *furnace* listrik, *microwave digestion system*, *oven*, *hotplate magnetic stirrer*, *grinder*, kondensor refluks, serta seperangkat alat gelas laboratorium standar. Alat analisis yang digunakan untuk karakterisasi adsorben adalah *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Rangkaian alat adsorpsi terdiri atas beaker glass yang ditempatkan pada hotplate magnetic stirrer dengan pengaturan suhu dan kecepatan pengadukan. Skema tahapan ekstraksi silika ditunjukkan pada Gambar 1.

Prosedur Penelitian

Sekam padi yang telah dicuci dan dikeringkan digiling hingga diperoleh ukuran partikel yang relatif seragam. Selanjutnya, sekam padi dikalsinasi menggunakan *furnace* konvensional pada suhu 500 °C selama 4 jam pada tekanan atmosfer. Proses pemanasan dilakukan secara bertahap untuk memastikan dekomposisi komponen organik berlangsung merata dan menghasilkan abu sekam padi dengan kandungan silika amorf yang tinggi. Abu hasil kalsinasi kemudian diekstraksi menggunakan larutan NaOH 2 M dengan perbandingan 1:10 (b/v) pada suhu 100 °C selama 1 jam sambil diaduk konstan hingga terbentuk larutan natrium silikat (Na_2SiO_3), sesuai dengan reaksi pada Persamaan (1). Filtrat yang diperoleh selanjutnya didinginkan dan ditambahkan larutan HCl 2 M hingga mencapai pH 7–9 untuk mengendapkan silika dalam bentuk gel. Endapan silika dicuci berulang kali menggunakan akuades hingga bebas ion klorida, kemudian dikeringkan pada suhu 105 °C selama 4 jam untuk memperoleh serbuk silika.



Gambar 1. Langkah Kerja Ekstraksi Silika dari Sekam Padi

Metode Ekstraksi Silika dengan Microwave Digestion (MD)

Pada metode *microwave digestion*, sekam padi yang telah dipreparasi ditempatkan ke dalam wadah reaksi tertutup dan dipanaskan menggunakan sistem *microwave digestion* dengan daya 600–900 W. Proses pemanasan diatur hingga mencapai suhu 120–140 °C pada tekanan 2–6 bar. Waktu pemanasan (*heat time*) dilakukan selama 3–7 menit, kemudian dilanjutkan dengan waktu penahanan (*hold time*) selama 8–15 menit untuk memastikan proses dekomposisi berlangsung optimal. Abu sekam padi hasil perlakuan *microwave digestion* selanjutnya diekstraksi menggunakan larutan NaOH 2 M dengan perbandingan 1:10 (b/v) pada suhu 100 °C selama 1 jam sambil diaduk konstan hingga terbentuk larutan natrium silikat. Proses pengendapan silika dilakukan dengan penambahan larutan HCl 2 M hingga pH 7–9, diikuti pencucian dengan akuades dan pengeringan pada suhu 105 °C selama 4 jam.

Studi Adsorpsi Asam Lemak Bebas (FFA) Minyak Jelantah

Minyak jelantah yang digunakan sebagai sampel terlebih dahulu disaring untuk menghilangkan kotoran kasar, kemudian dipanaskan pada suhu 110 °C selama ±30 menit. Analisis kadar FFA awal dilakukan untuk memperoleh nilai referensi sebelum proses adsorpsi. Proses adsorpsi dilakukan menggunakan adsorben silika hasil ekstraksi *furnace* dan *microwave digestion* dengan sistem pengadukan menggunakan magnetic stirrer pada kecepatan 300 rpm. Variasi kondisi adsorpsi meliputi massa adsorben sebesar 1%, 3%, dan 5%; suhu proses 30 °C, 45 °C, dan 60 °C; serta waktu kontak 30, 60, dan 90 menit.

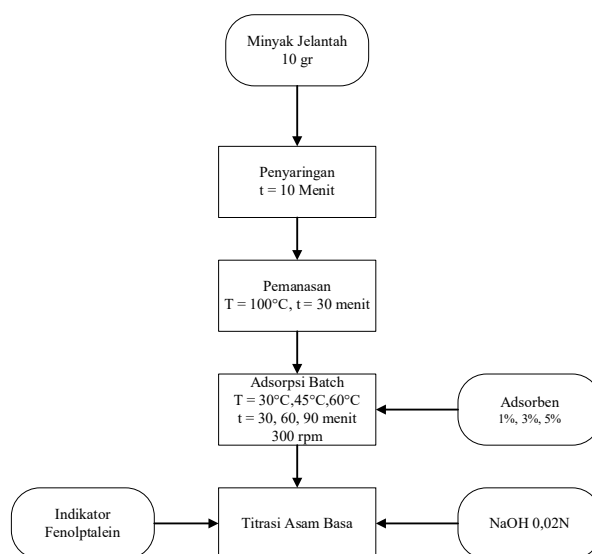
Studi Analisis Kadar dan Persentase Penurunan FFA

Setelah proses adsorpsi selesai, minyak jelantah dipisahkan dari adsorben melalui penyaringan dan kadar asam lemak bebas (FFA) dianalisis menggunakan metode titrasi asam–basa. Larutan NaOH 0,02 N digunakan sebagai titran dengan indikator fenolftalein. Kadar FFA dinyatakan dalam satuan mg NaOH/g sampel dan persen FFA sesuai metode analisis biodiesel (BSN, 2015). Persentase penurunan FFA dihitung berdasarkan selisih kadar FFA sebelum dan sesudah proses adsorpsi menggunakan Persamaan (2) dan (3), sedangkan diagram alur analisis FFA ditunjukkan pada Gambar 2.

$$\%FFA = \frac{V \text{ NaOH (ml)} \times N_{\text{NaOH}} \times BM \text{ As.Lemak}}{\text{Bobot sampel (g)}} \times 100\% \quad (2)$$

Persentase penurunan asam lemak bebas dihitung menggunakan persamaan berikut:

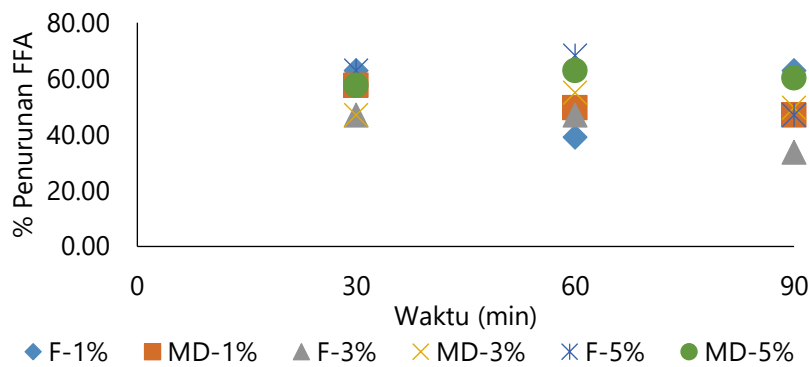
$$\% \text{ Penurunan FFA} = \frac{FFA \text{ awal} - FFA \text{ akhir}}{FFA \text{ awal}} \times 100\% \quad (3)$$



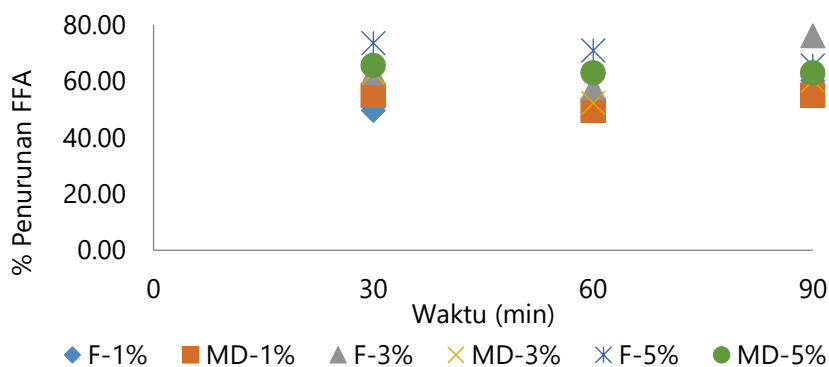
Gambar 2. Langkah Kerja Analisa FFA

HASIL DAN PEMBAHASAN

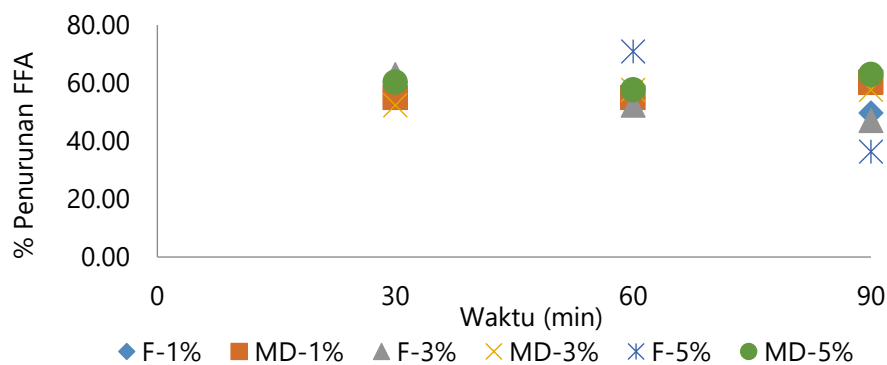
Hasil titrasi asam-basa terhadap minyak jelantah sebelum dan sesudah proses adsorpsi digunakan untuk menghitung persentase penurunan kadar asam lemak bebas (FFA), yang selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3,4,dan 5. Persentase penurunan FFA tersebut dihitung berdasarkan perubahan kebutuhan NaOH setelah proses adsorpsi menggunakan adsorben silika hasil kalsinasi *furnace* dan *microwave digestion* (MD). Parameter ini digunakan sebagai indikator utama untuk mengevaluasi efektivitas adsorben dalam proses pemurnian minyak jelantah. Gambar 3,4 dan 5 memperlihatkan perbandingan persentase penurunan FFA setelah proses adsorpsi menggunakan adsorben sekam padi yang dikalsinasi dengan dua metode berbeda pada variasi massa adsorben, waktu kontak, dan suhu proses. Secara umum, adsorben hasil kalsinasi MD menunjukkan persentase penurunan FFA yang lebih tinggi dibandingkan adsorben hasil kalsinasi *furnace* pada hampir seluruh kondisi percobaan.



Gambar 3. Perbandingan MD dan *Furnace* pada Suhu 30 °C



Gambar 4. Perbandingan MD dan *Furnace* pada Suhu 45 °C



Gambar 5. Perbandingan MD dan *Furnace* pada Suhu 60 °C

Peningkatan kinerja adsorben MD terlihat konsisten seiring bertambahnya suhu dan waktu kontak, khususnya pada massa adsorben menengah hingga tinggi (3–5%). Persentase penurunan FFA tertinggi dicapai pada kondisi adsorben 3% dengan waktu kontak 60 menit pada suhu 60 °C, di mana adsorben MD mampu menurunkan FFA hingga 60,65%, sedangkan adsorben hasil *furnace* hanya mencapai 53,23%. Selisih efisiensi sebesar 7,42% ini menunjukkan bahwa metode *microwave digestion* lebih efektif dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap asam lemak bebas. Tren serupa juga teramati pada kondisi percobaan lainnya, di mana nilai persentase penurunan FFA adsorben MD cenderung lebih stabil dan lebih tinggi dibandingkan *furnace*, terutama pada suhu proses yang lebih tinggi.

Perbedaan persentase penurunan FFA tersebut berkaitan dengan perbedaan karakteristik fisik dan sifat permukaan adsorben yang dihasilkan dari masing-masing metode kalsinasi, sebagaimana telah dilaporkan pada berbagai penelitian sebelumnya. Pemanasan gelombang mikro menghasilkan distribusi energi yang lebih seragam dan memicu pemanasan volumetrik, sehingga dehidrasi dan dekomposisi lignoselulosa berlangsung lebih cepat dibandingkan pemanasan konvensional, yang berdampak pada terbentuknya struktur partikel yang lebih halus dan mengindikasikan luas permukaan spesifik yang lebih besar (Singh *et al.*, 2018; Zhao *et al.*, 2020; Widodo *et al.*, 2024). Sebaliknya, pemanasan konvensional menggunakan *furnace* pada suhu tinggi dalam waktu lama berpotensi menyebabkan pertumbuhan partikel dan sintering ringan, yang dapat menurunkan luas permukaan spesifik dan aksesibilitas pori adsorben (Dhaneswara *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2020).

Hasil pengamatan visual yang disajikan pada Gambar 6 memperlihatkan perbedaan yang jelas antara adsorben hasil *furnace* dan *microwave digestion*. Adsorben hasil *furnace* tampak lebih kasar dengan warna abu-abu gelap, yang menunjukkan masih adanya residu karbon akibat dekomposisi komponen organik yang kurang sempurna. Sebaliknya, adsorben hasil *microwave digestion* memiliki warna putih cerah dan tekstur yang lebih halus. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa pemanasan berbasis gelombang mikro mampu mempercepat reaksi oksidasi serta meningkatkan efisiensi dekomposisi organik, sehingga menghasilkan material silika dengan karakteristik permukaan yang lebih mendukung proses adsorpsi FFA pada minyak jelantah.

Selain itu, pemanasan konvensional menggunakan *furnace* pada suhu tinggi dalam waktu yang relatif lama berpotensi menyebabkan pertumbuhan partikel dan sintering ringan, yang dapat menurunkan luas permukaan spesifik dan aksesibilitas pori adsorben. Sebaliknya, kalsinasi menggunakan *microwave digestion* menghasilkan pemanasan yang lebih cepat dan merata, sehingga mampu membentuk distribusi pori yang lebih seragam dan menekan aglomerasi partikel. Mekanisme ini sejalan dengan laporan Singh *et al.* (2018) dan Zhao *et al.* (2020), yang menyatakan bahwa pemanasan berbasis gelombang mikro dapat meningkatkan porositas dan mempercepat difusi ionik, sehingga berdampak langsung pada peningkatan kinerja adsorben.

Perbedaan karakteristik fisik adsorben tersebut selanjutnya diperkuat melalui hasil karakterisasi FTIR. Analisis FTIR pada penelitian ini difokuskan pada perbandingan karakteristik kimia permukaan adsorben silika sekam padi hasil kalsinasi *furnace* dan *microwave digestion*. Karakterisasi FTIR sekam padi sebelum perlakuan tidak dilakukan karena tujuan utama penelitian adalah mengevaluasi pengaruh metode kalsinasi terhadap sifat kimia adsorben yang dihasilkan, bukan transformasi kimia sekam mentah. Berdasarkan laporan literatur, sekam padi mentah didominasi oleh gugus lignoselulosa seperti –OH, C–H, dan C=O yang akan terdekomposisi selama proses kalsinasi suhu tinggi, sehingga spektrum FTIR adsorben pasca-kalsinasi terutama merepresentasikan kerangka silika amorf (Nzereogu *et al.* 2023).

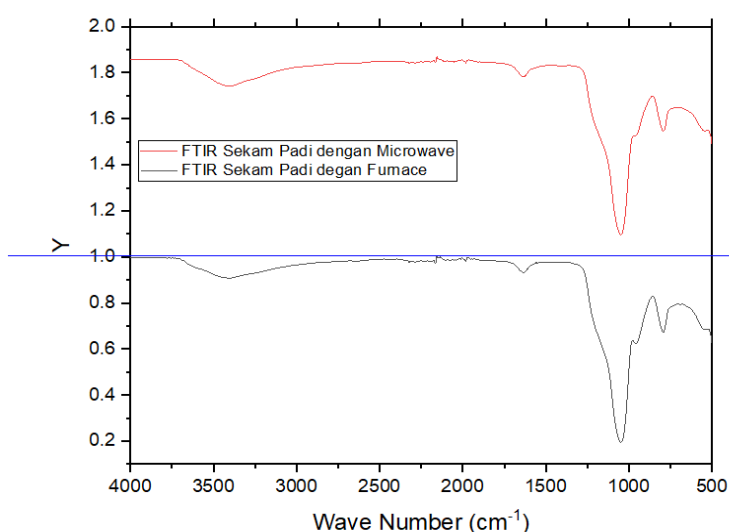


Gambar 6. Adsorben Hasil *Furnace* (a) dan Adsorben Hasil MD (b)

Dalam penelitian ini, analisis FTIR tidak digunakan untuk mengevaluasi morfologi atau porositas adsorben secara langsung, melainkan untuk mengidentifikasi perbedaan gugus fungsi permukaan yang berperan dalam mekanisme adsorpsi asam lemak bebas. Informasi terkait morfologi dan indikasi luas permukaan adsorben diperoleh secara tidak langsung melalui kecenderungan kinerja adsorpsi, pengamatan visual, serta didukung oleh hasil penelitian terdahulu yang mengaitkan metode kalsinasi dengan perubahan struktur fisik material. Oleh karena itu, hasil FTIR digunakan sebagai penguat interpretasi mekanisme interaksi kimia antara adsorben dan FFA, bukan sebagai parameter utama penentu morfologi atau porositas.

Spektrum FTIR adsorben silika hasil kalsinasi *furnace* dan *microwave digestion* yang ditampilkan pada Gambar 7 menunjukkan pita serapan dominan pada bilangan gelombang sekitar 1050 cm^{-1} yang berkaitan dengan vibrasi asimetrik ikatan Si–O–Si, serta pita pada kisaran $780\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ yang dikaitkan dengan vibrasi ikatan Si–O, yang mengonfirmasi terbentuknya kerangka silika amorf pada kedua adsorben (Dhaneswara *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2020). Selain itu, pita serapan lemah di sekitar 3400 cm^{-1} dan 1630 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus hidroksil (Si–OH) dan molekul air teradsorpsi dalam jumlah terbatas pada permukaan silika (Kumar *et al.*, 2019; Putra *et al.*, 2022). Perbedaan intensitas relatif pita-pita tersebut menunjukkan bahwa metode kalsinasi memengaruhi karakter kimia permukaan adsorben, dimana *microwave digestion* cenderung mempertahankan gugus silanol yang lebih aktif dibandingkan kalsinasi konvensional menggunakan *furnace* yang berpotensi menyebabkan dehidrasi parsial gugus hidroksil akibat pemanasan lama pada suhu tinggi (Kumar *et al.*, 2019; Zein *et al.*, 2016). Temuan ini sejalan dengan laporan Putra *et al.* (2022), yang menyatakan bahwa pemanasan berbasis gelombang mikro lebih efektif dalam mempertahankan gugus hidroksil permukaan yang berperan penting dalam proses adsorpsi senyawa polar.

Hubungan antara struktur pori dan aktivitas adsorpsi berkaitan erat dengan keberadaan gugus silanol (Si–OH) pada permukaan silika, yang berperan sebagai situs aktif dalam pembentukan ikatan hidrogen dengan gugus karboksilat (–COOH) dari asam lemak bebas (Iler, 1979; Zhuravlev, 2000; Atadashi *et al.*, 2012). Pemanasan cepat berbantuan gelombang mikro menghasilkan laju nukleasi yang tinggi sehingga mampu menekan aglomerasi partikel dan meningkatkan luas permukaan spesifik serta kerapatan gugus silanol (Kappe, 2004; Zhang *et al.*, 2011). Kondisi ini mempercepat difusi molekul asam lemak bebas menuju permukaan aktif silika dan berkontribusi pada peningkatan kapasitas adsorpsi (Zhuravlev, 2000; Rouquerol *et al.*, 2014). Sebaliknya, pemanasan konvensional menggunakan *furnace* cenderung menyebabkan pertumbuhan butir dan sintering ringan, yang berdampak pada penurunan aksesibilitas pori serta berkurangnya interaksi adsorptif (German, 1996; Rahman *et al.*, 2009). Dengan demikian, perbedaan intensitas gugus silanol (Si–OH) dan pita Si–O–Si pada kedua adsorben terutama dipengaruhi oleh metode kalsinasi, mengingat karakteristik kimia sekam padi mentah yang relatif seragam sebagaimana dilaporkan oleh Zein *et al.* (2016) dan Dhaneswara *et al.* (2020).



Gambar 7. FTIR Sekam Padi dengan *Microwave* dan *Furnace* Keterkaitan antara hasil FTIR dan data penurunan FFA menunjukkan bahwa

aktivitas permukaan yang lebih tinggi pada adsorben hasil *microwave digestion* berkontribusi langsung terhadap kemampuan adsorpsi FFA yang lebih baik. Nilai kebutuhan NaOH yang lebih rendah setelah proses adsorpsi dengan adsorben MD menunjukkan bahwa lebih banyak molekul FFA berhasil terikat pada permukaan aktif material. Mekanisme ini dijelaskan oleh pembentukan ikatan hidrogen antara gugus –OH pada silika dengan gugus –COOH dari FFA, sebagaimana juga dilaporkan oleh Rahman *et al.* (2021) serta Sari dan Abdullah (2023). Sebaliknya, adsorben hasil *furnace* dengan jumlah gugus silanol yang lebih sedikit memiliki kapasitas interaksi yang lebih terbatas, sehingga efisiensi penyerapan FFA menjadi lebih rendah.

Dengan demikian, keterkaitan antara hasil uji adsorpsi dan karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa metode *microwave digestion* lebih efektif dalam menghasilkan adsorben sekam padi dengan struktur kimia dan sifat permukaan yang mendukung penurunan kadar asam lemak bebas secara optimal. Pengendalian metode kalsinasi atau aktivasi menjadi faktor penting dalam mengoptimalkan karakter adsorben berbasis sekam padi untuk aplikasi pemurnian minyak jelantah. Berdasarkan hasil penelitian ini, teknologi aktivasi sekam padi menggunakan *microwave digestion* berpotensi diterapkan di wilayah agraris seperti Provinsi Jambi, yang memiliki ketersediaan limbah sekam padi melimpah, serta dapat dikembangkan lebih lanjut untuk skala rumah tangga, UMKM, maupun unit biodiesel komunitas sebagai solusi pengelolaan limbah yang berkelanjutan dan bernilai ekonomi.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengevaluasi kinerja adsorben silika berbasis sekam padi yang dipreparasi melalui dua metode yaitu kalsinasi *furnace* konvensional dan *microwave digestion*, dalam menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA) pada minyak jelantah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben silika sekam padi hasil *microwave digestion* memiliki efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan adsorben hasil *furnace*. Pada kondisi optimum, yaitu massa adsorben 3%, suhu 60 °C, dan waktu kontak 60 menit, efisiensi reduksi FFA mencapai 60,65%, lebih tinggi dibandingkan metode *furnace* sebesar 53,23%. Peningkatan kinerja adsorpsi ini disebabkan oleh morfologi partikel yang lebih halus, porositas yang lebih seragam, serta keberadaan gugus silanol (Si–OH) aktif yang lebih banyak pada adsorben hasil *microwave digestion*. Selain itu, metode *microwave digestion* terbukti lebih efisien dari segi waktu dan energi serta lebih ramah lingkungan, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai teknologi pengolahan minyak jelantah berbasis limbah pertanian di daerah agraris seperti Jambi untuk menghasilkan bahan baku biodiesel yang memenuhi standar SNI 7182:2015.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jambi atas dukungan pendanaan yang diberikan melalui skema Penelitian Dosen Pemula berdasarkan Kontrak Penelitian Nomor 540/UN21.11/PT.01.05/SPK/2025, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik pada tahun 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, P., Sipayung, R., Amalia, R., Lestary, R.A., & Widyastuti, N. 2025. Kinerja adsorben sekam padi dan bonggol jagung dalam penurunan FFA minyak jelantah tanpa pengadukan. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur*, 8: A12.1–A12.14.
- Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Aziz, A.A., & Sulaiman, N.M.N. 2012. Purification of crude biodiesel using dry washing adsorbents. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 18(2): 574–578. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2011.11.009>
- Badan Standardisasi Nasional. 2015. *SNI 7182:2015 Spesifikasi Biodiesel (FAME)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

- Dhaneswara, D., Fatriansyah, J.F., Situmorang, F.W., & Haqoh, A.N. 2020. Synthesis of amorphous silica from rice husk ash: Comparing HCl and CH₃COOH acidification methods and various alkaline concentrations. *International Journal of Technology*, 11(1): 200–208. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i1.3335>
- Fitriani, N., Santoso, D., & Wulandari, R. 2020. Pemurnian minyak jelantah menggunakan adsorben silika sekam padi. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, 17(2): 75–82.
- Foo, K.Y., & Hameed, B.H. 2010. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156(1): 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Gala, D.S., Rahmanpiu, R., & Mulyana, W.O. 2025. Application of silica adsorbent rice husk ash-activated carbon in refining waste cooking oil. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 13(1): 197–208. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v13i1.14802>
- German, R.M. 1996. *Sintering Theory and Practice*. New York: John Wiley & Sons.
- Iler, R.K. 1979. *The Chemistry of Silica: Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Kappe, C.O. 2004. Controlled microwave heating in modern organic synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 43(46): 6250–6284. <https://doi.org/10.1002/anie.200400655>
- Kumar, D., Gupta, N., & Verma, R. 2019. Thermal and microwave activation effects on silica surface chemistry and adsorption efficiency. *Applied Surface Science*, 487: 1043–1050. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.05.140>
- Lee, J., Park, J., & Kim, H. 2020. Enhancing surface reactivity of amorphous silica for biodiesel purification. *Renewable Energy*, 152: 1102–1110. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.123>
- Nzereogu, P.U., Omah, A.D., Ezema, F.I., Iwuoha, E.I., & Nwanya, A.C. 2023. Silica extraction from rice husk: Comprehensive review and applications. *Hybrid Advances*, 4: 100111. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100111>
- Prianto, D. 2019. *Analisis Penggunaan Adsorben Abu Sekam Padi untuk Penurunan Kadar FFA dan Pemurnian Biodiesel dari Minyak Jelantah*. Skripsi. Jember: Politeknik Negeri Jember.
- Putra, A.D., Sembiring, T., & Hidayat, M. 2022. Effect of calcination temperature on rice husk silica for FFA adsorption from waste cooking oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(3): 483–491. <https://doi.org/10.22146/ijc.67321>
- Rahman, A., Lestari, D., & Yusuf, M. 2021. Adsorptive removal of free fatty acids using activated silica-based materials. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(15): 19267–19278. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12145-9>
- Rahman, I.A., Vejayakumaran, P., Sipaut, C.S., Ismail, J., & Chee, C.K. 2009. An optimized sol-gel synthesis of stable primary equivalent silica particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 294(1–3): 102–110. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.08.014>
- Rahmawati, L., Hidayat, M., & Puspitasari, S. 2022. Optimasi proses adsorpsi asam lemak bebas dari minyak jelantah menggunakan silika amorf. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 9(1): 33–41.
- Ridhanisa, F. 2020. Penjernihan minyak jelantah dengan menggunakan adsorben sekam padi dan serabut kelapa yang telah diaktivasi. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia UNIMED 2020*. Medan.
- Rouquerol, F., Rouquerol, J., Sing, K.S.W., Llewellyn, P., & Maurin, G. 2014. *Adsorption by Powders and Porous Solids: Principles, Methodology and Applications*. 2nd ed. London: Academic Press.
- Sakti, I.N., Sipayung, R., Alfernando, O., Prabasari, I.G., & Nazarudin. 2025. Efektivitas adsorpsi FFA minyak jelantah menggunakan selulosa dan silika limbah pertanian dengan pengadukan. Dalam: *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN)*, 8.
- Sari, N., & Abdullah, S. 2023. Effect of silanol density on adsorption of fatty acids using silica adsorbent from agricultural waste. *Indonesian Journal of Applied Chemistry*, 9(1): 14–22.
- Singh, P., Sharma, S., & Kaur, H. 2018. Microwave-assisted synthesis of silica-based adsorbents for environmental applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5): 6578–6586. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.09.019>

- Sipayung, R., & Budiyo. 2022. Optimization of biodiesel production from used cooking oil using modified calcium oxide as catalyst and N-hexane as solvent. *Materials Today: Proceedings*, 63(S1): S32–S39. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.562>
- Widodo, A., Nugroho, R., & Setiawan, E. 2024. Microwave-assisted modification of rice husk silica for improved adsorption of polar impurities in biodiesel feedstock. *BioResources*, 19(2): 2678–2692. <https://doi.org/10.15376/biores.19.2.2678-2692>
- Zein, R., Silfia, N., Afriyanti, N., Girsang, E., & Aziz, H. 2016. Improvement in quality of used palm oil by rice husk ash (RHA). *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 7(3): 1338–1344.
- Zhang, H., Zhang, L., & Chen, G. 2011. Microwave-assisted synthesis of nanostructured silica with high surface area. *Materials Chemistry and Physics*, 125(1–2): 62–68. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2010.09.020>
- Zhao, Y., Li, X., & Wang, Q. 2020. Influence of calcination method on morphology and surface properties of silica derived from biomass waste. *Ceramics International*, 46(14): 22317–22326. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.05.123>
- Zhuravlev, L.T. 2000. The surface chemistry of amorphous silica. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 173(1–3): 1–38. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(00\)00556-2](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(00)00556-2)