Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna ISSN: 1858-2907
Desember 2026 Vol. 22(2):82-92 EISSN: 2549-9130

Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Metode Microwave Dengan Katalis Heterogen Dari Sekam Padi

Syarifuddin Oko*, Elis Diana Ulfa, Andri Kurniawan, Viona Andartha Manda

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Dr. Cipto Mangungkusumo Kampus Gunung Lipan PO Box 1293
Email: syarifuddinoko@polnes.ac.id

Abstrak

Biodiesel adalah bahan bakar nabati (biofuel) yang diperoleh dari minyak nabati atau lemak hewani melalui reaksi transesterifikasi, yaitu reaksi antara trigliserida dengan metanol sehingga menghasilkan metil ester asam lemak (Fatty Acid Methyl Esters/FAME). Minyak jelantah merupakan salah satu minyak nabati yang memiliki potensi cukup besar untuk dikembangkan menjadi bahan bakar biodiesel karena mengandung senyawa trigliserida dengan bantuan katalis. Sekam padi dipilih sebagai bahan baku katalis karena memiliki kandungan kimia yaitu SiO_2, Al_2O_3, K_2O, CaO, MgO, Fe_2O_3, dan Na_2O. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi katalis terimpregnasi dan tanpa terimpregnasi terhadap rendemen dan kualitas biodiesel. Katalis SiO_2/KOH dibuat dari abu sekam padi dengan mengkalsinasi sekam padi dengan suhu 800ºC selama 3 jam, kemudian abu sekam padi diekstraksi dengan larutan alkali 5% b/v dengan perbandingan 1:5 dan dititrasi dengan HCl 3,65% b/v hingga konstan pada pH 7. Silika gel yang terbentuk di impregnasi dengan KOH 1N perbandingan 1:10 dan dikalsinasi pada suhu 300ºC selama 3 jam. Pada proses transesterifikasi menggunakan minyak:metanol 1:10 dengan daya microwave 600 watt selama 4 menit dan variasi konsentrasi katalis terimpregnasi dan tanpa terimpregnasi (3;3,25;3,5;3,75;4) %b/b. Hasil biodiesel terbaik diperoleh dari konsentrasi katalis terimpregnasi KOH 3,75% b/b dengan kandungan metil ester 70,63%, rendemen 77%, densitas 0,87 gr/ml, viskositas kinematik 3,31 cSt, bilangan asam 0,5 mg KOH/gr dan kadar air 0,9% telah memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015 kecuali pada kadar metil ester dan kadar air.

Kata kunci : Biodiesel, Katalis, Minyak Jelantah, Sekam Padi

Abstract

Production Of Biodiesel from Cooking Oil Using Microwave Method with Heterogeneous Catalyst from Rice Husk

Biodiesel is a biofuel derived from vegetable oils or animal fats through a transesterification reaction specifically, a reaction between triglycerides and methanol that produces fatty acid methyl esters (FAME). Used cooking oil is a vegetable oil with significant potential for conversion into biodiesel, as it contains triglycerides that can react in the presence of a catalyst. Rice husk was selected as the raw material for the catalyst due to its chemical composition, which includes SiO_2, Al_2O_3, K_2O, CaO, MgO, Fe_2O_3, and Na_2O. This study aimed to determine the effect of catalyst concentration comparing impregnated and non-impregnated forms on biodiesel yield and quality. The SiO2/KOH catalyst was prepared from rice husk ash by calcining the husks at 800ºC for 3 hours; the ash was then extracted using a 5% w/v alkaline solution at a 1:5 ratio and titrated with 3.65% w/v HCl until a constant pH of 7 was reached. The resulting silica gel was impregnated with 1N KOH at a 1:10 ratio and calcined at 300ºC for 3 hours. The transesterification process utilized an oil-to-methanol ratio of 1:10, a microwave power of 600 watts for 4 minutes, and varying concentrations of impregnated and non-impregnated catalysts (3; 3.25; 3.5; 3.75; and 4% w/w). The best biodiesel results were obtained using a 3.75% w/w KOH impregnated catalyst, yielding a product with 70.63% methyl ester content, a 77% yield, a density of 0.87 g/mL, a kinematic viscosity of

*)Correponding author
DOI : 10.14710/metana.v22i2.79363
Diterima: 15-11-2025
Disetujui: 03-10-2026

3.31 cSt, an acid value of 0.5 mg KOH/g, and a water content of 0.9%; these properties met the Indonesian National Standard (SNI) 7182:2024, with the exception of the methyl ester and water content levels.

Keywords: *Biodiesel, Catalyst, Rice Husk, Used cooking oil*

PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkil ester asam lemak rantai panjang, diperoleh dari minyak nabati atau lemak hewani. Sebagai bahan bakar, biodiesel memiliki beberapa keunggulan, yaitu energi terbarukan, emisi CO_2 dan SO_2 rendah, biodegredable, tidak beracun dan angka Cetane tinggi (Suryatini & Made, 2023; Latisya, 2022; Budiman, 2023). Reaksi utama produksi biodiesel adalah reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Pada reaksi ini, trigliserida akan bereaksi dengan alkohol seperti metanol untuk menghasilkan metil ester dan gliserol sebagai produk samping. Proses transesterifikasi menghasilkan biodiesel yang dikonversi dari bahan baku minyak jelantah. Satu mol trigliserida dengan tiga mol alkohol menghasilkan tiga mol mono-alkil ester dan satu mol gliserol. Konversi tinggi dengan biaya relatif rendah, kondisi reaksi ringan, sifat produk lebih dekat dengan petro-diesel, untuk meningkatkan kinerja proses transesterifkasi seperti laju reaksi dan hasil biodiesel, diperlukan penambahan katalis dengan alkohol berlebih, yang menggeser kesetimbangan kesisi produk karena reaksinya reversibel (Changmai *et al.*, 2020; Salaheldeen *et al.*, 2021). Proses transesterifikasi dengan penambahan katalis homogen memiliki beberapa kelemahan seperti sulit dipisahkan dari produk biodiesel, timbulan air limbah, dan Tidak Dapat Digunakan Kembali (Non-Reusable) (Maroa & Inambao, 2021). Untuk mengatasi masalah tersebut, penarapan katalis heterogen telah diusulkan dalam berbagai penelitian, khususnya senyawa silika (SiO_2) yang berasal dari sekam padi yang diimpregnasi dengan basa (Nurhasyiri, 2022). Reaksi transesterifikasi dapat dilakukan dengan pemanasan konvensional, ultrasonik, ataupun dengan microwave (gelombang mikro).

Metode pemanasan microwave memiliki ciri yang berbeda dengan pemanasan konvensional yaitu dari panas dihasilkan secara internal akibat getaran molekul-molekul bahan yang ingin dipanaskan gelombang mikro (Horikoshi *et al.*, 2017). Hal ini akan menghemat energi untuk pemanasan energi microwave yang diberikan atau dihantarkan secara langsung pada molekul-molekul yang bereaksi melalui reaksi kimia. Pindah panas menggunakan microwave lebih efektif daripada pemanasan secara konvensional, dimana panas dipindahkan dari lingkungan. Proses pemanasan dengan microwave menggunakan waktu yang lebih singkat untuk memanaskan bahan baku tanpa pemanasan awal (Anggraini, 2017). Selain itu penggunaan microwave menunjukkan reaksi yang lebih efisien, dengan lama reaksi dan proses pemisahan yang singkat, menurunkan jumlah produk samping dan dapat menurunkan konsumsi energi (Anggraini, 2017; Trisnaliany, 2018). Efisiensi transesterifikasi microwave berasal dari sifat dielektrik campuran polar dan komponen ionik dari minyak, pelarut, dan katalis. Pemanasan yang cepat dan efisien pada radiasi microwave karena gelombang microwave berinteraksi dengan sampel pada tingkat molekular menghasilkan campuran intermolekul dan agitasi yang meningkatkan peluang dari sebuah molekul alkohol bertemu dengan sebuah molekul minyak (Anggraini, 2017; Gani, 2017). Selain penggunaan microwave, pada sintesis biodiesel juga digunakan katalis heterogen, salah satunya SiO2 , sebagai support katalis yang diperoleh dari sekam padi.

Sekam padi saat ini hanya digunakan sebagai media pada tanaman, pemurnian air ataupun sebagai pakan ternak, sehingga perlu upaya untuk meningkatkan nilai ekonomis. Sekam padi sebagai biomassa pertanian memiliki kandungan kimia, yaitu selulosa 50%, lignin 25-30% dan silika 15-20%. Teknologi ekstraksi silika dari sekam padi dengan menggunakan bahan kimia tingkat teknik kini telah dikembangkan oleh (Setyawan & Supriyono, 2019) dengan tingkat kemurnian 86,17%. Kandungan silika yang tinggi pada sekam padi sangat prospektif untuk pengembangan produk berbasis silika. Sekam padi yang sudah mengalami pembakaran menjadi abu mengandung silika dengan kadar yang tinggi, sekitar 87-97% dan sisanya berupa oksida logam. Hasil dari pembakaran pada suhu tinggi yang terkontrol dari abu sekam padi yang dihasilkan memiliki komposisi utama berupa oksida berpori atau silika (SiO_2) yang mencapai dengan luas permukaan yang besar, yaitu 158,329 m^2/g (Fatah *et al*, 2021; Nurhasyiri *et al*, 2022; Chen *et al.*, 2013).

Proses transesterifikasi trigliserida sebagai katalis yang potensial dari abu sekam padi ditinjau sebagai langkah alternatif dalam memanfaatkan bahan yang kurang bernilai dengan biaya yang rendah (Hindryawati *et al.*, 2014). Abu sekam padi hasil pembakaran yang terkontrol pada suhu tinggi (500-600ºC) akan menghasilkan abu silika yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai proses kimia (Park *et al.*, 2007) salah satunya sebagai support katalis. Kandungan kimia dari abu sekam padi SiO_2 80%, Al_2O_3 3,59%, Fe_2O_3 0,41%, CaO 3,84%, MgO 0,25%, K_2O 1,26%, Na_2O 0,77%. Pada beberapa penelitian sebelumnya SiO_2 diekstraksi dari abu sekam padi dengan KOH dan digunakan sebagai support katalis heterogen pada pembuatan biodiesel. Dengan melihat kandungan kimia pada abu sekam padi yang mempunyai kandungan SiO_2 yang cukup tinggi dan kandungan kimia lainnya yang juga dapat digunakan sebagai support katalis pada proses pembuatan biodiesel (Nugraha *et al*, 2017).

Berdasarkan dari penelitian yang dilakukan sebelumnya (Banurea *et al.*, 2021) yaitu memanfaatkan silika sekam padi sebagai katalis basa heterogen dengan proses impregnasi dan berbagai temperatur kalsinasi untuk produksi biodiesel melalui proses transesterifikasi minyak sawit. Pada penelitian ini menggunakan silika sekam padi yang disintesis melalui impregnasi KOH 1 N. Abu sekam padi dicampur dengan larutan alkali 5% b/v dengan perbandingan 1:5 dan suhu kalsinasi 200, 300, 400, 500ºC selama 1 jam. Penelitian yang dilakukan (Khan *et al.*, 2021) yaitu pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan katalis fly ash yang telah di impregnasi. Pada penelitian ini memanfaatkan metode iridiasi gelombang mikro (microwave) menggunakan katalis basa heterogen Na_2O/Fly ash. Pada proses transesterfikasi dilakukan variasi daya microwave (500, 552, dan 691 watt) terhadap produk dengan waktu reaksi 4 menit, rasio massa minyak jelantah terhadap metanol adalah 1:10 dan katalis Na_2O/Fly Ash (4%b).

Pada penelitian yang dilakukan (Fatriansyah *et al*, 2018) yaitu silika yang telah diekstraksi dari sekam padi. Abu sekam padi dimasukkan larutan NaOH dengan konsentrasi 5% dan menghasilkan larutan sodium silikat (Na_2SiO_3). Sodium silikat yang disaring ditambahkan larutan asam HCl hingga pH 7 dan menghasilkan silika gel berwarna putih, kemudian didiamkan selama 18 jam. Hasil ini menunjukkan persentase berat silika (SiO_2) dengan nilai 84 wt%.

Berdasarkan beberapa peneliti diatas, maka untuk mengembangkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Fatriansyah *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2021; Banurea *et al.*, 2021). Maka perlu dilakukan pembaruan dalam sintesis biodiesel menggunakan katalis dari sekam padi dengan memvariasikan konsentrasi katalis SiO2/KOH dan konsentrasi katalis SiO2 tanpa terimpregnasi KOH pada proses transesterifikasi biodiesel dengan berbantuan microwave. Dengan harapan penelitian ini lebih baik dari penelitian yang telah ada dan mendapatkan hasil yang dapat memenuhi SNI SNI 7182:2024.

METODOLOGI

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah oven, neraca analitik, desikator, furnace, hotplate, stirrer, labu ukur, batang pengaduk, gelas ukur, Erlenmeyer, corong pisah,cawan petri, buret, pipet tetes, bulp, statif, piknometer,tray, corong, pipet ukur, gelas kimia, cawan porselen, lumpang alu, water bath, labu alas bulat, termometer, klem, kondensor. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sekam padi diperoleh di daerah Rapak Dalam Samarinda Seberang, KOH 1N, HCl 3,65%, minyak jelantah diperoleh dari penjual gorengan di jl. Bung Tomo Samarinda Seberang, etanol p.a, kertas saring, KOH 0,1N, Alumunium Foil, Etanol 95%, indikator pp, metanol teknis.

Pembuatan Katalis dilakukan dengan cara membersihkan sekam padi dengan air dan mengeringkan dibawah sinar matahari selama 3 hari. Masukan sekam padi kedalam furnace dengan suhu 750°C selama 3 jam hingga menjadi abu. Mencampurkan abu sekam padi dengan larutan KOH 5% dengan perbandingan 1:5. Abu sekam padi di ekstraksi dengan proses hidrotermal pada suhu 110°C selama 30 menit. Larutan kemudian disaring dan menambahkan HCl 3,65%. Gel selika yang terbentuk didiamkan selama 12 jam dan dicuci sebanyak 5 kali. Gel dikeringkan pada 60°C selama 20 jam. Silika yang sudah terbentuk kemudian di impregnasi dengan KOH 1N dengan perbandingan 1:10. Setelah itu di panaskan pada suhu 100°C selama 1

jam dan di kalsinasi pada suhu 300°C selama 3 jam. Katalis dianalisa menggunakan x-ray diffraction (Musafira & Hikmah, 2021)**.**

Mempersiapkan minyak jelantah dan analisa minyak jelantah, seperti kadar air, densitas pada 40°C, viskositas kinematik pada 40°C, kadar FFA, dan bilangan asam. Selanjutnya melakukan reaksi transesterifikasi dengan menambahkan sebanyak 50 ml minyak jelantah sampai suhu 60°C, setelah itu mencampurkan minyak jelantah dan metanol (1:10) dengan variasi katalis terimpregnasi dan tanpa impregnasi (3 ; 3,25 ; 3,5 ; 3,75 ; 4) %b/b kemudian diaduk hingga homogen. Selanjutnya mereaksikan didalam microwave dengan daya 600 watt dan waktu 4 menit. Produk hasil transessterifikasi disimpan selama 24 jam didalam corong pisah. Memisahkan biodiesel dan gliserol dari dalam corong pisah. Lapisan atas merupakan biodiesel dan lapisan bawah gliserol. Memanaskan aquades hingga suhu 80°C kemudian mencampurkan aquades dengan biodiesel didalam corong pisah selama 3 jam. Memisahkan biodiesel dan aquades dari dalam corong pisah. Lapisan atas biodiesel dan lapisan bawah aquades. Memanaskan biodiesel hingga sisa aquades menguap. Menganalisa hasil biodiesel seperti rendemen, viskositas, densitas, bilangan asam, dan kadar air (Harinda & Hidayati, 2019)**.**

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap awal pembuatan biodiesel adalah dengan menganalisa kadar asam lemak bebas, viskositas kinematik pada temperatur 40ºC dan densitas pada temperatur 40ºC dari minyak jelantah yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Minyak jelantah dianalisa kadar asam lemak bebasnya dan didapatkan hasil sebesar 0,9560 %. Hal ini menunjukkan bahwa proses transesterikasi dapat langsung dilakukan tanpa melalui proses esterifikasi terlebih dahulu karena syarat reaksi transesterifikasi adalah asam lemak bebasnya tidak melebihi dari 1% (Elma *et al*, 2018).

Kemudian analisa viskositas pada minyak jelantah yang dihasilkan sebesar 13,6235 cSt. Tingginya viskositas dipengaruhi oleh adanya pemanasan secara berulang-ulang pada saat menggoreng, minyak akan bereaksi dengan oksigen membentuk suatu senyawa peroksida, aldehida maupun keton dalam bentuk senyawa yang kompleks sehingga menyebabkan viscositas akan meningkat . Minyak yang mengalami proses pemanasan berulang akan menyebabkan polimerisai dan minyak dapat mengalami proses hidrolisis menjadi asam lemak bebas (Choe & Min, 2007). Oleh karena itu, perlu dilakukan proses transesterifikasi yang bertujuan untuk mengubah asam lemak bebas dan trigliserida untuk menjadi biodiesel (metil ester) dan gliserol sehingga viscositas akan turun .

Pada analisa densitas minyak jelantah didapatkan hasil sebesar 0.9256 g/ml. Densitas yang didapatkan cukup tinggi karena masih adanya zat pengotor pada minyak jelantah berupa partikel zat padat hasil sisa penggorengan dalam bentuk protein, karbohidrat dan remah gorengan serta adanya logam yang berasal dari wadah penggorengan (Mujadin *et al*, 2014; Hakim *et al*, 2021). Semakin banyaknya pengotor pada minyak jelantah maka hasil densitas yang dihasilkan semakin tinggi pula. Sehingga perlu dilakukan penyaringan terlebih dahulu sebelum proses transesterifikasi. Pembuatan biodiesel melalui proses transesterifikasi menggunakan bahan baku minyak jelantah merupakan reaksi bolak-balik yang relatif lambat. Salah satu cara untuk mempercepat laju reaksi dan meningkatkan hasil adalah dengan menambahkan katalis dari abu sekam padi.

Katalis SiO_2/KOH dari abu sekam padi dibuat dengan mengkalsinasi sekam padi dengan suhu 800ºC selama 3 jam, kemudian diekstraksi dengan larutan alkali 5% b/v perbandingan 1:5 dan HCl 3,65% b/v hingga larutan konstan pada pH 7 dan terbentuk silika gel. Gel didiamkan selama 12 jam dan dicuci dengan aquadest. Gel ini kemudian mengalami 2 perlakuan. Yang pertama, gel dikeringkan dalam oven dengan suhu 80ºC selama 2 jam, setelah kering akan dijadikan sebagai katalis tanpa impregnasi. Dan yang kedua, gel di impregnasi dengan KOH 1 N dan dikalsinasi pada suhu 300ºC selama 3 jam sebagai katalis terimpregnasi KOH. Katalis sekam padi terimpregnasi KOH terlebih dahulu dilakukan analisis XRD untuk mengetahui kandungan senyawa didalamnya secara kualitatif. Spektrum hasil pemindaian (scan) X-Ray Diffraction (XRD) dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1, menunjukkan bahwa peak dengan klasifikasi unsur yang terdeteksi adalah Oxygen (O) sebesar 36,8%, Calcium (Ca) sebesar 4,9%, Silicon (Si) sebesar 29,6%, Pottassium (K) sebesar 13,9%,

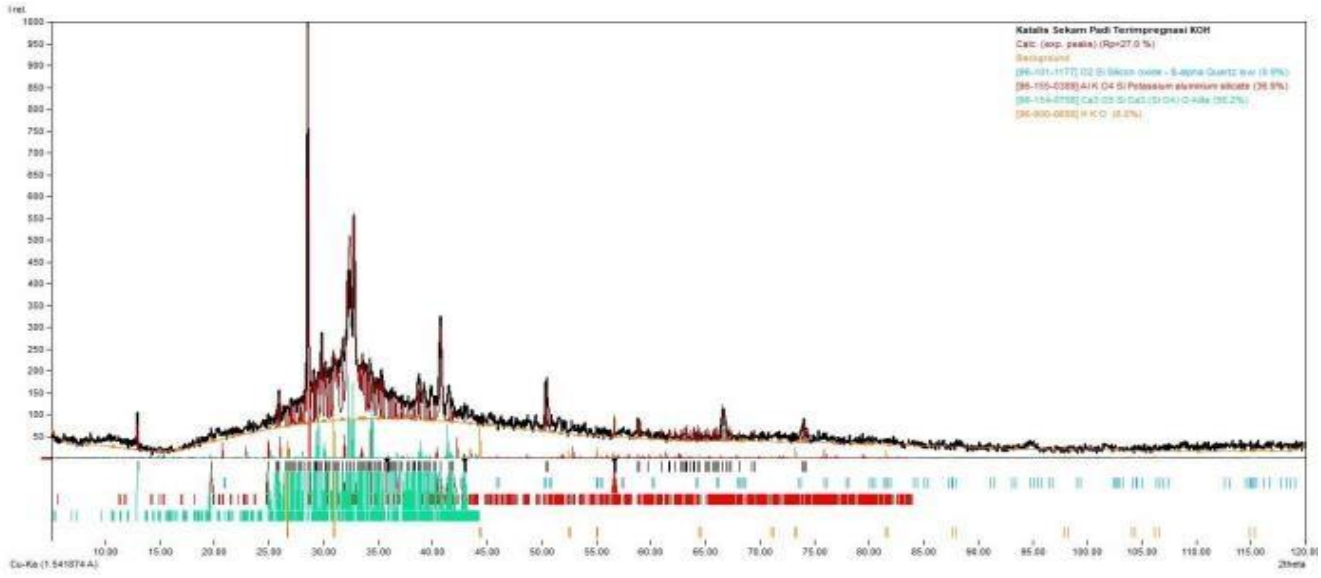
Aluminium (Al) sebesar 6,3%, Hydrogen (H) sebesar 0,1%. Kemudian senyawa yang terkandung dalam katalis terbuat dari abu sekam padi yang terimpregnasi KOH tertera dalam Tabel 1.

Dari hasil Tabel 1, maka didapatkan bahwa sampel katalis mengandung senyawa Ca_3O_5Si sebesar 56,2%, $AlKO_4Si$ sebesar 36,9%, SiO_2 sebesar 0,9% dan KOH sebesar 6%. Penambahan katalis ini dapat meningkatkan laju reaksi transesterifikasi dan meningkatkan jumlah trigliserida yang terkonversi menjadi metil ester. Proses transesterifikasi dengan waktu 4 menit, daya microwave 600 watt, campuran minyak : metanol (1:10) dengan katalis dari abu sekam padi terimpregnasi KOH dan katalis tanpa terimpregnasi KOH. Pada penambahan variasi katalis terbentuk 3 lapisan dimana lapisan atas berwarna kuning keruh, lapisan tengah berwarna kuning keruh (gliserol) dan lapisan bawah berwarna putih (katalis). Lapisan atas (metil ester) dicuci dengan aquadest pada suhu 80ºC yang tujuannya untuk menghilangkan sisa-sisa katalis, gliserol dan metanol yang masih terkandung dalam biodiesel. Setelah proses pencucian biodiesel dipanaskan pada suhu 110ºC hingga tidak terdapat gelembung air dari sisa pencucian.

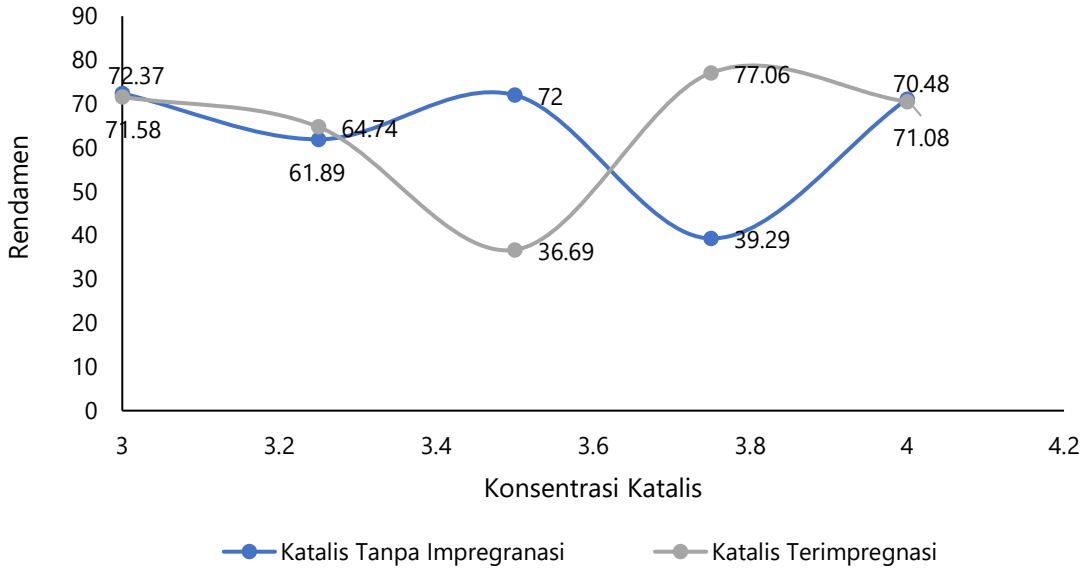
Rendemen biodiesel dianalisis setelah proses transesterifikasi dilakukan dan dipisahkan dari produk samping yaitu gliserol. Nilai rendemen merupakan angka untuk menetukan besarnya produk biodiesel yang dihasilkan dari bahan baku awal. Oleh karena itu dilakukan perhitungan rendemen pada sampel biodiesel. Hasil analisis rendemen biodiesel dapat dilihat pada grafik yang terdapat pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil Analisa XRD Katalis SiO_2/KOH dari Sekam Padi dan KOH

Kode warna	Komposisi	Nama Senyawa	Analisis kualitatif (%)
Hijau	Ca_3O_5Si	*Ca3 (SiO4)O Alite*	56,2
Merah	$AlKO_4Si$	*Potassium Aluminium Silicate*	36,9
Biru	SiO2	*Silicon Oxide-alpha Quartz low*	0,9
Kuning	KOH	*Potassium Hydroxide*	6



Gambar 1. Hasil Analisis XRD Katalis Sekam Padi Terimpregnasi KOH



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Konsentrasi Katalis dengan Nilai Rendemen

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa rendemen biodiesel dan kadar metil ester yang dihasilkan meningkat terhadap bertambahnya massa katalis. Dengan semakin besar massa katalis maka semakin besar pula konsentrasi katalis yang akan meningkatkan laju reaksi transesterifikasi pembentukan metil ester. Konsentrasi katalis terimpregnasi KOH optimum pada 3,75% didapatkan nilai rendemen sebesar 77% dan konsentrasi katalis tanpa terimpregnasi KOH optimum pada 3,5% didapatkan nilai rendemen 72%. Hal ini disebabkan karena dengan ditambahnya konsentrasi katalis akan semakin menurunkan energi aktivasi, sehingga meningkatkan jumlah molekul yang teraktifkan yang mengakibatkan kecepatan reaksi menjadi naik. Dengan demikian, hal tersebut akan meningkatkan kualitas tumbukan antar molekul reaktan yang mengakibatkan kecepatan reaksi transesterifikasi menjadi naik sehingga rendemen biodiesel juga semakin tinggi. Pada variasi konsentrasi katalis yang lain tidak mencapai nilai maksimal rendemendan pada variasi konsentrasi katalis terimpregnasi KOH 3,5%b/b mengalami penurunan yang signifikan Hal ini disebabkan karena kemungkinan masih ada residu katalis sehingga menyebabkan katalis bereaksi dengan asam lemak yang tidak bereaksi yang akan membentuk reaksi penyabunan. Katalis berubah menjadi reaktan yang ikut bereaksi dengan minyak, sehingga efektivitas katalis semakin menurun. Penurunan rendemen dapat pula diakibatkan oleh proses pencucian biodiesel dan pemisahan. Proses pemurnian perlu dilakukan dengan baik karena sisa-sisa pengotor dapat mempengaruhi kualitas terutama pada rendemen dan densitas biodiesel (Oko and Feri, 2019).

Pada variasi konsentrasi katalis tanpa terimpregnasi KOH didapatkan hasil viskositas yang tidak memenuhi SNI sehingga menunjukkan bahwa katalis tersebut tidak dapat digunakan untuk mengkonversi trigliserida menjadi metil ester. Pada filtrat hasil ekstraksi ditambahkan HCl guna membentuk asam silikat [$Si(OH)_4$] yang kemudian terpolimerisasi dengan membentuk ikatan siloksan (Si- O-Si). Pada katalis ini jenis situs aktif hanya berupa gugus silanol (-SiOH) dan siloksan (Si-O-Si). Hal ini menyebabkan gugus silanol ini mempunyai sifat keasaman yang rendah, disamping mempunyai oksigen sebagai atom donor yang sifatnya lemah (Fatriansyah *et al*, 2018).

Proses transesterifikasi dari variabel konsentrasi katalis terimpregnasi KOH 3,75%, produk yang diperoleh (rendemen biodiesel optimal) dilakukan uji karakteristik. Hasil analisa karakteristik biodiesel dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4, dengan densitas pada temperatur 40ºC 0,87 gr/ml, viskositas kinematik pada temperatur 40ºC 3,31 cSt, bilangan asam 0,5 mg KOH/g dan kadar air 0,9%. Karakteristik biodiesel tersebut telah memenuhi standar SNI 7182:2024 kecuali pada uji kadar air.

Tabel 2. Hasil Analisis Produk Biodiesel Dengan Konsentrasi Katalis SiO_2 Tanpa Terimpregnasi KOH

Konsentrasi katalis Tanpa Terimpregnasi (%b/b)	Parameter Pengujian Hasil Biodiesel				
	Rendemen (%)	Densitas pada temperatur 40ºC (gr/ml)	Viskositas Kinematik pada temperatur 40ºC (cSt)	Bilangan asam (mg KOH/gr)	Kadar air (%)
3%	72,37	0,91	13,34	0,8	0,002
3,25%	61,89	0,91	12,39	0,5	0,8
3,5%	72,00	0,91	10,19	1,3	0,01
3,75%	39,29	0,89	14,84	0,5	0,006
4%	71,08	0,88	13,01	0,2	0,01
SNI		0,850 – 0,890	2,3 – 6,0	Maks 0,5	Maks0,05

Tabel 3. Hasil Analisis Produk Biodiesel Dengan Konsentrasi Katalis SiO_2/KOH

Konsentrasi katalis Tanpa Terimpregnasi (%b/b)	Parameter Pengujian Hasil Biodiesel				
	Rendemen (%)	Densitas pada temperatur 40ºC (gr/ml)	Viskositas Kinematik pada temperatur 40ºC (cSt)	Bilangan asam (mg KOH/gr)	Kadar air (%)
3%	71,58	0,86	1,60	0,5	0,01
3,25%	64,74	0,90	3,20	0,5	0,1
3,5%	36,69	0,87	2,92	0,8	0,01
3,75%	77,06	0,87	3,31	0,5	0,9
4%	70,48	0,91	3,92	27,7	0,1
SNI		0,850 – 0,890	2,3 – 6,0	Maks 0,5	Maks0,05

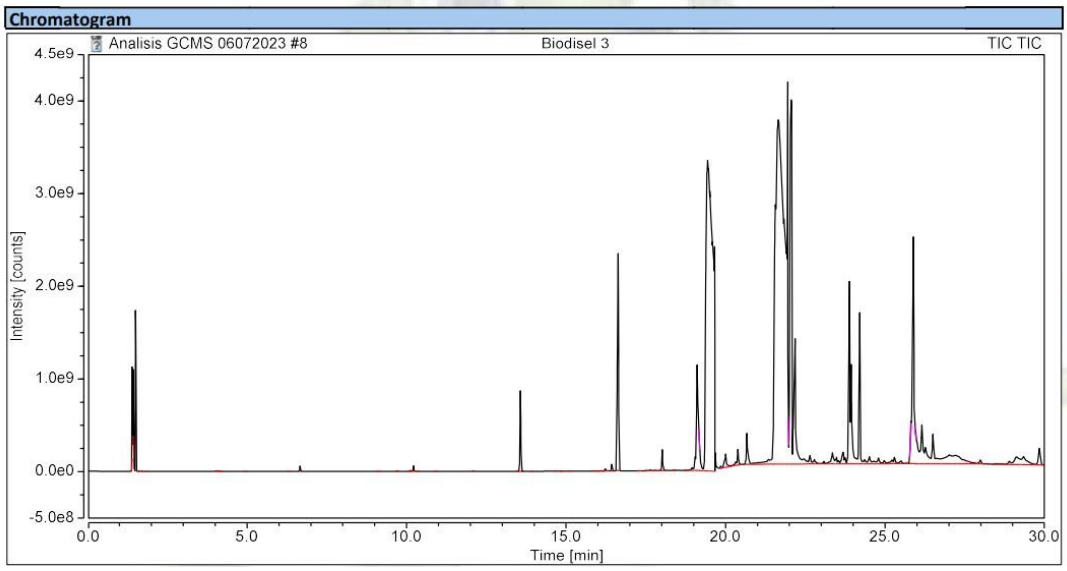
Densitas biodiesel adalah massa biodiesel persatuan volum pada suhu tertentu. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 diatas, pada rendemen biodiesel optimal diperoleh densitas biodiesel pada temperatur 40ºC dengan menggunakan katalis dari sekam padi yang terimpregnasi KOH sebesar 3,75% (b/b) yaitu 0,87 gr/ml. Dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan dan penurunan densitas yang dihasilkan. Pada beberapa variasi konsentrasi katalis terimpregnasi dan konsentrasi katalis tanpa terimpregnasi yang terdapat pada tabel 4 densitas biodiesel tidak memenuhi SNI, dimana densitas menurut SNI yaitu sebesar 0.85 – 0.90 gr/ml. Hal ini disebabkan densitas dipengaruhi oleh komposisi asam lemak dan kemurnian bahan baku. Sehingga densitas akan meningkat seiring dengan penurunan panjang rantai karbon dan peningkatan jumlah ikatan rangkap pada asam lemak. Jadi, asam lemak bebas yang memiliki kandungan tidak jenuh akan menghasilkan densitas yang akan semakin tinggi.

Viskositas adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi. Biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 diatas, pada rendemen biodiesel optimal diperoleh viskositas kinematik biodiesel pada temperatur 40ºC dengan menggunakan katalis dari sekam padi yang terimpregnasi KOH sebesar 3,75% (b/b) yaitu 3,31 cSt. Dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan dan penurunan viskositas yang dihasilkan. Pada beberapa variasi konsentrasi katalis terimpregnasi dan konsentrasi katalis tanpa terimpregnasi yang terdapat pada Tabel 2 viskositas biodiesel tidak memenuhi SNI 7182:2024, dimana viskositas biodiesel menurut SNI sebesar 2.3 - 6.0 cSt. Hal ini disebabkan viskositas dipengaruhi oleh komposisi asam lemak, jumlah ikatan rangkap dan kemurnian produk akhir, dimana viskositas berbanding lurus dengan panjang rantai karbon dan berbanding terbalik dengan jumlah ikatan rangkap. Semakin panjang rantai karbon asam lemak dan alkohol maka viskositas semakin besar. Viskositas juga semakin disebabkan oleh zat pengotor pada biodiesel dan zat yang tidak ikut bereaksi.

Kadar air dalam produksi biodiesel juga merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan. Kehadiran air dapat mempengaruhi reaksi dan transesterifikasi. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 diatas, pada rendemen biodiesel optimal diperoleh kadar air biodiesel dengan menggunakan katalis dari sekam padi yang terimpregnasi KOH sebesar 3,75% (b/b) yaitu 0,9% dan Pada beberapa variasi konsentrasi katalis terimpregnasi dan konsentrasi katalis tanpa terimpregnasi yang terdapat pada Tabel 2 tidak memenuhi SNI, dimana kadar air menurut SNI sebesar maks 0,05%. Hal ini disebabkan karena air bereaksi dengan katalis dan membentuk senyawa asam, yang menyebabkan masalah seperti pengendapan dan kerusakan katalis. Penurunan katalis ini dapat mempengaruhi konversi minyak atau lemak biodiesel. kadar air yang tinggi dapat mengakibatkan reaksi samping yaitu reaksi hidrolisis antara trilgliserida dengan air yang menghasilkan asam lemak bebas yang dapat mengganggu reaksi pembentukan biodiesel.

Bilangan asam adalah banyaknya mg KOH yang diperlukan untuk menetralkan asam-asam bebas dalam 1 g sampel biodiesel atau bahan baku biodiesel. Tingginya kadar bilangan asam dalam sampel biodiesel mengindikasikan bahwa biodiesel tersebut masih mengandung asam lemak bebas. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 diatas, pada rendemen biodiesel optimal diperoleh densitas biodiesel pada temperatur 40ºC dengan menggunakan katalis dari sekam padi yang terimpregnasi KOH sebesar 3,75% (b/b) yaitu 0,5 mg KOH/g. Dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan dan penurunan bilangan asam yang dihasilkan. Pada beberapa variasi konsentrasi katalis terimpregnasi dan konsentrasi katalis tanpa terimpregnasi yang terdapat pada Tabel 2 dan 3 bilangan asam biodiesel tidak memenuhi SNI 7182:2024 , dimana bilangan asam biodiesel menurut SNI sebesar maks 0,5 mg KOH/minyak. Hal ini disebabkan reaksi yang belum mencapai kesetimbangan menyebabkan sebagian trigliserida terhidrolisis atau masih mengandung mono-, di-, dan trigliserida yang kemudian dapat menghasilkan kembali asam lemak bebas (Changmai *et al.*, 2020). Besarnya nilai bilangan asam dapat pula dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain bahan baku yang digunakan, tingkat kemurnian minyak saat proses pemurnian, katalis yang digunakan dan cara penyimpanan yang bisa menyebabkan terjadinya hidrolisis.

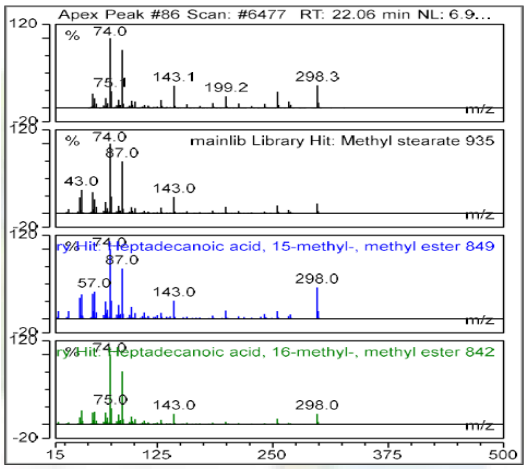
Hasil kromatogram biodiesel dengan uji GC-MS menggunakan katalis SiO_2/KOH pada konsentrasi 3,75%. Pada gambar 3 terdapat beberapa puncak utama yang optimum berdasarkan analis GC dimana total kadar metil ester yang didapatkan sebesar 70,63%. Hasil ini menunjukkan bahwa trigliserida belum terkonversi menjadi metil ester, dimana SNI7182:2024 untuk kadar metil ester sebesar 96,5%. Kadar metil ester yang rendah dapat diakibatkan karena masih tingginya kadar air yang dihasilkan yang memungkinkan terjadinya reaksi hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas dan gliserol, waktu transeterifikasi terlalu singkat, Jumlah katalis yang terlalu rendah menyebabkan jumlah situs aktif tidak cukup untuk mempercepat reaksi transesterifikas (Singh *et al.*, 2021).



Gambar 3. Kromatogram Biodiesel Hasil Analisa GC-MS

Tabel 4. Kandungan Metil Ester Berdasarkan Analisis GC-MS

Peak	Waktu Retensi (menit)	Relative Area (%)	Senyawa	Keterangan
11	6.663	0,04	Octanoic acid, methyl ester	Metil kaprilat (C8:0)
15	10.217	0,05	Decanoic acid, methyl ester	Metil kaprat (C10:0)
20	13.570	0,72	Dodecanoic acid, methyl ester	Metil laurat (C12:0)
28, 30	16.227; 16.431	0,08	Methyl myristoleate	C14:1 methyl ester
31, 39	16.635; 18.016	2,69	Methyl tetradecanoate	Metil miristat (C14:0)
43,44, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 68	18.947; 19.046; 19.107; 19.390; 19.437; 19.492; 19.512; 19.556; 19.577; 19.590; 19.600; 19.638; 19.662; 20.665	27,02	9,12-Hexadecadienoic acid, methyl ester	C16:2 methyl ester
66	20.386	0,18	cis-10-Heptadecenoic acid, methyl ester	C17:1 methyl ester
74	21.594	6,08	9,12-Octadecadienoic acid methyl ester	Metil linoleat (C18:2)
75, 80, 84, 86	21.624, 21.791, 21.947, 22.059	21,37	Octadecadienoic acid methyl ester	C18:2 methyl ester
76	21.655	4,64	cis-13-Octadecenoic acid methyl ester	Metil oleat/isomer (C18:1)
77, 78, 79	21.696, 21.730, 21.747	7,76	9-Octadecenoic acid methyl ester	Metil oleat (C18:1)
	Total	70,63		



Gambar 4. MS Biodiesel pada waktu retensi 22,059 menit

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan konsentrasi katalis ke dalam reaksi meningkatkan rendemen biodiesel hingga tercapai kondisi optimum, dan setelah itu penambahan katalis justru menurunkan rendemen. Kondisi optimum pembuatan biodiesel diperoleh pada konsentrasi katalis terimpregnasi KOH 3,75% (b/b), rasio minyak terhadap metanol 1:10, waktu reaksi 4 menit, dan daya *microwave* 600 watt. Pada kondisi tersebut dihasilkan biodiesel dengan kandungan metil ester 70,63%, rendemen 77%, densitas 0,87 g/mL, viskositas kinematik 3,31 cSt, bilangan asam 0,5 mg KOH/g, dan kadar air 0,9%. Sebagai pembanding, katalis tanpa impregnasi KOH mencapai kondisi optimum pada konsentrasi 3,5% dengan rendemen 72%. Namun, viskositas kinematik produknya mencapai 10 cSt, sehingga biodiesel tersebut belum memenuhi persyaratan SNI 7182:2024.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraini, D.P. 2017. Pengaruh rasio massa minyak jelantah dan metanol pada pembuatan biodiesel dengan menggunakan radiasi gelombang mikro. Laporan Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

Banurea, I.R., Setyawan, N., Yuliani, S., Herawati, H., & Hoerudin. 2021. Utilization of rice husk silica as solid catalyst in the transesterification process for biodiesel production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 739(1): 012083. https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012083

Budiman, A.A., & Samik. 2023. Review artikel: produksi biodiesel dari minyak goreng bekas dengan metode transesterifikasi menggunakan katalis. *UNESA Journal of Chemistry*, 12(2): 36–48. https://doi.org/10.26740/ujc.v12n2.p36-48

Chen, K.T., Wang, J.X., Dai, Y.M., Wang, P.H., Liou, C.Y., Nien, C.W., Wu, J.S., & Chen, C.C. 2013. Rice husk ash as a catalyst precursor for biodiesel production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(4): 622–629. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.01.006

Choe, E., & Min, D.B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science*, 72(5): R77–R86. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00352.x

Elma, M., Suhendra, S.A., & Wahyuddin. 2016. Proses pembuatan biodiesel dari campuran minyak kelapa dan minyak jelantah. *Konversi*, 5(1): 9–19. https://doi.org/10.20527/k.v5i1.4772

Fatah, R., Sulistyo, & Umardani, Y. 2021. Karakterisasi abu sekam padi (rice husk ash) hasil pembakaran sekam padi. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 9(4): 565–570.

Fatriansyah, J.F., Situmorang, F.W., & Dhaneswara, D. 2018. Ekstraksi silika dari sekam padi: metode refluks dengan NaOH dan pengendapan menggunakan asam kuat (HCl) dan asam lemah (CH_3COOH). *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau*, 3: 123–127.

Gani, M.F. 2017. Efektivitas pemisahan gliserin pada produksi biodiesel secara elektrostatis tegangan tinggi dengan variasi jarak elektroda. Laporan Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

Hakim, R., Wrasiati, L.P., & Arnata, I.W. 2021. Karakteristik minyak jelantah hasil dari proses pemurnian dengan ampas tebu pada berbagai variasi suhu dan waktu pengadukan. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 9(4): 427–438. https://doi.org/10.24843/JRMA.2021.v09.i04.p01

Harinda, Z.T., & Hidayati, N. 2019. Pembuatan biodiesel dari minyak jelantah dengan katalis Na_2O/fly ash menggunakan iradiasi gelombang mikro. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, Yogyakarta: I1.

Hindryawati, N., Maniam, G.P., Karim, M.R., & Chong, K.F. 2014. Transesterification of used cooking oil over alkali metal (Li, Na, K) supported rice husk silica as potential solid base catalyst. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 17(2): 95–103. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2014.04.002

Horikoshi, S., Schiffmann, R.F., Fukushima, J., & Serpone, N. 2017. Microwave-assisted chemistry. In: *Microwave Chemical and Materials Processing: A Tutorial*. Springer, Singapore. pp. 243–319.

Khan, H.M., Iqbal, T., Yasin, S., Ali, C.H., Abbas, M.M., Jamil, M.A., A Hussain & Rahman, M.M. 2021. Application of agricultural waste as heterogeneous catalysts for biodiesel production. *Catalysts*, 11(10): 1215. https://doi.org/10.3390/catal11101215

Latisya, S. 2022. Teknologi proses untuk produksi biodiesel berbasis minyak kelapa sawit. *Warta Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 27(2): 78–91. https://doi.org/10.22302/iopri.war.warta.v27i2.75

Maroa, S., & Inambao, F. 2021. A review of sustainable biodiesel production using biomass derived heterogeneous catalysts. *Engineering in Life Sciences*, 21(12): 790–824. https://doi.org/10.1002/elsc.202100025

Mujadin, A., Jumianto, S., & Puspitasari, R.L. 2014. Pengujian kualitas minyak goreng berulang menggunakan metoda uji viskositas dan perubahan fisis. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 2(4): 229–233.

Musafira, D., & Hikmah, N. 2021. Pengaruh penambahan abu sekam padi terhadap peningkatan kualitas minyak Mandar. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 7(1): 83–88. https://doi.org/10.22487/kovalen.2021.v7.i1.15494

Nugraha, M.W., Saputra, E., & Helwani, Z. [tahun?]. Sintesis biodiesel dari minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) menggunakan katalis geopolimer dari abu sekam padi dan kaolin. Skripsi. Universitas Riau, Pekanbaru.

Nurhasyiri, A.I. 2022. Sintesis katalis abu sekam padi terimpregnasi CaO dari cangkang telur dan KOH untuk pembuatan biodiesel dari minyak jelantah. Laporan Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

Nurhasyiri, A.I., & Mediniariasty, A. 2022. Sintesis katalis abu sekam padi terimpregnasi dengan CaO dari cangkang telur dan KOH untuk pembuatan biodiesel dari minyak jelantah. *Kinetika*, 13(3): 56–61.

Oko, S., & Feri, M. 2019. Pengembangan katalis CaO dari cangkang telur ayam dengan impregnasi KOH dan aplikasinya terhadap pembuatan biodiesel dari minyak jarak. *Jurnal Teknologi*, 11(2): 103–110. https://doi.org/10.24853/jurtek.11.2.103-110

Park, J.Y., Kim, D.K., Wang, Z.M., Lu, P., Park, S.C., & Lee, J.S. 2008. Production and characterization of biodiesel from tung oil. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 148(1–3): 109–117. https://doi.org/10.1007/s12010-007-8082-2

Salaheldeen, M., Mariod, A.A., Aroua, M.K., Rahman, S.A., Soudagar, M.E.M., & Fattah, I.R. 2021. Current state and perspectives on transesterification of triglycerides for biodiesel production. *Catalysts*, 11(9): 1121. https://doi.org/10.3390/catal11091121

Setyawan, H. 2019. Struktur mikro dan kekerasan baja karbon rendah hasil carburizing dengan media arang sekam padi yang disaring mesh 200 dan hasil shaker mill. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

Singh, D., Sharma, D., Soni, S.L., Inda, C.S., Sharma, S., Sharma, P.K., & Jhalani, A. 2021. A comprehensive review of biodiesel production from waste cooking oil and its use as fuel in compression ignition engines: 3rd generation cleaner feedstock. *Journal of Cleaner Production*, 307: 127299. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127299

Suryatini, K.Y., & Milati, N.M. 2023. Pemanfaatan potensi minyak goreng bekas (jelantah) sebagai biodiesel. *Emasains: Jurnal Edukasi Matematika dan Sains*, 12(1): 116–124. https://doi.org/10.5281/zenodo.7902815

Trisnaliani, L. 2018. Proses produksi biodiesel dari minyak jelantah menggunakan microwave hydro distillation dan separasi tegangan tinggi. *Kinetika*, 9(2): 25–30.