

PROSES PRODUKSI TRIASETIN DARI REAKSI ASETILASI GLISEROL MENGGUNAKAN KATALIS HETEROGEN BERBASIS BIOMASSA DAN ZIF-8 SERTA APLIKASINYA SEBAGAI BIOADITIF BAHAN BAKAR

Rafif Sakhi Indratma dan Heny Dewajani

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia

rafifsakhi2760@gmail.com; [heny.dewajani@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Permintaan bahan bakar dengan oktan tinggi semakin meningkat dengan tujuan untuk menaikkan performa mesin. Hal ini mendorong pembuatan bioaditif berupa *octane booster* untuk membantu meningkatkan angka oktan pada bahan bakar. Triasetin merupakan senyawa yang dapat digunakan sebagai peningkat angka oktan dan efisiensi pembakaran. Selain berasal dari bahan alami, triasetin dapat terurai secara alami tanpa meninggalkan residu yang berbahaya, sehingga aman untuk mesin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses produksi triasetin dari asetilasi gliserol menggunakan katalis biomassa dan ZIF-8. Penelitian dilakukan dengan aktivasi karbon tempurung kelapa menggunakan asam sulfat, lalu dikalsinasi dengan furnace pada suhu 500°C selama 3 jam. Kemudian digunakan sebagai katalis pada reaksi asetilasi gliserol pada suhu 105°C, rasio mol reaktan 1:5, dan konsentrasi katalis 5%. Hasil terbaik dari reaksi asetilasi dengan katalis karbon aktif menunjukkan konversi sebesar 51,72%, *yield* produk 58,47%, dan selektivitas terhadap triasetin sebesar 0,47%. Uji aplikasi triasetin sebagai bioaditif bahan bakar menunjukkan peningkatan angka oktan sebesar 17,021%, penurunan kadar CO sebesar 74,772%, serta peningkatan kadar CO₂ dan O₂ masing-masing sebesar 8% dan 3,704%. Hasil ini menunjukkan bahwa triasetin memiliki potensi yang baik sebagai bioaditif bahan bakar.

Kata kunci: biomassa, katalis karbon aktif, bioaditif, asetilasi

ABSTRACT

The demand for high-octane fuel is increasing to enhance engine performance, leading to the development of bio-additives like octane boosters. Triacetin is a promising additive that enhances octane ratings and combustion efficiency. It is derived from natural sources and decomposes without leaving harmful residues, making it safe for engines. This study focuses on producing triacetin through the acetylation of glycerol using biomass and ZIF-8 catalysts. The research involved activating coconut shell carbon with sulfuric acid, followed by calcination in a furnace at 500°C for 3 hours. This activated carbon was then used as a catalyst in the glycerol acetylation reaction at a temperature of 105°C, with a molar ratio of reactants of 1:5 and a catalyst concentration of 5%. The best results from the acetylation reaction with activated carbon catalyst showed a conversion of 51,72%, yield of product 58,47%, and selectivity for triacetin at 0,47%. Application tests of triacetin as fuel bioadditive indicated an increase in octane rating of 17,021%, a reduction in CO levels of 74,772%, and an increase in CO₂ and O₂ levels of 8% and 3,704%, respectively. These results demonstrate that triacetin has good as a fuel biadditive.

Keywords: biomass, activated carbon catalyst, bio-additive, acetylation



1. PENDAHULUAN

Bioaditif merupakan bahan tambahan yang berasal dari sumber alami dan berperan penting dalam meningkatkan kualitas bahan bakar. Fungsi utamanya mencakup peningkatan efisiensi pembakaran, pengurangan emisi gas buang, dan optimasi performa mesin. Salah satu aditif yang sangat dibutuhkan adalah peningkat oktan (*octane booster*), yang berkontribusi dalam memperbaiki kualitas bahan bakar beroktan rendah agar memenuhi standar pasar. Triasetin, sebagai salah satu contoh bioaditif, dihasilkan dari reaksi asetilasi gliserol dengan bantuan katalis. Penambahan triasetin ke dalam bahan bakar telah terbukti mampu menurunkan kadar NO_x hingga batas aman, mengurangi asap knalpot, dan menghemat konsumsi bahan bakar [1]. Selain itu, triasetin juga berkontribusi pada peningkatan proses pembakaran, kinerja mesin yang lebih optimal, dan pencegahan penyumbatan pada sistem mesin [2]. Mengingat beragam manfaatnya dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi bahan bakar, penelitian mendalam mengenai sintesis triasetin menjadi sangat relevan.

Secara umum, triasetin atau triasetil gliserol disintesis melalui reaksi asetilasi gliserol dengan asam asetat. Katalis yang sering digunakan dalam proses ini adalah asam sulfat, yang tergolong sebagai katalis homogen. Meskipun katalis homogen dikenal efektif dalam mempercepat laju reaksi, salah satu kekurangannya adalah kesulitan dalam memisahkan produk dari katalis setelah reaksi, yang dapat menyebabkan kontaminasi dan meningkatkan biaya pemrosesan [3]. Oleh karena itu, penggunaan katalis heterogen menjadi pilihan yang lebih menjanjikan karena kemampuannya meningkatkan efisiensi reaksi dan mendukung keberlanjutan proses. Namun, tantangan utama dari katalis heterogen adalah biaya produksinya yang relatif tinggi, sehingga sintesis katalis heterogen itu sendiri menjadi alternatif yang perlu dieksplorasi [4,5]. Beberapa jenis katalis heterogen yang menunjukkan potensi besar meliputi karbon aktif yang berasal dari biomassa (misalnya tempurung kelapa) dan *Metal-Organic Framework* (MOF). Katalis MOF, yang tersusun dari senyawa organik dan anorganik, memiliki luas permukaan yang sangat besar, menyediakan lebih banyak situs aktif untuk reaksi katalitik, serta mampu meningkatkan laju dan efisiensi reaksi. Selain itu, porositas katalis MOF dapat diatur selama proses sintesis, memungkinkan optimasi ukuran pori untuk meningkatkan selektivitas produk [6]. Salah satu contoh MOF yang menarik adalah ZIF-8, yang dikenal menawarkan stabilitas dan aktivitas katalitik yang baik, serta meningkatkan efisiensi proses reaksi [7]. Sementara itu, karbon aktif juga dikenal karena porositas tinggi dan luas permukaannya yang mendukung berbagai jenis reaksi [8].

Dari beberapa jenis katalis yang digunakan, katalis karbon aktif telah terbukti berhasil meningkatkan konversi gliserol menjadi triasetin sebesar 91% [9]. Selain itu, katalis ZIF-8 memiliki keunggulan sebagai katalis heterogen yang dapat meningkatkan selektivitas produk dan mempermudah pemisahan produk dari campuran reaktan. Reaksi asetilasi gliserol yang berjalan dengan bantuan katalis Ni/ γ -Al₂O₃, rasio mol reaktan 1:9, dan laju alir umpan 40 ml/menit, dapat menghasilkan triasetin dengan konversi reaksi 72,05%. Triasetin dapat meningkatkan angka oktan dari 93 menjadi 101 melalui penambahan pada bahan bakar sebanyak 8% [10]. Selain itu, reaksi asetilasi gliserol dengan bantuan katalis Amberlyst-70 yang berjalan pada suhu 105°C selama 4 jam, menghasilkan produk berupa monoasetin, diasetin, dan triasetin masing-masing sebesar 2,5; 51,7; dan 45,8% dengan konversi reaksi

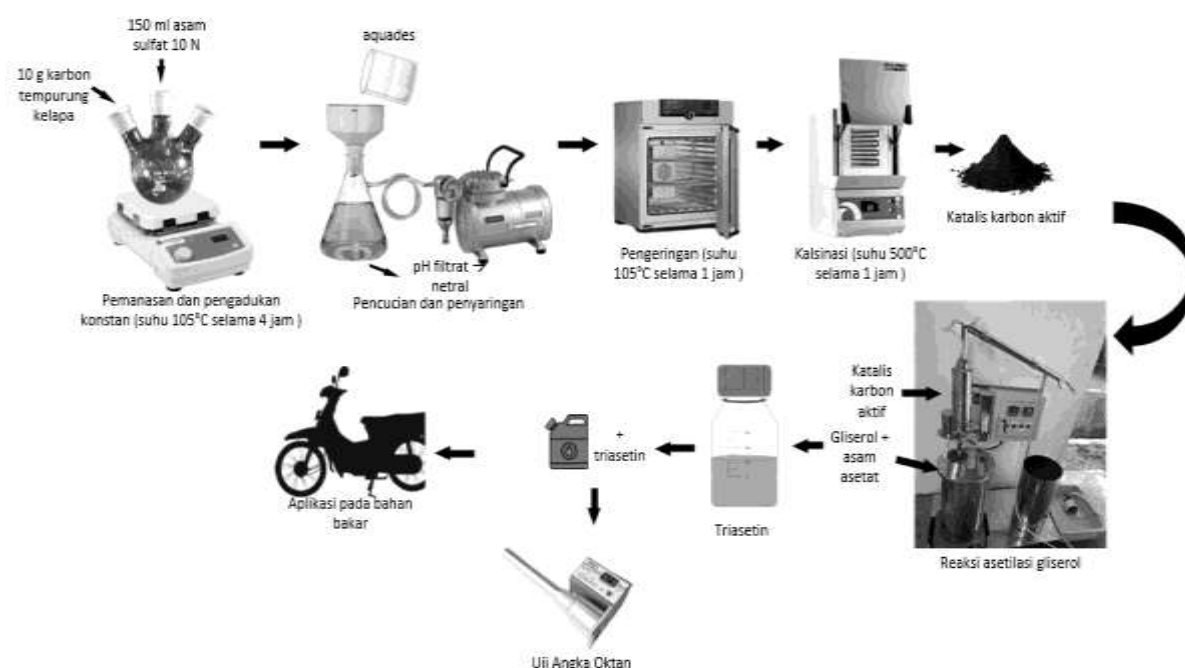
100% [11,12]. Proses asetilasi gliserol dapat dilakukan secara batch atau kontinu. Proses kontinu dengan kapasitas tinggi menawarkan pengendalian kondisi operasi yang lebih baik, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas reaksi. Penggunaan reaktor kontinu diharapkan dapat memaksimalkan konversi gliserol dan menghasilkan produk triasetin berkualitas tinggi secara berkelanjutan [13].

Berdasarkan latar belakang mengenai potensi triasetin sebagai bioaditif dan tinjauan terhadap penelitian terdahulu yang menunjukkan berbagai pendekatan katalitik dan proses, terlihat adanya kebutuhan mendalam untuk mengkaji lebih lanjut pengaruh jenis katalis terhadap proses sintesis triasetin dari asetilasi gliserol, khususnya dalam skala produksi yang relevan. Meskipun banyak penelitian telah membahas efektivitas katalis yang berbeda, belum ada eksplorasi yang komprehensif mengenai perbandingan performa katalis dalam konteks peningkatan kapasitas produksi dan dampaknya terhadap kualitas bahan bakar akhir. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi krusial untuk mengisi celah tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jenis katalis terhadap proses pembuatan triasetin dari reaksi asetilasi gliserol dengan kapasitas 10 L dan pengaruh produk bioaditif terhadap kualitas bahan bakar.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu persiapan karbon tempurung kelapa menjadi katalis karbon aktif, karakterisasi katalis karbon aktif dengan analisis SEM-EDX dan XRD, sintesis katalis ZIF-8, sintesis triasetin, analisis produk hasil reaksi dengan metode titrasi untuk menentukan konversi reaksi, dan aplikasi pada bahan bakar melalui uji angka oktan serta emisi gas buang.



Gambar 1. Alur penelitian

2.1. Alat dan Bahan yang Digunakan

Pada penelitian ini menggunakan alat berupa serangkaian reaktor kontinu dengan kapasitas 10 L. Bahan yang digunakan terdiri dari gliserol teknis, asam asetat glasial SmartLab, H_2SO_4 Merck, tempurung kelapa, *zinc nitrate hexahydrate*, dan *2-methylimidazole*.

2.2. Karbonisasi Biomassa

Tempurung kelapa sebanyak 1 kg dimasukkan ke dalam keranjang reaktor alat karbonisasi. Proses ini berjalan pada suhu 500°C selama 3 jam. Setelah itu, karbon tempurung kelapa dihaluskan dan dilanjutkan proses *size reduction* menjadi 80 mesh.

2.3. Aktivasi Katalis Karbon Tempurung Kelapa

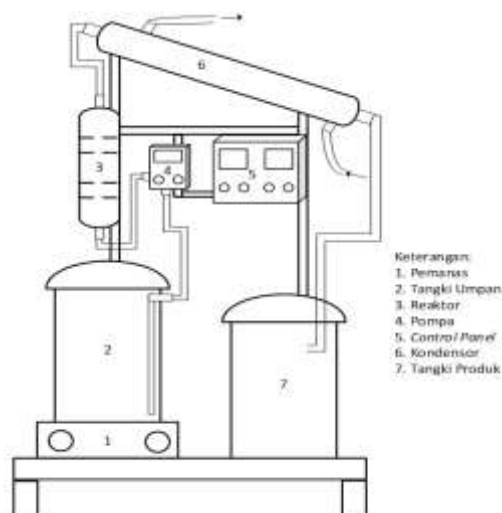
Proses aktivasi katalis dilakukan dengan merendam 10 gram karbon tempurung kelapa menggunakan 150 ml larutan H_2SO_4 10 N pada suhu 105°C selama 4 jam. Kemudian campuran dicuci dan disaring dengan bantuan pompa vakum hingga pH filtrat mendekati netral. Setelah itu, katalis dikeringkan dengan oven suhu 105°C selama 1 jam dan dikalsinasi dalam furnace pada suhu 500°C selama 1 jam.

2.4. Preparasi Katalis ZIF-8

Sintesis katalis ZIF-8 dilakukan dengan melarutkan 0,29 g *zinc nitrate hexahydrate* dalam 2 ml aquades dan melarutkan 5,67 g *2-methylimidazole* dalam 20 ml aquades secara terpisah. Kemudian larutan *zinc nitrate hexahydrate* ditambahkan perlahan ke dalam larutan *2-methylimidazole* dengan pengadukan konstan selama 24 jam. Setelah itu campuran kedua larutan tersebut dipisahkan menggunakan *centrifuge* pada kecepatan 12.500 rpm selama 5 menit. Kemudian endapan dicuci dengan aquades beberapa kali. Endapan tersebut dikeringkan dengan oven suhu 50°C selama 24 jam.

2.5. Reaksi Asetilasi Gliserol

Proses sintesis triasetin dilakukan dengan mereaksikan 700 ml gliserol dengan 10 L asam asetat 5 M sesuai perbandingan mol reaktan yaitu 1 mol gliserol : 5 mol asam asetat. Reaksi asetilasi gliserol berlangsung dengan kondisi operasi laju alir umpan 30 ml/menit, konsentrasi katalis 5% dari berat gliserol, suhu 105°C , dan waktu sekitar 4 jam di dalam reaktor kontinu seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Serangkaian reaktor kontinu

Setelah proses asetilasi gliserol di reaktor kontinu berkapasitas 10 L selesai, analisis konversi reaksi dan *yield* produk dilakukan melalui titrasi dengan larutan NaOH.

2.6. Karakterisasi Katalis dan Produk

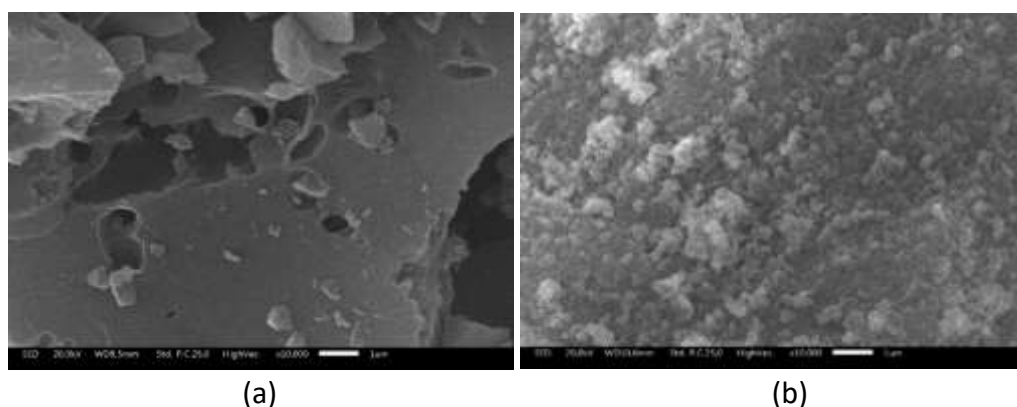
Katalis karbon yang telah diaktivasi dengan menggunakan larutan H_2SO_4 , kemudian dikarakterisasi dengan analisis SEM-EDX untuk mengidentifikasi morfologi dari permukaan karbon dan unsur penyusun karbon, analisis XRD untuk mengidentifikasi struktur dan derajat kristalinitas katalis karbon aktif. Kemudian produk hasil reaksi dianalisis menggunakan titrasi dengan larutan NaOH untuk mengetahui konversi reaksi dan analisis GC-MS untuk mengetahui selektivitas dari produk yang dihasilkan serta analisis densitas untuk mengetahui berat jenis dari produk hasil reaksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang telah dilakukan bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari jenis katalis terhadap konversi reaksi asetilasi gliserol dalam pembentukan triasetin sebagai bioaditif bahan bakar. Katalis yang digunakan pada penelitian ini adalah karbon aktif tempurung kelapa yang dibandingkan dengan katalis lain yaitu, ZIF-8.

3.1. Karakterisasi Katalis

Katalis yang telah diaktivasi dengan H_2SO_4 10 N dikarakterisasi dengan analisis SEM-EDX dan XRD yang kemudian dibandingkan dengan katalis lainnya seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan morfologi katalis (a) karbon tempurung kelapa (b) ZIF-8 perbesaran 10.000x

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua katalis, yaitu karbon aktif dari tempurung kelapa dan ZIF-8. Karbon aktif tempurung kelapa memiliki bentuk pori-pori yang berbentuk gelembung bulat dengan permukaan partikel yang rata. Pada penelitian yang dilakukan oleh Bakti dkk, 2020 menyatakan bahwa struktur mikro karbon aktif yang diamati dengan mikroskop elektron, terlihat ukuran pori yang terbentuk sekitar 8 μm (tergolong ke dalam mesopori) dengan bentuk pori gelembung bulat dan permukaan partikel yang rata serta teratur [14]. Sementara itu, katalis ZIF-8 menunjukkan perbedaan dalam bentuk dan struktur permukaan partikel, dengan permukaan yang tidak beraturan dan jarak antar partikel yang lebih dekat. Selain itu, ukuran pori-pori ZIF-8 lebih kecil dibandingkan dengan kedua katalis biomassa, yang mempengaruhi daya serapnya. Sedangkan ukuran pori-pori katalis

ZIF-8 termasuk dalam kategori mikropori, pada katalis biomassa lainnya tergolong mesopori dan makropori [15].

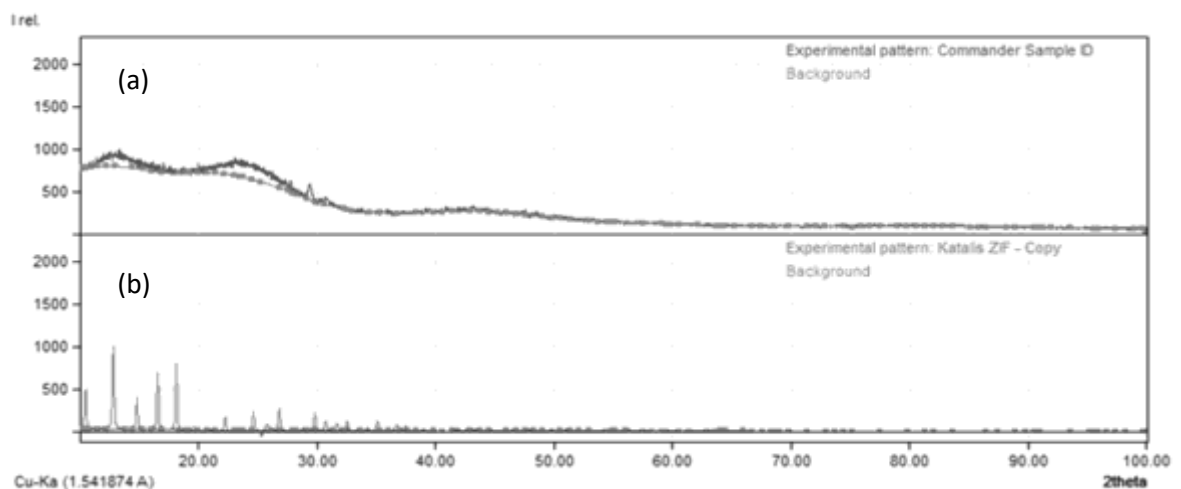
Kemudian selain dari pengamatan morfologi permukaan katalis dengan SEM, kedua katalis juga diamati melalui EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) dengan *output* hasil berupa spektrum komposisi unsur di dalam karbon.

Tabel 1. Perbandingan komponen pada masing-masing katalis

Komponen	Wt%	
	ZIF-8	Tempurung Kelapa
C	76,97	85,30
O	9,80	14,70
Zn	13,23	-
K	-	-
Ca	-	-
Total	100	100

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa analisis EDX pada setiap sampel katalis menunjukkan bahwa komponen yang paling dominan adalah unsur karbon dan oksigen. Mengingat bahwa katalis yang digunakan berasal dari biomassa, unsur karbon dan oksigen pada katalis tempurung kelapa teridentifikasi dalam jumlah yang lebih banyak. Demikian pula, pada katalis ZIF-8 yang dihasilkan dari reaksi antara *2-methylimidazole* dan *zinc nitrate hexahydrate*, selain karbon dan oksigen, unsur yang teridentifikasi adalah Zn (seng). Pada penelitian yang dilakukan oleh Sindim dkk. (2023) menyatakan bahwa komponen yang paling mendominasi pada karbon aktif adalah unsur karbon, oksigen, kalium, dan mangan sebesar 78,38%; 15,51%; 0,55%; dan 2,56% [16]. Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Putri dkk. (2023) menjelaskan bahwa hasil analisis EDX pada *graphine oxide* tempurung kelapa terdiri dari unsur karbon 86,8% dan oksigen 12,8% [17].

Kemudian selain analisis SEM-EDX, dilakukan analisis XRD untuk mengidentifikasi struktur dan ukuran atau derajat kristalinitas dari katalis.



Gambar 4. Perbandingan pola difraktogram (a) karbon aktif tempurung kelapa (b) ZIF-8 Berdasarkan Gambar 4, terdapat perbedaan pola difraktogram antara masing-masing

katalis. Katalis ZIF-8 menunjukkan pola dengan intensitas lebih rendah dibandingkan dengan kedua katalis biomassa. Puncak pada ZIF-8 lebih bervariasi dengan peningkatan dan pergeseran puncak. Sebaliknya, katalis karbon aktif dari tempurung kelapa memiliki pola difraktogram dengan intensitas tinggi dan puncak serupa tanpa pergeseran. Jarak antar puncak pada kedua katalis biomassa lebih dekat, berbeda dengan ZIF-8 yang lebih jauh. Hasil ini sebanding dengan penelitian Putri dkk, (2023) mengenai pergeseran pola pada *graphine oxide* yang dipengaruhi oleh bahan prekursor yang digunakan bersifat amorf dan adanya perubahan derajat oksidasi selama proses sintesis *graphine oxide* [17].

Tabel 2. Perbandingan pola difraktogram katalis dengan literatur

(Taer dkk., 2015)	(Bakti dkk., 2022)	Karbon Tempurung Kelapa	ZIF-8
2 θ	2 θ	2 θ	2 θ
23,586°	21,66°	29,39°	10,506
24,659°	27,30°	30,778°	14,836
44,203°	38,70°	39,359°	20,012
45,438°	44,86°	47,421°	25,766
	54,34°		32,562

Berdasarkan Tabel 2, dapat diketahui bahwa nilai 2 θ untuk katalis karbon aktif tempurung kelapa dari literatur dan sampel hampir serupa. Sedangkan katalis ZIF-8 memiliki nilai 2 θ yang berbeda dibandingkan dengan literatur dan karbon biomassa. Hal tersebut disebabkan karena ZIF-8 memiliki struktur kristal yang teratur dan menghasilkan puncak tajam pada difraktogram XRD, seperti pada Gambar 4. Katalis karbon biomassa cenderung memiliki stuktur amorf yang menyebabkan puncak lebih lebar. Analisis yang dilakukan oleh Taer dkk. (2015) dan Bakri dkk. (2022) menunjukkan variasi puncak 2 θ yang dipengaruhi oleh komposisi katalis [18,14]. Katalis yang diaktivasi dengan H₂SO₄ menunjukkan peningkatan intensitas dan pergeseran puncak yang menandakan masuknya gugus sulfonat.

3.2. Hasil Analisis Produk

Triasetin yang telah dihasilkan dari reaksi asetilasi gliserol dan asam asetat dengan bantuan katalis, kemudian di analisis konversi, selektivitas, dan yield. Reaksi yang berjalan pada suhu 105°C di dalam reaktor kontinu dengan rasio mol reaktan 1:5 dan penggunaan katalis 5% menghasilkan konversi reaksi dan yield seperti pada Tabel 3.

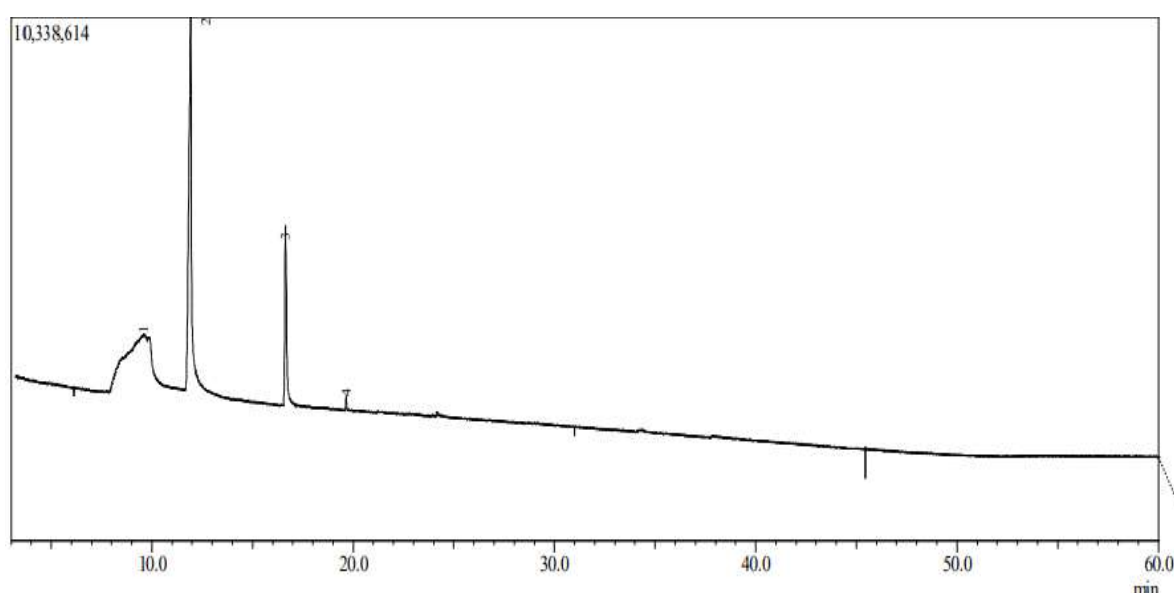
Tabel 3. Perbandingan konversi gliserol dan yield produk dari setiap katalis

Katalis	Konversi Gliserol (%)	Yield (%)
Tempurung Kelapa	51,72	58,47
ZIF-8	41,71	60,11

Berdasarkan Tabel 3, dapat diketahui bahwa perbedaan konversi gliserol antara ketiga katalis dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing. Pada penelitian yang dilakukan oleh

Hidayati dkk. (2021) konversi gliserol yang didapat dari penggunaan katalis karbon aktif adalah 91%. Katalis dengan area permukaan dan pori-pori besar (2-50 μm yang tergolong mesopori hingga makropori) lebih efisien saat digunakan dalam reaksi [19]. Sedangkan ZIF-8 memiliki struktur lebih rapat dan pori lebih kecil yaitu 1,95 μm , sehingga kurang efektif jika digunakan sebagai adsorben ataupun katalis untuk reaksi.

Apabila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fitri dkk. (2024) menunjukkan hasil yield triasetin menurun menjadi 3,31% pada penggunaan katalis yang sama yaitu 5% [2]. Sedangkan pada penelitian ini ketiga katalis menghasilkan yield di atas 3,31%. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh proses reaksi yang kurang optimal, termasuk pemanasan reaktan yang kurang merata. Kemudian untuk selektivitas dari produk hasil reaksi asetilasi gliserol dilakukan analisis GC-MS.



Gambar 5. Grafik hasil analisis GC-MS produk asetilasi gliserol dengan katalis karbon aktif tempurung kelapa

Tabel 4. Hasil analisis GC-MS produk asetilasi gliserol dengan katalis karbon aktif tempurung kelapa

Peak	Retention Time	% Area	Komponen	Rumus Kimia	BM
1	9,592	48,41	Gliserol	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	92
2	11,933	39,59	Monoasetin	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$	134
3	16,650	11,53	Monoasetin	$\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$	134
4	19,658	0,47	Triasetin	$\text{C}_9\text{H}_{14}\text{O}_6$	218

Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui bahwa reaksi asetilasi gliserol dengan bantuan katalis karbon aktif tempurung kelapa dapat menghasilkan triasetin dengan selektivitas sebesar 0,47% yang ditunjukkan pada puncak keempat Gambar 5. Hal tersebut dapat disebabkan oleh banyaknya gliserol yang belum terkonversi menjadi produk, sehingga selektivitas produk rendah yang ditandai dengan adanya beberapa komponen lainnya seperti gliserol dan monoasetin. Penelitian yang dilakukan oleh Patmawati dkk. (2020)

mencatat bahwa konversi triasetin 76,48% pada rasio mol reaktan 1:6 dan katalis 9% [9]. Selektivitas hasil reaksi dapat dipengaruhi oleh kondisi operasi reaksi, jenis dan konsentrasi katalis, serta rasio mol reaktan.

3.3. Aplikasi Produk sebagai Bioaditif Bahan Bakar

Produk hasil reaksi asetilasi gliserol dengan asam asetat berupa triasetin, digunakan sebagai bioaditif bahan bakar. Triasetin ditambahkan ke dalam 100 ml bahan bakar Pertalite dengan komposisi 0-10% (v/v). Parameter uji yang dilakukan untuk mengukur pengaruh penambahan bioaditif pada bahan bakar adalah uji angka oktan dan emisi gas hasil pembakaran. Untuk uji angka oktan dilakukan dengan menggunakan *Octane Meter*, lalu pembacaan hasilnya ditunggu hingga nilai angka oktan konstan.

Tabel 5. Hasil analisis angka oktan pada bahan bakar

Komposisi (%)		Angka Oktan
Pertalite	Bioaditif	
100	0	94
	1	96
	2	99
	3	105
	4	110
	5	110
	6	110

Berdasarkan Tabel 5, penambahan bioaditif pada bahan bakar dapat meningkatkan angka oktan, sehingga menjadikannya bioaditif yang efektif. Bioaditif mengubah sifat kimia bahan bakar dengan mengurangi hidrokarbon rantai pendek yang dapat mempercepat laju pembakaran dan berpotensi menyebabkan detonasi. Penggunaan triasetin dapat membantu mengontrol laju pembakaran, sehingga meningkatkan angka oktan [20]. Penambahan bioaditif dibatasi hingga 6-10% untuk menjaga kelarutan bahan bakar, mencegah pemisahan fase, dan menghindari pembentukan endapan yang tidak diinginkan. Setelah bahan bakar ditambahkan bioaditif, kemudian dilakukan uji emisi gas hasil pembakaran yang diaplikasikan di dalam kendaraan bermotor. Analisis dilakukan menggunakan *Emission Gas Analyzer* dengan putaran mesin kendaraan bermotor ± 3000 rpm.

Tabel 6. Analisis emisi gas hasil pembakaran

Komposisi (%)		Putaran mesin (rpm)	Gas Emisi		
Pertalite	Bioaditif		CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
100	0	3000	3,29	3	0,54
			3,02	2,7	0,54
			3	2,7	0,54
100	5	3000	1,91	2,7	0,55
			1,93	2,7	0,55
			1,88	2,7	0,55

Komposisi (%)		Putaran mesin (rpm)	Gas Emisi		
Pertalite	Bioaditif		CO (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)
100	10	3000	1,51	2,4	0,55
			1,23	2,5	0,55
			0,9	2,5	0,56
			0,95	2,5	0,56
			0,9	2,7	0,56
			0,83	2,7	0,56

(lanjutan)

Berdasarkan Tabel 6, terdapat perubahan pada gas emisi dari pembakaran campuran bahan bakar dan bioaditif. Penambahan triasetin dapat mengurangi kadar gas CO dalam emisi, sementara kadar CO₂ dan O₂ meningkat seiring bertambahnya volume triasetin. Penelitian Abidin dkk, (2023) menunjukkan penurunan kadar gas CO sebesar 25% dan gas HC sebesar 10,11% [21]. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Lacerda dkk, (2015) menunjukkan adanya penurunan kadar CO sebesar 50% serta peningkatan kadar CO₂ sebesar 20% saat penambahan bioaditif ke dalam bahan bakar [22]. Bioaditif dapat memperlambat laju pembakaran dengan meningkatkan stabilitas campuran bahan bakar dan udara, mengurangi resiko detonasi, dan meningkatkan angka oktan [23]. Melalui penambahan bioaditif, energi yang dilepaskan lebih terkontrol, meningkatkan efisiensi pembakaran dan output tenaga mesin tanpa meningkatkan emisi.

Bioaditif yang dihasilkan dari asetilasi gliserol dan asam asetat dengan bantuan katalis dapat berfungsi dengan baik sebagai bioaditif bahan bakar, yang diukur melalui peningkatan parameter angka oktan dan penurunan kadar emisi gas hasil pembakaran.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa triasetin dapat diproduksi secara efektif dalam skala 10 L menggunakan katalis karbon aktif tempurung kelapa yang disulfonasi 5% dengan rasio mol reaktan 1:5. Proses ini menghasilkan bioaditif dengan selektivitas 0,47%, konversi 51,72%, dan yield 58,47%. Setelah itu, triasetin yang ditambahkan pada bahan bakar menunjukkan peningkatan signifikan pada angka oktan sebesar 17,021% (dari 94 menjadi 110). Selain itu, penggunaan triasetin juga berkontribusi pada penurunan emisi CO sebesar 74,772% serta peningkatan kadar CO₂ sebesar 8% dan O₂ sebesar 3,704%.

Hasil tersebut secara jelas mengindikasikan bahwa triasetin efektif sebagai bioaditif untuk meningkatkan kualitas bahan bakar dan mengurangi emisi. Untuk optimalisasi lebih lanjut, penelitian di masa mendatang perlu fokus pada memaksimalkan kondisi operasi dan eksplorasi jenis katalis lain guna meningkatkan performa produk triasetin.

REFERENSI

- [1] Asri, H. Maksum, dan D. Fernandez, "Pengaruh Pemakaian Octane Booster Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Spesifik Premium dan Daya Pada Sepeda Motor Empat Langkah," *Jurnal Universitas Negeri Padang*, no. 19, 2018.
- [2] M. Fitri, M. Marwan, Y. Syamsuddin, dan N. Suriaini, "Intensifikasi Sintesis Diasetin dan

- Triasetin Melalui Esterifikasi Gliserol Dengan Katalis Berbasis Daun Bambu,” *Reactor: Journal of Research on Chemistry and Engineering*, vol. 5, no. 1, hal. 42, 2024.
- [3] U. I. Nda-Umar, I. Ramli, E. N. Muhamad, Y. H. Taufiq-Yap, dan N. Azri, “Synthesis and Characterization of Sulfonated Carbon Catalysts Derived from Biomass Waste and its Evaluation in Glycerol Acetylation,” *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 12, no. 6, hal. 2045–2060, 2022.
- [4] N. R. Yanti, H. Heryani, M. D. Putra, dan A. Nugroho, “Triacetin production from glycerol using heterogeneous catalysts prepared from peat clay,” *International Journal of Technology*, vol. 10, no. 5, hal. 970–978, 2019.
- [5] M. Zahrul, A. Erna, S. Mochamad, S. Budi, Sutiman, dan P. Suryo, “Triacetin Synthesis as Bio-Additive from Glycerol Using Homogeneous and Heterogeneous Catalysts,” *Key Engineering Materials*, vol. 849, hal. 90–95, 2020.
- [6] V. R. Remya dan M. Kurian, “Synthesis and catalytic applications of metal–organic frameworks: a review on recent literature,” *International Nano Letters*, vol. 9, no. 1, hal. 17–29, 2019.
- [7] Y.-R. Lee, M.-S. Jang, H.-Y. Cho, H.-J. Kwon, S. Kim, dan W.-S. Ahn, “ZIF-8: A Comparison of Synthesis Methods,” *Chemical Engineering Journal*, vol. 271, hal. 276–280, 2015.
- [8] W. Mateo dkk., “Synthesis and Characterization of Sulfonated Activated Carbon as a Catalyst for Bio-Jet Fuel Production From Biomass and Waste Plastics,” *Bioresource Technology*, vol. 297, 2020.
- [9] Zakiah, N. Patmawati, A. Cahyani Aprilia, I. Rahma Maulida, dan N. Hidayati, “Pengaruh Perbedaan Rasio Mol Gliserol dengan Asam Asetat dan Jumlah Katalis terhadap Konversi Reaksi Asetilasi Gliserol Menggunakan Katalis Karbon Teraktifasi-Asam Sulfat,” *Jurusan Teknik Kimia*, hal. 14–15, 2020.
- [10] H. Dewajani, A. Chumaidi, A. S. Suryandari, E. N. Dewi, dan M. H. Ahsan, “Characterization and Preparation of Ni/ γ -Al₂O₃ Catalyst for Acetylation of Glycerol in a Fixed Bed Reactor Applied as an Octane Booster for Commercial Fuels,” *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, vol. 10, no. 2, hal. 60–68, 2021.
- [11] B. Malleshham, B. Govinda Rao, dan B. M. Reddy, “Production of Biofuel Additives by Esterification and Acetalization of Bioglycerol,” *Comptes Rendus Chimie*, vol. 19, no. 10, hal. 1194–1202, 2016.
- [12] S. Kale, S. B. Umbarkar, M. K. Dongare, R. Eckelt, U. Armbruster, dan A. Martin, “Selective Formation of Triacetin by Glycerol Acetylation Using Acidic Ion-Exchange Resins as Catalyst and Toluene as an Entrainer,” *Applied Catalysis A: General*, vol. 490, hal. 10–16, 2015.
- [13] A. Cazumbá, F. Cunha, M. T. Silva, dan T. Paiva, “Evaluation of production processes of glycerol acetals using process intensification by flow chemistry,” *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, vol. 177, hal. 108997, 2022.
- [14] A. I. Bakti, Y. A. Harianto, dan M. K. Nugraha, “Karakterisasi Karbon Aktif yang Terbuat dari Tempurung Kelapa dengan Aktivasi Na₂CO₃ dan Suhu 1000°C Menggunakan Teknik XRD dan SEM-EDX,” *Chemistry Progress*, vol. 15, no. 2, hal. 76–82, 2022.
- [15] A. L. Yuliantika, “Sintesis dan Karakterisasi Sn-ZIF-8 Serta Aplikasinya Sebagai Katalis Pada Reaksi Esterifikasi,” hal. 17–21, 2016.

- [16] S. Sindim, H. Taunaumang, dan A. M. Rampengan, "Pembuatan Karbon Aktif Bambu dengan Metode Termolisis dan Karakterisasinya," *Jurnal Fisika dan Terapannya*, vol. 4, no. 2, hal. 46–52, 2023.
- [17] N. A. Putri dan Z. A. I. Supardi, "Sintesis Dan Karakterisasi Graphene Oxide (Go) Dari Bahan Alam Tempurung Kelapa," *Inovasi Fisika Indonesia*, vol. 12, no. 2, hal. 47–55, 2023.
- [18] E. Taer, S. Aiman, Sugianto, dan R. Taslim, "Variasi Ukuran Karbon Tempurung Kelapa Sebagai Alat Kontrol Kelembaban," *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, vol. IV, hal. 89–92, 2015.
- [19] N. Hidayati, W. Khoiruddin, I. E. Mastuti, dan W. D. S. Pambudi, "Katalis Karbon Yang Dibuat Dengan Metode Hummers Termodifikasi Untuk Asetilasi Gliserol," *Inovasi Teknik Kimia*, vol. 6, no. 2, hal. 95, 2021.
- [20] S. Daud, M. A. Hamidi, dan R. Mamat, "A review of Fuel Additives Effects and Predictions on Internal Combustion Engine Performance and Emissions," *AIMS Energy*, vol. 10, no. 1, 2022.
- [21] R. Abidin, R. D. Andayani, B. Ilmi, dan R. Djunaidi, "Analisa Pengaruh Penambahan Zat Aditif Pada Bahan Bakar Pertalite Terhadap Laju Konsumsi Bahan Bakar Dan Emisi Gas Buang Pada Motor Bakar Bensin 4-Tak Dohc," *Teknika: Jurnal Teknik*, vol. 9, no. 2, hal. 143, 2023.
- [22] C. V. Lacerda, M. J. S. Carvalho, A. R. Ratton, I. P. Soaresb, dan L. E. P. Borgesa, "Synthesis of Triacetin and Evaluation on Motor," *Journal of The Brazilian Chemical Society*, vol. 26, no. 8, hal. 1625–1631, 2015.
- [23] G. N. V. Siddhartha dkk., "Effect of Fuel Additives on Internal Combustion Engine Performance and Emissions," *Materials Today: Proceedings*, vol. 63, 2022.