

PENGEMBANGAN KATALIS HETEROGEN BERBASIS KARBON UNTUK REAKSI ESTERIFIKASI ANALIS DATA KINETIKA DAN MEKANISME

Chintia Margaretha Barus¹, Sovia Sari Martina Sipayung², Aini Rahma³

^{1,2,3}Universitas Efarina

Email: chintiamargarethabarus@gmail.com¹, soviasarisipayung@gmail.com²,
pioyiyty1234@gmail.com³

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan katalis heterogen berbasis karbon yang dihasilkan dari limbah biomassa untuk meningkatkan efisiensi reaksi esterifikasi, yang sangat penting dalam sintesis senyawa farmasi. Katalis disintesis melalui metode pirolisis pada suhu 500°C dan diteliti menggunakan analisis BET, SEM, dan FTIR. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa katalis memiliki luas permukaan spesifik 450 m²/g dan struktur porus yang mendukung reaksi. Kinetika reaksi menunjukkan bahwa konversi asam karboksilat menjadi ester mengikuti model kinetika orde pertama dengan konstanta laju 0.025 min⁻¹. Penelitian ini memberikan wawasan baru tentang mekanisme reaksi esterifikasi dan potensi aplikasi katalis berbasis karbon dalam industri farmasi, mendukung keberlanjutan dan efisiensi.

Kata Kunci: Katalis Heterogen, Analisis BET, SEM, dan FTIR.

ABSTRACT

This research aims to develop a carbon-based heterogeneous catalyst generated from biomass waste to improve the efficiency of the esterification reaction, which is very important in the synthesis of pharmaceutical compounds. The catalyst was synthesized by pyrolysis method at 500°C and researched using BET, SEM, and FTIR analysis. The characterization results showed that the catalyst had a specific surface area of 450 m²/g and a porous structure that supported the reaction. Reaction kinetics showed that the conversion of carboxylic acid to esters followed a first-order kinetics model with a rate constant of 0.025 min⁻¹. This research provides new insights into the mechanism of esterification reactions and potential applications of carbon-based catalysts in the pharmaceutical industry, supporting sustainability and efficiency.

Keywords: *Heterogeneous Catalysts, BET, SEM, and FTIR Analysis*

PENDAHULUAN

Esterifikasi adalah reaksi penting dalam kimia organik yang menghasilkan ester dari reaksi antara asam karboksilat dan alkohol. Proses ini sangat signifikan dalam sintesis senyawa

farmasi, di mana ester sering kali berfungsi sebagai bahan aktif atau pelarut dalam formulasi obat. Ester memiliki sifat-sifat yang mendukung bioavailabilitas dan stabilitas senyawa, sehingga banyak digunakan dalam pengembangan obat modern. Dalam industri farmasi, keberhasilan formulasi sangat dipengaruhi oleh efisiensi reaksi yang digunakan untuk menghasilkan ester yang diinginkan. Oleh karena itu, pengembangan metode yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk reaksi esterifikasi menjadi semakin penting.

Katalisis Heterogen dalam Esterifikasi salah satu pendekatan untuk meningkatkan efisiensi reaksi esterifikasi adalah dengan menggunakan katalis heterogen. Katalis ini menawarkan sejumlah keuntungan, termasuk kemampuan untuk dipisahkan dari produk akhir, yang memungkinkan pemulihan dan penggunaan kembali katalis tanpa kehilangan aktivitas. Katalis heterogen juga dapat memberikan stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan dengan katalis homogen, serta mengurangi risiko kontaminasi produk. Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian terhadap katalis berbasis karbon, terutama yang berasal dari sumber terbarukan, seperti limbah biomassa, semakin meningkat. Pemanfaatan limbah biomassa tidak hanya mendukung keberlanjutan, tetapi juga mengurangi ketergantungan pada bahan baku yang tidak terbarukan.

Tujuan Dan Signifikansi Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan katalis heterogen berbasis karbon yang dihasilkan dari limbah biomassa dan menganalisis efisiensinya dalam reaksi esterifikasi. Dengan memanfaatkan sumber daya yang ada, penelitian ini tidak hanya berfokus pada aspek efisiensi reaksi, tetapi juga pada dampak lingkungan yang lebih rendah. Melalui karakterisasi katalis dan analisis data kinetika, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme reaksi yang terjadi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap inovasi dalam sintesis senyawa farmasi, serta menjawab tantangan yang dihadapi oleh industri kimia dalam upaya mencapai proses yang lebih berkelanjutan dan efisien.

METODE PENELITIAN

Persiapan Katalis

Sintesis Katalis

Katalis berbasis karbon disintesis melalui proses pirolisis dari limbah biomassa. Langkah-langkah sintesis meliputi:

- **Pemilihan Bahan Baku:** Limbah biomassa, seperti tempurung kelapa, dipilih karena kandungan karbon yang tinggi dan ketersediaannya yang melimpah.
- **Pengolahan Bahan:** Tempurung kelapa dicuci untuk menghilangkan kotoran, kemudian dikeringkan pada suhu 100°C selama 2 jam. Setelah itu, bahan dihancurkan menjadi serbuk halus dengan ukuran partikel kurang dari 1 mm.
- **Proses Pirolisis:** Serbuk tempurung kelapa dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis dan dipanaskan pada suhu 500°C selama 2 jam dalam atmosfer nitrogen untuk mencegah pembakaran. Proses ini mengubah bahan organik menjadi karbon aktif dengan struktur porous.

Aktivasi Katalis

Jika diperlukan, katalis yang dihasilkan dapat diaktifkan lebih lanjut dengan menggunakan larutan asam (misalnya, HCl) untuk menghilangkan kontaminan dan meningkatkan luas permukaan. Katalis direndam dalam larutan asam selama 1 jam, lalu dicuci dan dikeringkan.

Karakterisasi Katalis

Karakterisasi dilakukan untuk memahami sifat fisik dan kimia katalis menggunakan teknik berikut:

- **Analisis BET (Brunauer-Emmett-Teller):** Untuk mengukur luas permukaan spesifik dan volume pori. Pengukuran dilakukan dengan nitrogen sebagai gas adsorpsi pada suhu -196°C.
- **SEM (Scanning Electron Microscopy):** Untuk menganalisis morfologi permukaan dan distribusi ukuran pori. Sampel katalis ditempelkan pada stub sebelum dianalisis.
- **FTIR (Fourier-transform Infrared Spectroscopy):** Untuk mengidentifikasi gugus fungsional pada permukaan katalis. Sampel dicampur dengan KBr, kemudian ditekan menjadi pellet untuk analisis.

Reaksi Esterifikasi

Prosedur Reaksi

Reaksi esterifikasi dilakukan dalam reaktor batch dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- **Reaktan:** Asam asetat ($C_2H_4O_2$) dan etanol (C_2H_5OH) digunakan dalam rasio molar 1:1.
- **Persiapan Campuran Reaksi:** Campuran reaktan ditimbang dan dimasukkan ke dalam reaktor bersama dengan katalis yang telah disiapkan. Konsentrasi katalis ditentukan berdasarkan studi awal untuk menemukan kondisi optimal.
- **Variasi Suhu dan Waktu:** Reaksi dilakukan pada suhu $50^\circ C$, $60^\circ C$, $70^\circ C$, dan $80^\circ C$ dengan waktu reaksi 1, 2, 3, dan 4 jam. Suhu dikontrol menggunakan pengatur suhu dan reaksi berlangsung di bawah pengadukan.

Pengambilan Sampel

Sampel diambil pada interval waktu tertentu (setiap 30 menit) untuk analisis lebih lanjut menggunakan kromatografi gas (GC).

Analisis dan Kinetika

Pengukuran Konversi

Pengukuran konversi dilakukan menggunakan kromatografi gas (GC) untuk menentukan konsentrasi produk ester dan sisa reaktan.

Model Kinetika

Data konversi dianalisis untuk menentukan urutan reaksi. Model kinetika yang digunakan adalah orde pertama, dengan grafik $\ln([C])$ vs. waktu untuk memperoleh konstanta laju kkk:

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Katalis

Hasil Analisis BET

Analisis BET menunjukkan bahwa katalis memiliki luas permukaan spesifik sebesar $450 \text{ m}^2/\text{g}$ dan volume pori $0,25 \text{ cm}^3/\text{g}$. Luas permukaan yang tinggi ini penting untuk meningkatkan interaksi antara katalis dan reaktan, yang berdampak langsung pada efisiensi reaksi esterifikasi.

Hasil SEM

Gambar SEM menunjukkan morfologi permukaan katalis dengan struktur porus yang berukuran pori antara 10-50 nm. Struktur ini memungkinkan aksesibilitas reaktan ke situs aktif pada permukaan katalis, meningkatkan laju reaksi.

Hasil FTIR

Analisis FTIR mengidentifikasi adanya gugus $-OH$ dan $-COOH$ pada permukaan katalis. Kehadiran gugus ini mendukung pembentukan ikatan hidrogen, yang memfasilitasi adsorpsi reaktan.

Data Kinetika

Kurva Konversi Waktu

Kurva konversi menunjukkan bahwa konversi meningkat seiring waktu reaksi. Pada suhu $70^{\circ}C$, konversi mencapai 85% dalam waktu 3 jam, sedangkan pada suhu $80^{\circ}C$, konversi mencapai 90% dalam waktu yang sama. Data ini menunjukkan bahwa suhu yang lebih tinggi meningkatkan laju reaksi.

Model Kinetika

Analisis data menunjukkan bahwa reaksi mengikuti model kinetika orde pertama. Konstanta laju k dihitung dari grafik $\ln([C])$ vs. waktu, memberikan nilai k sebesar 0.025 min^{-1} . Hasil ini menunjukkan bahwa laju reaksi tergantung pada konsentrasi reaktan.

Mekanisme Reaksi

Mekanisme reaksi esterifikasi dapat diuraikan dalam beberapa langkah:

- ❖ **Adsorpsi:** Asam asetat dan etanol teradsorpsi pada permukaan katalis, meningkatkan konsentrasi reaktan di dekat situs aktif.
- ❖ **Reaksi:** Proses pembentukan ikatan ester terjadi melalui mekanisme SN_2 , di mana ion H^+ dari asam berpindah ke alkohol, menghasilkan ester dan air.
- ❖ **Desorpsi:** Produk ester terdesorpsi dari permukaan katalis, memungkinkan siklus reaksi berlanjut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan katalis heterogen berbasis karbon yang

dihasilkan dari limbah biomassa, khususnya tempurung kelapa, untuk meningkatkan efisiensi reaksi esterifikasi. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa katalis memiliki luas permukaan spesifik yang tinggi ($450 \text{ m}^2/\text{g}$) dan struktur porus yang optimal, yang mendukung aksesibilitas reaktan ke situs aktif. Data kinetika yang diperoleh menunjukkan bahwa reaksi esterifikasi mengikuti model kinetika orde pertama, dengan konstanta laju kkk sebesar 0.025 min^{-1} , menandakan bahwa laju reaksi tergantung pada konsentrasi reaktan. Penelitian ini juga mengungkap mekanisme reaksi yang melibatkan proses adsorpsi, reaksi, dan desorpsi, yang berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik mengenai proses esterifikasi.

Saran

1. Untuk Pihak Rumah Sakit agar lebih memperhatikan dalam penggunaan industri farmasi yang berbasis karbon dari limbah biomassa yang ramah lingkungan apakah memiliki potensi yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi reaksi esterifikasi.
2. Untuk masyarakat agar lebih mengetahui apa kelebihan dan kekurangan dari industri farmasi yang berbasis karbon dari limbah biomassa tersebut yang dapat menunjukkan ketergantungan pada konsentrasi reaktan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cheng, Y., et al. (2020). "Sustainable Catalysis: From Biomass to Catalysts." *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(2), 947-961.
- Jones, P. R. (2019). *Kinetics of Chemical Reactions*. Elsevier.
- Karthikeyan, K., et al. (2021). "Esterification Reactions Using Heterogeneous Catalysts." *Journal of Catalysis*, 396, 45-58.
- Lopez, M., & Garcia, R. (2021). "Carbon-Based Materials as Catalysts in Organic Reactions." *Materials Today: Proceedings*, 37, 121-127.
- Martin, A., & Campbell, J. (2023). "Ester Prodrugs in Pharmaceutical Development." *Journal of Medicinal Chemistry*, 66(1), 34-56.
- Raj, A., & Kumar, S. (2022). "Biomass-derived Catalysts for Green Chemistry: Opportunities and Challenges." *Green Chemistry*, 24(5), 1102-1114.
- Smith, J., & Brown, A. (2020). *Catalysis in Organic Synthesis*. Wiley.
- Zhang, L., & Liu, H. (2021). *Carbon-Based Catalysts: Synthesis and Applications*. Springer.