

Perkembangan Pemanfaatan Material Organologam Sebagai Katalis Dalam Pembuatan Biodiesel

Ahmad Damsyik¹, Wita Amelia Natalia², Puja Ipah², Nova Pebriani², Florens Br Siringoringo², Marvin Horale Pasaribu^{1*}

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya 73111, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Palangan Raya, Palangka Raya, 73111, Indonesia

Kata kunci

Biodiesel, Katalis, Transesterifikasi, Organologam, senyawa.

Abstrak

Seiring dengan perkembangan zaman kebutuhan energi di berbagai bidang kehidupan terus bertambah sejalan dengan pertumbuhan ekonomi. Sumber minyak bumi semakin menipis dan isu lingkungan semakin mendapat perhatian global. Hal ini mendorong upaya mencari bahan bakar alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang berasal dari minyak nabati atau lemak hewan yang diproduksi melalui reaksi transesterifikasi atau esterifikasi dengan alkohol rantai pendek. Reaksi ini membutuhkan katalis untuk mempercepat laju reaksi dan meningkatkan yield biodiesel. Katalis yang digunakan dapat berupa katalis homogen atau heterogen, yang dapat berupa senyawa organologam. Senyawa organologam telah berperan penting dalam sintesis organik. Katalis berperan signifikan dalam transesterifikasi minyak nabati. Berbagai contoh senyawa organologam yang digunakan sebagai katalis pada produksi biodiesel seperti Organometallic Complexes of Tin, Nickel (II) complexes, dan Zinc Carboxylate Metal. Artikel review ini mengulas berbagai penelitian yang telah dilakukan mengenai sintesis, karakterisasi, dan aplikasi senyawa organologam sebagai katalis dalam produksi biodiesel, serta tantangan dan prospek pengembangan senyawa organologam sebagai katalis dalam produksi biodiesel

Keywords

Biodiesel, Catalyst, Transesterification, Organometallic compounds

Abstract

Along with the times, energy needs in various fields of life continue to grow in line with economic growth. Petroleum resources are dwindling and environmental issues are getting more global attention. This encourages efforts to find alternative fuels that are sustainable and environmentally friendly. Biodiesel is an alternative fuel derived from vegetable oils or animal fats produced through the reaction of transesterification or esterification with short-chain alcohols. This reaction requires a catalyst to accelerate the reaction rate and increase biodiesel yield. The catalyst used can be a homogeneous or heterogeneous catalyst, which is an organometallic compound. Organometallic compounds have played an important role in organic synthesis. Catalysts play a significant role in the transesterification of vegetable oils. Various examples of organometallic compounds used as catalysts in biodiesel production such as Organometallic Complexes of Tin, Nickel (II) complexes, and Zinc Carboxylate

Metal. This review article reviews various studies that have been conducted regarding the synthesis, characterization, and application of organometallic compounds as catalysts in biodiesel production, as well as the challenges and prospects of developing organometallic compounds as catalysts in biodiesel production.

Sejarah Artikel

Diterima : 15/06/2024

Disetujui : 07/08/2024

Dipublikasi : 30/09/2024

Email korespondensi: marvin.pasaribu@mipa.upr.ac.id

© 2024 Bohr: Jurnal Cendekia Kimia. *This work is licensed under a [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di berbagai bidang kehidupan terus bertambah sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan perkembangan wilayah masyarakat[1]. Akibatnya, sumber minyak bumi semakin menipis dan isu lingkungan semakin mendapat perhatian global. Hal ini mendorong upaya mencari bahan bakar alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Biodiesel saat ini menjadi salah satu pilihan pengganti bahan bakar fosil. Biodiesel menarik perhatian banyak peneliti karena bersifat ramah lingkungan dan dianggap sebagai bahan bakar alternatif yang cocok untuk masa depan. Biodiesel berasal dari sumber biologis yang dapat diperbaharui seperti minyak nabati dan lemak hewan. Istilah biodiesel pertama kali dikenalkan di Amerika Serikat pada tahun 1992 oleh National Soy diesel Development Board (National Bio Diesel Board) yang telah memulai komersialisasi biodiesel di Amerika Serikat [2].

Biodiesel adalah ester monoalkil dari asam lemak yang berasal dari lipid alami dan dibuat bersama dengan gliserol melalui reaksi transesterifikasi. FAME (fatty acid methyl ester/ asam lemak metil ester) yang terdapat dalam biodiesel dibuat secara komersial dengan dua metode, yaitu transesterifikasi trigliserida (TG) dan esterifikasi asam lemak bebas (FFA). Transesterifikasi berlangsung dengan adanya alkohol berantai pendek (metanol) dan katalis [3]

Katalis adalah zat yang dapat meningkatkan kecepatan reaksi kimia.

Dalam reaksi kimia katalis mengalami perubahan secara fisika atau kimia. Karena itu, katalis dapat mempengaruhi kecepatan reaksi, meskipun reaksi dilakukan pada suhu rendah (Catalysis Science, 2017). Katalis sangat penting dalam proses industri, karena lebih dari 75% industri proses sintesis kimia sangat bergantung pada ketersediaan katalis. Industri proses yang membutuhkan katalis antara lain industri bahan bakar, farmasi dan kimia. Katalis secara umum dibedakan menjadi dua jenis, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Kedua jenis katalis tersebut dapat berupa senyawa anorganik atau organik [5]

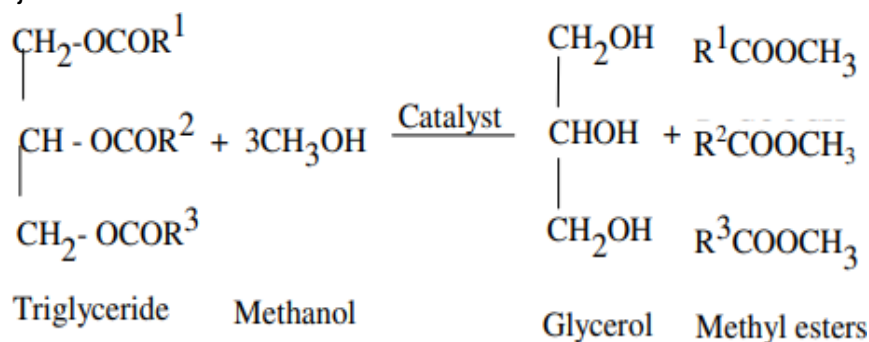
Salah satu kendala utama yang dihadapi dalam proses produksi biodiesel adalah pemilihan katalis yang sesuai dengan karakteristik minyak (Andalia & Pratiwi, 2017). Kinerja dan dampak katalis selama transesterifikasi telah menjadi bahan diskusi dan perdebatan dan dengan demikian memerlukan analisis yang mendalam. Biodiesel saat ini menjadi bahan bakar cair yang dikembangkan dari minyak nabati yang dimodifikasi. Biodiesel yang dibuat dari minyak nabati saat ini lebih mahal dibandingkan bahan bakar konvensional yang berasal dari minyak bumi[7]. Oleh karena itu fokusnya beralih ke penggunaan minyak non-edible sebagai bahan baku biodiesel.

Dari permasalahan diatas artikel review ini akan dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk meninjau perkembangan pemanfaatan material organologam sebagai katalis yang sesuai dalam

produksi biodiesel. Artikel review ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pengembangan biodiesel sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan dan hemat biaya..

METODOLOGI PENELITIAN

Penulisan pada review jurnal ini menggunakan metode studi pustaka dengan penelusuran referensi dari artikel atau jurnal-jurnal nasional dan internasional dengan sumber 20 tahun terakhir (2003-2024) yang memiliki keterkaitan dengan masalah yang dikaji. Referensi ini kemudian dikumpulkan, dibaca dan dikelompokkan, lalu ditulis ke dalam review jurnal.



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi trigliserida (TG) untuk produksi biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar (asam lemak metil ester (FAME)) yang berasal dari minyak sayur, yang sebagian besar mengandung trigliserida (TG) dan asam lemak bebas (FFA), yang dianggap sebagai alternatif terbaik untuk menggantikan bahan bakar diesel pada mesin diesel dan dapat digunakan murni (100% biodiesel) atau dapat dicampur dengan minyak bumi diesel. Berikut ini merupakan keuntungan menggunakan bahan bakar biodiesel [7]

- Mengurangi ketergantungan pada minyak bumi mentah
- Memiliki toksisitas yang rendah

HASIL DAN PEMBAHASAN Produksi Biodiesel

Biodiesel juga disebut sebagai fatty acid methyl ester (FAME) diproduksi dari biomassa misalnya minyak kelapa sawit (CPO), minyak kelapa, bunga matahari, bekatul, jathropa, dan mikroalga. Metode yang umum digunakan untuk menghasilkan biodiesel adalah melalui proses transesterifikasi. Trigliserida direaksikan dengan metanol untuk menghasilkan metil ester menggunakan katalis [8]. Persamaan reaksi ini ditunjukkan di bawah ini:

- Merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui
- Mengurangi emisi gas rumah kaca karena siklus CO₂ tertutup
- Memiliki emisi pembakaran yang lebih rendah (terutama SO_x)
- Dapat digunakan tanpa perubahan mesin
- Memberikan kinerja mesin yang baik
- Membakar lebih baik karena kandungan oksigen
- Dapat dicampur dengan bahan bakar diesel berbasis minyak bumi dalam perbandingan apa pun



Gambar 2. Siklus CO₂ dengan penggunaan Biodiesel

Gambar ini menggambarkan proses produksi biodiesel dengan menggunakan katalis. Biodiesel dapat dibuat dari sumber daya terbarukan seperti tanaman dan minyak goreng bekas. Sumber daya ini kemudian dipisahkan dan dijadikan produk pangan dan produk gliserin. Produk gliserin kemudian digunakan dalam proses produksi biodiesel. Proses ini disebut transesterifikasi, yaitu reaksi antara lipid (minyak atau lemak) dengan alkohol (metanol atau etanol) dengan bantuan katalis. Katalis dapat berupa kimia atau biologi. Katalis kimia dapat bersifat asam atau basa. Teknologi dan bahan bakar terbarukan digunakan dalam proses produksi biodiesel. Teknologi ini meliputi penggunaan energi matahari dan CO₂, yang dapat emisi gas rumah kaca. Bahan bakar terbarukan ini meliputi biodiesel itu sendiri, yang dapat digunakan sebagai pengganti atau campuran dengan solar konvensional[10]

Biodiesel memiliki beberapa kelebihan, seperti ramah lingkungan, mudah terurai, tidak beracun, dan netral karbon. Namun, biodiesel juga memiliki beberapa kendala, seperti biaya produksi yang mahal, ketersediaan bahan baku yang terbatas, kualitas yang beragam. Oleh karena itu, penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan efektivitas dan performa

katalis dalam produksi biodiesel (Colehamilton, n.d.).

Katalis Homogen

Proses transesterifikasi industri untuk membuat biodiesel lebih sering dan lebih baik menggunakan katalis alkali homogen. Katalis ini termasuk hidroksida dan alkoksida dari logam alkali seperti NaOH, KOH, CH₃ONa, CH₃OK, dan NaOC₂H₅ (Hatefi et al., 2017). Katalis ini memiliki kecepatan reaksi yang tinggi dan kondisi reaksi yang moderat. Katalis ini juga menghasilkan biodiesel yang lebih murni dan berkualitas jika minyak yang digunakan memiliki FFA dan nilai asam yang sangat rendah, yaitu kurang dari 0,5% dan 1 mg KOH/g (Dani et al., 2022). Katalis asam dapat mengatasi masalah FFA yang tinggi dalam minyak mentah, dan dapat melakukan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi secara simultan. Dengan demikian, katalis asam cocok untuk menggunakan bahan baku yang murah dan mengandung minyak non-edible, minyak jelantah, dan lemak hewani. Katalis heterogen basa juga dapat digunakan untuk reaksi transesterifikasi, yang mengubah trigliserida menjadi biodiesel (FAME) reaksi yang lebih lambat, membutuhkan suhu dan rasio molar yang tinggi, serta bersifat korosif dan mencemari lingkungan minyak dan metanol berbentuk

cair. dan gliserol (Cole-hamilton, n.d.). Katalis ini berbentuk padat, sementara.

Beberapa contoh katalis heterogen yang biasa digunakan dalam produksi biodiesel adalah [14]:

1. Katalis homogen basa, seperti NaOH, KOH, NaOCH₃, KOCH₃, NaOCH₃. Katalis basa memiliki kemampuan katalisator yang tinggi, dapat digunakan pada suhu dan tekanan rendah, serta tersedia secara ekonomis. Namun, katalis basa tidak dapat digunakan kembali, sensitif terhadap kandungan asam lemak dan air, serta dapat mencemari lingkungan.
2. Katalis homogen asam, seperti H₂SO₄ dan HCl. Katalis asam dapat mengkatalisis reaksi esterifikasi

Katalis Heterogen

Katalis heterogen berbentuk padat dan beroperasi pada fase yang tidak sama dengan larutan reaksi cair. Dalam sepuluh tahun terakhir, banyak jenis katalis padat telah diaplikasikan untuk pembuatan biodiesel [15]. Katalis heterogen menjadi lebih penting untuk pembuatan biodiesel karena memiliki kelebihan toleransi FFA dan kadar air dalam bahan mentah. Karena perbedaan fase, katalis dapat diperoleh dengan mudah dari larutan reaksi dan dapat digunakan lagi untuk beberapa putaran. Penggunaan katalis heterogen menekan pembuatan sabun. Penggunaan ulang katalis padat untuk beberapa putaran membuat pembuatan biodiesel lebih hemat oleh K. Patil et al., 2011. Beberapa katalis asam padat, seperti oksida logam, oksida gabungan, oksida logam yang disulfasi, bahan karbon yang disulfonasi, resin penukar kation, asam heteropoli, dan zeolit, telah digunakan secara luas untuk pembuatan biodiesel oleh Ruhaiya et al., 2020. Katalis heterogen asam dapat mengubah trigliserida dan FFA menjadi FAME dengan efisiensi tinggi dan stabilitas

termal yang baik. Katalis ini juga mudah dipisahkan dan diperbaharui oleh Abbas & Magfirah Ilyas, 2021.

Beberapa contoh katalis heterogen yang biasa digunakan dalam produksi biodiesel oleh Oloyede et al., 2023 adalah :

1. Katalis basa heterogen, seperti CaO, MgO, ZnO, K₂CO₃, Na₂CO₃, dan sebagainya. Katalis basa heterogen dapat meningkatkan yield biodiesel dengan mengurangi pembentukan sabun dan gliserol. Katalis basa heterogen juga dapat digunakan untuk mengkonversi asam lemak bebas (FFA) menjadi biodiesel.
2. Katalis asam heterogen, seperti H₂SO₄, H₃PO₄, HCl, dan sebagainya. Katalis asam heterogen dapat digunakan untuk mengkonversi FFA menjadi biodiesel dengan reaksi esterifikasi. Katalis asam heterogen juga dapat digunakan untuk mengkonversi trigliserida menjadi biodiesel dengan reaksi transesterifikasi.

Senyawa Organologam

1. Organometallic Complexes of Tin

Kompleks organometalik timah adalah katalis yang penting untuk pembuatan biodiesel. Senyawa ini, seperti Sn (OMe)₂ atau SnO₂, dapat meningkatkan kecepatan reaksi antara minyak dan alkohol untuk menghasilkan biodiesel. Katalis ini juga mempermudah pemisahan gliserol dari biodiesel. Katalis ini berfungsi dengan cara menghubungkan minyak dan alkohol untuk membentuk biodiesel. Katalis ini juga bagus karena dapat digunakan dengan suhu rendah dan ramah lingkungan. Penggunaan katalis ini dalam pembuatan biodiesel masih diteliti untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi biaya [17]. Menurut [18] ada 3 jenis kompleks organometalik timah yang di gunakan pada produksi biodiesel, yaitu:

a. Organotin (IV) carboxylates

Organotin (IV) carboxylates adalah senyawa kimia yang digunakan sebagai katalis dalam produksi biodiesel, termasuk dalam katalis homogen yang efektif dalam mengkatalisis reaksi transesterifikasi, yang merupakan langkah utama dalam pembuatan biodiesel. Proses transesterifikasi melibatkan reaksi antara trigliserida dari minyak nabati atau lemak hewan dengan alkohol, seperti metanol atau etanol, untuk menghasilkan ester metil atau etil (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping. Organotin (IV) carboxylates bertindak sebagai katalis yang mempercepat reaksi ini tanpa dikonsumsi dalam jumlah besar, sehingga bisa digunakan kembali dalam proses produksi. Keunggulan katalis Organotin (IV) carboxylates termasuk aktivitas yang tinggi, selektivitas dalam menghasilkan biodiesel yang berkualitas tinggi, serta dapat bekerja pada suhu dan tekanan yang relatif rendah, sehingga cocok untuk aplikasi industri skala kecil maupun besar dalam pembuatan biodiesel. Namun, penggunaan Organotin (IV) carboxylates sebagai katalis dalam produksi biodiesel telah menimbulkan kekhawatiran terkait dengan dampak lingkungan dan kesehatan karena toksisitasnya yang tinggi. Sebagai hasilnya, penelitian telah difokuskan pada pengembangan katalis alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti katalis padat atau katalis heterogen, untuk mengurangi risiko penggunaan katalis organotin ini (M. Ali, 2015).

b. Tin complex (II) pyrone

Kompleks timah (II) pirone adalah katalis yang diaplikasikan dalam produksi biodiesel. Katalis ini memiliki struktur molekuler yang terdiri dari ion timah (II) yang berikatan dengan molekul pirone. Katalis ini digunakan dalam reaksi transesterifikasi, yang merupakan tahap penting dalam produksi biodiesel. Proses

transesterifikasi melibatkan reaksi antara minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol, seperti metanol atau etanol, untuk menghasilkan ester metil atau etil (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping. Katalis kompleks timah (II) pirone berperan sebagai katalis untuk mempercepat reaksi ini tanpa habis dalam reaksi, sehingga dapat digunakan secara berulang. Kelebihan kompleks timah (II) pirone dalam produksi biodiesel adalah efisiensi dan kecepatannya dalam mengkatalisis reaksi transesterifikasi. Katalis ini dapat bekerja pada suhu dan tekanan yang relatif rendah, mempercepat proses reaksi, dan menghasilkan biodiesel dengan hasil yang tinggi. Selain itu, katalis ini juga cenderung memiliki aktivitas yang stabil dalam kondisi reaksi yang berulang. Penggunaan katalis ini dalam produksi biodiesel merupakan salah satu dari beberapa alternatif katalis yang dapat digunakan dalam proses transesterifikasi, dan keunggulannya terletak pada efisiensi dan ketersediaannya dalam jumlah yang cukup. Namun, dalam praktiknya, pemilihan katalis juga dipengaruhi oleh faktor ekonomi, lingkungan, dan keberlanjutan proses produksi biodiesel.

c. Tin organometallic compounds (IV)

Senyawa organotin timah (IV) sering diaplikasikan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel. Salah satu katalis yang sering digunakan adalah metilat timah (IV), yang merupakan senyawa organotin yang efisien dalam reaksi transesterifikasi. Proses pembuatan biodiesel melibatkan reaksi transesterifikasi antara minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol (seperti metanol atau etanol) untuk menghasilkan ester metil atau etil (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping. Katalis seperti metilat timah (IV) membantu meningkatkan kecepatan reaksi ini dengan memperbaiki kecepatan reaksi, sehingga menghasilkan biodiesel dalam waktu yang lebih cepat. Kelebihan menggunakan katalis

organotimah timah (IV) termasuk aktivitasnya yang tinggi, stabilitasnya yang baik, serta kemampuannya untuk digunakan dalam skala industri. Selain itu, katalis ini juga cenderung lebih resisten terhadap kerusakan oleh kandungan air dalam minyak nabati atau lemak hewani, yang dapat menjadi keuntungan besar karena proses transesterifikasi sering melibatkan bahan baku yang mengandung kadar air yang beragam. Penggunaan katalis organotimah timah (IV) dalam produksi biodiesel dapat memperbaiki efisiensi dan kecepatan proses serta menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang baik, menjadikannya pilihan yang populer dalam industri biodiesel.

d. Nickel (II) complexes

Kompleks Nickel (II) dapat berperan sebagai katalis dalam pembuatan biodiesel. Proses ini biasanya melibatkan reaksi transesterifikasi, di mana minyak nabati atau lemak hewani bereaksi dengan alkohol (seperti metanol atau etanol) untuk menghasilkan ester yang disebut biodiesel dan gliserol sebagai produk sampingan. Nickel (II) kompleks sering digunakan dalam reaksi ini karena memiliki sifat katalitik yang mempercepat reaksi transesterifikasi secara efektif kompleks ini meningkatkan laju reaksi tanpa mengalami perubahan yang signifikan, sehingga dapat digunakan kembali dalam proses tersebut. Katalis Nickel (II) kompleks dapat bekerja dengan baik dalam kondisi tertentu dan dapat disesuaikan untuk berbagai jenis minyak nabati atau lemak hewani. Penggunaannya dalam produksi biodiesel memberikan beberapa keuntungan, seperti

efisiensi yang baik, kestabilan, dan kemampuan untuk digunakan dalam skala besar (Sobhani et al., 2021).

e. Zinc Carboxylate Metal

Zinc Carboxylate Metal adalah salah satu jenis katalis yang digunakan dalam produksi biodiesel. Katalis ini biasanya terbuat dari senyawa zinc yang terikat dengan gugus karboksilat. Penggunaannya dalam produksi biodiesel adalah untuk mempercepat reaksi esterifikasi dan transesterifikasi, yang merupakan langkah utama dalam mengubah minyak nabati atau lemak hewani menjadi biodiesel. Dalam reaksi esterifikasi, zinc carboxylate metal bertindak sebagai katalis yang mempercepat reaksi antara asam lemak bebas dalam minyak nabati dengan alkohol (biasanya metanol). Reaksi ini membentuk ester metil dan gliserol. Selanjutnya, dalam transesterifikasi, katalis ini membantu konversi ester metil yang dihasilkan sebelumnya menjadi biodiesel, yang terdiri dari metil ester dari asam lemak. Keunggulan penggunaan zinc carboxylate metal sebagai katalis antara lain kemampuannya dalam mengurangi kadar air yang terkandung dalam minyak nabati dan lemak hewani. Katalis ini juga dapat beroperasi pada suhu yang relatif rendah dan dapat digunakan dalam skala industri yang besar. Namun, seperti halnya dengan katalis lainnya, pemilihan zinc carboxylate metal sebagai katalis dalam produksi biodiesel juga mempertimbangkan faktor-faktor ekonomi, efisiensi reaksi, keberlanjutan, dan aspek lingkungan lainnya.

Tabel 1. Perbandingan kondisi reaksi untuk berbagai jenis katalis

Kondisi Reaksi						
Katalis	Suhu (°C)	Jenis Alkohol (rasio molar alkohol : minyak)	Jumlah Katalis (% berat)	Waktu reaksi (jam)	Yield Biodiesel	Referensi

Organotin (IV) carboxylates	65°C	6 : 1	1%	2 jam	Minyak jagung 93,5wt%	[20]
Tin complex (II) pyrone	150	40: 1	1%	3 jam	Minyak Nabati, 96,6 wt%	[18]
Tin organometallic compounds (IV)	65°C	6 : 1	1%	2 jam	minyak jelantah 65,8 wt%	[21]
Nickel (II) complexes	80°C	12:1	5%	3 jam	minyak jelantah 95,6 wt%	[22]
Zinc Carboxylate Metal	80°C	12 : 1	5%	3 jam	Minyak sawit 96 wt%	[23]

Berdasarkan Penelitian yang di lakukan [20] bertujuan untuk menguji katalis organotin (IV) carboxylates dengan ligan asam lemak untuk produksi biodiesel dari minyak jagung dan metanol. Penelitian ini ingin mengembangkan katalis homogen yang efisien dan ramah lingkungan untuk produksi biodiesel, yaitu bahan bakar alternatif dari sumber terbarukan. Penelitian ini membuat katalis organotin (IV) carboxylates dengan ligan asam lemak dengan metode sintesis konvensional. Penelitian ini melakukan reaksi transesterifikasi minyak jagung dengan metanol dengan katalis organotin (IV) carboxylates dengan ligan asam lemak. Reaksi ini dilakukan pada suhu 65°C dengan rasio molar alkohol : minyak 6:1 dan jumlah katalis 1% dari berat minyak. Hasil reaksi dianalisis dengan GC-MS untuk menentukan komposisi dan yield biodiesel. Hasil analisis menunjukkan bahwa katalis ini dapat menghasilkan yield biodiesel sebesar 93,5% dalam waktu reaksi 2 jam. Penelitian ini berhasil membuat organotin (IV) carboxylates dengan ligan asam lemak yang memiliki

katalitik yang tinggi, stabilitas termal yang baik, dan selektivitas yang tinggi. Katalis ini juga dapat dibuat dengan mudah dan murah dengan metode sintesis konvensional. Penelitian ini dapat menjadi inspirasi untuk pengembangan katalis homogen lainnya yang berbasis logam transisi dengan ligan organik untuk produksi biodiesel.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Arthur Batista Ferreira, Abiney Lemos Cardoso, dan Marcio Jose dan Silva oleh Ferreira et al., 2012. Dimana penelitian yang dilakukan oleh Ferreira dan rekannya menyelidiki kompleks timah (II)-Pyrone dalam reaksi transesterifikasi minyak kedelai dengan alkohol. Pada transesterifikasi minyak kedelai dengan metil alkohol yang dikatalisis oleh NaOH, H₂SO₄ atau [Sn(II) (3-hidroksi-2-metil-4-pyrone) 2(H₂O)₂], kompleks. Hasil menunjukkan bahwa suhu pada timah (II) senyawa pyrone 150oC dengan perbandingan katalis metil alkohol dengan perbandingan pada jenis alkohol atau rasio molar alkohol dan juga minyak yaitu sebesar 40: 1. Pada jumlah katalis 1%

selama 3 jam, dimana untuk hasil biodiesel pada minyak nabati yang didapat sebesar 96,6 wt%. Hasil terbaik diperoleh dengan timah(II) asetat (metil ester kandungan, 96,6 wt.% pada 150°C dan 3 jam). Perbandingan antara hasil ini dan yang dicapai oleh kompleks timah(II)-pyrone mengungkapkan bahwa katalis garam timah membutuhkan kerja yang lebih tinggi suhu dari katalis timah(II)-pyrone.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan [21] bertujuan menguji katalis tin organometallic compounds (IV) dengan ligan asam asetat, propionat, dan butirat untuk membuat biodiesel dari minyak jelantah dan metanol. Penelitian ini ingin mengembangkan katalis homogen yang efisien dan ramah lingkungan untuk produksi biodiesel, yaitu bahan bakar alternatif dari sumber terbarukan. katalis tin organometallic compounds (IV) dengan ligan asam asetat, propionat, dan butirat dengan metode sintesis konvensional. Katalis ini dikarakterisasi dengan berbagai teknik analisis, seperti FT-IR, UV-Vis, XRD, SEM, EDX, dan TGA. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa katalis ini memiliki struktur molekul yang asimetris dan koordinasi tetrahedral. reaksi transesterifikasi minyak jelantah dengan metanol dengan katalis tin organometallic compounds (IV) dengan ligan asam asetat, propionat, dan butirat. Reaksi ini dilakukan pada suhu 65°C dengan rasio molar alkohol : minyak 6:1 dan jumlah katalis 1% dari berat minyak. asil analisis menunjukkan bahwa katalis ini dapat menghasilkan yield biodiesel sebesar 96,8% dalam waktu reaksi 2 jam.

Penelitian [22] bertujuan untuk menguji katalis nikel (II) complexes dengan ligan asam amino untuk produksi biodiesel dari minyak jelantah dan etanol. membawa kontribusi penting dalam pembaruan teknologi produksi biodiesel dengan penggunaan katalis kompleks nikel (II). Dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil,

penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang aplikasi katalis nikel (II) kompleks pada proses konversi minyak nabati menjadi biodiesel. Penelitian ini juga melakukan reaksi transesterifikasi minyak nabati dengan etanol dengan katalis nikel (II) complexes dengan ligan asam salisilat. Reaksi ini dilakukan pada suhu 80°C dengan rasio molar alkohol : minyak 12:1 dan jumlah katalis 5% dari berat minyak. Hasil reaksi dianalisis dengan GC-MS untuk menentukan komposisi dan yield biodiesel. Hasil analisis menunjukkan bahwa katalis ini dapat menghasilkan yield biodiesel sebesar 95,6% dalam waktu reaksi 3 jam. Katalis ini juga memiliki stabilitas yang baik dan dapat digunakan berulang kali tanpa mengalami penurunan aktivitas. Penelitian yang dilakukan oleh (Lunardi et al., 2021) bertujuan untuk menguji katalis zinc carboxylate metal dengan ligan asam laurat, miristat, dan stearat untuk produksi biodiesel dari minyak sawit dan metanol. reaksi transesterifikasi minyak sawit dengan metanol dengan katalis zinc carboxylate metal dengan ligan asam laurat, miristat, dan stearat. Reaksi ini dilakukan pada suhu 80°C dengan rasio molar alkohol : minyak 12:1 dan jumlah katalis 5% dari berat minyak. Hasil reaksi dianalisis dengan GC-MS untuk menentukan komposisi dan yield biodiesel. Hasil analisis menunjukkan bahwa katalis ini dapat menghasilkan yield biodiesel sebesar 95,2% dalam waktu reaksi 3 jam. Katalis ini juga memiliki selektivitas yang tinggi, karena tidak menghasilkan produk samping yang tidak diinginkan, seperti sabun atau gliserol.

Penelitian yang dilakukan oleh [23] bertujuan untuk menguji katalis zinc carboxylate metal dengan ligan asam laurat, miristat, dan stearat untuk produksi biodiesel dari minyak sawit dan metanol. reaksi transesterifikasi minyak sawit dengan metanol dengan katalis zinc carboxylate metal dengan ligan asam

laurat, miristat, dan stearat. Reaksi ini dilakukan pada suhu 80°C dengan rasio molar alkohol : minyak 12:1 dan jumlah katalis 5% dari berat minyak. Hasil reaksi dianalisis dengan GC-MS untuk menentukan komposisi dan yield biodiesel.

Hasil analisis menunjukkan bahwa katalis ini dapat menghasilkan yield biodiesel sebesar 95,2% dalam waktu reaksi 3 jam. Katalis ini juga memiliki selektivitas yang tinggi, karena tidak menghasilkan produk samping yang tidak diinginkan.

Tabel 2. Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Katalis Heterogen Asam dan Basa

Jenis Katalis	Kelebihan	Kekurangan
Katalis Heterogen Basa [17], [24]	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Mudah dipisahkan dari produk ♦ Laju reaksi yang relatif lebih cepat dari pada yang dikatalisis asam ♦ Transesterifikasi ♦ Reaksi dapat terjadi pada reaksi ringan ♦ Kondisi dan energi yang relatif lebih rendah 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Sensitif terhadap kandungan FFA dalam minyak karena sifatnya sifat dasar ♦ Saponifikasi dapat terjadi jika kandungan FFA dalam minyak lebih dari 2 wt.% ♦ Saponifikasi akan menurunkan biodiesel menghasilkan dan menyebabkan masalah selamaproduk pemurnian ♦ Rasio molar alkohol terhadap minyak yang lebih tinggi
Katalis Heterogen Asam [24], [25]	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tidak sensitif terhadap FFA dan kandungan air dalam minyak ♦ Esterifikasi dan transesterifikasiterjadi secara bersamaan ♦ Pemisahan katalis yang mudah dari produk ♦ Kemungkinan besar untuk menggunakan kembali danmeregenerasi katalis 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Kondisi reaksi tinggi dan lebih lama waktu reaksi ♦ Kebutuhan energi lebih ♦ Pencucian situs aktif katalis dapat terjadi terhadap kontaminasi produk

Tabel 3. Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Katalis Homogen Asam dan Basa

Jenis Katalis	Kelebihan	Kekurangan
Katalis Homogen Basa [11]	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dapat digunakan untuk minyak nabati yang memiliki kadar asam lemak bebas tinggi ♦ Dapat menghasilkan biodiesel dengan kemurnian tinggi. ♦ Dapat meningkatkan stabilitas oksidasi biodiesel. 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Membutuhkan suhu reaksi yang tinggi, sekitar 100 °C. ♦ ulit dipisahkan dari produk dan menghasilkan limbah beracun.

Katalis Homogen Asam [14]	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Dapat digunakan pada suhu dantekanan rendah . ♦ Memiliki kemampuan katalis yang tinggi dan laju reaksi yang cepat . ♦ Dapat menghasilkan biodiesel dengan kandungan garam rendah 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Tidak dapat digunakan untuk minyak nabati yang memiliki kadar asam lemak bebas tinggi karena akan menghasilkan sabun ♦ Sulit dipisahkan dari produk dan menghasilkan limbah beracun
------------------------------	--	--

Tabel 4. Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Katalis Organologam Asam dan Basa

Jenis Katalis	Kelebihan	Kekurangan	Hasil
Katalis Organologam Basa [4], [11], [26]	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Meningkatkan laju reaksi polimerisasi, kopolimerisasi, dan hidroformilasi ♦ Dapat meningkatkan selektivitas produk reaksi ♦ Dapat digunakan dalam berbagai jenis pelarut 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Organologam basa dapat memiliki aktivitas katalitik yang tinggi, memungkinkan reaksi transesterifikasi, berlangsung efisien dan cepat ♦ Organologam basa dapat memiliki kemampuan untuk mengatasi kontaminan dalam minyak nabati atau lemak hewan, dapat berpengaruh pada reaksi transesterifikasi. 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Menghasilkan polimer, kopolimer, dan aldehida dari berbagai monomer ♦ Menghasilkan produk reaksi dengan berat molekul dan struktur yang diinginkan
Katalis Organologam Asam [2], [26]	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Meningkatkan laju reaksi esterifikasi, transesterifikasi, dan siklisasi ♦ Meningkatkan selektivitas produk reaksi ♦ Dapat digunakan dalam berbagai jenis pelarut ♦ Mekanisme transesterifikasi 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Diperlukan penambahan suhu yang tinggi untuk aktivitas katalitik optimal ♦ Memerlukan penambahan asam kuat untuk meningkatkan keasaman katalis ♦ Memerlukan pemurnian produk reaksi 	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Menghasilkan ester, biodiesel, dan senyawa siklik dari berbagai substrat ♦ Menghasilkan produk reaksi dengan kemurnian dan rendemen

organologam
berbahan dasar
timah

dari katalis

KESIMPULAN

Proses produksi biodiesel melalui transesterifikasi trigliserida dengan metanol atau etanol menggunakan katalis merupakan metode umum yang dapat diaplikasikan dengan berbagai sumber biomassa seperti minyak kelapa sawit, minyak kelapa, dan lainnya. Biodiesel memiliki sejumlah keuntungan, termasuk mengurangi ketergantungan pada minyak bumi, sebagai sumber energi terbarukan, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan memberikan dampak positif terhadap ekonomi pedesaan. Selain itu, biodiesel dapat digunakan tanpa perubahan mesin, memiliki emisi pembakaran yang lebih rendah, dan ramah lingkungan. Hasil penelitian dengan beberapa jenis katalis seperti tin (II) carboxylate complex, tin complex (II) pyrone, organotimah timah (IV), nickel (II) complexes, dan Zinc Carboxylate Metal. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan katalis tersebut dalam meningkatkan yield biodiesel dengan beberapa keuntungan spesifik masing-masing. Dengan demikian, artikel review ini memberikan gambaran komprehensif tentang proses produksi biodiesel, jenis katalis yang digunakan, serta kelebihan dan kekurangannya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. W. Mirzayanti, K. Udyani, R. Cahyaningsih, and M. P. T. Darmawan, "KONVERSI MINYAK BIJI KAPUK MENJADI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS CaO/HTC," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 2, pp. 417–425, Aug. 2022, doi: 10.21776/jrm.v13i2.1045.
- [2] J. Dupont, P. A. Z. Suarez, M. R. Meneghetti, and S. M. P. Meneghetti, "Catalytic production of biodiesel and diesel-like hydrocarbons from triglycerides," *Energy Environ Sci*, vol. 2, no. 12, pp. 1258–1265, 2009, doi: 10.1039/b910806h.
- [3] I. N. Simpen, I. N. Suprpta Winaya, I. G. A. Subagia, and I. W. Budiarsa Suyasa, "Solid Catalyst in Esterification and Transesterification Reactions for Biodiesel Production: A Review," *International Journal of Engineering and Emerging Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 168–174, 2020.
- [4] Catalysis Science, "Catalysis Science," pp. 1–152, 2017, [Online]. Available: <https://science.energy.gov/bes/community-resources/reports/>
- [5] I. M. Rizwanul Fattah *et al.*, "State of the Art of Catalysts for Biodiesel Production," *Front Energy Res*, vol. 8, no. June, pp. 1–17, 2020, doi: 10.3389/fenrg.2020.00101.
- [6] W. Andalia and I. Pratiwi, "PEMILIHAN KATALIS MENGGUNAKAN METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) PADA PROSES PEMBUATAN BIODIESEL REAKSI TRANSESTERIFIKASI," 2017.
- [7] D. Hoang, S. Bensaid, and G. Saracco, "Supercritical fluid technology in biodiesel production," *Green Processing and Synthesis*, vol. 2, no. 5, pp. 407–425, 2013, doi: 10.1515/gps-2013-0046.
- [8] M. H. Abdullah *et al.*, "Optimization of Esterification and

- Transesterification Process for Biodiesel Production from Used Cooking Oil," *Journal of Research and Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 207–216, 2021.
- [9] M. R. Yacob *et al.*, "Catalysis in Biodiesel Production by Tranesterification Process-An Insight," *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 9, no. 1, pp. 332–337, 1998, [Online]. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-50531998000300002&script=sci_arttext&tIng=en%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.02.008%0Ahttp://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878029615006532
- [10] H. Niawanti, "Helda Niawanti Review Perkembangan Metode Produksi dan Teknologi Pemurnian dalam Pembuatan Biodiesel REVIEW PERKEMBANGAN METODE PRODUKSI DAN TEKNOLOGI PEMURNIAN DALAM PEMBUATAN BIODIESEL DEVELOPMENT OF PRODUCTION METHOD AND PURIFICATION TECHNOLOGY IN MAKING BIODIESEL: A REVIEW," 2020.
- [11] D. Cole-hamilton, "Organometallic Chemistry for Homogeneous Catalysis Thanks to :".
- [12] H. Hatefi, M. Mohsennia, H. Niknafs, and A. Golzary, "Catalytic production of biodiesel from corn oil by metal-mixed oxides," *Pollution*, vol. 3, no. 4, pp. 679–688, 2017.
- [13] D. H. T. P. Dani, N. Ilminnafik, and A. Muhammad, "The Effect of Trans-esterification Process Using KOH Catalyst on the Characteristics of Biodiesel from Sterculia Foetida Seeds as Additional Fuel," *Jurnal Keteknik Pertanian*, vol. 10, no. 3, pp. 253–267, 2022, doi: 10.19028/jtep.010.3.253-267.
- [14] V. Mandari and S. K. Devarai, "Biodiesel Production Using Homogeneous, Heterogeneous, and Enzyme Catalysts via Transesterification and Esterification Reactions: a Critical Review," *Bioenergy Res*, vol. 15, no. 2, pp. 935–961, 2022, doi: 10.1007/s12155-021-10333-w.
- [15] H. Santoso, I. Kristianto, and A. Setyadi, "Making Biodiesel Using Heterogeneous Base Catalyst Made From Eggshell," *Disusun Oleh: Herry Santoso, ST, MTM, PhD Ivan Kristianto Aris Setyadi Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Katolik Prahayangan*, pp. 1–29, 2017.
- [16] M. K. Patil, A. N. Prasad, and B. M. Reddy, "Zirconia-Based Solid Acids: Green and Heterogeneous Catalysts for Organic Synthesis," *Curr Org Chem*, vol. 15, no. 23, pp. 3961–3985, 2011, doi: 10.2174/138527211798072430.
- [17] W. Nabgan *et al.*, "Sustainable biodiesel generation through catalytic transesterification of waste sources: A literature review and bibliometric survey," *RSC Adv*, vol. 12, no. 3, pp. 1604–1627, 2022, doi: 10.1039/d1ra07338a.
- [18] A. B. Ferreira, A. Lemos Cardoso, and M. J. da Silva, "Tin-Catalyzed Esterification and Transesterification Reactions: A Review," *ISRN Renewable Energy*, vol. 2012, pp. 1–13, 2012, doi: 10.5402/2012/142857.
- [19] R. M. Ali, "Preparation and Characterization of CaSO₄-SiO₂-CaO/SO₄²⁻ Composite for Biodiesel Production," *American Journal of Applied Chemistry*, vol. 3,

- no. 3, p. 38, 2015, doi: 10.11648/j.ajac.s.2015030301.16.
- [20] M. Tariq *et al.*, "Catalytic, biological and DNA binding studies of organotin(IV) carboxylates of 3-(2-fluorophenyl)-2-methylacrylic acid: Synthesis, spectroscopic characterization and X-ray structure analysis," *Polyhedron*, vol. 57, pp. 127–137, 2013, doi: 10.1016/j.poly.2013.04.026.
- [21] Y. C. Brito *et al.*, "Simultaneous conversion of triacylglycerides and fatty acids into fatty acid methyl esters using organometallic tin(IV) compounds as catalysts," *Appl Catal A Gen*, vol. 443–444, no. November 2012, pp. 202–206, 2012, doi: 10.1016/j.apcata.2012.07.040.
- [22] S. Sobhani, M. Pordel, and S. A. Beyramabadi, "New Catalyst for Biodiesel Formation: Synthesis, Structural Elucidation and Quantum Chemical Calculations of New Ni(II) Complexes," *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, vol. 40, no. 6, pp. 1757–1764, 2021, doi: 10.30492/ijcce.2020.113761.3733.
- [23] V. B. Lunardi *et al.*, "Efficient One-Step Conversion of a Low-Grade Vegetable Oil to Biodiesel over a Zinc Carboxylate Metal-Organic Framework," *ACS Omega*, vol. 6, no. 3, pp. 1834–1845, 2021, doi: 10.1021/acsomega.0c03826.
- [24] G. H. Abbas and N. Magfirah Ilyas, "A Review: Use of Heterogeneous Catalysts in Biodiesel Production," *Jurnal Chemica*, vol. 22, no. 2, pp. 99–107, 2021.
- [25] C. T. Oloyede *et al.*, "Synthesis of Biobased Composite Heterogeneous Catalyst for Biodiesel Production Using Simplex Lattice Design Mixture: Optimization Process by Taguchi Method," *Energies (Basel)*, vol. 16, no. 5, 2023, doi: 10.3390/en16052197.
- [26] M. M. Stalzer, M. Delferro, and T. J. Marks, "Supported Single-Site Organometallic Catalysts for the Synthesis of High-Performance Polyolefins," *Catal Letters*, vol. 145, no. 1, pp. 3–14, 2015, doi: 10.1007/s10562-014-1427-x.