



Analisis Sintesa Produk Dalam Proses Pengolahan *Fatty Acid Methyl Ester (Fame)* dari *Chlorella Sp.*

Damiano Anugerah Paskah dan Aditya Dharmawan

Politeknik Energi dan Mineral (PEM) Akamigas

Jl. Gajah Mada No.38, Cepu, 58315, Indonesia

ABSTRAK

Artikel Info:

Naskah Diterima:
18 Desember 2024

Diterima setelah
perbaikan:
22 Januari 2025

Disetujui terbit:
22 Januari 2025

Kata Kunci:

sintesa

mikroalgae chlorella sp

fatty acid methyl ester (FAME)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sintesa produk dalam proses pengolahan Fatty Acid Methyl Ester (FAME) dari mikroalga *Chlorella sp.* menggunakan metode esterifikasi dan transesterifikasi. Mikroalga *Chlorella sp.* digunakan sebagai bahan baku utama karena kandungan lipidnya yang tinggi, yang merupakan sumber potensial untuk produksi biodiesel. Proses sintesa Fatty Acid Methyl Ester (FAME) melibatkan dua tahap utama: tahap pertama, esterifikasi dengan katalis asam H_2SO_4 untuk mengurangi kandungan asam lemak bebas (FFA) dalam minyak mikroalga, dan tahap kedua, transesterifikasi dengan katalis basa KOH menggunakan metanol sebagai reaktan untuk mengkonversi trigliserida menjadi FAME. N-heksana digunakan sebagai pelarut untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi lipid dari mikroalga. Kondisi operasi rasio molar 1:6 antara minyak dan n-heksana menghasilkan konversi Fatty Acid Methyl Ester (FAME) yang optimal, konsentrasi katalis KOH dengan kemurnian 97% digunakan 1,5% dari berat feed sedangkan katalis H_2SO_4 digunakan 1% dari berat feed, dengan pelarut katalis methanol perbandingan molar 1:40 pada katalis H_2SO_4 dan 1:20 pada katalis KOH, dan waktu reaksi dioptimalkan untuk meningkatkan hasil konversi Fatty Acid Methyl Ester (FAME). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi katalis asam dan basa secara berurutan dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi efektif dalam meningkatkan kualitas dan kuantitas Fatty Acid Methyl Ester (FAME) yang dihasilkan.

ABSTRACT

This study aims to analyze the synthesis of products in the process of processing Fatty Acid Methyl Ester (FAME) from microalgae Chlorella sp. using esterification and transesterification methods. Chlorella sp. microalgae was used as the main raw material due to its high lipid content, which was a potential source for biodiesel production. The Fatty Acid Methyl Ester (FAME) synthesis process involves two main stages: the first stage, esterification with H_2SO_4 acid catalyst to reduce the free fatty acid (FFA) content in microalgae oil, and the second stage, transesterification with KOH base catalyst using methanol as a reactant to convert triglycerides into FAME. N-hexane was used as a solvent to improve the efficiency of lipid extraction from microalgae. Operating conditions of 1:6 molar ratio between oil and n-hexane resulted in optimal Fatty Acid Methyl Ester (FAME) conversion, KOH catalyst concentration with 97% purity was used 1.5% of feed weight while H_2SO_4 catalyst was used 1% of feed weight, with methanol catalyst solvent molar ratio of 1:40 on H_2SO_4 catalyst and 1:20 on KOH catalyst, and reaction time was optimized to increase Fatty Acid Methyl Ester (FAME) conversion yield. The results showed that the combination of acid and base catalysts sequentially in the esterification and transesterification process was effective in improving the quality and quantity of Fatty Acid Methyl Ester (FAME) produced.

© LPMGB - 2025

Korespondensi:

E-mail: aditya.dharmawan@gmail.com (Aditya Dharmawan)

PENDAHULUAN

Mikroalga *Chlorella sp.* merupakan salah satu jenis mikroalga yang berpotensi besar dalam produksi biodiesel, terutama *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). *Chlorella sp.* memiliki kandungan lipid yang cukup tinggi, berkisar antara 20-50% dari berat keringnya (Beal 2018). FAME merupakan komponen utama dalam produksi biodiesel yang diharapkan menjadi alternatif bahan bakar fosil yang lebih ramah lingkungan. FAME dari mikroalga berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 80% dibandingkan dengan diesel konvensional (Demirbas 2010).

Nutrisi dalam media pertumbuhan mikroalga juga memengaruhi kandungan lipid yang dihasilkan. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan nitrogen dan fosfor dalam media dapat meningkatkan produksi lipid hingga 50% (Ranjan 2016). Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan *Chlorella sp.* dan produksi lipidnya sangat diperlukan. Lipid dalam mikroalga umumnya berbentuk trigliserida, yang dapat dikonversi menjadi FAME melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Selain itu, *Chlorella sp.* juga memiliki keunggulan dalam sekuestrasi CO₂ yang dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan memanfaatkan *Chlorella sp.* sebagai sumber FAME, tidak hanya energi terbarukan yang dihasilkan, tetapi juga kontribusi terhadap perlindungan lingkungan dapat ditingkatkan (Razzak 2019).

Pengolahan lipid dari mikroalga menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) melibatkan beberapa tahapan, termasuk ekstraksi lipid, esterifikasi, transesterifikasi, dan pemurnian. Proses ekstraksi lipid dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti ekstraksi pelarut, ekstraksi dengan superkritikal CO₂, atau penggunaan enzim. Penggunaan pelarut organik seperti n-heksana dan etanol dapat meningkatkan hasil ekstraksi lipid dari *chlorella sp.* hingga 30%. Data ini menunjukkan bahwa pemilihan metode ekstraksi yang tepat sangat mempengaruhi efisiensi produksi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) (Liu 2013).

Pentingnya penelitian tentang mikroalga juga didorong oleh kebutuhan global akan sumber energi yang berkelanjutan. Permintaan energi global diperkirakan akan meningkat sebesar 30% dalam dua dekade mendatang. Dalam konteks ini, mikroalga, termasuk *chlorella sp.*, menawarkan solusi yang

berkelanjutan dan ramah lingkungan (Voice of IEA 2021).

Produksi *Fatty Acid Methyl Ester* di Indonesia didominasi berbahan baku kelapa sawit. Persaingan bahan baku kelapa sawit terjadi pada sektor pangan dan kebutuhan energi. Oleh karena itu perlu adanya pembaharuan energi yang tidak berdampak pada sektor lain (Chisti 2007).

Tabel 1
Perbandingan lahan dan produksi lipid (Chisti 2007).

Komoditas	Hasil Lipid (mass)	Area Lahan (ha)
Jagung	172	1540
Kedelai	446	594
Kanola	1190	223
Jarak	1892	140
Kelapa	2689	99
Kelapa sawit	5950	45
Mikroalga	136900	2

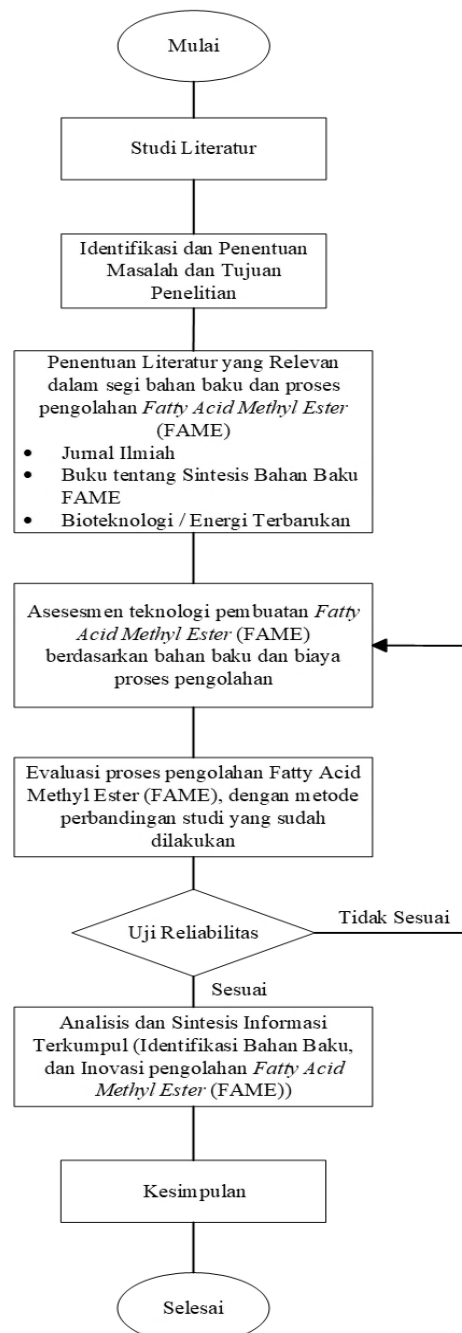
Berdasarkan tabel 1, mikroalga memiliki potensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan lain. Mikroalga dapat memproduksi biomassa dua kali lipat selama 24 jam dengan lahan yang relatif kecil. Kandungan minyak dalam biomassa kering mikroalga dapat mencapai 80% beratnya. Namun, secara umum dapat menghasilkan lipid 20-50%. Produktivitas lipid dan produktivitas biomassa harus sesuai. Produktivitas lipid adalah jumlah lipid yang dihasilkan per unit volume mikroalga per hari (hadiyanto dkk. 2010).

Indonesia adalah negara kepulauan dengan luas 7.81 juta km² terbesar di dunia. Sekitar 75% dari luas wilayah tersebut adalah perairan, sehingga memiliki potensi sumber daya laut yang lebih tinggi. Salah satu sumber daya laut yang belum dimanfaatkan secara maksimal adalah mikroalga. Mikroalga yang terdapat di perairan Indonesia dapat dikembangkan untuk produksi *Fatty Acid Methyl Ester* sehingga dapat membantu pasokan energi alternatif dalam negeri. Mikroalga merupakan sumber daya yang menjanjikan karena mengandung omega 3, pigmen alamiah, minyak. Mikroalga juga dapat digunakan sebagai agen pembersih asap CO₂ sehingga pemanasan global dan perubahan iklim dapat diturunkan dengan bertahap. Mikroalga dapat memfiksasi CO₂ (10-50) kali lebih efisien dibanding tumbuhan lainnya. Gas CO₂ yang terserap tiap gram mikroalga sebesar 0,638 gram (Wang dkk. 2014).

Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan teknologi produksi biodiesel dari mikroalga, khususnya *Chlorella sp.* Melalui analisis sintesa produk dan bahan baku penunjang yang mendalam mengenai proses sintesa produk ini dan faktor-faktor yang mempengaruhi, diharapkan dapat ditemukan formulasi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dalam produksi *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)*.

BAHAN DAN METODE

Metodologi penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sintesis produk *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* dari mikroalga dengan pendekatan perbandingan studi sebelumnya. Konsep produk sangat penting dalam mengembangkan produk baru atau meningkatkan yang sudah ada. Analisis mendalam terhadap aplikasi dan tren industri bioteknologi diperlukan untuk menciptakan produk *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* yang sesuai dengan kebutuhan pasar.



Gambar 1
Diagram alir metode penelitian

HASIL DAN DISKUSI

Teknologi proses pengolahan *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)*.

Fatty Acid Methyl Ester (FAME) adalah jenis *biofuel* generasi pertama yang dapat diproduksi melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi hingga *hydroprocessing*. Persamaan stoikiometri dan reaksi transesterifikasi membutuhkan satu mol trigliserida dan tiga mol alkohol untuk membentuk tiga mol *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* dan satu mol gliserol dengan bantuan katalis basa (Herizal & Rahman 2008). Esterifikasi dan transesterifikasi merupakan proses konversi yang relatif sederhana yang dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan sederhana. *Hydroprocessing* adalah istilah umum untuk beberapa proses yang mengubah minyak dan lemak menjadi bahan bakar *drop-in* yang dapat dicampur pada tingkat yang jauh lebih tinggi daripada FAME untuk digunakan pada kendaraan diesel konvensional (Tenny & Chelsea 2021).

Secara umum, diantara proses tersebut, katalisa esterifikasi dan transesterifikasi adalah yang paling banyak digunakan untuk produksi *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)*. Proses ini dapat menurunkan viskositas minyak yang tinggi dan meningkatkan angka *cetane* (Simbolon & Aisyah 2013). Di sisi lain, *hydroprocessing* membutuhkan investasi yang lebih besar dalam hal peralatan dan operasi, sehingga menghasilkan biaya yang lebih tinggi dan proses yang lebih kompleks.

Analisis Mikroalga *Chlorella Sp.* sebagai Bahan Baku Utama

Mikroalga adalah organisme tercepat di dunia dalam berfotosintesis dan spesiesnya yang mengandung lipid yang tinggi dapat menghasilkan *yield Fatty Acid Methyl Ester (FAME)*, hingga 200 kali lebih banyak dari tumbuhan pangan lainnya (Latief 2012).

Mikroalga yang akan dimanfaatkan harus melalui proses ekstraksi lipid yang dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti ekstraksi pelarut, ekstraksi superkritik, dan ekstraksi mekanik. Metode ekstraksi pelarut, yang paling umum digunakan, melibatkan penggunaan pelarut organik seperti n-heksana atau etanol. Penggunaan n-heksana sebagai pelarut dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi lipid hingga 90% (Liu 2020). Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan metode ekstraksi yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan hasil produksi *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)*.

Penting untuk mencatat bahwa kualitas *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh jenis mikroalga yang digunakan serta kondisi proses ekstraksi. Parameter seperti rasio molar antara minyak dan metanol, suhu, dan waktu reaksi perlu dioptimalkan untuk mencapai konversi yang maksimal. Rasio molar 1:6 (w/v) antara minyak dan n-heksana pada suhu 70°C selama 60 menit menghasilkan konversi *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* hingga 95% (Ghafoor 2021). Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan kondisi proses sangat krusial dalam sintesa *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* dari *Chlorella sp.*

Tabel 2
Spesifikasi mikroalga *Chlorella*

Mikroalga <i>Chlorella Sp.</i>	
Fase	Serbuk Kering
Kandungan FFA	4,2 %
Kandungan Trigliserida	3,2 %
Kandungan Protein	42,3 %
Kandungan Serat	0,4 %

Analisa Bahan Penunjang dalam Proses Pengolahan *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)*

Penggunaan katalis dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi sangat penting untuk meningkatkan laju reaksi dan efisiensi konversi lipid menjadi *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* hingga 95% (Zhang 2020). Katalis dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu katalis asam dan katalis basa. H_2SO_4 sebagai katalis asam digunakan untuk minyak dengan kadar asam lemak bebas yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya untuk mengatasi masalah pembentukan sabun yang sering terjadi ketika menggunakan katalis basa. Penggunaan H_2SO_4 dapat meningkatkan konversi trigliserida menjadi *Fatty Acid Methyl Ester (FAME)* hingga 98% pada minyak dengan kadar asam lemak bebas tinggi, ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis katalis yang tepat sangat mempengaruhi hasil akhir dari proses transesterifikasi (Ma & Hanna 1999).

Di sisi lain, Katalis KOH, yang merupakan katalis basa, umumnya digunakan dalam proses transesterifikasi minyak dengan kadar asam lemak bebas yang rendah. Kelebihan dari penggunaan KOH adalah reaksi yang lebih cepat dan efisien, serta produk yang dihasilkan memiliki kemurnian yang

lebih tinggi, dengan rasio molar yang paling optimal adalah 1,5 % dari berat feed/lipid dengan kemurnaan katalis KOH 97% (Fadhil 2020).

Pelarut katalis berupa methanol dengan formulasi optimal perbandingan molar 1:40 pada katalis H_2SO_4 pada proses esterifikasi dan 1:20 pada katalis KOH pada proses transesterifikasi kombinasi esterifikasi menggunakan katalis asam diikuti oleh transesterifikasi dengan katalis basa dilakukan untuk memaksimalkan konversi asam lemak bebas atau *Free Fatty Acid* (FFA) menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dan meminimalkan pembentukan sabun yang tidak diinginkan. Tahap esterifikasi katalitik asam, bertujuan untuk mengonversi *Free Fatty Acid* (FFA) menjadi ester terlebih dahulu. Tahap ini penting ketika bahan baku mengandung *Free Fatty Acid* (FFA) dalam konsentrasi tinggi, karena *Free Fatty Acid* (FFA) akan bereaksi dengan katalis basa, membentuk sabun yang menghambat reaksi dan mengurangi hasil *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) (Bafakeeh 2022).

Secara keseluruhan, pemilihan katalis yang tepat dan pemahaman tentang mekanisme reaksi transesterifikasi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan produksi biodiesel. Dengan terus melakukan penelitian dan pengembangan dalam bidang ini, diharapkan dapat ditemukan solusi yang lebih baik untuk memenuhi kebutuhan energi terbarukan di masa yang akan datang (Fadhil 2020).

Tabel 3
Spesifikasi katalis

Spesifikasi	H_2SO_4	KOH
Fase	Cair	Padat
Rumus molekul	H_2SO_4	KOH
Berat molekul	98 kg/gmol	56 kg/gmol
Warna	Jernih tidak berwarna	Padat putih
Kelarutan	Larut dalam air	Larut dalam ai
Titik didih	274°C	1327°C
Densitas	1,8567 gram/cm ³	2,044 gram/cm ³
Viskositas	18 cP	161,424 cP

Metanol dan n-heksana merupakan bahan penunjang yang krusial dalam proses produksi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dari mikroalga seperti *Chlorella sp.* n-heksana sebagai pelarut dalam proses ekstraksi lipid dari *Chlorella sp.* juga memiliki peran yang signifikan. N-heksana dikenal sebagai pelarut

yang efisien dalam mengekstraksi lipid karena sifatnya yang non-polar. Penggunaan n-heksana dalam proses ekstraksi dapat meningkatkan efisiensi hingga 90%, yang menunjukkan bahwa pemilihan pelarut yang tepat dapat mempengaruhi hasil ekstraksi lipid secara signifikan (Zhang 2019).

Penggunaan n-heksana juga memiliki beberapa tantangan, termasuk masalah keamanan dan dampak lingkungan. N-Heksana merupakan senyawa yang mudah menguap dan dapat berbahaya jika terpapar dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan praktik keselamatan yang baik selama proses ekstraksi dan mempertimbangkan alternatif pelarut yang lebih ramah lingkungan. Beberapa penelitian telah mengeksplorasi penggunaan pelarut alternatif seperti etanol dan metanol, yang menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam ekstraksi lipid, namun masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan efisiensinya (Liu 2020).

Di sisi lain, methanol sebagai alkohol yang digunakan dalam proses transesterifikasi, berfungsi untuk mengkonversi trigliserida menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). Penggunaan metanol dalam proses ini sangat umum karena biayanya yang relatif rendah dan ketersediaannya yang melimpah. Menurut data dari International Energy Agency (IEA), methanol dapat diproduksi dari berbagai sumber, termasuk gas alam dan biomassa, sehingga menjadikannya pilihan yang berkelanjutan untuk produksi biodiesel (Voice of IEA 2021).

Rasio molar antara minyak dan methanol juga sangat mempengaruhi efisiensi proses transesterifikasi. Rasio molar 1:6 antara minyak dan n-heksana menghasilkan konversi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang optimal. Jika rasio ini terlalu rendah, maka akan menghasilkan produk yang tidak sepenuhnya terkonversi, sedangkan rasio yang terlalu tinggi dapat meningkatkan biaya produksi tanpa memberikan manfaat yang signifikan. Oleh karena itu, pengaturan rasio yang tepat sangat penting untuk mencapai efisiensi yang maksimal (Ghafoor 2021).

Secara keseluruhan, methanol dan n-heksana sebagai bahan penunjang dalam proses produksi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dari *Chlorella sp.* memainkan peran yang sangat penting. Memahami interaksi antara bahan-bahan ini dan proses yang terlibat dapat membantu dalam mengoptimalkan produksi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dari *Chlorella sp.* yang efisien dan berkelanjutan.

Tabel 4
Spesifikasi bahan penunjang

Spesifikasi	Methanol	N-Heksana
Fase	Cair	Padat
Rumus molekul	CH ₃ OH	C ₆ H ₁₄
Berat molekul	32 kg/gmol	86,18 kg/gmol
Warna	Jernih	Jernih
Kelarutan	Larut dalam air	Larut dalam air
Titik didih	64,85°C	69°C
Densitas	0,8091 gram/cm ³	0,6548 gram/cm ³
Viskositas	0,3846 cP	0,294 cP

Hasil penelitian

Dalam proses pembuatan *Fatty acid methyl ester* (FAME), minyak nabati direaksikan dengan alkohol rantai pendek, (umumnya methanol) dengan adanya katalis (umumnya natrium atau kalium hidroksida) untuk membentuk *Fatty acid methyl ester* (FAME) dan gliserin. Gliserin adalah gula, dan merupakan produk samping dari proses pengolahan *fatty acid methyl ester* (FAME) (Puppung 2007). Proses pengolahan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dari mikroalga, khususnya *Chlorella sp.*, telah banyak diteliti dengan berbagai pendekatan teknologi proses. Salah satu metode yang paling umum digunakan adalah esterifikasi dan transesterifikasi, yang melibatkan konversi trigliserida menjadi metil ester dan gliserol. Penggunaan katalis pada proses esterifikasi dan transesterifikasi dapat meningkatkan *yield Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) hingga 95% pada kondisi yang optimal (Zang 2020). Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan katalis yang tepat sangat mempengaruhi efisiensi proses.

Di sisi lain, penggunaan H₂SO₄ sebagai katalis dalam esterifikasi juga menunjukkan hasil yang menjanjikan, terutama ketika kadar asam lemak bebas dalam minyak tinggi. Penggunaan H₂SO₄ dapat meningkatkan konversi asam lemak bebas menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) hingga 90% dalam waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan metode konvensional menggunakan katalis asam yang lain (Alhassan 2021). Hasil ini menunjukkan bahwa proses esterifikasi dengan katalis asam dapat menjadi solusi untuk minyak dengan kadar asam lemak bebas atau *Free Fatty Acid* (FFA) yang tinggi, yang sering kali menjadi tantangan dalam produksi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) (Mekhloufi 2019).

Keuntungan penggunaan kedua metode ini menunjukkan KOH efektif untuk menghasilkan trigliserida, serta H₂SO₄ memiliki keunggulan dalam

mengatasi asam lemak bebas. Kombinasi kedua metode ini dalam suatu proses berurutan dapat meningkatkan hasil total *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME), serta mengurangi limbah yang dihasilkan selama proses (Bafakeeh 2022). Hal ini membuka peluang untuk pengembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dalam produksi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dengan pelarut katalis methanol perbandingan molar 1:40 pada katalis H₂SO₄ pada proses esterifikasi dan 1:20 pada katalis KOH pada proses transesterifikasi.

Selain itu, penting untuk mempertimbangkan aspek keberlanjutan dalam produksi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dari mikroalga. Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan mikroalga seperti *Chlorella sp.* bukan hanya dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga dapat berkontribusi pada pengelolaan limbah dan pemanfaatan sumber daya yang lebih efisien. Dengan memanfaatkan limbah organik sebagai media pertumbuhan mikroalga, kita dapat menciptakan siklus yang lebih berkelanjutan dalam produksi *biofuel* (Mata 2019).

Analisis proses pengolahan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dari *Chlorella sp.* menunjukkan potensi yang besar dalam pengembangan *biofuel* yang lebih bersih dan berkelanjutan. Dengan memanfaatkan teknologi yang ada dan mengoptimalkan penggunaan katalis seperti H₂SO₄ dan KOH, kita dapat meningkatkan efisiensi produksi dan kualitas *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME), serta mendukung transisi menuju energi terbarukan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam analisis sintesa produk proses pengolahan *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dari *Chlorella sp.*, dengan menggunakan proses esterifikasi dan transesterifikasi dapat disimpulkan bahwa mikroalga ini memiliki potensi yang besar menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) sebagai sumber bahan biodiesel. Kandungan lipid yang tinggi, kemampuan penyerapan CO₂, dan proses ekstraksi yang efisien menjadikan *Chlorella sp.* pilihan yang menarik untuk produksi energi terbarukan. Pemilihan katalis yang tepat, baik H₂SO₄ maupun KOH, juga sangat mempengaruhi efisiensi proses transesterifikasi. Selain itu, penggunaan methanol dan n-heksana sebagai bahan penunjang memiliki dampak signifikan terhadap hasil akhir produk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan masukan dan juga membimbing selama proses penelitian ini. Penghargaan juga disampaikan kepada pihak laboratorium dan institusi terkait atas fasilitas dan dukungan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR ISTILAH

Simbol	Definisi	Unit
Biofuel	Bahan bakar yang berasal dari biomassa, yaitu materi organik seperti tanaman, alga, dan limbah organik	
CO ₂	Karbon Dioksida	
FAME	<i>Fatty Acid Methyl Ester</i> , bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari minyak nabati melalui proses transesterifikasi	
H ₂ SO ₄	Asam Sulfat	
KOH	Kalium Hidroksida	
Lipid	Lipid adalah kelompok molekul alami yang meliputi lemak (monogliserida, digliserida, trigliserida, fosfolipid, dan lain-lain).	
Trigliserida	Komponen utama yang membentuk minyak dan lemak. Trigliserida terdiri dari satu molekul gliserol yang terikat pada tiga molekul asam lemak.	
Yield	Hasil konversi minyak nabati menjadi metil ester dalam proses transesterifikasi	

DAFTAR PUSTAKA

- Alhassan, 2021, "Utilization of H_2SO_4 for esterification of high free fatty acid feedstock: A review". *Renewable Energy*, 163, 154-165.
- Bafakeeh, O.T., 2022, "Sequential process for biodiesel production from high FFA feedstocks:

A review". *Journal of Cleaner Production*, 330, 129850.

- Beal, C. M., 2018, "The Potential of Microalgae for Biofuels". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1-14.
- Chisti, Y., 2007, "Biodiesel from Microalgae", *Biotechnology Advances* 25:294-306.
- Demirbas, A., 2010, "Biodiesel from vegetable oils via transesterification in supercritical methanol". *Energy Conversion and Management*, 51(6), 1255-1260.
- Erinto Simbolon and Lies Aisyah, 2013, "Palm Oil Biodiesel: Challenges, Risks and Opportunities for Reducing and Replacing the Non-Renewable Fossil Fuel Dependancy – A Review". *Scientific Contributions Oil & Gas*, Vol 36, No 1.
- Fadhil, M.A., 2020, "Esterification of Free Fatty Acids in Waste Cooking Oil with Sulfuric Acid". *Journal of Cleaner Production*, 244, 118-126.
- Ghafoor, K., 2021, "Optimization of Biodiesel Production from *Chlorella vulgaris*". *Energy Reports*, 7, 203-215.
- Hadiyanto, Samijan Istiyanto, Kumoro Andri Cahyo and Silviana., 2010, "Produksi Mikroalga Berbiomasa Tinggi dalam Bioreaktor Open Pond". *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*: Yogyakarta.
- Heri Herizal & Maizar Rahman, 2008 "Optimization of Transesterification Palm Oil to Biodiesel with NaOH Catalyst". *Lembar Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, Vol 42 No 3.
- Latief, M., 2012, "Pulsed Ultrasound-Assisted Solvent Extraction Of Oil From Soybeans And Microalgae". *Department of Bioresource Engineering, McGill University Montreal, Canada*.
- Liu, Y., 2013, "Extraction of lipids from microalgae using supercritical CO₂". *Bioresource Technology*, 129, 31-36.
- Liu, Y., 2020, "Extraction of Lipids from Microalgae: A Review". *Bioresource Technology*, 299, 122-135
- Ma, F., & Hanna, M. A., 1999, "Biodiesel Production: A Review". *Bioresource Technology*, 70(1), 1- 15.

- Mata, T. M., 2019, "Microalgae for biodiesel production and other applications: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 1-12.
- Mekhloufi., 2019, "Transesterification of Oils: A Review." *Renewable Energy*, 143, 125-143.
- Pallawagu La pupping, 2007, "Biodiesel as A Lubricity Adiitive for Diesel Fuel". *Scientific Contributions Oil & Gas*, Vol 30, No 2.
- Ranjan, R., 2016, "Influence of nitrogen and phosphorus on the growth and lipid accumulation of *Chlorella* sp.". *Journal of Applied Phycology*, 28(4), 2329-2336.
- Razzak, S. A., 2019, "Microalgae for CO₂ Sequestration and Biofuel Production." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109244.
- Tenny K. and Chelsea B., 2021, "Jalur produksi bahan bakar nabati (biofuel) potensial di Indonesia: Gambaran umum tentang proses, bahan baku, dan jenis bahan bakar". *ICCT Briefing*.
- Voice of IEA., 2021, "World Energy Outlook 2021". *International Energy Agency*.
- Wang, H, Yang, X, Ou, X., 2014, "A Study on Future Energy Consumption and Carbon". *Emissions of China's Transportation Sector: Low Carbon Economy* 5(4): 133-138
- Zhang, Y., 2019, "Biodiesel Production from Microalgae: A Review". *Bioresource Technology*, 291, 121-130.
- Zhang, Y., 2020, "Optimization of biodiesel production from *Chlorella vulgaris* using KOH as catalyst." *Energy Conversion and Management*, 223, 113257.