

## Pengaruh Metanol dalam Produksi Biodiesel dari *Tamanu Oil* Menggunakan Katalis Lipase

Martha Aznury<sup>a\*</sup>, Ahmad Zikri<sup>a</sup>, Robert Junaidi<sup>a</sup>, Marieska Lupikawaty<sup>b</sup>, Chintia Oktariyensi<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya,  
Jl. Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang, Indonesia

<sup>b</sup>Jurusan Administrasi Bisnis, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang, Indonesia

Diterima : .9 Mei 2022 Revisi akhir : 23 Juni 2022 Disetujui terbit : 29 Juni 2022

### *Effect of Methanol in Biodiesel Production from Tamanu Oil using Lipase Catalyst*

#### Abstract

*Biodiesel is a fuel derived from renewable sources that could be used efficiently in petrodiesel engines. The raw material used is tamanu oil by comparing to methanol and catalyzed by lipase enzymes. Biodiesel production through the transesterification process with methanol reactant and alkaline catalyst has many weaknesses are as saponification reactions, and is difficult to separate because the catalyst is homogeneous. Another alternative is the presence of enzymes developed as catalysts which have the advantage of having specific activity and are easy to separate because the catalyst is heterogeneous. This study aims to determine the effect of methanol on the raw material of tamanu oil catalyzed by lipase. The method used is to compare the concentration of methanol in the raw material of tamanu oil which will be catalyzed by lipase. The results of this study showed that tamanu oil was successfully converted into biodiesel with the optimum oil: methanol molar ratio of 1:5 and obtained a yield percentage of 87.67% with a methyl ester content of 97.37%.*

*Keywords: biodiesel, lipase, tamanu oil, transesterification*

#### Abstrak

Biodiesel adalah bahan bakar yang berasal dari sumber terbarukan yang dapat digunakan secara efisien pada mesin petrodiesel. Bahan baku digunakan adalah *tamanu oil* dengan membandingkan methanol dan dikatalisis oleh enzim lipase. Produksi biodiesel melalui proses transesterifikasi dengan reaktan metanol dan katalis basa memiliki banyak kelemahan yaitu terjadinya reaksi penyabunan dan sulit dipisahkan karena katalisnya homogen. Alternatif lain adalah enzim sebagai katalis yang memiliki keunggulan yaitu aktivitas spesifik dan mudah dipisahkan karena katalisnya heterogen. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh metanol dengan bahan baku dari *tamanu oil* dikatalisis oleh lipase. Metode yang digunakan adalah perbandingan konsentrasi metanol pada bahan baku *tamanu oil* yang dikatalisis oleh lipase. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *tamanu oil* berhasil dikonversi menjadi biodiesel dengan rasio molar minyak : metanol optimum adalah 1:5 dan persentase *yield* sebesar 87,67% dengan kadar metil ester sebesar 97,37%.

Kata Kunci: biodiesel, lipase, *tamanu oil*, transesterifikasi

## **Pendahuluan**

Energi fosil khususnya minyak bumi, merupakan sumber energi utama dan sumber devisa negara. Namun demikian, cadangan minyak bumi yang dimiliki Indonesia jumlahnya terbatas. Sementara itu, kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Oleh karena itu, penggunaan bahan bakar alternatif sangat diperlukan sebagai bentuk jaminan terhadap penggunaan energi, kepedulian terhadap lingkungan, dan untuk alasan sosio-ekonomi lainnya. Meningkatnya harga minyak dan menipisnya cadangan minyak mengharuskan adanya penggunaan energi alternatif untuk mengganti bahan bakar fosil, salah satunya adalah biodiesel (Gashaw and Teshita, 2014)

Salah satu sumber energi alternatif yaitu biodiesel, telah menjadi perhatian peneliti di seluruh dunia hingga saat ini. Biodiesel adalah sejenis bahan bakar yang diproses dari sumber yang dapat diperbarui umumnya minyak tumbuhan dan lemak hewan. Keberadaan biodiesel memiliki peranan yang sangat penting dalam upaya penghematan ataupun sebagai substitusi bahan bakar konvensional solar. Beberapa keutamaan biodiesel untuk terus dikembangkan hingga saat ini antara lain memiliki sifat *biodegradable*, tidak mencemari lingkungan, keberlanjutan yang tinggi, diperoleh dari sumber yang dapat diperbarui karena biodiesel dapat diproduksi dari bahan pertanian, perkebunan ataupun peternakan, rendah emisi gas buang secara keseluruhan, tidak mengandung sulfur, mempunyai titik nyala yang unggul dan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi, dan membuka peluang ditemukannya pasar baru untuk produksi hasil pertanian (Thanh *et al.*, 2012).

Salah satu minyak nabati yang berpotensi untuk dijadikan bahan baku biodiesel adalah *Tamanu oil* yang berasal dari tanaman nyamplung. Tanaman nyamplung adalah tumbuhan liar yang cukup banyak tumbuh di Indonesia, tepatnya tumbuh di sekitar pantai. Beberapa keunggulan biodiesel yang dihasilkan dari nyamplung adalah rendemen minyak nyamplung tergolong tinggi dibandingkan jenis tanaman lain seperti jarak pagar 40-60%, Sawit 46-54 %, dan Nyamplung 40-73 % (Syakir and Elna, 2013). Minyak biji nyamplung merupakan sumber daya energi terbarukan yang cukup potensial sebagai bahan

dasar biodiesel tanpa harus bersaing dengan kebutuhan pangan. Salah satu cara untuk mengkonversi *tamanu oil* menjadi biodiesel adalah melalui reaksi transesterifikasi.

Transesterifikasi adalah proses alkoholisis dari trigliserida yang menghasilkan campuran antara alkil ester (biodiesel) dengan gliserol yang dipisahkan dan dihilangkan sehingga dapat menghasilkan produk yang memiliki spesifikasi yang sama dengan solar (Lopresto *et al.*, 2015). Gliserol merupakan hasil samping pembuatan biodiesel. Gliserol adalah senyawa gliserida yang paling sederhana, gliserol tidak berwarna, tidak berbau, dan berupa cairan kental yang dapat digunakan sebagai bahan farmasi. Transesterifikasi diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu dengan menggunakan kimia atau enzim. Reaksi transesterifikasi secara kimiawi dapat dilakukan dengan menggunakan katalis basa ataupun asam. Akan tetapi, banyak kerugian yang didapatkan dengan menggunakan metode kimia. Beberapa diantaranya adalah konsumsi energi yang tinggi dan kesulitan dalam reaksi transesterifikasi dengan kandungan asam lemak bebas yang tinggi sedangkan dengan menggunakan katalis enzim, konsumsi energi yang rendah dan memproduksi sedikit limbah. Menurut Rachmadona *et al.*, (2017), reaksi enzim sangat *sensitive* terhadap kandungan air di dalam bahan baku. Lipase akan tidak aktif juga jika direaksikan dengan dengan methanol yang berkonsentrasi tinggi sehingga dalam prosesnya penambahan methanol dilakukan secara bertahap.

Lipase adalah enzim hidrolitik yang sekaligus mempunyai esterase sehingga dapat digunakan untuk produksi alkil ester dengan bahan baku trigliserida dan alkohol. Lipase sebagai katalis mampu mengarahkan reaksi secara spesifik kearah produk lalu pemisahannya mudah karena merupakan katalis heterogen (Istiningrum *et al.*, 2018). Meskipun memiliki beberapa keunggulan, harga enzim yang mahal serta tidak bisa di pakai berulang karena sifat enzim yang larut dalam media cair merupakan kelemahan dari katalis enzim.

Beberapa penelitian mengenai penggunaan lipase pada produksi biodiesel telah banyak dilakukan, pada penelitian Istiningrum *et al.* (2018) menyebutkan bahwa pada penelitian mereka menggunakan enzim lipase dari bekatul sebanyak 1 mL dengan rasio molar optimum sebesar 1:6 menghasilkan rendemen biodiesel belum optimal yaitu hanya mencapai 65,86%.

Rachmadona *et al.* (2017) menggunakan lipase *Thermomyces lanuginosus* sebagai katalis dengan rasio molar metanol : minyak sebesar 4:1 dengan menghasilkan biodiesel tertinggi yaitu 81,87%, kecepatan pengadukan 500 rpm dengan suhu reaksi 30°C dan reaksi waktu 24 jam. Pada penelitian Kurniawan *et al.* (2014) juga menggunakan enzim lipase dengan perbandingan minyak dengan metil asetat sebesar 1:12 dengan komposisi enzim 3% yang dilakukan pada suhu 37°C dengan putaran 150 rpm selama 50 jam yang menghasilkan biodiesel dengan konsentrasi 4,35 mol/L.

### Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan pada penelitian antara lain *tamanu oil*, lipase, metanol, dan akuades. *Tamanu oil* sebanyak 100 gr, dicampur dengan metanol dengan rasio mol minyak - metanol 1:3 dan 1:5 ke dalam lima buah Erlenmeyer. Penambahan metanol dilakukan secara bertahap karena jika direaksikan dengan metanol yang berkonsentrasi tinggi akan menyebabkan lipase tidak aktif. Penambahan lipase ke dalam Erlenmeyer dengan variasi 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Campuran tersebut dipanaskan pada suhu konstan 37°C dan pengadukan konstan 150 rpm selama 24 jam. Setelah 24 jam, hasil produk yang terbentuk kemudian dilakukan pemisahan sehingga didapatkan produk untuk dilakukan analisis.

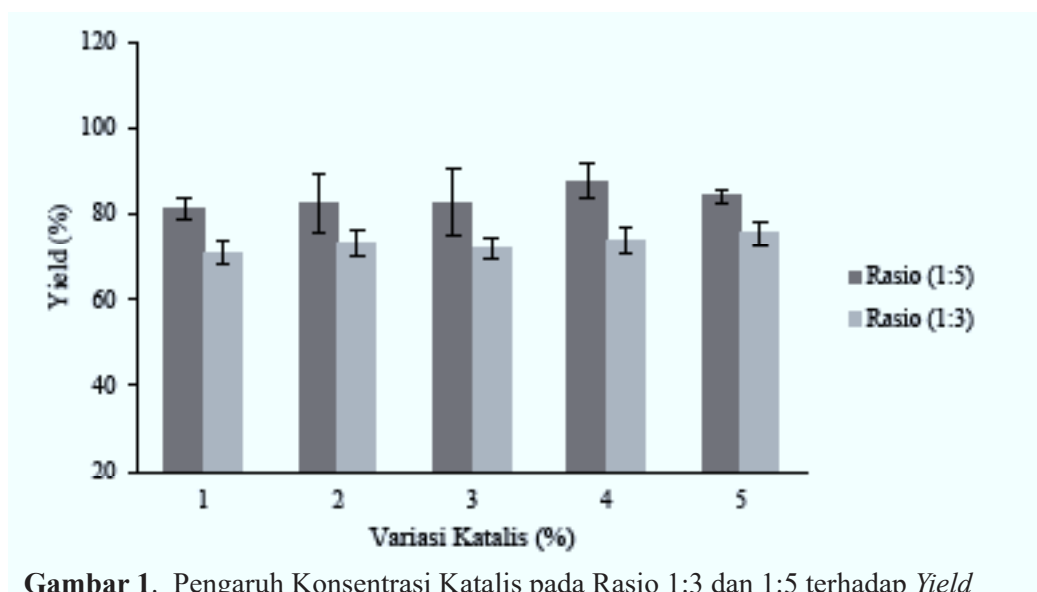
Analisis densitas, viskositas, Iodine, bilangan safonifikasi, dan bilangan setana, menggunakan

Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015 – Biodiesel. Analisis *yield* ditentukan sesuai dengan Rachmadona *et al.* (2017) dengan persamaan dari massa produk yang diperoleh dibagi masa total minyak dikali 100%. Analisis biodiesel menggunakan GC-MS untuk mengetahui jumlah kadar metil ester dalam biodiesel (Muderawan and Daiwataningsih, 2016).

### Hasil dan Pembahasan

#### Pengaruh Konsentrasi Katalis Terhadap *Yield*

**Gambar 1** menunjukkan bahwa *yield* terendah terdapat pada rasio 1:5 dengan konsentrasi katalis 1% sebesar 81,33%, untuk rasio 1:3 didapatkan penurunan sebesar 10,33% sehingga dari rasio 1:3 didapatkan *yield* sebesar 71,00%. *Yield* tertinggi diperoleh pada katalis 4% dengan rasio 1:5 sebesar 87,67%. Pada rasio 1:3 didapat *yield* tertinggi pada katalis 5% sebesar 75,50%. Hal ini dapat menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio mol reaktan minyak : metanol maka semakin besar pula *yield* biodiesel. Dengan menggunakan metanol berlebih, reaksi dapat digeser ke kanan (kearah pembentukan produk) untuk memberikan konversi yang maksimal. Hal ini karena penggunaan berlebihan salah satu reaktan meningkatkan kemungkinan tumbukan antarmolekul reaktan sehingga meningkatkan laju reaksi (Dharsono *et al.*, 2013). Rasio mol metanol: minyak juga berpengaruh terhadap distribusi katalis diantara lapisan alkil ester dan gliserol. Rasio mol metanol: minyak 3:1, katalis



**Gambar 1.** Pengaruh Konsentrasi Katalis pada Rasio 1:3 dan 1:5 terhadap *Yield*

lebih tertarik kedalam gliserol, sedangkan dengan penggunaan metanol berlebih, katalis akan terdistribusi merata dalam lapisan alkil ester dan gliserol (Ristianingsih *et al.*, 2015).

### Pengaruh Jumlah Katalis Dan Rasio Metanol Terhadap Densitas Produk Biodiesel

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015 mengenai standar biodiesel memiliki rentang densitas sebesar 850 - 890 kg/m<sup>3</sup>, dan pada penelitian ini diperoleh hasil densitas biodiesel berkisar 853 - 918 kg/m<sup>3</sup> yang berarti bahwa hasil uji densitas pada penelitian ini telah memenuhi SNI, namun masih terdapat yang melebihi batas SNI seperti disajikan pada **Gambar 2**.

Jika densitas biodiesel melebihi persyaratan maka akan terjadi reaksi yang tidak sempurna dalam proses konversi minyak, biodiesel dengan kualitas seperti ini tidak boleh digunakan untuk mesin diesel karena akan meningkatkan kelelahan mesin, menghasilkan gas buang dan merusak mesin (Suleman *et al.*, 2019). Jika nilai densitas tidak memenuhi SNI maka akan menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna, meningkatkan emisi dan membuat mesin haus (Ristianingsih *et al.*, 2015).

### Pengaruh Jumlah Katalis dan Rasio Metanol Terhadap Nilai Viskositas

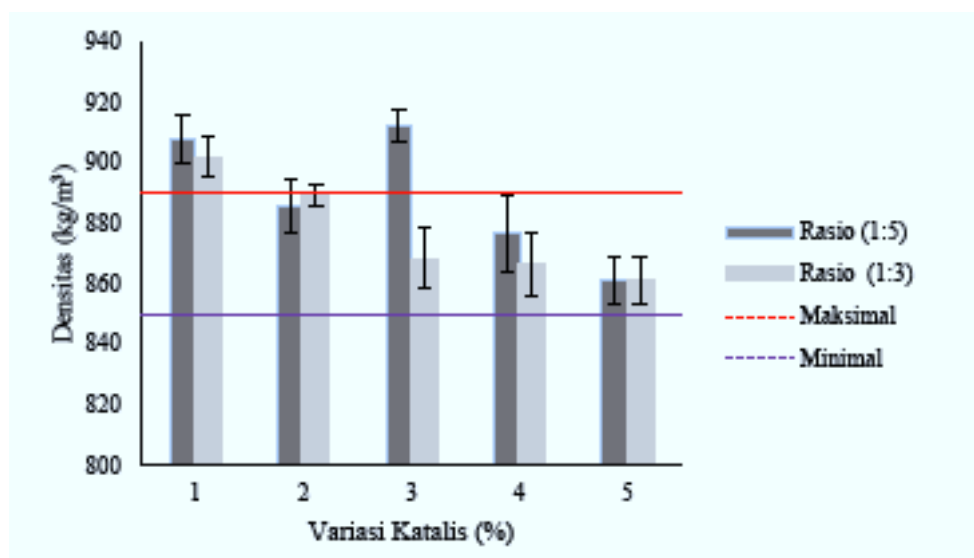
Pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan alat viskometer digital yang ada di laboratorium, yang bertujuan untuk mengetahui

besar nilai kekentalan dari sampel yang dihasilkan. Berdasarkan hasil yang didapatkan dimana nilai dari seluruh sampel berkisar 3,48-4,89 cSt (**Gambar 3**).

Jika dibandingkan dengan standar bahan bakar solar (1,6 – 5,8 cSt), biodiesel ini dari viskositas masuk dalam standar yang ditetapkan sehingga biodiesel ini dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti solar. Jika viskositas terlalu rendah akan menyebabkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar, dan jika terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat injektor dan menyulitkan penyalaan bahan bakar. Namun jika terlalu tinggi dapat menyebabkan bahan bakar diinjeksikan terlalu cepat dan mempersulit proses nebulisasi bahan bakar (Rezeika *et al.*, 2018).

### Pengaruh Jumlah Katalis dan Rasio Metanol Terhadap Angka Saponifikasi

Angka penyabunan yang tertinggi didapat pada rasio minyak : metanol 1:3 dengan katalis 1% mendapatkan angka penyabunan 228,01. Sedangkan untuk angka penyabunan rasio 1:5 didapatkan angka yang tertinggi pada katalis 1% dengan angka 168,45 seperti disajikan pada **Gambar 4**. Bilangan penyabunan dari seluruh sampel tidak melebihi batas maksimal SNI. Angka penyabunan ini menunjukkan bahwa sabun yang terbentuk pada proses saponifikasi mengandung asam-asam lemak rantai panjang dengan berat molekul yang besar (Simanullang, 2015).



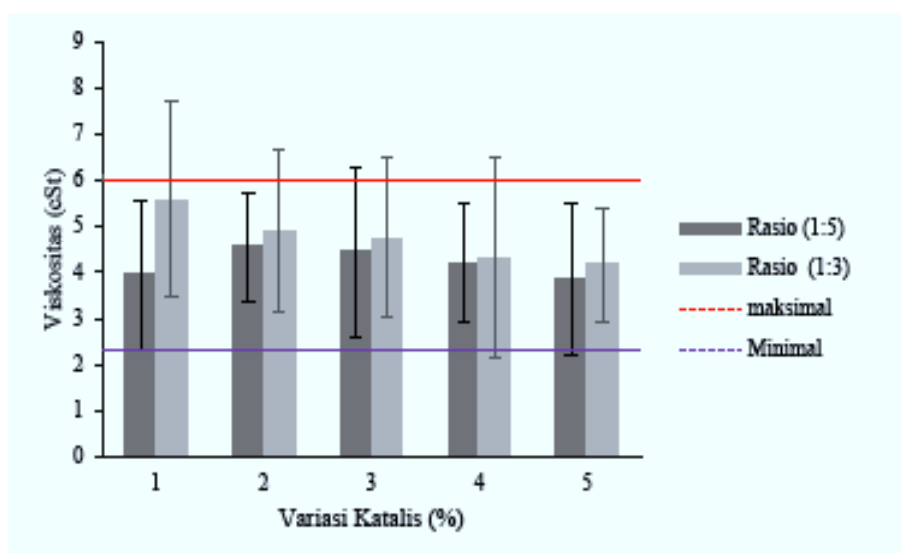
**Gambar 2.** Pengaruh Jumlah Katalis dan Rasio Metanol terhadap Densitas Produk Biodiesel

### Pengaruh Jumlah Katalis dan Rasio Metanol Terhadap Bilangan Iodine

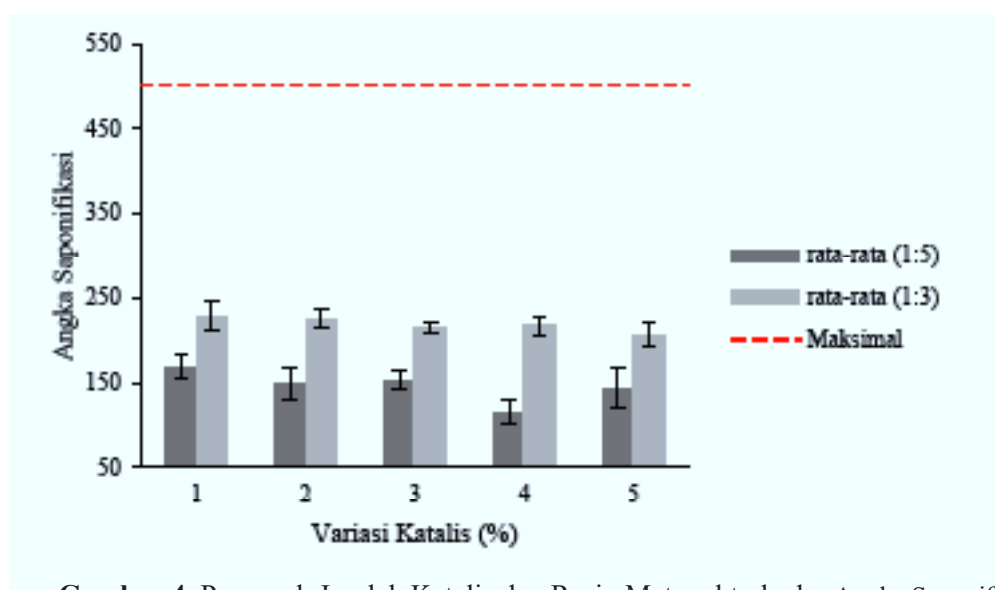
Hasil analisis pada **Gambar 5** menunjukkan bahwa bilangan iodine sebesar 59,64 – 85,02. Bilangan yang terlalu tinggi merupakan karakteristik yang tidak menguntungkan untuk bahan bakar. Minyak yang mengandung sejumlah besar asam lemak tak jenuh (dengan ikatan rangkap) mudah teroksidasi ketika minyak terkena oksigen. Sebuah karbon dengan ikatan rangkap ( $\pi$ ) dengan karbon lain akan berikatan dengan oksigen lebih elektrogenatif. Hal ini karena oleh sifat ikatan  $\pi$  yang kurang stabil, sehingga lebih rentan terhadap serangan atom atau molekul asing (Adhani *et al.*, 2016).

### Pengaruh Jumlah Katalis dan Rasio Metanol Terhadap Angka Setana

Kualitas penyalaan, ketika nilai angka setana rendah, dibutuhkan suhu yang sangat tinggi untuk menyala. Disisi lain, ketika angka setana tinggi, titik penyalaan otomatis yang lebih rendah diperlukan, sehingga angka setana yang lebih tinggi akan mengurangi jumlah ledakan dalam mesin. Angka setana hasil penelitian disajikan pada **Gambar 6**. Angka setana tertinggi yaitu 74,58 yang dihasilkan pada penggunaan katalis 4% dengan rasio metanol 1:5. Angka terendah didapatkan pada katalis 1% dengan rasio metanol 1:3 dengan angka setana 53,08. Nilai-nilai tersebut telah memenuhi SNI. Semakin tinggi angka setana, semakin cepat pembakaran semakin baik efisiensi termodinamisnya.



**Gambar 3.** Pengaruh Jumlah Katalis dan Rasio Metanol terhadap Nilai Viskositas



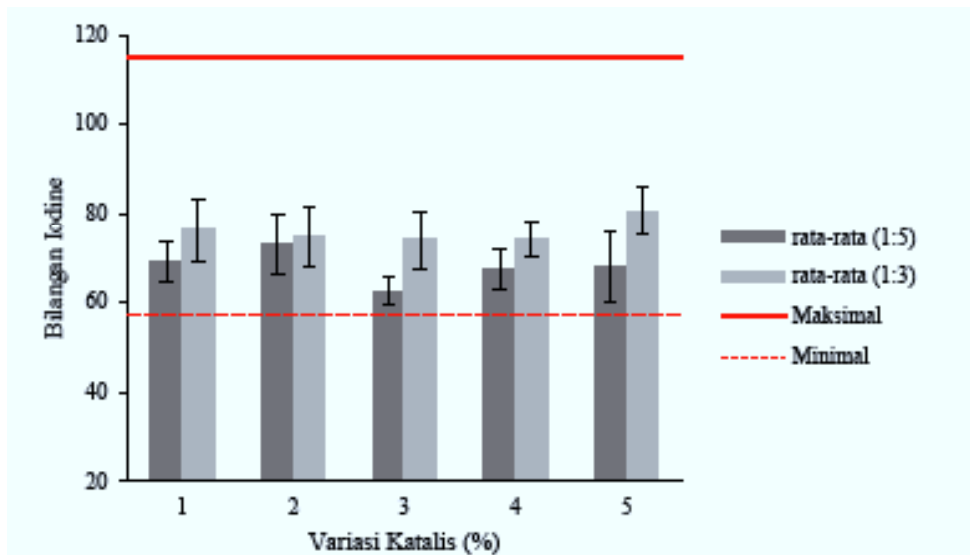
**Gambar 4.** Pengaruh Jumlah Katalis dan Rasio Metanol terhadap Angka Saponifikasi

### Analisis GC-MS

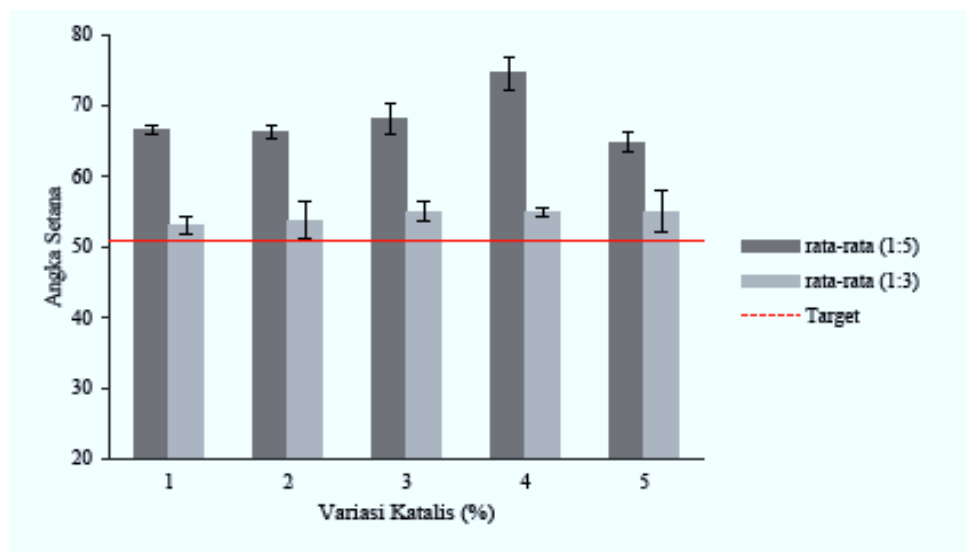
Biodiesel hasil dari reaksi transesterifikasi dengan nilai *yield* tertinggi juga dianalisis kandungan metil ester dengan menggunakan Gas Chromatography Mass Spectroscopy (GC-MS). Metode GC ini juga mampu memberikan informasi turunan asam lemak dalam sampel, metode analisis *Massa Spectroscopy* (MS) digunakan untuk menentukan fragmentasi asam lemak jenuh dan tak jenuh, dan letak ikatan rangkap jenis asam lemak (Ningtyas, 2013).

Analisis GC-MS pada metil ester hasil reaksi transesterifikasi menunjukkan jumlah dan jenis ester yang berbeda. Hal ini ditandai dengan adanya 8 puncak-puncak senyawa ester yang

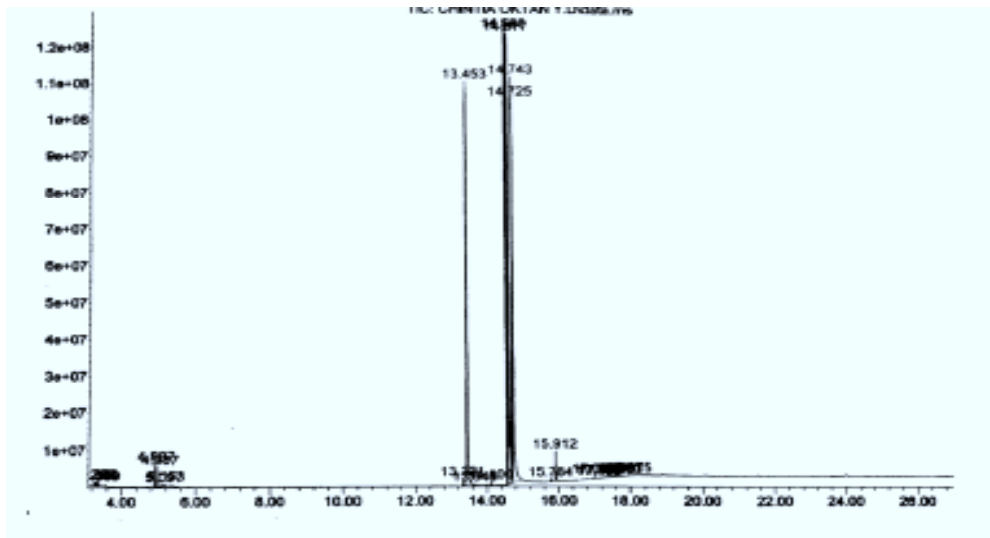
muncul dengan puncak tajam dan waktu retensi yang berbeda-beda terlihat pada **Gambar 7**. Jenis metil ester dapat dilihat pada **Tabel 1**. Jenis ester rantai pendek bersifat polar dari pada ester rantai panjang. Prinsip pemisahan *like dissolve like* menjadi acuan bahwa jenis ester dengan rantai yang lebih panjang memiliki waktu retensi (*retention time, t<sub>r</sub>*) yang lebih lama. Detektor pada GC akan terlebih dahulu membaca senyawa yang memiliki rantai hidrokarbon pendek karena sangat mudah terbawa oleh fasa gerak. Hal ini dikarenakan waktu tinggal rantai karbon pendek berinteraksi lemah dengan kolom jika dibandingkan dengan rantai panjang. Rantai pendek polar akan lebih awal muncul dari pada rantai panjang non polar. Asam lemak mempunyai



**Gambar 5.** Pengaruh Jumlah Katalis dan Rasio Metanol terhadap Bilangan Iodine



**Gambar 6.** Pengaruh Jumlah Katalis dan Rasio Metanol terhadap Angka Setana



Gambar 7. Hasil Analisis Gas Kromatografi

Tabel 1. Hasil Analisis GC-MS

Puncak	Run 1	Run 2	Run 3	% Area
9	<i>cis-9-Hexadecenoic acid methyl ester</i>	<i>9-Hexadecenoic acid, methyl ester</i>	<i>9-Hexadecenoic acid, methyl ester</i>	0,22
10	<i>cis-9-Hexadecenoic acid methyl ester</i>	<i>cis-9-Hexadecenoic acid methyl ester</i>	<i>cis-9-Hexadecenoic acid methyl ester</i>	20,68
12	<i>Heptadecanoic acid, methyl ester</i>	<i>Hexadecanoic acid. 15-methyl-, methyl ester</i>	<i>Hexadecanoic acid. 14-methyl-, methyl ester</i>	0,11
13	<i>Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate</i>	<i>Methyl 10-trans,12-cis-octadecadienoate</i>	<i>9,12-Octadecadienoic acid, (z,z)-, methyl ester</i>	10,69
14	<i>9,11-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-</i>	<i>10,13-Octadecadienoic, methyl ester</i>	<i>Methyl 9-cis,11-trans-octadecadienoate</i>	18,87
15	<i>8-Octadecanoic acid, methyl ester, (E)</i>	<i>9-Octadecenoic acid(Z)-, methyl ester</i>	<i>9-Octadecenoic acid(Z)-, methyl ester</i>	20,34
16	<i>Octadecanoic acid, methyl ester</i>	<i>Methyl stearate</i>	<i>Methyl stearate</i>	9,19
17	<i>Heptadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester</i>	<i>Methyl 14-methylheptadecanoate</i>	<i>Methyl stearate</i>	16,16
19	<i>Methyl 18-methylnonadecanoate</i>	<i>Eicosanoic acid, methyl ester</i>	<i>Eicosanoic, methyl ester</i>	1,11

gugus karboksilat tunggal dan rantai hidrokarbon non-polar, menyebabkan lemak tidak larut dalam air (Mukminin *et al.*, 2022).

Analisis GC-MS telah mengidentifikasi terdapat 6 puncak yang memiliki nilai luas area yang lebih tinggi dari 8 puncak yang terdeteksi sebagai metil ester atau asam lemak. Kromatogram hasil deteksi GC-MS menunjukkan 6 puncak tertinggi tersebut masing-masing adalah puncak 10 dengan waktu retensi 13,453 menit dan luas area 20,68%; puncak

13 dengan waktu retensi 14,588 menit dan luas area 10,69% ; puncak 14 dengan waktu retensi 14,580 dan luas area 18,87% ; puncak 15 dengan waktu retensi 14,617 menit dan luas area 20,34% ; puncak 16 dengan waktu retensi 14,725 menit dan luas area 9,19% ; puncak 17 dengan waktu retensi 14,743 menit dan luas area 16,15%. Kandungan metil ester pada biodiesel sebesar 97,37%. Hal ini sesuai dengan standar SNI untuk kadar metil ester minimal 96,50%.

## Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa *yield* biodiesel yang dihasilkan seiring meningkat dengan meningkatnya rasio molar minyak-metanol. Pada masing-masing variasi molar rasio metanol didapatkan *yield* tertinggi didapatkan 87,67%. Pengaruh katalis terhadap *yield* yang dihasilkan yaitu semakin besar berat katalis maka semakin besar *yield* biodiesel. Nilai *yield* tertinggi didapatkan pada kondisi operasi berat katalis 4% dengan nilai 87,67%. Biodiesel yang dihasilkan sesuai dari beberapa syarat SNI 7182-2015 - Biodiesel. Kandungan metil ester yang terdapat dalam biodiesel berdasarkan analisis GC-MS dengan kemurnian sebesar 97,37%.

## Daftar Pustaka

- Adhani, L., Aziz, I., Nurbayti, S. and Octavia, C. A. (2016) 'Pembuatan biodiesel dengan cara adsorpsi dan transesterifikasi dari minyak goreng bekas', *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), pp. 71–80. doi: 10.15408/jkv.v2i1.3107.
- Dharsono, W., Oktari, Y. S. and Purbasari, A. (2013) 'Proses pembuatan biodiesel dari dedak dan metanol dengan esterifikasi in situ', *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(2), pp. 33–39.
- Gashaw, A. and Teshita, A. (2014) 'Production of biodiesel from waste cooking oil and factors affecting its formation: a review', *International Journal of Sustainable and Green Energy*. Science Publishing Group, 3(5), pp. 92–98.
- Istiningrum, R. B., Nurrokhmah, H. and Wahyuni, A. S. (2018) 'Analisis komposisi biodiesel hasil konversi minyak biji carica (*Carica pubescens*) menggunakan enzim lipase bekatul', *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 1(01), pp. 1–8. doi: 10.20885/ijca.voll.iss1.art1.
- Kurniawan, A. B., Laeli, N., Puspitasari, A. P. and Pudjihastuti, I. (2014) 'Teknik imobilisasi secara entrapment dalam sintesis metil ester berbahan minyak jelantah', in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Semarang: Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim, pp. 29–32.
- Lopresto, C. G., Naccarato, S., Albo, L., De Paola, M. G., Chakraborty, S., Curcio, S. and Calabrò, V. (2015) 'Enzymatic transesterification of waste vegetable oil to produce biodiesel', *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, pp. 229–235. doi: 10.1016/j.ecoenv.2015.03.028.
- Muderawan, I. W. and Daiwataningsih, N. K. P. (2016) 'Pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) dan analisis metil esternya dengan GC-MS', in *Seminar Nasional MIPA*. Universitas Pendidikan Ganesha, pp. 324–331.
- Mukminin, A., Megawati, E., Warsa, I. K., Yuniarti, Y., Umara, W. A. and Islamiati, D. (2022) 'Analisis kandungan biodiesel hasil reaksi transesterifikasi minyak jelantah berdasarkan perbedaan konsentrasi katalis NaOH menggunakan GC-MS', *Sang Pencerah: Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 8(1), pp. 146–158. doi: 10.35326/pencerah.v8i1.1897.
- Ningtyas, D. P. (2013) 'Pengaruh katalis basa (NaOH) pada tahap reaksi transesterifikasi terhadap kualitas biofuel dari minyak tepung ikan sardin', *Jurnal Teknosains*, 2(2), pp. 103–114. doi: 10.22146/teknosains.6000.
- Rachmadona, N., Aznury, M. and Ogino, C. (2017) 'Produksi biodiesel dari limbah kelapa sawit dengan menggunakan lipase *Thermomyces lanuginosus* sebagai katalis', *Kinetika*, pp. 29–35.
- Rezeika, S. H., Ulfir, I. and Ni'mah, Y. L. (2018) 'Sintesis biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis naoh dengan variasi waktu reaksi transesterifikasi dan uji performanya dengan mesin diesel', *Akta Kimia Indonesia*, 3(2), pp. 175–189. doi: 10.12962/j25493736.v3i2.3098.
- Ristianingsih, Y., Hidayah, N. and Sari, F. W. (2015) 'Pembuatan biodiesel dari crude palm oil (CPO) sebagai bahan bakar alternatif melalui proses transesterifikasi langsung', *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 2(1), pp. 38–46. doi: doi.org/10.34128/jtai.v2i1.23.
- Simanullang, R. C. U. (2015) *Penetapan bilangan asam dan bilangan penyabunan serta kadar asam lemak bebas pada virgin coconut oil*.
- Suleman, N., Abas and Papatungan, M. (2019) 'Esterifikasi dan transesterifikasi stearin sawit untuk pembuatan biodiesel', *Jurnal Teknik*, 17(1), pp. 66–77. doi: 10.37031/jt.v17i1.54.
- Syakir, M. and Elna, K. (2013) *Tanaman Perkebunan Penghasil BBN*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Thanh, L. T., Okitsu, K., Boi, L. Van and Maeda, Y. (2012) 'Catalytic technologies for biodiesel fuel production and utilization of glycerol: a review', *Catalysts*, 2(1), pp. 191–222. doi: 10.3390/catal2010191.