# Pembuatan Biodiesel dari Minyak Serangga *Black Soldier Fly* dan Katalis Biochar *Insect Frass*

**[1]Muhamad Fadillah Ramdhani, [2]Muhamad Arya Putra Pratama, [3]Teguh Taufiqurohim, [4]Gita Nur Sajida**

*[1]Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
*E-mail : muhamad.fadillah.tki23@polban.ac.id*
*[2]Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
*E-mail: muhamad.arya.tki23@polban.ac.id*
*[3]PUI Fuel-X, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
*Email: teguh.taufiqurohim@polban.ac.id*
*[4]PUI Fuel-X, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia*
*Email: gita.nur.sajida@polban.ac.id*

**ABSTRAK**

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif terbarukan yang dapat diproduksi dari minyak nabati maupun lemak hewani. Minyak larva *Black Soldier Fly* (BSF) berpotensi sebagai bahan baku biodiesel karena memiliki kandungan lemak tinggi dan tidak bersaing dengan kebutuhan pangan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi suhu reaksi (65°C, 75°C, dan 80°C) dan konsentrasi katalis biochar berbahan *insect frass* (1%, 2%, dan 3% b/v) terhadap karakteristik biodiesel hasil transesterifikasi. Karakterisasi meliputi densitas,viskositas, kadar air, *yield*, gliserol total, gliserol bebas, dan gliserol terikat sesuai SNI 7182:2024. Hasil penelitian menunjukan bahwa suhu reaksi 80°C menghasilkan konversi trigliserida terbaik yang ditunjukan oleh kadar gliserol terikat terendah sebesar 0,163 wt.% dengan konversi gliserol 28,78%. Konsentrasi katalis biochar 3% menghasilkan karakterstik fisik terbaik dengan viskositas 5,25 cSt, kadar air 0,062-0,082%. Meskipun demikian, biodiesel yang dihasilkan belum memenuhi seluruh persyaratan mutu SNI 7182:2024, terutama pada parameter densitas, kadar air, gliserol total, dan gliserol bebas. Oleh karena itu, diperlukan optimasi kondisi operasi dan proses pemurnian biodiesel.

**Kata Kunci:**

Biodiesel, Biochar, *Black Soldier Fly*, *Insect frass,* Transesterifikasi.

*Biodiesel is a renewable alternative fuel that can be produced from vegetable oils or animal fats. Black Soldier Fly (BSF) larval oil has the potential to be used as a biodiesel feedstock due to its high lipid content and because it does not compete with food resources. This study aimed to analyze the effects of reaction temperature (65°C, 75°C, and 80°C) and insect frass-derived biochar catalyst concentration (1%, 2%, and 3% w/v) on the quality characteristics of biodiesel produced through the transesterification process. The biodiesel was characterized based on density, kinematic viscosity, water content, yield, total glycerol, free glycerol, and bound glycerol in accordance with SNI 7182:2024. The results showed that a reaction temperature of 80°C resulted in the highest triglyceride conversion, as indicated by the lowest bound glycerol content of 0.163 wt.% with a glycerol conversion of 28.78%. A biochar catalyst concentration of 3% produced the best physical characteristics, with a kinematic viscosity of 5.25 cSt and a water content ranging from 0.062 to 0.082 wt.%. However, the biodiesel did not fully comply with the quality requirements specified in SNI 7182:2024, particularly for the density, water content, total glycerol, and free glycerol parameters. Therefore, further optimization of the operating conditions and biodiesel purification process is required to improve biodiesel quality and achieve compliance with the SNI 7182:2024 standard.*

***Keywords:***

*Biodiesel, Biochar, Black Soldier Fly, Insect frass, Transesterification.*

## 1. PENDAHULUAN

Biodiesel adalah salah satu sumber energi terbarukan yang semakin mendapat perhatian penting dalam upaya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, mampu mengurangi emisi gas rumah kaca dan senyawa berbahaya seperti $CO_2$, $SO_2$, *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAHs), serta *carbon monoxide* (CO) dibandingkan dengan bahan bakar berbasis minyak bumi (1)(13)(14). Biodiesel merupakan alternatif yang menjanjikan untuk bahan bakar diesel berbasis minyak bumi, tetapi memiliki kelemahan berupa kerentanan terhadap degradasi oksidatif selama penyimpanan jangka panjang (2)(10). Namun, produksi biodiesel di Indonesia masih didominasi oleh minyak kelapa sawit yang berpotensi menimbulkan persaingan dengan kebutuhan pangan (3). Oleh karena itu, diperlukan bahan baku nonpangan yang berkelanjutan.

Minyak larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) merupakan salah satu bahan baku potensial karena memiliki kandungan lemak yang tinggi dan didominasi asam laurat

(4). Jika larva BSF diberi pakan subrat kaya akan limbah makanan yang kaya lemak, kandungan lemaknya melonjak maksimal hingga 42-49% (9). Selain menghasilkan minyak, budidaya BSF juga menghasilkan limbah *insect frass* yang dapat diolah menjadi biochar sebagai katalis heterogen dengan cara melewati proses pirolisis. Pirolisis menjadi teknik yang optimal dalam mengkonversi biomassa dalam kondisi sedikit atau tanpa oksigen (11). Suhu pirolisis yang optimal dicapai pada suhu 500°C karena pengarangan terjadi secara sempurna tanpa membakar biochar (12). Penggunaan katalis biochar memiliki keunggulan berupa proses pemisahan yang lebih mudah, dapat digunakan kembali, serta menghasilkan limbah yang lebih sedikit dibandingkan katalis homogen (5)(15).

Penelitian mengenai pemanfaatan biochar berbasis *insect frass* sebagai katalis heterogen untuk produksi biodiesel masih terbatas, terutama terkait pengaruh suhu reaksi terhadap mutu biodiesel. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi suhu reaksi (65°C, 75°C, dan 80°C) serta konsentrasi katalis biochar *insect frass* (1%, 2%, dan 3% b/v) terhadap karakteristik biodiesel berbahan baku minyak larva BSF berdasarkan parameter rendemen, densitas, viskositas, kadar air, gliserol, dan komposisi metil ester sesuai dengan SNI 7182:2024.

Penelitian terdahulu umumnya menggunakan biochar dari biomassa lignoselulosa atau limbah pertanian sebagai katalis heterogen pada produksi biodiesel, sedangkan pemanfaatan biochar berbahan *insect frass* masih sangat terbatas. Selain itu, belum banyak penelitian yang mengkaji secara bersamaan pengaruh suhu reaksi dan konsentrasi katalis biochar *insect frass* terhadap karakteristik biodiesel berbahan baku minyak larva BSF sesuai parameter mutu SNI 7182: 2024. Oleh karena itu penelitian ini memberikan konstribusi dalam mengevaluasi potensi *insect frass* sebagai katalis heterogen berbasis limbah sekaligus menentukan kondisi operasi optimum pada proses transesterifikasi minyak BSF.

## 2. METODE

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode eksperimental yang terdiri dari beberapa tahapan agar tujuan penelitian dapat tercapai. Tahap 1 adalah persiapan bahan baku yang terdiri penentuan kadar minyak, bilangan asam, % *Free Fatty Acid*.

### 2.1 Bahan dan Alat

Bahan utama dalam penelitian ini adalah minyak larva *Black Soldier Fly* (BSF) sebagai bahan baku biodiesel dan biochar berbahan *insect frass* yang telah melewati proses pirolisis dengan suhu 500ºC dan aktivasi menggunakan larutan KOH 10 % sebagai katalis heterogen. Bahan pendukung yang digunakan meliputi metanol teknis, akuades, serta bahan kimia untuk proses analisis.

Peralatan utama yang digunakan meliputi *Oil Press Machine*, labu reaktor transesterifikasi leher 2 berpengaduk yang dilengkapi pemanas (*hot plate magnetic stirrer*), kondensor refluks, serta peralatan karakterisasi seperti piknometer, viskometer, oven, dan peralatan penentuan analisis gliserol.

### 2.2 Prosedur Penelitian

Penelitian diawali dengan karakterisasi minyak larva BSF, yang meliputi penentuan kadar minyak, bilangan asam, dan %*Free Fatty Acid* (FFA) untuk menentukan kualitas bahan baku sebelum proses transesterifikasi. Transesterifikasi adalah proses pemisahan *fatty acid* dari gliserol menjadi *fatty acid ester* dan gliserol bebas (6). Selanjutnya, biochar *insect frass* diaktivasi menggunakan larutan KOH 10% untuk meningkatkan jumlah situs basa aktif pada permukaan katalis.

Proses transesterifikasi dilakukan menggunakan 50 mL minyak dengan penambahan rasio metanol terhadap minyak sebesar 6:1. Variabel penelitian meliputi suhu reaksi sebesar 65ºC, 75ºC, dan 80ºC serta konsentrasi katalis sebesar 1%, 2% dan 3% (b/v). Campuran direaksikan di bawah pengadukan konstan pada 500 rpm selama waktu reaksi selama 1 jam dan pada perlakuan tidak dilakukan replika. Setelah reaksi selesai, campuran didiamkan hingga terbentuk dua fase, yaitu biodiesel pada lapisan atas dan gliserol pada lapisan bawah. Biodiesel kemudian dipisahkan, dicuci menggunakan akuades hangat hingga mencapai pH netral, kemudian dikeringkan sebelum dilakukan karakterisasi.

### 2.3 Analisis Karakteristik Biodiesel

Karakterisasi biodiesel dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh suhu reaksi dan konsentrasi katalis terhadap mutu produk, dengan merujuk pada standar SNI 7182:2024. Parameter fisik yang dianalisa meliputi rendemen, densitas, dan viskositas kinematik. Sementara itu, parameter kimia meliputi kadar air, gliserol bebas, gliserol terikat, dan gliserol total. Identifikasi komposisi senyawa penyusun dan tingkat konversi trigliserida dianalisis menggunakan instrumen GC-MS

### 2.4 Analisis Data

Data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui pengaruh variasi suhu reaksi dan konsentrasi katalis terhadap karakteristik biodiesel. Pembahasan dilakukan dengan membandingkan hasil penelitian terhadap standar mutu biodiesel SNI 7182:2024 serta penelitian terdahulu yang relevan sehingga diperoleh kondisi operasi yang menghasilkan biodiesel dengan karakteristik terbaik.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pembuatan biodiesel dari minyak larva *black soldier fly* dan katalis biochar insect frass. Analisis dilakukan terhadap karakteristik bahan baku berupa minyak larva BSF kering, karakteristik biodiesel, analisis secara fisika dan kimia diantaranya, %FFA, densitas, viskositas, kadar air, gliserol total, gliserol bebas dan gliserol terikat dan senyawa komposisi bahan baku dan hasil biodisel menggunakan GC-MS. Seluruh hasil dievaluasi sesuai berdasarkan SNI Biodiesel 7182:2024 dan dihubungkan dengan pengaruh variasi suhu dan konsentrasi terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan. Selain itu, dijelaskan hubungan antara kondisi operasi yang paling efektif dalam menghasilkan biodiesel dari minyak larva *black soldier fly*.

### 3.1 Karakterisasi Minyak Larva BSF

Pada Tabel 1 didapatkan data karakteristik dari minyak larva BSF, nilai densitas dan viskositas kinematik pada 40°C minyak larva kering BSF sebesar 959 kg/m$^3$ dan 6,831 mm$^2$/s (Cst), terdapat perbedaan nilai jika dibandingkan dengan penelitian serupa yang dilakukan pada referensi (7) menunjukan bahwa densitas dan viskositas limbah jeroan ikan sebesar 869 kg/m$^3$ dan 3,12 cSt hal ini dikarenakan pengaruh *treatment* dan jenis dari bahan baku yang digunakan. Selain itu, pengaruh dari substrat yang diberikan pada larva dan proses pengeringan larva BSF sebelum dilakukan pengambilan minyak mempengaruhi juga kandungan minyak pada larva BSF kering.

Tabel 1. Data Karakteristik Minyak Larva BSF

| Larva *Black Soldier Fly* Kering | |
|---|---|
| Densitas | 959 kg/m$^3$ |
| Viskositas | 6,831 cSt |
| Kadar air | 0,15 % |
| %FFA | 1,19 |

Pada Tabel 1 juga didapatkan kadar air yang terkandung pada minyak larva kering BSF sebesar 0,15% dan %FFA yang didapatkan setelah dilakukan analisis penetuan kandungan *free fatty acid* yaitu 1,19%. Kadar air yang terkandung pada minyak larva kering BSF sebesar 0,15% dan %FFA yang didapatkan setelah dilakukan analisis penetuan kandungan *free fatty acid* yaitu 1,19%, pada penelitian pada referensi (8), pembuatan biodiesel dengan bahan baku larva BSF memiliki nilai %FFA yang hampir sama yaitu, 1,33%. Bahan baku minyak dengan kandungan %FFA <2% dapat dilakukan transesterifikasi pada minyak larva BSF (trigliserida) dengan katalis basa menjadi biodiesel, jika tidak perlu dilakukan proses esterifikasi dahulu (14). Selain itu pada Tabel 2, hasil pengujian GC-MS pada minyak larva BSF mengonfirmasi bahwa senyawa dominan adalah asam laurat (*Dodecanoic Acid*) dengan persentase sebesar 16,73%, diikuti oleh asam miristat sebesar 3,66%.

Tabel 2. Hasil Uji GC-MS Minyak Larva BSF

| Nama Senyawa | Kandungan / Luas Area (%) |
|---|---|
| *Dodecanoic acid* | 16.73% |
| *Methyl tetradecanoate* | 3.66% |
| *Methyl 11-oxo-9-undecenoate* | 0.20% |
| *Hexadecanoic acid, methyl ester* | 0.70% |
| *Pentadecanoic acid, 2,6,10,14-tetramethyl-, methyl ester* | 0.04% |
| *9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester* | 0.61% |

Kandungan tertinggi yaitu Dodecanoic acid, methyl ester yang merupakan metil laurat dengan persentase kandungan sebesar 16,73%, selain itu terdapat senyawa senyawa methyl ester lainnya seperti methyl miristat sebesar 3,66% dan hexadecanoic acid,methyl ester sebesar 0,70%. Secara teoritis, larva BSF memiliki kandungan asam laurat yang tinggi dibandingkan dengan kandungan asam lainnya, seperti asam miristat dan asam palmitat.

### 3.2 Karakteristik biodiesel berbahan baku larva BSF

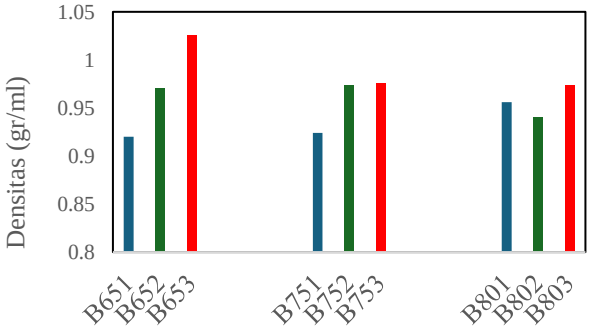
Secara umum, peningkatan suhu reaksi dan konsentrasi katalis mempengaruhi karakteristik biodiesel melalui perubahan laju reaksi tranesterifikasi, tingkat konversi trigliserida, serta pembentukan produk samping berupa gliserol dan sabun. Berdasarkan Tabel 3 ditunjukan data karakteristik fisik dari sampel biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi. Karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari variasi temperatur pada 65°C, 75°C dan 80°C, serta variasi konsentrasi katalis 1%,2% dan 3% yang digunakan pada reaksi transestrifikasi.

Tabel 3. Data Karakteristik Fisik Biodiesel

| Suhu (°C) | Konsentrasi katalis (%) | Densitas (gr/ml) | Viskositas (Cst) | Kadar air (%) |
|---|---|---|---|---|
| 65 | 1 | 0,92 | 6,521 | 0,105 |
| | 2 | 0,97 | 6,208 | 0,082 |
| | 3 | 1,026 | 5,653 | 0,062 |
| 75 | 1 | 0,924 | 7,034 | 0,124 |
| | 2 | 0,974 | 6,57 | 0,082 |
| | 3 | 0,976 | 5,25 | 0,082 |
| 80 | 1 | 0,956 | 6,37 | 0,04 |
| | 2 | 0,94 | 6,702 | 0,105 |
| | 3 | 0,974 | 6,878 | 0,062 |

### 3.3 Pengaruh Variasi Suhu dan Konsentrasi Katalis terhadap hasil Densitas

Densitas biodiesel hasil dapat dilihat pada Gambar 1 yang menunjukan seluruh sampel memiliki densitas di atas batas SNI 7182:2024 yaitu rentang (0,860-0,890 g/mL). Seperti pada sampel pada variasi temperatur 65°C kenaikan densitas terjadi hingga 1,026 gr/ml atau 1026 kg/m$^3$ pada sampel B653 dari densitas minyak larva BSF, ini terjadi dikarenakan proses reaksi transesterifikasi tidak berlangsung secara sempurna, yang menyebabkan terdapat molekul trigliserida yang masih tertinggal dalam biodiesel.



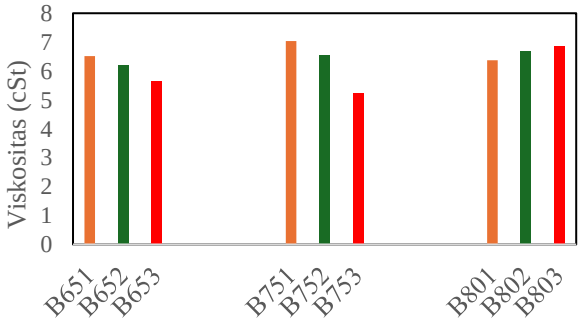

Gambar 1. Grafik Densitas Biodiesel

Adanya kandungan sisa gliserol dalam biodiesel yang terjadi akibat proses pemisahan pada proses filtrasi dan

pencucian biodiesel yang kurang bersih, sisa gliserol dalam biodiesel akan menaikkan densitasnya. Kenaikkan densitas juga dapat disebabkan oleh sabun (saponifikasi) dalam biodiesel, hal ini dapat terjadi ketika minyak larva BSF yang memiliki asam lemak bebas (FFA) bereaksi dengan katalis *biochar* basa yang kami gunakan sehingga membentuk sabun. Sabun yang terbentuk menghasilkan emulsi yang sangat kental dan merusak sistem pemisahan antar metil ester (biodiesel) dan gliserol.

### 3.4 Pengaruh Variasi Suhu dan Konsentrasi Katalis terhadap hasil Viskositas

Selama transesterifikasi, trigliserida dipecah menjadi metil ester yang memiliki ukuran molekul lebih kecil sehingga viskositas menurun. Viskositas mengukur tingkat kekentalan sampel biodiesel yang dihasilkan, nilai viskositas yang menjadi standar SNI yaitu 2,3-6,0 cSt.




Gambar 2. Grafik Viskositas Biodiesel

Gambar 2 menunjukan bahwa nilai viskositas dari sampel biodiesel mayoritas mengalami penurunan dibandingkan dengan viskositas minyak larva BSF. Penurunan viskositas menunjukan bahwa proses transesterifikasi berhasil memutus molekul trigliserida menjadi metil ester yang memiliki berat molekul lebih rendah. Akan tetapi viskositas biodiesel masih relatif tinggi karena diduga belum terpisahkan secara optimal. Jika dirata-ratakan nilai viskositas sampel biodiesel yaitu, 6,354 cSt nilai tersebut masih tergolong cukup tinggi untuk nilai standar SNI. Hal ini terjadi serupa dengan kenaikan densitas biodiesel, faktor reaksi yang belum sempurna dimana trigliserida belum sepenuhnya terkonversi. Nilai dnsitas dan viskositas yang masih tinggi menunjukan bahwa konversi trigliserida belum berlangsung sempurna sehingga masih terdapat glierol, trigliserida, dan produk saponifikasi dalam biodiesel.

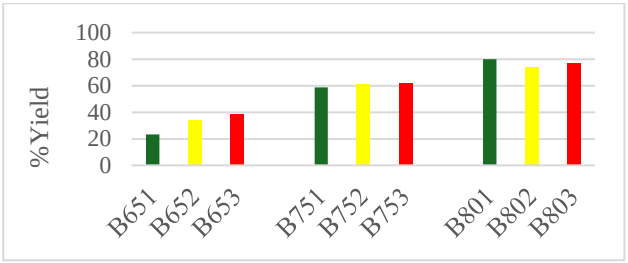
### 3.5 Pengaruh Variasi Suhu dan Konsentrasi Katalis terhadap hasil *Yield*

Dapat dilihat pada Gambar 3 terjadi kenaikan suhu reaksi (dari 65ºC, 75ºC, hingga 80ºC) secara signifikan meningkatkan persentase *yield* biodiesel hingga angka di atas 70%. secara kinetika kimia, suhu yang lebih tinggi memberikan energi yang cukup bagi reaktan untuk beraksi, sehingga menggeser kesetimbangan reaksi secara maksimal ke arah pembentukan produk utama (metil ester). Berikut rumus yang digunakan dalam menentukan *yield*:

$$Yield = \frac{massa\ biodiesel\ (aktual)}{massa\ biodiesel\ (teoritis)}\ x\ 100\%$$

Yang dimana, massa biodiesel (aktual) adalah massa biodiesel yang didapat dan massa biodiesel (teoritis) adalah 45,35% dengan volume 47,28 ml.

Gambar 3 menunjukan pada suhu 80ºC, penambahan konsentrasi katalis justru membuat hasil yield menjadi fluktuatif. Hal ini terjadi karena katalis basa yang terlalu banyak memicu reaksi samping (saponifikasi), yaitu bereaksinya asam lebak bebas menjadi sabun, bukan biodiesel. Walaupun suhu operasi berada di atas titik didih metanol, reaksi dilakukan menggunakan kondensor refluks sehingga metanol yang menguap dikondensasikan kembali ke dalam reaktor. Oleh karena itu kehilangan metanol dapat diminimalkan sehingga rasio molar metanol tetap terjaga.




Gambar 3. Grafik *Yield* dari Biodiesel

Secara teoritis, proses pemecahan molekul besar (trigliserida) menjadi molekul (metil ester) seharusnya menurunkan angka densitas dan viskositas, hasil penelitian menunjukan angka yang masih fluktuatif dan tinggi. Ini mengindikasikan bahwa reaksi belum selesai, serta gliserol sisa dan sabun masih mencemari produk akhir.

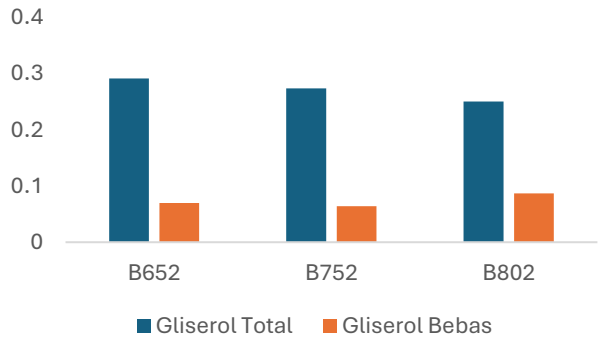
### 3.6 Analisis penentuan Gliserol total, Gliserol bebas dan Gliserol terikat

Sampel biodiesel dilakukan analisis secara kimiawi dengan penentuan gliserol total, gliserol bebas dan gliserol terikat sesuai dengan SNI7182:2024. Pengujian gliserol berfungsi sebagai parameter utama untuk mengevaluasi kemurnian produk akhir dan seberapa efektif konversi trigliserida menjadi metil ester.

Gliserol total adalah nilai yang mewakili jumlah keseluruhan molekul gliserol dalam sampel. Pada Gambar 4 data menunjukan kadar ini menurun seiring kenaikan suhu (dari 0,292%-massa pada 65ºC menjadi 0,251%-massa pada 80ºC) yang menandakan trigliserida berhasil dipecah. Meskipun begitu, kadar gliserol total masih berada diatas nilai batas maksimum SNI yaitu 0,24%-massa, faktor yang mempengaruhinya yaitu disebabkan oleh senyawa ester yang belum terkonversi secara sempurna dan menghasilkan produk samping berupa gliserol yang berlebih dalam biodiesel.

Gambar 4 juga menunjukan data gliserol bebas pada sampel biodiesel yang nilainya meningkat setelah reaksi dan mencapai angka tertinggi pada suhu 80ºC sebesar 0,087%-massa. Hasil berikut menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi telah mengkonversi trigliserida menjadi metil ester dan secara bersamaan menghasilkan gliserol yang lebih banyak dalam kandungan biodiesel. Tingginya kadar gliserol bebas dapat disebabkan oleh pada proses pencucian dan pemurnian biodiesel yang belum optimal, hal

ini berbanding lurus dengan peningkatan yang terjadi pada nilai densitas sampel biodiesel dan juga kandungan kadar air nya.




Gambar 4. Grafik Gliserol total dan Gliserol bebas

Penentuan gliserol total dan gliserol bebas adalah salah satu cara untuk menentukan berapa nilai gliserol terikat yang terdapat pada minyak larva BSF ,dimana Penurunan bertahap pada nilai gliserol terikat merupakan indikator tingkat konversi trigliserida pada reaksi transesterifikasi, ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilai gliserol terikat maka persentase yield atau konversi trigliserida semakin tinggi.

Tabel 4. Data hasil Penentuan Gliserol Total, bebas, dan Terikat

| Suhu (°C) | Konsentrasi katalis (%) | Gliserol Total | Gliserol Bebas | Gliserol Terikat |
|---|---|---|---|---|
| 65 | | 0,292 | 0,070 | 0,222 |
| 75 | 2 | 0,274 | 0,064 | 0,209 |
| 80 | | 0,251 | 0,087 | 0,163 |

Pada Tabel 4 menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi pada suhu 80°C telah mengkonversi trigliserida menjadi metil ester dan secara bersamaan menghasilkan gliserol yang lebih banyak dalam kandungan biodiesel. Nilai gliserol terikat mengalami penurunan dari 0,222%-massa pada suhu 65°C, 0,209%-massa pada suhu 75°C dan 0,163%-massa pada suhu 80°C.

Penurunan bertahap pada nilai gliserol terikat pada Tabel 4 merupakan indikator tingkat konversi trigliserida pada reaksi transesterifikasi, ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilai gliserol terikat maka persentase yield atau konversi trigliserida semakin tinggi. Oleh karena itu, pada suhu 80°C dapat memberikan persentase reaksi terbaik dibandingkan dengan kondisi pada sampel lainnya.

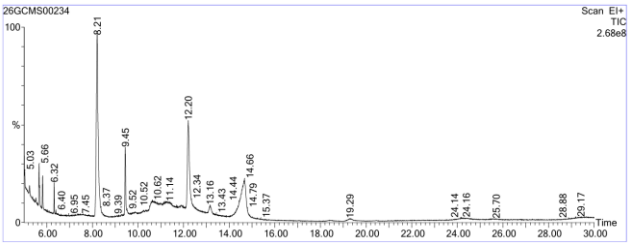
Tabel 5. Data Konversi Gliserol sampel Biodiesel

| Suhu (°C) | Konsentrasi katalis (%) | Konversi (%) |
|---|---|---|
| 65 | 2 | 3,188 |
| 75 | | 8,897 |
| 80 | | 28,788 |

Dapat dilihat pada Tabel 5, nilai konversi gliserol dari sampel biodiesel menunjukan kenaikan seiring perubahan suhu operasi yaitu dari, 3,18% menjadi 28,78% sejalan dengan penurunan kadar gliserol terikat, yang mengindikasikan bahwa reaksi transesterifikasi telah berlangsung ke arah kanan sesuai dengan hukum *Le Chatelier* dimana, reaktan akan bergerak ke arah produk (metil ester). Akan tetapi, karena nilai konversi masih relatif sangat rendah dan jika dibandingkan dengan nilai standar SNI ketiga sampel biodiesel masih belum memenuhi standar SNI 7182:2024.

### 3.7 Hasil Pengujian GC-MS Biodiesel Variasi Suhu 75°C dan Konsentrasi Katalis 3%

Berdasarkan hasil pengujian GC pada Tabel 6, senyawa yang teridentifikasi didominasi oleh senyawa metil ester, asam lemak bebas (FFA), hidrokarbon dan senyawa organik. Analisis GC-MS menunjukan biodiesel didominasi metil laurat sebagai FAME utama, namun masih ditemukan FFA dan senyawa pengotor yang menunjukan konversi reaksi belum optimal Hal ini berhubungan dengan analisis gliserol total dan gliserol bebas masih melebihi batas standar SNI 7182:2024, serta nilai konversi biodiesel yang hanya mencapai 28,788%.




Gambar 5. Kurva Nilai *Residence Time* GC-MS B753

Rendahnya nilai konversi senyawa FAME dapat dipengaruhi oleh aktivitas katalis yang belum optimum, rasio molar metanol terhadap minyak, suhu reaksi operasi maupun waktu reaksi yang belum mencapai kondisi optimum.

Keberadaan FFA menunjukkan bahwa sebagian asam lemak belum mengalami reaksi secara sempurna, kandungan FFA yang tinggi dapat menyebabkan adanya air selama proses reaksi dan FFA dapat bereaksi dengan katalis basa membentuk sabun (saponifikasi) sehingga menurunkan nilai konversi dan menghambat pembentukan FAME. Selain itu, teridentifikasi juga senyawa pengotor hal ini dapat terjadi berasal dari biomassa larva BSF, residu pelarut, atau kontaminasi selama preparasi sampel.

Tabel 6 Kandungan senyawa Biodiesel hasil pengujian GC-MS

| Kelompok Senyawa | Nama Senyawa (Hasil GC-MS) | Kandungan (% Area) |
|---|---|---|
| Metil Ester | Dodecanoic acid, methyl ester | 5.76% |

| | | |
|---|---|---|
| Asam Lemak Bebas (FFA) | Dodecanoic acid, methyl ester | 15.82% |
| | Dodecanoic acid | 12.34% |
| | Nonanoic acid | 0.13% |
| | Nonanoic acid | 0.09% |
| Alkana / Hidrokarbon | Undecane | 18.51% |
| | Dodecane | 3.14% |
| | Hexadecane | 1.87% |
| | Octane | 0.68% |
| Senyawa Pengotor Organik | Morpholine,4-(2-chloroethyl)- | 1.51% |
| | 2H-Pyran-2-one, tetrahydro- | 0.64% |
| | Indole | 0.45% |

## 4. SIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Suhu reaksi 80°C merupakan kondisi terbaik karena menghasilkan kadar gliserol terikat terendah (0,163), yang menunjukkan konversi trigliserida menjadi metil ester berlangsung lebih optimal dibandingkan suhu 65°C dan 75°C.
2. Konsentrasi katalis biochar 3% menghasilkan karakteristik fisik biodiesel terbaik, terutama viskositas sebesar 5,25 cSt dan kadar air yang relatif rendah. Namun pengaruh konsentrasi katalis terhadap kadar gliserol terikat belum dapat disimpulkan karena pengujian gliserol hanya dilakukan pada sampel berkonsentrasi katalis 2%.
3. Karakteristik mutu biodiesel menunjukkan bahwa suhu reaksi 80°C memberikan performa terbaik dengan yield tertinggi dan kadar gliserol terikat terendah. Namun, biodiesel yang dihasilkan masih belum memenuhi seluruh persyaratan SNI 7182:2024, khususnya pada parameter densitas, kadar air, gliserol total, dan gliserol bebas, sehingga diperlukan optimasi lebih lanjut, terutama pada tahap pemurnian biodiesel.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung atas dukungan fasilitas penelitian. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ibu Gita Nur Sajida, S.T., M.T. dan Bapak Teguh Taufiquurohim, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas arahan, bimbingan, dan masukan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga mengapresiasi bantuan teknisi laboratorium serta seluruh pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian hingga artikel ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih kepada orang tua dan keluarga atas doa dan dukungan selama proses penelitian juga disampaikan dengan penuh penghargaan. Informasi tersebut konsisten dengan pihak-pihak yang dicantumkan dalam kata pengantar laporan tugas akhir.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Amalia R, Yuliansyah AT, Cahyono RB. Kajian pembuatan katalis berbasis biochar dari biomassa untuk transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri. 2023.
2. Ansyari MT, Afriani DT, Siswoyo BH. Pemanfaatan limbah pasar sayuran dan ampas tebu terhadap pertumbuhan maggot BSF (*Hermetia illucens*). J Aquaculture Indones. 2024;3(2). doi:10.46576/jai.v3i2.4825.
3. Jazuli M, Wibowo AA. Biodiesel sebagai sumber energi terbarukan: proses dan teknologi terkini. Distilat. 2023;6(2). doi:10.33795/distilat.v6i2.154.
4. Wardhana AH. *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) sebagai sumber protein alternatif untuk pakan ternak. Wartazoa. 2016;26(2).
5. Faruque MO, Razzak SA, Hossain MM. Application of heterogeneous catalysts for biodiesel production from microalgal oil: a review. Catalysts. 2020;10(9). doi:10.3390/catal10091025.
6. Susila Arita, Muhammad Rifqi, Tirtasakti Nugoroho, Tuty E Agustina, Fitri Hadiah. Pembuatan biodiesel dari limbah cair kelapa sawit dengan variasi katalis asam sulfat pada proses esterifikasi. J Tek Kim. 2020;26(1). doi:10.36706/jtk.v26i1.54.
7. Purwaningrum SD, Sukaryo S. Uji karakteristik biodiesel berbahan dasar limbah jeroan ikan diproses menggunakan mikrogelombang. Metana. 2018;14(2). doi:10.14710/metana.v14i2.20333.
8. Prasetyo DA, Nurlaeli AT, Hasbiyati H, Sholikah U, Ulma Z. Effect of temperature and catalyst concentration on the quality of biodiesel oil extracted from Black Soldier Fly larvae (Hermetia illucens). INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional dan Teknologi. 2025;25(3). doi:10.24036/invotek.v25i3.1308.
9. Franco A, Scieuzo C, Salvia R, Pucciarelli V, Borrelli L, Addeo NF, et al. Antimicrobial activity of lipids extracted from *Hermetia illucens* reared on different substrates. Appl Microbiol Biotechnol. 2024;108(1). doi:10.1007/s00253-024-13005-9.
10. Kathumbi LK, Home PG, Raude JM, Gathitu BB, Gachanja AN, Wamalwa A, et al. Influence of transesterification catalysts synthesized with citric acid on the quality and oxidative stability of biodiesel from black soldier fly larvae. Fuels. 2022;3(3). doi:10.3390/fuels3030032.
11. Kumar S, Soomro SA, Harijan K, Uqaili MA, Kumar L. Advancements of biochar-based catalyst for improved production of biodiesel: a comprehensive review. Energies. 2023;16(2). doi:10.3390/en16020644.
12. Nkomo N, Odindo AO, Musazura W, Missengue R. Optimising pyrolysis conditions for high-quality biochar production using black soldier fly larvae faecal-derived residue as feedstock. Heliyon. 2021;7(5). doi:10.1016/j.heliyon.2021.e07025.
13. Peng YP, Amesho KTT, Chen CE, Jhang SR, Chou FC, Lin YC. Optimization of biodiesel production from waste cooking oil using waste eggshell as a base catalyst

under a microwave heating system. Catalysts. 2018;8(2). doi:10.3390/catal8020081.
14. Rohmanna NA, Subekti IF, Deoranto P, Arwani M, Majid ZANM, Mulyadi AF, et al. Optimasi ekstraksi minyak BSFL (*Hermetia illucens*) dengan metode microwave assisted extraction (MAE) sebagai bahan baku biodiesel. J Agroindustri. 2024;14(1):11-25. doi:10.31186/jagroindustri.14.1.11-25.
15. Vakros J. Biochars and their use as transesterification catalysts for biodiesel production: a short review. Catalysts. 2018;8(11). doi:10.3390/catal8110562.