



Kajian Pemanfaatan Minyak Biji Rami Sebagai Campuran Bahan Bakar Biodiesel B35

Amin Sulistyanto^{1*}, Syaiful Romadhon², Tri Tjahjono³

^{1,3}Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

²Sekolah Vokasi, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Indonesia

*Penulis korespondensi: as141@gmail.com

Abstract. Fossil based diesel fuels cause environmental problems due to harmful emissions and limited energy reserves in the fuel sector are increasingly minimal, thus encouraging the development of biodiesel alternative renewable energy. This study aims to synthesize B35 biodiesel from flaxseed oil through a soxhlet extraction process using n-hexane as a solvent, followed by a synthesis method through a transesterification reaction with methanol and a KOH catalyst to form biodiesel oil products. The resulting pure biodiesel product is then mixed with diesel fuel through a hot mixing process at a composition of 35% biodiesel and 65% diesel, then tested for physicochemical properties and no testing was carried out on the fuel engine performance. The test results show that B35 biodiesel meets ASTM D6751 and SNI 7182 standards based on physicochemical characteristics. Compound analysis confirms the dominant content of methyl linoleate at around 65%, as well as the presence of ester functional groups (C-O) and C-H aliphatic unsaturated acids indicating the success of the transesterification process. This research demonstrates that hemp seed has the potential to be a viable alternative vegetable oil source for biodiesel blends, possessing a chemical structure that can compete with other vegetable oils.

Keywords: Biodiesel; Soxhletation; Synthesis; Transesterification; Vegetable Oil.

Abstrak. Bahan bakar diesel berbasis fosil menimbulkan masalah lingkungan akibat emisi berbahaya serta keterbatasan cadangan energi pada sektor bahan bakar semakin minim, sehingga mendorong pengembangan biodiesel sebagai energi terbarukan alternatif. Penelitian ini bertujuan mensintesis biodiesel B35 berbahan baku minyak biji rami melalui proses ekstraksi sokhletasi menggunakan bahan pelarut n-heksan, dilanjutkan metode sintesis melalui reaksi transesterifikasi dengan metanol dan katalis KOH sehingga terbentuk produk minyak biodiesel. Produk biodiesel murni yang dihasilkan kemudian dicampur dengan solar melalui *hot mixing process* pada komposisi 35% biodiesel dan 65% solar, lalu dilakukan pengujian identifikasi sifat fisikokimia dan tidak dilakukan pengujian pada *engine perform* bahan bakar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa biodiesel B35 memenuhi standar ASTM D6751 dan SNI 7182 berdasarkan karakteristik fisika-kimia. Analisis senyawa mengonfirmasi kandungan dominan *methyl linoleate* sekitar 65%, serta keberadaan gugus fungsi ester (C-O) dan C-H alifatik asam tak jenuh yang menandakan keberhasilan proses transesterifikasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa biji rami berpotensi sebagai minyak nabati untuk sumber bahan baku campuran biodiesel alternatif yang layak dan mempunyai kandungan struktur kimia yang mampu bersaing dengan jenis minyak nabati yang lainnya.

Kata kunci: Biodiesel; Minyak Nabati; Sintesis Sokhletasi; Transesterifikasi.

1. LATAR BELAKANG

Sebagai respons terhadap kebutuhan energi nasional yang terus meningkat serta urgensi pengurangan emisi gas rumah kaca, pengembangan bahan bakar alternatif berbasis sumber daya terbarukan menjadi semakin strategis (Aslan, 2023). Biodiesel telah lama dipertimbangkan sebagai salah satu solusi transisi energi karena sifatnya yang *biodegradable*, dapat diperbarui, serta kompatibel dengan mesin diesel konvensional tanpa modifikasi besar. Sebagian besar biodiesel yang digunakan saat ini masih berbasis minyak kelapa sawit, sehingga menimbulkan tantangan baru terkait isu keberlanjutan, kompetisi lahan pangan, serta diversifikasi bahan baku (Shilvia et al. 2014). Eksplorasi bahan baku alternatif non-sawit menjadi penting untuk memperluas basis produksi biodiesel nasional. Salah satu bahan baku

potensial yang relatif belum banyak dikaji secara mendalam di Indonesia adalah minyak biji rami atau linseed oil. Minyak biji rami memiliki kandungan asam lemak yang tinggi, terutama asam *linoleate*, yang berpotensi memberikan karakteristik pembakaran dan sifat fisikokimia yang berbeda dibandingkan biodiesel berbasis minyak sawit (Mukhtar, 2022). Karakteristik tersebut dapat memengaruhi parameter penting seperti viskositas, densitas, nilai kalor, angka setana, serta stabilitas oksidasi, yang pada akhirnya berpengaruh terhadap performa pembakaran pada mesin *compression ignition* (CI). Oleh karena itu diketahui bahwa karakterisasi minyak biji rami penting untuk mengetahui sifat fisik dan kimianya, sehingga dapat dinilai kesesuaiannya sebagai bahan baku campuran biodiesel B35 yang memenuhi standar mutu, stabilitas, dan kinerja mesin. Selain itu penelitian ini diperlukan karena masih terbatasnya data mengenai potensi minyak biji rami sebagai sumber biodiesel B35, padahal diversifikasi bahan baku dapat meningkatkan ketahanan energi dan mengurangi ketergantungan pada minyak nabati konvensional.

Penelitian ini secara khusus menyoroti biodiesel yang berasal dari minyak biji rami (*linseed oil*) sebagai alternatif bahan baku untuk campuran biodiesel B35. Studi ini diarahkan untuk melakukan karakterisasi sifat fisikokimia biodiesel yang dihasilkan serta mengevaluasi karakteristik campuran biodiesel B35 berdasarkan parameter bahan bakar utama. Karakterisasi ini meliputi pengujian beberapa sifat bahan bakar seperti densitas, viskositas, nilai kalor, dan parameter kimia lainnya yang relevan untuk menilai kesesuaiannya dengan standar bahan bakar biodiesel (Kwakye, 2022). Sehingga Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan menemukan bahan baku biodiesel B35 yang berkelanjutan dan tidak bergantung pada minyak nabati konvensional. Karakterisasi minyak biji rami diperlukan untuk memastikan kualitas, kompatibilitas, serta potensi pemanfaatannya sebagai campuran biodiesel yang efisien, ramah lingkungan, dan memenuhi standar mutu.

Sebagian besar penelitian biodiesel berbasis minyak nabati masih berfokus pada campuran rendah hingga menengah, seperti B5 hingga B20, karena pertimbangan stabilitas bahan bakar, kompatibilitas dengan sistem mesin diesel, serta standar regulasi yang berlaku di berbagai negara. Sementara itu, implementasi campuran biodiesel yang lebih tinggi seperti B35 relatif baru, khususnya dalam konteks kebijakan energi di Indonesia. Oleh karena itu, kajian eksperimental mengenai karakteristik dan sifat fisikokimia biodiesel pada komposisi B35 masih terbatas dalam literatur ilmiah (Anwar, 2022, Amin, 2006).

Dengan melakukan karakterisasi terhadap biodiesel dari minyak biji rami pada campuran B35, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai sifat fisikokimia bahan bakar tersebut serta potensi kesesuaiannya sebagai alternatif bahan bakar

diesel. Hasil karakterisasi ini juga diharapkan dapat memberikan informasi awal mengenai kompatibilitas biodiesel berbasis minyak biji rami terhadap standar bahan bakar biodiesel yang berlaku (Afzal, 2022). Implementasi mandatori B35 di Indonesia sendiri mencerminkan upaya konkret untuk menekan emisi sekaligus mengurangi impor bahan bakar fosil (Kolakoti, 2022; Amin, 2006). Namun, hingga saat ini bahan baku utama biodiesel nasional masih didominasi oleh minyak kelapa sawit. Diversifikasi bahan baku menjadi penting tidak hanya untuk ketahanan energi, tetapi juga untuk mengoptimalkan potensi reduksi emisi berdasarkan karakteristik spesifik masing-masing minyak nabati (Amin, 2007).

Minyak biji rami (linseed oil) memiliki profil asam lemak tak jenuh yang tinggi, yang berpotensi memengaruhi karakteristik sifat fisikokimia bahan bakar serta kompatibilitas penggunaannya pada mesin diesel tipe *compression ignition*. Minyak biji rami (*linseed oil*) sebagai bahan baku biodiesel memiliki kandungan asam linolenat yang tinggi, yang secara teoritis dapat memengaruhi nilai kalor, viskositas, angka setana, serta karakteristik sifat fisikokimia bahan bakar. Namun demikian, kajian eksperimental mengenai biodiesel linseed oil dalam formulasi B35 di Indonesia masih sangat terbatas. Dengan mempertimbangkan perkembangan literatur internasional tahun 2025 yang menekankan pentingnya diversifikasi feedstock dan evaluasi karakteristik bahan bakar secara eksperimental, penelitian ini memiliki relevansi yang kuat dan aktual (Susanti & Santosa, 2022; Syaiful, 2022). *Novelty* penelitian ini terletak pada karakterisasi komprehensif minyak biji rami sebagai bahan baku campuran biodiesel B35, melalui analisis sifat fisikokimia, profil asam lemak, dan kesesuaiannya terhadap standar mutu, sehingga memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan sumber bahan bakar alternatif yang lebih berkelanjutan dan berpotensi meningkatkan diversifikasi energi.

2. KAJIAN TEORITIS

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif diperoleh melalui proses *transesterifikasi* trigliserida dari minyak nabati atau lemak hewani dan alkohol melalui katalis (Knothe et al., 2015). Biodiesel memiliki karakteristik yang lebih ramah lingkungan dibandingkan solar berbasis fosil, antara lain *cetane number* yang tinggi, sifat *biodegradable*, serta emisi gas buang yang lebih rendah (Abed et al., 2019; Hoang et al., 2021). Meskipun demikian, biodiesel juga memiliki keterbatasan seperti stabilitas oksidatif yang rendah, viskositas yang relatif tinggi, serta biaya produksi yang cukup mahal apabila menggunakan bahan baku minyak pangan (Sajjadi et al., 2016; Ong et al., 2020). Pemilihan bahan baku sangat menentukan kualitas dan keekonomisan biodiesel, sehingga berbagai penelitian telah mengeksplorasi sumber seperti

minyak kelapa sawit, kedelai, jarak pagar, biji rami, hingga minyak jelantah (Atabani et al., 2021).

Di antara berbagai alternatif tersebut, minyak biji rami (*linseed oil*) menjadi salah satu kandidat potensial karena ketersediaannya cukup melimpah dan bukan termasuk minyak pangan. Kandungan utama minyak biji rami adalah asam α -linolenat yang mencapai sekitar 50%. Komposisi ini membuat biodiesel dari *linseed oil* memiliki nilai kalor dan angka setana yang cukup baik, namun di sisi lain juga menjadikannya rentan terhadap oksidasi sehingga stabilitas penyimpanan biodiesel relatif rendah. Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan bahwa biodiesel berbasis *linseed oil* dapat diproduksi dengan baik melalui transesterifikasi menggunakan katalis homogen seperti NaOH atau KOH. Hasil konversi relatif tinggi dan beberapa parameter seperti densitas, viskositas, titik nyala, serta angka setana sudah mendekati standar ASTM maupun EN. Akan tetapi, masalah yang konsisten muncul adalah kestabilan oksidatif yang rendah sehingga umur simpan biodiesel lebih singkat dibandingkan biodiesel berbahan baku lain. Selain itu, penggunaan katalis homogen menimbulkan persoalan berupa pembentukan sabun yang mempersulit pemurnian biodiesel.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Ketergantungan global terhadap bahan bakar fosil menimbulkan permasalahan serius berupa pencemaran lingkungan, emisi gas berbahaya, serta keterbatasan cadangan energi yang semakin menipis serta disverifikasi sumber energi bahan bakar. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan sumber energi alternatif terbarukan yang berkelanjutan, salah satunya melalui pemanfaatan minyak nabati menjadi biodiesel.

Biji rami memiliki potensi sebagai bahan baku biodiesel karena kandungan minyaknya yang tinggi dan komposisi asam lemak yang mendukung proses konversi menjadi bahan bakar alternatif. Namun, pemanfaatan biji rami sebagai biodiesel B35 masih memerlukan kajian mendalam terkait kelayakan proses sintesis, kualitas produk, serta karakteristik kimianya.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada sejauh mana biji rami dapat dikembangkan sebagai sumber energi alternatif baru melalui sintesis biodiesel, bagaimana kesesuaian karakteristik fisikokimia biodiesel B35 yang dihasilkan terhadap standar mutu yang berlaku, serta bagaimana kandungan komponen senyawa dan gugus fungsi yang terbentuk sebagai indikator keberhasilan proses transesterifikasi.

Permasalahan ini menjadi kerangka konsep utama penelitian untuk menilai potensi teknis, kualitas standar, dan struktur kimia biodiesel biji rami sebagai kandidat bahan bakar diesel terbarukan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental,

yaitu metode penelitian yang dilakukan dengan memberikan perlakuan tertentu terhadap bahan penelitian untuk menghasilkan suatu produk, kemudian mengamati dan menganalisis variabel-variabel yang memengaruhi hasil yang diperoleh.

Objek penelitian ini adalah sintesis biodiesel dari minyak nabati biji rami (*Linum usitatissimum* atau *flaxseed*) melalui proses kimiawi transesterifikasi untuk menghasilkan bahan bakar alternatif terbarukan. Penelitian difokuskan pada analisis karakteristik biodiesel yang dihasilkan serta evaluasi campuran biodiesel dengan minyak solar sehingga terbentuk biodiesel B35.

Penelitian diawali dengan studi literatur, yaitu penelusuran referensi ilmiah terkait produksi biodiesel dari bahan baku *non-edible*, khususnya biji rami (*linseed*), proses transesterifikasi, serta parameter pengujian kualitas biodiesel. Studi ini menjadi landasan dalam menentukan metode dan pendekatan penelitian. Setelah studi literatur, dilakukan preparasi alat dan bahan. Alat utama meliputi *set* sokhletasi, *set* destilasi, *set* pencampuran, dan berbagai peralatan laboratorium. Bahan utama yang dipersiapkan meliputi biji rami sebagai bahan baku *non-edible*, metanol sebagai reaktan transesterifikasi, katalis KOH, MgSO₄ sebagai pengering, akuades sebagai pelarut/pembersih, serta asam cuka 5% untuk netralisasi.

Proses berikutnya adalah sokhletasi untuk mengekstraksi minyak dari biji rami menggunakan pelarut *n-heksana* secara berulang dengan bantuan panas. Minyak hasil sokhletasi kemudian dimurnikan melalui destilasi untuk menghilangkan sisa pelarut. Selanjutnya dilakukan transesterifikasi, yaitu: reaksi antara trigliserida dalam minyak dengan metanol menggunakan katalis basa KOH, untuk menghasilkan biodiesel murni (B100) dan *gliserol* sebagai produk samping. Biodiesel B100 kemudian dicampurkan dengan minyak solar 65% membentuk B35. Biodiesel B35 yang dihasilkan diuji dalam dua aspek: (1) sifat fisik dan kimia meliputi densitas, viskositas, *flash point*, nilai kalor, dan angka *cetana*; (2) analisis struktur senyawa menggunakan GC-MS dan FTIR. Data hasil pengujian kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan standar kualitas biodiesel.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil produksi minyak biodiesel B35 dari biji rami dimulai dengan tahap ekstraksi minyak nabati dari biji rami menggunakan metode sokhletasi. Biji rami yang telah dibersihkan dan dikeringkan kemudian dihancurkan hingga berbentuk bubuk halus. Bubuk ini dimasukkan ke dalam alat sokhletator, kemudian dilakukan proses ekstraksi dengan menggunakan pelarut *n-heksana*. Ekstraksi dilakukan secara berulang pada suhu tertentu selama beberapa jam untuk memaksimalkan keluarnya minyak dari bahan padat. Setelah proses selesai, campuran minyak

dan pelarut dipisahkan melalui destilasi untuk menghilangkan sisa *n-heksane* sehingga diperoleh minyak biji rami murni. Berikut merupakan gambar minyak biji rami murni (Hasil Sokhletasi), gambar-1:



Gambar 1. Minyak Biji Rami Murni (Hasil Sokhletasi).

Minyak biji rami mentah yang dihasilkan memiliki warna kuning kecoklatan, tekstur kental, dan bau khas nabati. Kandungan senyawa lemak dalam minyak ini terutama terdiri dari trigliserida, yang merupakan bahan dasar untuk proses transesterifikasi (Piker et al., 2016), kandungan utama trigliserida pada minyak nabati memang menjadi faktor kunci dalam efisiensi proses transesterifikasi karena memengaruhi rendemen biodiesel yang dihasilkan. Selanjutnya, minyak biji rami mentah diproses menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi. Proses ini melibatkan pencampuran minyak dengan metanol dan katalis basa KOH dalam reaktor tertutup. Reaksi dilakukan pada suhu sekitar 60°C selama dua jam dengan pengadukan konstan agar campuran homogen dan reaksi berlangsung sempurna. Reaksi ini menghasilkan dua lapisan: lapisan atas berupa *metil ester* (biodiesel murni) dan lapisan bawah berupa *gliserol*.

Penggunaan katalis basa KOH lebih efektif dibanding katalis asam dalam mempercepat reaksi transesterifikasi serta menghasilkan rendemen biodiesel di atas 90%. Setelah fase pemisahan, biodiesel yang diperoleh dimurnikan dengan cara pemanasan untuk menghilangkan sisa metanol serta dicuci menggunakan air hangat guna menghilangkan sisa basa dan sabun (Hoekman et al., 2012). Proses ini dilakukan berulang hingga biodiesel menjadi jernih dan tidak mengandung kontaminan. Hasil akhir berupa biodiesel murni (B100) kemudian dicampurkan dengan minyak solar dalam perbandingan 35% biodiesel dan 65% solar menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 60–70°C selama 30 menit untuk menghasilkan campuran homogen. Berikut merupakan gambar minyak biodiesel B100 (Biji rami), gambar-

2



Gambar 2. Minyak Biodiesel B100 (Biji Rami).

Produk akhir yang dihasilkan adalah biodiesel B35, yang secara visual tampak lebih jernih dibandingkan minyak mentah, berwarna kuning cerah, dan tidak memiliki bau menyengat. Karakteristik awal dari biodiesel B35 menunjukkan viskositas yang lebih ringan dibandingkan minyak mentah serta stabil secara kimiawi. Secara umum, produk biodiesel B35 dari biji rami ini menunjukkan sifat fisik yang menyerupai bahan bakar solar, namun tetap mempertahankan ciri khas biodiesel dari bahan nabati. Biodiesel dengan campuran 30–35% menunjukkan kestabilan pembakaran yang lebih baik serta nilai kalor yang mendekati solar murni, sehingga ideal digunakan pada mesin diesel tanpa modifikasi besar (Kusumayanti, 2022). Proses produksi ini menunjukkan bahwa biji rami sebagai bahan baku *non-edible* memiliki potensi besar dalam menghasilkan biodiesel yang layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Pemanfaatan minyak *non-edible*, termasuk biji rami, lebih berkelanjutan dibandingkan minyak *edible* karena tidak bersaing dengan kebutuhan pangan. Selain itu, proses produksi yang relatif sederhana dan tidak membutuhkan perlakuan kimia berbahaya menjadikan metode ini ramah lingkungan dan dapat dikembangkan lebih lanjut pada skala industri. Berikut merupakan hasil akhir dari minyak biodiesel B35 (Biji Rami) gambar-3.



Gambar 3. Minyak Biodiesel B35 (Biji Rami) yang di ujikan.

Dengan demikian, proses produksi dari minyak nabati biji rami menjadi biodiesel B35 melibatkan beberapa tahapan kimiawi dan fisik yang kompleks namun tetap efisien. Proses ini memerlukan perlakuan khusus agar senyawa-senyawa dalam minyak rami dapat dikonversi

menjadi metil ester (biodiesel) yang berkualitas. Hasil akhir dari proses ini menunjukkan karakteristik yang mendekati standar bahan bakar biodiesel komersial, yaitu biodiesel yang telah memenuhi syarat kelayakan mutu seperti tingkat kejernihan, viskositas, kadar air, nilai kalor, dan kestabilan pembakaran. Standar ini ditetapkan oleh lembaga seperti SNI (Standar Nasional Indonesia) agar biodiesel dapat digunakan secara luas pada mesin diesel tanpa merusak sistem bahan bakar dengan kata lain Berdasarkan SNI 7182:2015, biodiesel yang layak harus memiliki viskositas kinematik 2,3–6,0 cSt, kadar air maksimum 0,05%, dan angka setana minimum 51 agar aman digunakan pada mesin diesel. Proses pencampuran, biodiesel murni kemudian dicampur dengan minyak solar dengan perbandingan 35% biodiesel dan 65% solar menggunakan alat magnetic stirrer.

Proses ini dilakukan pada suhu 190°C dan kecepatan pengadukan 400 rpm selama 30 menit. Namun, penelitian oleh Pramesti (2024) menunjukkan bahwa pencampuran biodiesel dan solar umumnya dilakukan pada suhu 60–70°C, sehingga variasi suhu yang lebih tinggi dapat memengaruhi kestabilan campuran dan perlu dilakukan analisis lebih lanjut. Campuran yang homogen ini menghasilkan produk akhir berupa biodiesel B35, yang siap digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan.

Pengujian sifat fisika dan kimia dari biodiesel B35

Parameter pengujian seperti densitas, viskositas, titik nyala (*flash point*), nilai kalor, dan angka cetana dipilih karena merupakan sifat utama bahan bakar yang memengaruhi proses atomisasi bahan bakar, karakteristik pembakaran, efisiensi energi, serta keamanan penyimpanan pada mesin diesel (*compression ignition engine*).



Gambar 4. Parameter pengujian fisikokimia biodiesel B35.

Pengujian karakteristik minyak biodiesel B35 dari biji rami dan bahan bakar solar sebagai pembandingan, pengujian ini meliputi:

- Pengujian Densitas dengan metode SNI (0,884 g/cm³)
- Pengujian Viskositas dengan metode ASTM D445 (5,99 cSt)
- Pengujian Titik Nyala dengan metode ASTM D92 (89°C)
- Pengujian Nilai Kalor dengan metode IKA/LEL-ITS (10,101Kkal/Kg)

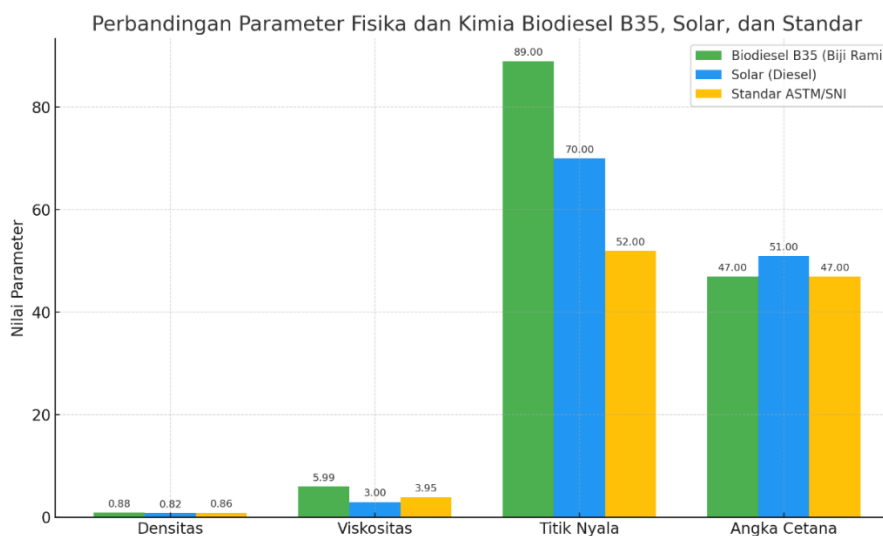
e. Pengujian Angka *Cetana* dengan metode IKA/LEL-ITS (47)

Pengujian ini dilakukan untuk menilai kualitas dan kinerjanya sebagai bahan bakar alternatif. Kemudian muncul hasil uji ini dibandingkan dengan bahan bakar solar (diesel) konvensional serta mengacu pada standar kualitas biodiesel menurut ASTM D6751 dan SNI 7182:2015. Tabel-1

Tabel 1. Hasil uji sifat fisika biodiesel ASTM D6751 dan SNI 7182:2015.

No	Parameter	Biodiesel B35 (Biji Rami)	Solar (Diesel)	Standar ASTM D6751 / SNI 7182
1	Densitas (g/cm^3)	0.884	0.820	0.82 – 0.90
2	Viskositas (cSt, 40°C)	5.99	3.00	1.9 – 6.0
3	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	89	70	≥ 52
4	Nilai Kalor (kkal/kg)	10,101	10,900	-
5	Angka <i>Cetane</i>	47	51	≥ 47

Berikut adalah grafik batang perbandingan parameter fisika dan kimia antara Biodiesel B35 dari biji rami, Solar (diesel), dan standar ASTM/SNI. Grafik ini menampilkan 4 parameter utama yang memiliki acuan standar, pada gambar-4.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Parameter Pengujian.

Berdasarkan tabel-1 dapat di jelaskan sebagai berikut:

- Densitas Biodiesel B35 menunjukkan densitas sebesar 0.884 g/cm^3 , lebih tinggi dibanding solar (0.820 g/cm^3). Densitas yang lebih tinggi ini merupakan karakteristik umum biodiesel karena kandungan oksigen dan struktur molekulnya yang lebih kompleks. Densitas yang terlalu tinggi dapat memengaruhi sistem injeksi dan atomisasi bahan bakar, namun nilai ini masih berada dalam rentang yang diperbolehkan oleh standar.
- Viskositas Nilai viskositas dari biodiesel B35 adalah 5.99 cSt, jauh lebih tinggi dibandingkan solar yang memiliki viskositas sekitar 3.80 cSt. Viskositas yang lebih tinggi dapat meningkatkan tekanan dalam sistem bahan bakar dan memengaruhi penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar. Namun, nilai ini tetap dalam batas standar ASTM D6751 (1.9–

6.0 cSt), sehingga masih tergolong aman digunakan. Viskositas tinggi ini juga berkaitan dengan komposisi metil ester dalam biodiesel.

- c. Titik nyala (*flash point*) dari biodiesel B35 biji rami tercatat sebesar 89°C, lebih tinggi dibandingkan dengan solar sebesar 70°C, dan memenuhi standar ASTM D6751 maupun SNI 7182:2015. Titik nyala yang lebih tinggi menunjukkan tingkat keamanan penyimpanan dan transportasi yang lebih baik karena bahan bakar tidak mudah menguap dan terbakar pada suhu rendah. Namun, tingginya titik nyala ini dapat menyebabkan mesin menjadi sedikit lebih sulit untuk dinyalakan pada suhu rendah, dibandingkan dengan penggunaan solar..
- d. Nilai Kalor Nilai kalor biodiesel B35 adalah 10.101 kkal/kg, sedikit lebih rendah dari solar (10.900 kkal/kg). Penurunan ini umum terjadi karena biodiesel memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi, sehingga energi pembakaran per satuan massa lebih rendah dibandingkan hidrokarbon murni pada solar. Meski demikian, nilai ini masih cukup tinggi untuk menghasilkan performa pembakaran yang baik.
- e. Angka *Cetane* biodiesel B35 adalah 47, sedangkan solar sebesar 51. Angka *cetane* berperan penting dalam menentukan kualitas pembakaran bahan bakar dalam mesin diesel. Semakin tinggi angka *cetane*, maka semakin cepat bahan bakar menyala setelah disemprotkan ke ruang bakar. Meskipun lebih rendah dari solar, angka *cetane* biodiesel B35 masih memenuhi batas minimal SNI (≥ 47), sehingga dapat diterima sebagai bahan bakar mesin diesel.
- f. Angka *Cetane* merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kualitas bahan bakar diesel. Pada biodiesel B35, angka cetane tercatat sebesar 47, sedangkan pada solar mencapai 51. Semakin tinggi angka *cetane*, semakin cepat bahan bakar menyala setelah disemprotkan ke ruang bakar sehingga pembakaran lebih sempurna dan getaran mesin lebih halus. Meskipun angka *cetane* biodiesel B35 lebih rendah daripada solar, nilainya masih memenuhi standar minimal SNI (≥ 47) sehingga tetap dapat diterima sebagai bahan bakar mesin diesel. Selain angka *cetane*, biodiesel B35 juga memiliki beberapa sifat lain yang memengaruhi kinerjanya. Dari segi penyalaan, biodiesel B35 tetap mudah terbakar karena angka *cetane*-nya berada pada batas standar.
- g. Kandungan oksigen alaminya sekitar 10–12% juga membantu meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi asap hitam. Dari sisi kekentalan, biodiesel memang lebih tinggi dibanding solar, namun pada campuran B35 masih dalam batas aman untuk proses pengabutan bahan bakar. Sifat lain yang perlu diperhatikan adalah stabilitas termal dan oksidasi, di mana biodiesel relatif lebih cepat teroksidasi sehingga penyimpanan jangka

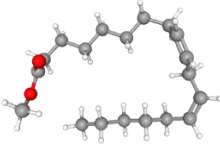
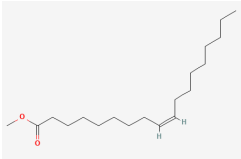
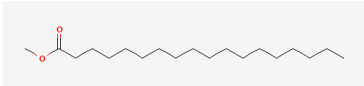
panjang membutuhkan perlakuan khusus. Di sisi lain, biodiesel B35 hampir tidak mengandung sulfur sehingga lebih ramah lingkungan dan mampu menekan emisi gas buang berbahaya. Dengan kombinasi sifat tersebut, biodiesel B35 dapat dikatakan sebagai alternatif energi yang layak digunakan, karena selain memenuhi standar teknis juga mendukung upaya pengurangan polusi.

Pengujian sifat fisika dan kimia biodiesel B35 dari biji rami menunjukkan bahwa bahan ini memiliki potensi besar sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan berstandar mutu tinggi. Pemanfaatan minyak biji rami (*linseed oil*) dan gliserol hasil samping biodiesel dalam pembuatan vernis alami (Ayu, 2022). Minyak biji rami diketahui memiliki karakteristik kimia unggul seperti kandungan asam lemak tak jenuh dan bilangan iodine yang tinggi, yang berperan penting dalam sifat *drying oil* serta kemampuannya membentuk ikatan polimer melalui proses oksidatif.

Hasil pengujian senyawa kimia minyak biodiesel B35 biji rami menggunakan pengujian GC-MS

Analisis GC-MS (*Gas Chromatography – Mass Spectrometry*) dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa-senyawa kimia yang terdapat dalam biodiesel B35 hasil transesterifikasi minyak biji rami. Berdasarkan kromatogram yang diperoleh dari alat GC-MS, Berikut adalah lima senyawa utama dengan area terbesar yang teridentifikasi berdasarkan data kromatogram, pada Tabel.2

Tabel 2. Hasil Uji Senyawa Kimia Biodiesel B35.

No	Retention Time (Menit)	Nama Senyawa (Identifikasi Pustaka)	Struktur Molekul	Area (%)
1	15.798	<i>Methyl Linoleate</i> (C19H34O2)		24.77
2	14.042	<i>Methyl Palmitate</i> (C17H34O2)		22.53
3	15.855	<i>Methyl Oleate</i> (C19H36O2)		11.16
4	15.912	<i>Methyl Stearate</i> (C19H38O2)		6.16

Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa senyawa dominan dalam biodiesel B35 dari biji rami adalah *Methyl Linoleate* dengan persentase area terbesar. Tingginya kandungan asam lemak tak jenuh (seperti *linoleate* dan *oleate*) menandakan biodiesel ini memiliki sifat pembakaran yang baik karena kandungan oksigen alaminya lebih tinggi, meskipun hal ini juga membuatnya relatif lebih rentan terhadap oksidasi. Sementara itu, adanya kontribusi dari asam lemak jenuh (*palmitate* dan *stearate*) membantu menyeimbangkan sifat fisik dan kestabilan bahan bakar.

Secara keseluruhan, hasil identifikasi GC-MS ini membuktikan bahwa biodiesel B35 dari biji rami terdiri dari campuran *methyl ester* asam lemak jenuh dan tak jenuh yang saling melengkapi, sehingga mendukung kualitasnya sebagai bahan bakar alternatif yang memenuhi standar mutu biodiesel.

Biodiesel tersusun atas senyawa *Fatty Acid Methyl Esters* (FAME) yang terbentuk melalui proses transesterifikasi trigliserida dalam minyak nabati, seperti biji rami (Karkal et al. 2023). Minyak biji rami dikenal memiliki kandungan asam lemak tak jenuh ganda yang tinggi, dengan bilangan iodine mencapai 180 (Ayu, 2022). Kandungan ikatan rangkap ini menyebabkan minyak biji rami tergolong dalam kelompok *drying oil*, yang bersifat mudah mengalami oksidasi.

Biodiesel, menjelaskan mengapa senyawa *metil ester* yang dihasilkan dari minyak biji rami memiliki sifat mudah terbakar namun stabil, ditunjukkan oleh nilai titik nyala yang tinggi dan viskositas yang cukup besar. Sementara itu, bahan bakar solar tidak mengandung gugus *ester* dan hanya terdiri dari hidrokarbon jenuh dan aromatik, sehingga tidak menunjukkan puncak senyawa ester dalam kromatogram GC-MS seperti yang terlihat pada biodiesel.

Kandungan senyawa kimia utama dalam biodiesel B35 biji rami tidak hanya mencerminkan keberhasilan proses transesterifikasi, tetapi juga menegaskan bahwa minyak biji rami memiliki potensi besar sebagai bahan baku biodiesel yang ramah lingkungan dan sesuai untuk standar performa bahan bakar modern.

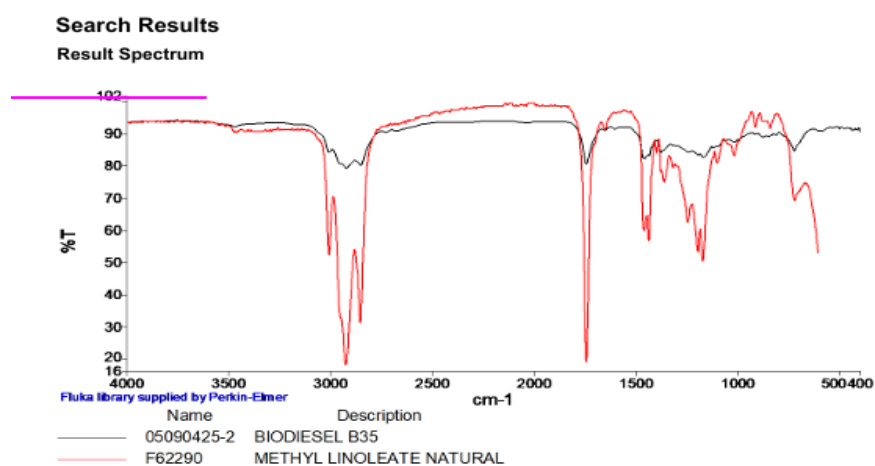
Hasil identifikasi melalui GC-MS menunjukkan bahwa senyawa *methyl ester* utama dalam biodiesel B35 berasal dari asam lemak tak jenuh seperti *methyl linoleate*. Kandungan senyawa tersebut mencerminkan karakteristik khas minyak biji rami dan berkontribusi pada kualitas pembakaran biodiesel berdasarkan data hasil uji dan data pembanding (minyak diesel). Profil kromatogram yang muncul memperkuat keberhasilan proses transesterifikasi dan validitas hasil melalui pola senyawa dominan.

Hasil pengujian kandungan gugus fungsi minyak biodiesel B35 biji rami menggunakan pengujian FTIR

Berdasarkan hasil Spektrum FTIR menunjukkan adanya beberapa puncak serapan khas Tabel-3 dan Gambar-5.

Tabel 3. Hasil Identifikasi Gugus Fungsi FTIR.

No	Frekuensi (cm ⁻¹)	Intensitas (%T)	Gugus Fungsi
1	3472.85	92.26	-OH (residu air/minor)
2	3009.84	84.19	=C-H (ikatan rangkap tak jenuh)
3	2924.22 & 2854.55	~79–80	C-H alifatik (rantai CH ₂ /CH ₃)
4	1745.82	80.53	C=O ester (tanda utama ester)
5	1169.97 – 1243.98	~82–84	C-O <i>stretching ester</i>



Gambar 6. Spektra Biodiesel B35 dan *Methyl Linoleate*.

Spektrum memperlihatkan puncak kuat pada 1745 cm⁻¹ yang merupakan ciri khas gugus karbonil (C=O) dari *ester*, menunjukkan konversi minyak nabati menjadi *metil ester* (biodiesel) berhasil. Gugus C-H alifatik pada 2924–2854 cm⁻¹ menandakan keberadaan rantai hidrokarbon panjang yang penting dalam bahan bakar. Adapun perbandingan dengan hasil uji FTIR dari minyak solar yaitu Spektrum solar tidak menunjukkan puncak di sekitar 1745 cm⁻¹ karena tidak memiliki gugus *ester*. Hanya C-H stretching yang muncul. Berdasarkan hasil analisis Spektrum FTIR terhadap biodiesel B35 dari minyak biji rami, terlihat adanya serapan khas pada 1745,82 cm⁻¹, yang mengindikasikan keberadaan gugus karbonil (C=O) dari senyawa *ester*.

Indikator utama keberhasilan reaksi transesterifikasi dalam mengubah *trigliseride* dari minyak nabati menjadi *methyl ester*, sebagaimana dijelaskan oleh Agustin et al. (2020) bahwa transesterifikasi menghasilkan senyawa FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) yang ditandai dengan gugus fungsi C=O dan C-O *ester*. Puncak lainnya di rentang 1169,97 – 1243,98 cm⁻¹ menunjukkan C-O *stretching*, yang memperkuat keberadaan struktur *ester*. Kehadiran pita serapan pada 2924,22 dan 2854,55 cm⁻¹ menandakan C-H alifatik, berasal dari rantai

hidrokarbon panjang yang menjadi bagian penting dalam struktur biodiesel sebagai bahan bakar.

Lebih lanjut, puncak di sekitar $3009,84\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan keberadaan ikatan =C-H , yang menunjukkan bahwa sebagian senyawa masih mengandung ikatan rangkap tak jenuh, selaras dengan sifat minyak biji rami yang mengandung asam lemak tak jenuh ganda, seperti *linoleate*, minyak biji rami memiliki bilangan iodine tinggi (180), merefleksikan tingkat ketidakjenuhan yang tinggi (Ayu, 2022).

Ketidakjenuhan ini berperan penting dalam proses *oxidative drying* dalam aplikasi seperti vernis, dan pada biodiesel, Hal ini, memengaruhi kestabilan oksidatif dan profil pembakarannya. Sebaliknya, pada bahan bakar solar (diesel), spektrum FTIR tidak menunjukkan serapan di daerah 1745 cm^{-1} karena tidak mengandung gugus *ester*, melainkan terdiri dari hidrokarbon jenuh dan aromatik. Solar hanya menunjukkan pita serapan C-H stretching pada wilayah $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ tanpa disertai karakteristik *ester*, membedakannya secara tegas dari biodiesel secara struktural maupun spektral.

Analisis FTIR yang dilakukan membuktikan bahwa biodiesel B35 dari biji rami mengandung gugus fungsi khas ester yang menjadi penanda utama keberhasilan proses transesterifikasi. Temuan ini konsisten dengan teori yang dikemukakan dalam literatur dan jurnal terkait, serta menegaskan kembali bahwa minyak biji rami merupakan bahan baku potensial yang menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi, baik dari sisi struktur kimia maupun fungsionalitas sebagai bahan bakar alternatif. Spektrum FTIR menunjukkan puncak-puncak khas dari gugus fungsi *ester*, seperti C=O dan C-O , serta keberadaan gugus C-H alifatik dan =C-H tak jenuh. Hal ini mengkonfirmasi bahwa struktur kimia biodiesel B35 telah sesuai dengan karakteristik metil *ester* hasil transesterifikasi. Perbedaan spektrum FTIR dengan solar juga memperkuat bukti bahwa produk ini merupakan biodiesel berbasis minyak nabati.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang produksi dan karakterisasi biodiesel B35 dari minyak biji rami, maka dapat disimpulkan: Biji rami dapat menjadi salah satu sumber campuran biodiesel melalui proses sintesis. Pada proses sintesis biodiesel, terjadi reaksi transesterifikasi minyak biji rami melalui metode alkoholisis dan penambahan katalis berhasil menghasilkan biodiesel B35 yang memiliki potensi sebagai bahan bakar terbarukan. Dengan ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan serta sifat fisikokimia nya cukup signifikan memenuhi standar satuan parameter, minyak biji rami berpeluang menjadi sumber campuran bahan bakar alternatif biodiesel. Tetapi minyak biji rami juga memiliki kekurangan yaitu

adanya kandungan methyl oleate mempengaruhi angka cetana lebih rendah dibanding solar sebagai pembanding.

Karakteristik kandungan biodiesel B35 dari biji rami sesuai dengan standar mutu biodiesel (ASTM D6751 dan SNI 7182). Parameter utama seperti densitas, viskositas, angka *cetane*, titik nyala, dan kestabilan oksidatif menunjukkan nilai dalam rentang yang dapat diterima. Hal ini menegaskan bahwa biodiesel dari biji rami layak digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, meskipun masih memiliki perbedaan kecil dibandingkan solar konvensional.

Kandungan komponen senyawa dan gugus fungsi pada biodiesel B35 dari biji rami menunjukkan keberadaan *methyl ester* asam lemak sebagai senyawa dominan. Hasil analisis FTIR mengidentifikasi gugus fungsi khas biodiesel seperti gugus *ester* (C=O), gugus alkil (C–H), serta gugus C–O dari *ester*, yang menegaskan bahwa reaksi pada proses sintesis biodiesel berlangsung optimal. Komposisi ini sekaligus memperkuat validitas biodiesel biji rami sebagai campuran bahan bakar alternatif biodiesel yang memiliki sifat kimia sesuai parameter standar dari satuan ASTM dan SNI.

Kandungan senyawa “*methyl linoleate*” yang ada pada B35 Biji rami yang cukup mendominasi menyebabkan nilai *cetane number* lebih rendah dibandingkan dari solar (*diesel*), berdampak pada stabilitas oksidatif umur penyimpanan bahan bakar yang mampu bertahan dalam waktu yang lama dan hal ini berdampak juga pada titik nyala yang tinggi, saat uji nyala yang dilakukan secara manual dengan menggunakan korek api menunjukkan bahwa biodeisel B35 ini tidak mudah terbakar saat dipanaskan dengan api. Hal ini disebabkan karena kestabilan dua ikatan rangkap C sulit di pecah di bandingkan satu ikatan tunggal C pada *n-parafin* solar saat proses pencampuran , tetapi keberadaan campuran 65% minyak diesel pada B35 dapat membantu menyeimbangkan, sehingga diharapkan performa tidak terganggu secara signifikan.

DAFTAR REFERENSI

- Abed, K. A., El Morsi, A. K., Sayed, M. M., Shaib, A. A. E., & Gad, M. S. (2019). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Egyptian Journal of Petroleum*, 28(2), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2019.03.001>
- Afzal, A., Roy, R. G., Koshy, C. P., Abbas, M., Cuce, E., RK, A. R., ... & Saleel, C. A. (2022). Characterization of biodiesel based on plastic pyrolysis oil (PPO) and coconut oil: performance and emission analysis using RSM-ANN approach. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103046.
- Amin, S. (2006). Karakteristik Pembakaran Biobriket Campuran Batubara dan Sabut Kelapa. *Jurnal Media Mesin*. 7(2).

<https://journals.ums.ac.id/mesin/search/authors/view?firstName=Amin&middleName=&lastName=Sulistyanto&affiliation=&country=ID>

- Amin, S. (2007). Pengaruh Variasi Bahan Perekat Terhadap Laju Pembakaran Biobriket Campuran Batubara dan Sabut Kelapa. *Jurnal Media Mesin*, 8(2). <https://journals.ums.ac.id/mesin/search/authors/view?firstName=Amin&middleName=&lastName=Sulistyanto&affiliation=&country=ID>
- Ashok, B., Nanthagopal, K., & Vignesh, D. S. (2022). Recent advances in biodiesel production and its engine performance: A review. *Fuel*, 312, 122889. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122889>
- Anwar, F., Tariq, M., Nisar, J., Ali, G., & Kanwal, H. (2022). Optimization of biodiesel yield from non-food karanja seed oil: Characterization and assessment of fuel properties. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 3, 100035.
- Aslan, V. (2022). Fuel characterization, engine performance characteristics and emissions analysis of different mustard seed biodiesel: An overview. *Journal of Biotechnology*, 370, 12-30
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Badruddin, I. A. (2021). Non-edible vegetable oils as biodiesel feedstock: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111117. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111117>
- Ayu, K. V. (2022). Pengaruh Pemberian Minyak Biji Rami Per Oral terhadap Peningkatan Jumlah Osteoblas pada Tikus Putih Jantan Galur Sprague Dawley dengan Periodontitis. *SONDE (Sound of Dentistry)*, 7(2), 22-28.
- Hoang, A. T., Pham, V. V., & Nguyen, D. N. (2021). A review on fuel properties and emission characteristics of biodiesel–diesel blends. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 43(21), 2669–2694. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1604872>
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 1, pp. 143–169). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>
- Karkal, S. S., Rathod, D. R., Jamadar, A. S., Mamatha, S. S., & Kudre, T. G. (2022). Production optimization, scale-up, and characterization of biodiesel from marine fishmeal plant oil using *Portunus sanguinolentus* crab shell derived heterogeneous catalyst. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 47, 102571.
- Knothe, G., Van Gerpen, J., & Krahl, J. (2015). *The biodiesel handbook* (2nd ed.). AOCS Press.
- Kolakoti, A., Setiyo, M., & Rochman, M. L. (2022). A Green Heterogeneous Catalyst Production and Characterization for Biodiesel Production using RSM and ANN Approach. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(3).
- Kusumayanti, H. (2022). Studi eksperimen dan evaluasi karakteristik sintesis biodiesel dari minyak nabati jenis biji rami (linseed oil). *Metana*, 9(1), 1–52. <https://doi.org/10.14710/metana.v9i01.7209>
- Kwakye, J. M., Ekechukwu, D. E., & Ogbu, A. D. (2022). Advances in characterization techniques for biofuels: From molecular to macroscopic analysis. *Renewable Energy Technol*, 98, 117-132

- Mukhtar, A., Saqib, S., Lin, H., Shah, M. U. H., Ullah, S., Younas, M. & Bokhari, A. (2022). Current status and challenges in the heterogeneous catalysis for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 157, 112012.
- Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Norhasyima, R. S. (2020). Comparison of palm oil, *Jatropha curcas* and *Calophyllum inophyllum* for biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.020>
- Piker, A., Tabah, B., Perkas, N., & Gedanken, A. (2016). A green and low-cost room temperature biodiesel production method from waste oil using egg shells as catalyst. *Fuel*, 182, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.05.078>
- Sajjadi, B., Raman, A. A. A., & Arandiyan, H. (2016). A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: Composition, specifications and prediction models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63(1), 62–92. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.035>
- Shilvia, V, S., Agus, H & Sugeng, T. (2014). Pengaruh Suhu dan Waktu Suhu Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 3(1),p: 27- 34. <file:///C:/Users/lenovo/Downloads/379-Article%20Text-1144-1-10-20140610.pdf>
- Susanti, T., & Santosa, S. (2022). Studi Penggunaan Katalis Cao-Naoh Pada Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 8(2), 294–300. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i2.361>. 2022(2), 294–300. <http://distilat.polinema.ac.id>
- Syaiful, R. & Tri, J. (2022). *Proses Perbaikan Oil Pump System Pada Unit Wheel Loader Caterpillar 910E*. Skripsi. Teknik Mesin. UMS. Surakarta.