

OPTIMASI RASIO MOLAR METANOL DAN WAKTU REAKSI BIODIESEL MINYAK INTI BIJI KETAPANG

Geriya Nurita Hazar^{1*}, Akbar Ismi Aziz P.¹, Dilia Puspa¹

¹Program Studi D-IV Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar, Palembang 30139

*Penulis korespondensi: geriyyhazar@gmail.com

Abstrak.

Krisis energi global dan ketergantungan pada bahan bakar fosil mendorong pengembangan biodiesel sebagai energi terbarukan. Inti biji ketapang (*Terminalia catappa* Linn) berpotensi sebagai bahan baku non-pangan, tetapi optimasi rasio metanol dan waktu reaksi pada produksi biodiesel dari minyak hasil ekstraksi mesin pres mekanis masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis penggunaan rasio molar metanol terhadap minyak 4:1, 6:1, 8:1, dan 10:1 serta waktu reaksi 60, 90, dan 120 menit terhadap yield dan karakteristik biodiesel. Biodiesel diproduksi melalui transesterifikasi berkatalis NaOH pada suhu 60°C dan pengadukan 600 rpm. Parameter yang dianalisis meliputi yield, densitas, viskositas, kadar air, angka asam, angka setana, dan titik nyala berdasarkan SNI 7182:2015. Ekstraksi mesin pres mekanis terhadap 2.625 g inti biji ketapang menghasilkan 1.630 g minyak dengan yield 62,1%, FFA 1,41%, densitas 900 kg/m³, dan viskositas 39,74 cSt. Yield biodiesel tertinggi sebesar 96% diperoleh pada rasio molar 4:1 dan waktu reaksi 120 menit. Seluruh parameter mutu yang diuji memenuhi SNI 7182:2015. Penelitian ini mengintegrasikan ekstraksi bebas pelarut dengan optimasi simultan dua variabel transesterifikasi untuk pengembangan biodiesel non-pangan.

Kata Kunci: biodiesel; inti biji ketapang; rasio metanol; transesterifikasi; waktu reaksi

Abstract.

The global energy crisis and dependence on fossil fuels have encouraged the development of biodiesel as a renewable energy source. Ketapang seed kernels (*Terminalia catappa* Linn) have potential as a non-edible feedstock, but optimization of methanol ratio and reaction time for biodiesel production from mechanically pressed oil remains limited. This study evaluated methanol-to-oil molar ratios of 4:1, 6:1, 8:1, and 10:1 and reaction times of 60, 90, and 120 min on biodiesel yield and characteristics. Biodiesel was produced by NaOH-catalyzed transesterification at 60°C and 600 rpm. Yield, density, viscosity, moisture content, acid value, cetane number, and flash point were evaluated according to SNI 7182:2015. Mechanical pressing of 2,625 g of ketapang seed kernels produced 1,630 g of oil with a 62.1% yield, FFA content of 1.41%, density of 900 kg/m³, and viscosity of 39.74 cSt. The highest biodiesel yield, 96%, was obtained at a 4:1 molar ratio and 120 min reaction time. All measured quality parameters met SNI 7182:2015. This study integrates solvent-free mechanical pressing with simultaneous optimization of two transesterification variables for non-edible biodiesel development.

Keywords: biodiesel; ketapang seed kernel; methanol ratio; reaction time; transesterification

1. Pendahuluan

Ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil menyebabkan keterbatasan pasokan energi sekaligus mendorong peningkatan emisi gas rumah kaca di tingkat global. Biodiesel muncul sebagai salah satu alternatif energi yang dapat terurai secara hayati, menghasilkan emisi lebih rendah, dan bisa diproduksi dari beragam minyak nabati (Chozhavendhan et al., 2020;

Randive et al., 2024). Sebagai negara tropis kaya keanekaragaman hayati, Indonesia memiliki potensi besar mengembangkan biodiesel berbahan baku non-pangan untuk mengurangi ketergantungan pada minyak sawit serta mendukung ekonomi sirkular berbasis limbah biomassa (Husna et al., 2021; Mohanty et al., 2021).

Inti biji ketapang (*Terminalia catappa* Linn) menjadi salah satu calon bahan baku biodiesel non-pangan yang menjanjikan karena kadar minyaknya tergolong tinggi (40–60%), namun pemanfaatannya masih minim dan sering kali dianggap sebagai limbah (Romadhona et al., 2024; Marjenah & Putri, 2018). Minyak dari inti biji Ketapang mayoritas berupa trigliserida yang dapat diubah menjadi metil ester melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis basa seperti NaOH (Sofiyani et al., 2025).

Keberhasilan transesterifikasi sangat bergantung pada rasio molar metanol terhadap minyak dan durasi reaksi. Rasio metanol yang terlalu rendah mengakibatkan reaksi tidak berjalan sempurna, sedangkan rasio yang berlebihan meningkatkan kelarutan gliserol dalam fase biodiesel sehingga mempersulit pemisahan produk dan menurunkan hasil (Oko & Dzahabiah, 2019; Sisca & Rahayuningsih, 2022). Begitu pula, durasi reaksi yang terlalu singkat membuat konversi trigliserida belum maksimal, sementara durasi yang terlalu lama tidak lagi signifikan meningkatkan hasil karena sistem sudah mendekati kondisi kesetimbangan (Syafitri & Mustikaningrum, 2024).

Penelitian sebelumnya tentang biji ketapang umumnya hanya menelaah satu tahap atau satu variabel secara terpisah. Romadhona et al. (2024) dan Rahma Yanti et al. (2025) meneliti ekstraksi minyak biji ketapang dengan pelarut n-heksana pada variasi suhu dan waktu, tetapi penelitian mereka belum melanjutkan ke tahap konversi menjadi biodiesel. Ariyani et al. (2024) menerapkan transesterifikasi konvensional dua tahap dengan katalis KOH, sedangkan Sofiyani et al. (2025) mengevaluasi transesterifikasi in-situ menggunakan NaOH yang menyederhanakan proses namun memberikan rendemen relatif rendah. Indriani et al. (2021) mengoptimasi sintesis turunan asam lemak dari biji ketapang memakai response surface methodology, namun produk akhirnya bukan biodiesel. Kajian yang menguji secara bersamaan variasi rasio metanol dan waktu reaksi pada biodiesel dari minyak biji ketapang hasil ekstraksi mesin pres mekanismasih sangat terbatas.

Secara umum, berbagai kondisi optimum transesterifikasi dilaporkan untuk minyak nabati lain, misalnya rasio metanol:minyak 6:1 dengan katalis CaO menghasilkan rendemen 97% (Kasirajan dikutip dalam tinjauan Ahmad et al., 2024), rasio 9:1 dengan KOH mencapai konversi 99,2% pada minyak biji *Chrysophyllum albidum*, serta rentang rasio 6:1–12:1 pada studi minyak jelantah dan lemak sapi (Pratama et al., 2019; Fadhil et al., 2025). Perbedaan hasil tersebut menegaskan bahwa kondisi optimum termasuk rasio metanol dan waktu reaksi bergantung pada jenis bahan baku, sehingga optimasi khusus untuk minyak biji ketapang tetap diperlukan.

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian Ini

Peneliti (Tahun)	Fokus Penelitian	Metode	Hasil Utama	Keterbatasan
Romadhona et al. (2024)	Ekstraksi minyak ketapang	Pelarut n-heksana, variasi suhu & waktu	Yield 36,5%	Belum sampai tahap biodiesel

Peneliti (Tahun)	Fokus Penelitian	Metode	Hasil Utama	Keterbatasan
Rahma Yanti et al. (2025)	Optimasi ekstraksi minyak	Variasi pelarut & waktu ekstraksi	Yield 51%	Belum ke biodiesel
Ariyani et al. (2024)	Biodiesel konvensional	Esterifikasi + transesterifikasi, katalis KOH	Yield 44–60%	Proses bertahap, satu variabel
Sofiyani et al. (2025)	Biodiesel in-situ	Rasio metanol & waktu, katalis NaOH	Proses sederhana	Yield relatif rendah
Indriani et al. (2021)	Optimasi turunan asam lemak (RSM)	Variasi waktu, suhu, rasio	Yield $\pm 64\%$	Produk bukan biodiesel
Penelitian ini (2026)	Biodiesel dari ekstraksi mechanical press	Optimasi simultan rasio metanol & waktu reaksi, katalis NaOH	Yield 96%, seluruh parameter SNI terpenuhi	Integrasi ekstraksi bebas pelarut & optimasi dua variabel sekaligus

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang dirangkum pada Tabel 1, masih terdapat beberapa celah penelitian, yaitu: (1) optimasi variabel proses yang umumnya dilakukan secara terpisah; (2) ekstraksi dan konversi yang sering diproses sendiri-sendiri tanpa integrasi dengan metode ekstraksi ramah lingkungan; dan (3) kurangnya evaluasi menyeluruh terhadap parameter mutu biodiesel sesuai SNI 7182:2015 untuk minyak inti biji ketapang. Kebaruan penelitian ini terletak pada optimasi simultan rasio molar metanol terhadap minyak dan waktu reaksi transesterifikasi pada minyak inti biji ketapang yang diperoleh melalui ekstraksi mesin pres mekanis (tanpa pelarut kimia), disertai penilaian komprehensif terhadap tujuh parameter mutu biodiesel. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah pada pengembangan biodiesel berbasis minyak non-pangan yang mendukung prinsip green chemistry, ekonomi sirkular, dan diversifikasi energi terbarukan di Indonesia. Tujuannya adalah menganalisis penggunaan rasio molar metanol terhadap minyak dan waktu reaksi terhadap yield dan karakteristik biodiesel dari minyak inti biji ketapang serta menentukan kondisi operasi optimum yang memenuhi SNI 7182:2015.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Bahan

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah inti biji ketapang (*Terminalia catappa* Linn.). Bahan tersebut dibersihkan, dikeringkan, dan dihancurkan sebelum digunakan dalam proses ekstraksi minyak. Bahan kimia yang digunakan meliputi metanol sebagai pereaksi transesterifikasi, natrium hidroksida (NaOH) sebagai katalis homogen dengan konsentrasi 1%, air suling untuk pencucian biodiesel, serta kalium hidroksida (KOH) untuk analisis angka asam. Total NaOH yang disiapkan untuk seluruh rangkaian penelitian adalah 50 g.

2.2 Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kimia Dasar, Program Studi D-IV Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya. Tahapan penelitian meliputi ekstraksi minyak inti biji ketapang, sintesis biodiesel melalui transesterifikasi, pemurnian produk, serta pengujian karakteristik minyak dan biodiesel yang dihasilkan.

2.2.1 Ekstraksi dan Karakterisasi Minyak

Inti biji ketapang yang telah dibersihkan, dikeringkan, dan dihancurkan diekstraksi menggunakan mesin pres mekanis pada suhu operasi 150°C tanpa penambahan pelarut. Minyak hasil ekstraksi kemudian disaring dan dikarakterisasi untuk menentukan rendemen, kadar asam lemak bebas (free fatty acid/FFA), densitas, viskositas, dan kadar air.

2.2.2 Sintesis Biodiesel

Sintesis biodiesel dilakukan melalui reaksi transesterifikasi antara minyak inti biji ketapang dan metanol dengan bantuan katalis NaOH. Sebanyak 150 mL minyak dipanaskan hingga mencapai suhu 60°C. Selanjutnya, minyak direaksikan dengan campuran metanol dan NaOH pada variasi rasio molar metanol terhadap minyak sebesar 4:1, 6:1, 8:1, dan 10:1. Variasi waktu reaksi yang digunakan adalah 60, 90, dan 120 menit.

Reaksi berlangsung dengan pengadukan menggunakan magnetic stirrer pada kecepatan 600 rpm. Suhu reaksi, jenis dan jumlah katalis, serta volume minyak dipertahankan konstan sebagai variabel kontrol. Setelah reaksi selesai, campuran produk dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan selama 24 jam untuk memisahkan lapisan biodiesel dari gliserol.

2.2.3 Pemurnian Biodiesel

Biodiesel yang telah terpisah dari gliserol dicuci menggunakan air suling hangat pada suhu 50–55°C untuk menghilangkan sisa pengotor. Selanjutnya, biodiesel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100–130°C hingga diperoleh produk yang siap untuk dianalisis.

2.2.4 Pengujian Karakteristik Biodiesel

Karakteristik biodiesel yang dihasilkan dianalisis melalui beberapa pengujian. Rendemen biodiesel (yield) ditentukan menggunakan metode gravimetri. Densitas diukur menggunakan piknometer, sedangkan viskositas ditentukan menggunakan falling ball viscometer pada suhu 40°C. Kadar air dianalisis menggunakan metode oven/gravimetri, sementara angka asam ditentukan melalui titrasi asam-basa menggunakan KOH. Angka setana diuji menggunakan Cetane Analyzer dengan mengacu pada ASTM D6890/GB/T 3536-2008, sedangkan titik nyala diuji menggunakan Koehler Flash Point Tester. Pengujian angka setana dan titik nyala dilakukan secara selektif pada sampel dengan rasio molar metanol terhadap minyak 4:1 dan 8:1 berdasarkan hasil pengamatan visual terhadap kejernihan biodiesel. Seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan persyaratan mutu biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015 untuk mengevaluasi karakteristik dan kesesuaian mutu biodiesel yang dihasilkan.

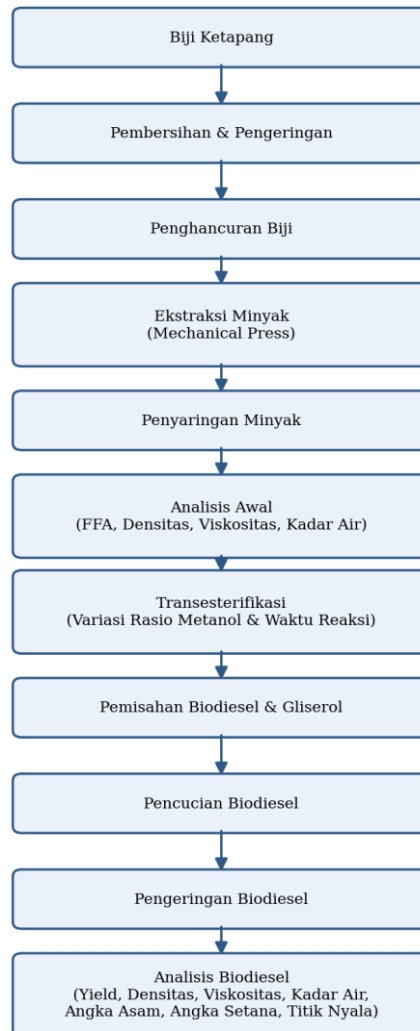
2.2.5 Perhitungan Parameter Uji

Yield biodiesel dihitung dengan persamaan:

$$\% \text{ yield} = (\text{massa biodiesel} / \text{massa minyak awal}) \times 100\% \quad (1)$$

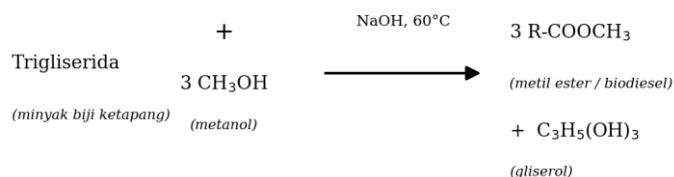
Kadar FFA dan angka asam dihitung dari volume titran KOH menggunakan persamaan: $\% \text{FFA atau Angka Asam} = (V \times N \times BE) / m$, (2) dengan V = volume KOH (mL), N = normalitas KOH, BE = bobot ekuivalen (28,2 untuk FFA sebagai asam oleat; 56,1 untuk angka asam), dan m = massa sampel (g).

Densitas dihitung sebagai $\rho = (m_2 - m_1)/v$ (3) menggunakan piknometer, sedangkan kadar air dihitung dari selisih massa sampel sebelum dan sesudah pemanasan oven.



Gambar 1. Diagram Alir Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Inti Biji Ketapang

Reaksi transesterifikasi yang mendasari konversi minyak inti biji ketapang menjadi biodiesel melibatkan pertukaran gugus alkil antara trigliserida dan metanol dengan bantuan katalis NaOH, menghasilkan tiga molekul metil ester (biodiesel) dan satu molekul gliserol sebagai produk samping (Randive et al., 2024), sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Reaksi Transesterifikasi Trigliserida Minyak Inti Biji Ketapang menjadi Biodiesel dan Gliserol

Reaksi berlangsung melalui tiga tahap berurutan, yaitu konversi trigliserida menjadi digliserida, digliserida menjadi monogliserida, dan monogliserida menjadi metil ester, dengan pelepasan satu molekul gliserol pada tahap akhir (Van Gerpen et al., 2004). Katalis NaOH menghasilkan ion metoksida (CH_3O^-) yang sangat nukleofilik, sehingga mempercepat serangan pada gugus karbonil trigliserida.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Minyak Inti Biji Ketapang Hasil Ekstraksi

Ekstraksi mesin pres mekanisterhadap 2.625 gram inti biji ketapang menghasilkan 1.630 gram minyak dengan volume 1.800 mL, setara yield 62,1%. Karakteristik minyak yang diperoleh meliputi kadar FFA 1,41%, densitas 900 kg/m^3 , viskositas 39,74 cSt, dan kadar air 0,0%, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Ekstraksi dan Karakterisasi Minyak Inti Biji Ketapang

No	Parameter	Hasil	Satuan
1	Massa inti biji ketapang	2.625	gram
2	Massa minyak inti biji ketapang	1.630	gram
3	Volume minyak ketapang	1.800	mL
4	Yield minyak ketapang	62,1	%
5	Kadar asam lemak bebas	1,41	%
6	Densitas	900	kg/m^3
7	Viskositas	39,74	cSt
8	Kadar air	0,0	%

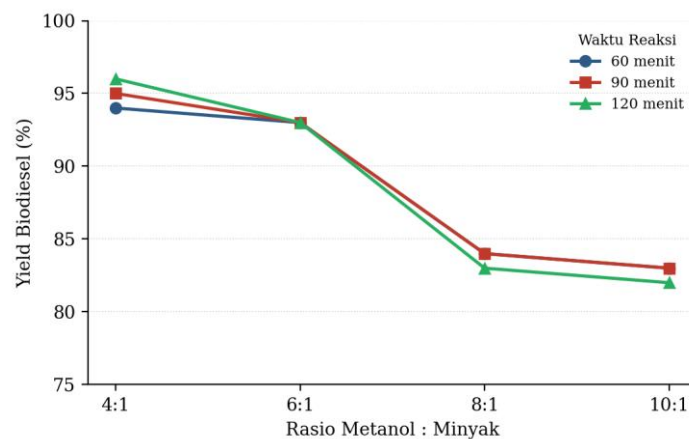
Kadar asam lemak bebas (FFA) sebesar 1,41% berada di bawah batas 2%, sehingga minyak dapat langsung diolah dengan transesterifikasi basa tanpa memerlukan langkah esterifikasi terlebih dahulu. Hal ini sesuai dengan kriteria Rahim & Prihatiningtyas (2017) yang menyatakan bahwa katalis basa efektif digunakan pada bahan baku dengan FFA rendah untuk menghindari terbentuknya sabun. Selain itu, viskositas minyak mentah yang tinggi (39,74 cSt) serupa dengan karakteristik umumnya minyak nabati non-pangan, sehingga konversi menjadi metil ester diperlukan agar viskositas turun ke kisaran yang sesuai untuk bahan bakar cair (Knothe, 2010).

3.2 Hubungan Rasio Molar Metanol dan Waktu Reaksi dengan Yield Biodiesel

Tabel 3. Hasil Uji Karakteristik Biodiesel pada Berbagai Rasio Metanol dan Waktu Reaksi

Waktu (menit)	Rasio Molar Metanol:Minyak	Yield (%)	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (cSt)	Kadar Air (%)	Angka Asam (mg KOH/g)
60	4:1	94	887,2	4,52	0,020	0,28
60	6:1	93	887,2	4,19	0,010	0,28
60	8:1	84	886,8	3,96	0,010	0,22
60	10:1	83	886,8	3,89	0,010	0,22
90	4:1	95	886,4	4,40	0,010	0,28
90	6:1	93	886,0	4,16	0,010	0,22
90	8:1	84	886,4	4,37	0,010	0,22
90	10:1	83	886,0	3,94	0,010	0,22
120	4:1	96	886,8	4,69	0,010	0,22
120	6:1	93	886,4	4,20	0,010	0,22
120	8:1	83	886,4	4,24	0,000	0,22
120	10:1	82	886,0	3,96	0,000	0,17
SNI 7182:2015		–	850–890	2,3–6,0	maks 0,05	maks 0,5

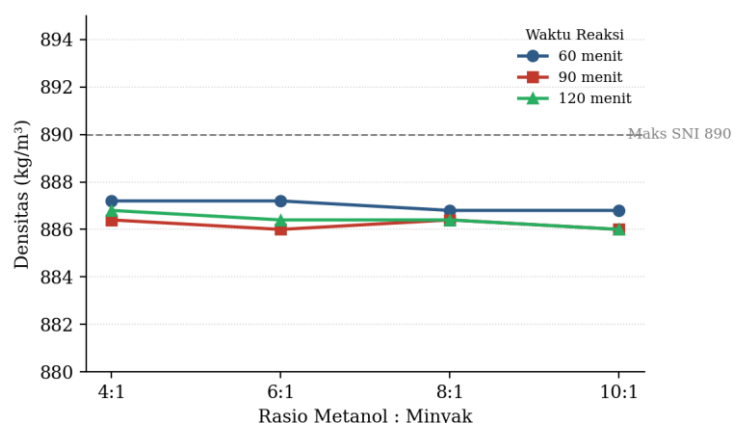
Yield biodiesel tertinggi, yaitu 96%, diperoleh pada rasio molar metanol terhadap minyak 4:1 dengan waktu reaksi 120 menit. Yield cenderung menurun ketika rasio molar metanol ditingkatkan menjadi 8:1 dan 10:1. Pola ini mengindikasikan bahwa pada rasio rendah jumlah metanol sudah cukup untuk menggeser kesetimbangan reaksi menuju pembentukan metil ester, sementara kelebihan metanol pada rasio tinggi justru meningkatkan kelarutan gliserol dalam fase biodiesel sehingga pemisahan produk kurang efisien dan yield menurun (Sisca & Rahayuningsih, 2022). Hasil ini konsisten dengan studi optimasi biodiesel dari minyak jelantah dan lemak sapi yang juga menemukan yield optimum pada rasio metanol relatif rendah (sekitar 6:1) dibandingkan rasio berlebih, meskipun nilai optimum dapat berbeda tergantung komposisi asam lemak dan jenis katalis yang dipakai (Fadhil et al., 2025; Iskandar et al., 2019).

**Gambar 3.** Hubungan Rasio Molar Metanol dan Waktu Reaksi dengan Yield Biodiesel

Pengaruh waktu reaksi terhadap yield relatif kecil dibandingkan pengaruh rasio molar metanol, dengan peningkatan yield hanya sekitar 1–2% dari 60 menit menjadi 120 menit pada rasio yang sama. Hal ini mengindikasikan bahwa reaksi transesterifikasi minyak inti biji ketapang berlangsung relatif cepat mendekati kesetimbangan dalam 60 menit pertama, konsisten dengan mekanisme reaksi tiga tahap (trigliserida → digliserida → monogliserida → metil ester) yang umumnya berlangsung cepat pada suhu 60°C dengan pengadukan intensif (Randive et al., 2024). Perbandingan pada Tabel 1 dengan studi sebelumnya memperlihatkan bahwa yield 96% yang dicapai dalam penelitian ini lebih tinggi daripada biodiesel konvensional dari inti biji ketapang dengan katalis KOH (44–60%, Ariyani et al., 2024) maupun metode in-situ berkatalis NaOH yang dilaporkan oleh Sofiyani et al. (2025). Keberhasilan ini kemungkinan disebabkan oleh kombinasi kualitas bahan baku hasil mesin pres mekanis (kadar FFA rendah, 1,41%) dan kondisi reaksi yang dioptimalkan secara bersamaan, bukan hanya pengaturan satu variabel.

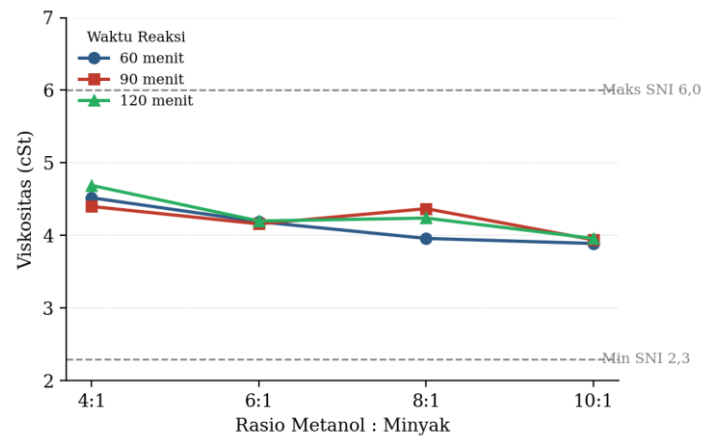
3.3 Hubungan Rasio Molar Metanol dan Waktu Reaksi dengan Densitas dan Viskositas Biodiesel

Densitas biodiesel yang dihasilkan berkisar 886,0–887,2 kg/m³, seluruhnya memenuhi rentang SNI 7182:2015 (850–890 kg/m³). Variasi rasio metanol dan waktu reaksi tidak menunjukkan perubahan densitas yang berarti secara praktis, mengindikasikan bahwa konversi trigliserida menjadi metil ester berlangsung relatif seragam pada seluruh perlakuan (Knothe, 2010).



Gambar 4. Hubungan Rasio Molar Metanol dan Waktu Reaksi dengan Densitas Biodiesel

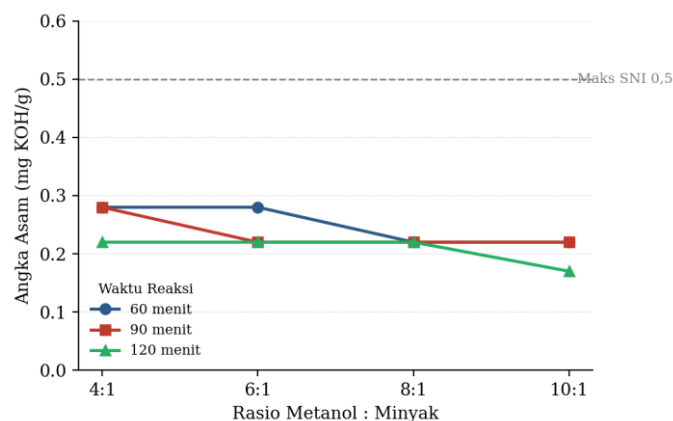
Viskositas biodiesel berada di kisaran 3,89–4,69 cSt dan memenuhi batas SNI (2,3–6,0 cSt). Ada kecenderungan viskositas menurun ketika rasio metanol meningkat, dari 4,52 cSt (rasio 4:1) menjadi 3,89 cSt (rasio 10:1) pada waktu reaksi 60 menit, seperti terlihat pada Gambar 5. Penurunan ini mengindikasikan bahwa kelebihan metanol membantu meningkatkan konversi trigliserida sisa menjadi metil ester yang lebih encer; namun pada rasio yang sangat tinggi, peningkatan metanol tidak selalu meningkatkan yield karena masalah pemisahan produk (Knothe, 2010). Viskositas akhir ini jauh lebih rendah dibandingkan minyak mentah sebelum transesterifikasi (39,74 cSt), yang menegaskan bahwa reaksi berhasil memecah struktur trigliserida menjadi metil ester berantai tunggal yang lebih encer dan layak untuk sistem injeksi diesel.



Gambar 5. Hubungan Rasio Molar Metanol dan Waktu Reaksi dengan Viskositas Biodiesel

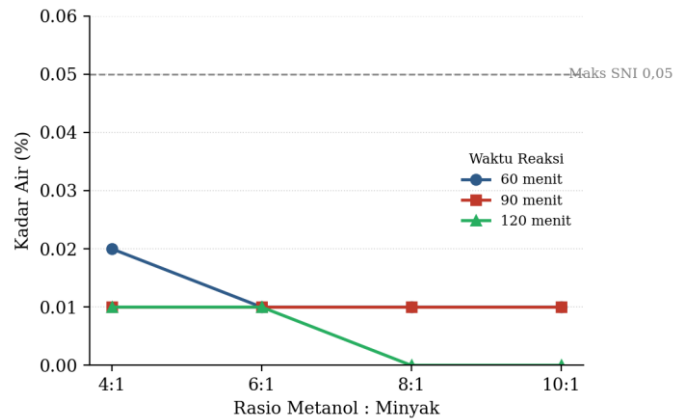
3.4 Hubungan Rasio Molar Metanol dan Waktu Reaksi dengan Angka Asam dan Kadar Air Biodiesel

Angka asam biodiesel berada pada rentang 0,17–0,28 mg KOH/g, jauh di bawah batas maksimum SNI yaitu 0,5 mg KOH/g. Nilai angka asam cenderung menurun seiring dengan peningkatan rasio metanol dan lamanya waktu reaksi; nilai terendah (0,17 mg KOH/g) dicapai pada rasio 10:1 dan waktu reaksi 120 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa konversi trigliserida yang lebih sempurna mengurangi jumlah asam lemak bebas yang tersisa dalam produk akhir (Kolo et al., 2016).



Gambar 6. Hubungan Rasio Molar Metanol dan Waktu Reaksi dengan Angka Asam Biodiesel

Kadar air biodiesel berada antara 0,000–0,020%, sehingga memenuhi batas SNI (maksimum 0,05%). Nilai terendah tercatat pada rasio metanol yang tinggi (8:1 dan 10:1) dengan waktu reaksi 120 menit, menunjukkan bahwa proses pencucian dan pengeringan berjalan efektif serta sisa senyawa pengikat air (Knothe, 2010) rendah, seperti terlihat pada Gambar 7. Rendahnya kadar air di semua sampel penting untuk mencegah hidrolisis metil ester menjadi asam lemak bebas selama penyimpanan, karena reaksi tersebut dapat menaikkan angka asam dan mempercepat korosi pada sistem bahan bakar.



Gambar 7. Hubungan Rasio Molar Metanol dan Waktu Reaksi dengan Kadar Air Biodiesel

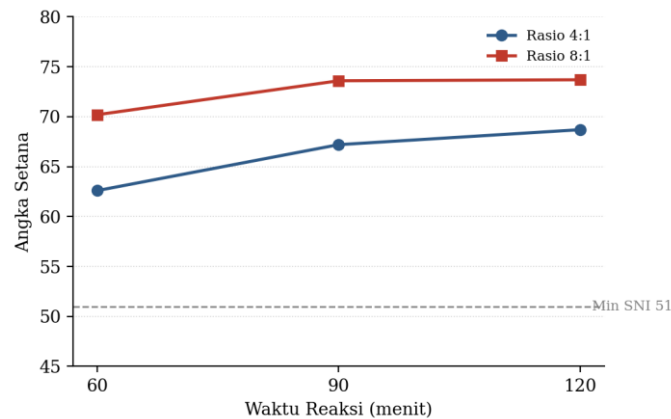
3.5 Angka Setana dan Titik Nyala Biodiesel

Tabel 4. Hasil Uji Angka Setana dan Titik Nyala Biodiesel

Rasio Molar Metanol:Minyak	Waktu (menit)	Angka Setana	Titik Nyala (°C)
4:1	60	62,6	–
4:1	90	67,2	168
4:1	120	68,7	–
8:1	60	70,2	–
8:1	90	73,6	173
8:1	120	73,7	–
SNI 7182:2015	–	min 51	min 100

Catatan: Meskipun sintesis biodiesel dilakukan pada variasi rasio molar metanol terhadap minyak sebesar 4:1, 6:1, 8:1, dan 10:1, pengujian angka setana dan titik nyala hanya dilakukan pada sampel dengan rasio molar 4:1 dan 8:1. Pemilihan kedua sampel tersebut didasarkan pada hasil pengamatan visual terhadap karakteristik biodiesel setelah proses pemurnian, terutama kejernihan produk dan keberadaan endapan. Oleh karena itu, pengujian lanjutan difokuskan pada kedua rasio molar tersebut. Dengan demikian, tidak dicantumkan rasio molar 6:1 dan 10:1 pada hasil pengujian angka setana dan titik nyala bukan berarti kedua sampel tersebut tidak dihasilkan pada tahap sintesis, melainkan karena keduanya tidak termasuk sampel yang dipilih untuk pengujian parameter tersebut.

Angka setana biodiesel berada pada rentang 62,6–73,7, yang secara signifikan melebihi batas minimum SNI (51) dan lebih tinggi dibandingkan bahan bakar diesel komersial seperti Biosolar (48), Dexlite (51), serta Pertamina Dex (53) (PT Pertamina, 2023). Peningkatan angka setana sejalan dengan bertambahnya rasio metanol dan lamanya waktu reaksi, menyiratkan bahwa konversi yang lebih sempurna menghasilkan metil ester dengan jeda nyala (ignition delay) yang lebih singkat (Suryatini & Milati, 2023), sebagaimana terlihat pada Gambar 8. Titik nyala biodiesel tercatat antara 168–173°C, jauh di atas ambang minimum SNI (100°C), yang menunjukkan kandungan metanol sisa rendah dan keamanan penyimpanan serta distribusinya (Permana et al., 2020).



Gambar 8. Hubungan Rasio Molar Metanol dan Waktu Reaksi dengan Angka Setana Biodiesel

Secara keseluruhan, kondisi operasi terbaik tercapai pada rasio metanol:minyak 4:1 dengan waktu reaksi 120 menit, karena memberikan yield tertinggi (96%) dan semua parameter mutu (densitas, viskositas, kadar air, angka asam, angka setana, titik nyala) sesuai SNI 7182:2015. Walaupun rasio 8:1 menghasilkan angka setana sedikit lebih tinggi, pertimbangan efisiensi pemakaian metanol dan kemudahan pemisahan produk membuat rasio 4:1 lebih ekonomis dan direkomendasikan untuk skala berikutnya.

Tabel 5. Rekapitulasi Mutu Biodiesel pada Kondisi Optimum (Rasio 4:1, Waktu Reaksi 120 Menit) dibandingkan SNI 7182:2015

Parameter Uji	Hasil Penelitian	Persyaratan SNI 7182:2015	Keterangan
Yield (%)	96	–	Tertinggi pada seluruh perlakuan
Densitas 40°C (kg/m ³)	886,8	850–890	Memenuhi
Viskositas 40°C (cSt)	4,69	2,3–6,0	Memenuhi
Kadar Air (%)	0,010	maks 0,05	Memenuhi
Angka Asam (mg KOH/g)	0,22	maks 0,5	Memenuhi
Angka Setana	68,7	min 51	Memenuhi
Titik Nyala (°C)	≥168*	min 100	Memenuhi

*Titik nyala diuji pada waktu reaksi 90 menit sebagai representasi sampel dengan kejernihan terbaik.

4. Kesimpulan

Rasio molar metanol terhadap minyak dan waktu reaksi menghasilkan perubahan pada yield dan karakteristik biodiesel dari minyak inti biji ketapang. Yield tertinggi (96%) dicapai pada rasio molar 4:1 dan waktu reaksi 120 menit. Parameter mutu yang diukur, yaitu densitas 886,0–887,2 kg/m³, viskositas 3,89–4,69 cSt, kadar air 0,000–0,020%, angka asam 0,17–0,28 mg KOH/g, angka setana 62,6–73,7, dan titik nyala 168–173°C, memenuhi ketentuan SNI 7182:2015. Hasil

penelitian menunjukkan bahwa pengaturan rasio molar metanol dan waktu reaksi pada minyak inti biji ketapang hasil ekstraksi menggunakan mesin pres mekanis dapat menghasilkan biodiesel dengan karakteristik yang memenuhi standar mutu. Kondisi operasi rasio molar 4:1 dan waktu reaksi 120 menit direkomendasikan sebagai kondisi terbaik berdasarkan yield tertinggi dan kesesuaian parameter mutu yang diuji. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi variasi jenis dan konsentrasi katalis, pengaruh suhu reaksi, serta uji performa biodiesel pada mesin diesel untuk memperkuat kelayakan aplikasinya.

Daftar Pustaka

- Ahmad, S., Khan, M.I., & Rahman, A. (2024). Non-edible plant oils as renewable feedstocks for biodiesel production: a comprehensive review. *Academia Journal of Energy*, 2(3), 1–15.
- Ariyani, D., Megawati, E., Yuniarti, & Mukminin, A. (2024). Uji Karakteristik Hasil Transesterifikasi Dari Ekstrak Biji Ketapang (*Terminalia catappa* Linn) Terhadap Pengaruh Variasi Waktu Dengan Katalis KOH. *Majamecha*, 6, 112–119.
- Chozhavendhan, S., Vijay Pradhap Singh, M., Fransila, B., Praveen Kumar, R., & Karthiga Devi, G. (2020). A review on influencing parameters of biodiesel production and purification processes. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 1–2, 1–6.
- Fadhil, A.B., Al-Tikrity, E.T.B., & Albadree, M.A. (2025). *Transesterification of beef tallow using NaOH and MgO catalysts at various methanol molar ratios*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Husna, A., Azhari, A., Hakim, L., Ginting, Z., & Dewi, R. (2021). Pemanfaatan Minyak Nabati (Jarak Pagar Dan Jarak Kepyar) Sebagai Bahan Baku Biodiesel. *Chemical Engineering Journal Storage*, 1(2), 81–94.
- Indriani, L., Gunawan, E.R., & Suhendra, D. (2021). Optimasi Sintesis Asam Lemak Etanolamida Berbasis Minyak Ketapang Menggunakan Response Surface Methodology. *Jurnal Pijar Mipa*, 16(2), 247–257.
- Iskandar, R., Sudrajat, R., & Setiawan, D. (2019). Effect of catalyst type, methanol ratio, and transesterification time on beef tallow biodiesel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 620, 012019.
- Knothe, G. (2010). Properties of Biodiesel and Other Biogenic Fuels. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.
- Kolo, S.M.D., Siburian, R.A.F., & Lulan, T.Y.K. (2016). Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.). *BIO-EDU: Jurnal Pendidikan Biologi*, 1(1), 6–8.
- Marjenah, & Putri, N.P. (2018). Pengaruh Elevasi Terhadap Produksi Buah Ketapang (*Terminalia catappa* Linn) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Hutan Tropis*, 5(3), 244.
- Mohanty, A., Rout, P.R., Dubey, B., Meena, S.S., Pal, P., & Goel, M. (2021). *A critical review on biogas production from edible and non-edible oil cakes*. Biomass Conversion and Biorefinery.
- Oko, S., & Dzahabiah, H. (2019). *Pengaruh Rasio Mol Dan Waktu Reaksi Pada Sintesis Biodiesel*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat, 17–21.
- Permana, E., Naswir, M., Sinaga, M.E.T., Alfairuz, H., & Murti, S.D.S. (2020). Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah Berdasarkan Proses Saponifikasi Dan Tanpa Saponifikasi. *Jurnal Teknologi Terapan*, 6(1), 26–31.
- PT Pertamina (Persero). (2023). *Jenis Bahan Bakar Mesin Diesel Pertamina*. Diakses dari <https://onesolution.pertamina.com>.

- Rahim, A.M.E.N., & Prihatiningtyas, I. (2017). Pengaruh Katalis Asam dan Basa Terhadap Biodiesel Yang Dihasilkan Pada Proses Transesterifikasi In Situ Biji Karet. *ReTII*, 718–722.
- Rahma Yanti, Masrullita, Meriatna, Ginting, Z., Jalaluddin, & Safriwardy, F. (2025). Pengaruh Jenis Pelarut dan Waktu Ekstraksi Minyak dari Biji Ketapang (*Terminalia catappa* Linn) sebagai Bahan Baku Biodiesel. *Chemical Engineering Journal Storage*, 5(05), 924–936.
- Randive, A.B., Gaikwad, S.K., Khadake, S.B., & M, M.H. (2024). Biodiesel: A Renewable Source of Fuel. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 225–240.
- Romadhona, R., Hakim, L., & Ginting, Z. (2024). *Ekstraksi Minyak Biji Ketapang (Terminalia catappa Linn) Dengan Menggunakan Pelarut N-Heksana*. Prosiding Seminar Nasional, 00012, 1–9.
- Sisca, V., & Rahayuningsih, J. (2022). Pembuatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Katalis Heterogen untuk produksi Biodiesel. *Journal of Research and Education Chemistry*, 4(2), 134–143.
- Sofiyani, N., Zulmiardi, Meriatna, Hakim, L., Nurlaila, R., & Muarif, A. (2025). Sintesis Biodiesel Dari Biji Buah Ketapang (*Terminalia catappa* Linn) Melalui Proses Transesterifikasi In Situ Menggunakan Katalis Homogen (NaOH). *Chemical Engineering Journal Storage*, 5(3), 327–345.
- Suryatini, K.Y., & Milati, N.M. (2023). Pemanfaatan Potensi Minyak Goreng Bekas (Jelantah) sebagai Biodiesel. *XII*, 116–125.
- SNI 7182:2015. (2015). *Standar Nasional Indonesia: Biodiesel*. Badan Standardisasi Nasional.
- Syafitri, N., & Mustikaningrum, M. (2024). Transesterifikasi In situ Produksi Biodiesel Dengan Variasi Massa Bahan Baku Terhadap Karakteristik Biodiesel. *Jurnal Integrasi Proses dan Lingkungan*, 1(2), 66–72.