https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i3.349

IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)

Vol. 4, No. 3, 2025, pp. 201-207, e-ISSN: 2962-4290

Available online http://e-journals.irapublishing.com/index.php/IRAJTMA/

Scientific Articles

Sintesis dan Identifikasi Biodiesel dari Transesterifikasi Refined Palm Oil dengan Ko-pelarut Metil Ester

Synthesis and Characterization of Biodiesel from Transesterification of Refined Palm Oil Using Methyl Ester Co-solvent

Elvianto Dwi Daryono[1*], Rini Kartika Dewi[1], Dwi Ana Anggorowati[1]

[1]Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang 65145, Indonesia

**Corresponding author*: elviantodaryono@lecturer.itn.ac.id

Diterima: 21-10-2025 **Disetujui: 30-11-2025** **Dipublikasikan: 28-12-2025**

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

Abstrak

Transesterifikasi minyak kelapa sawit (RPO) dengan penambahan ko-pelarut metil ester (FAME) diteliti untuk meningkatkan kelarutan dan perpindahan massa sehingga mempercepat reaksi dan meningkatkan hasil biodiesel. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh konsentrasi ko-pelarut FAME dan waktu reaksi terhadap proses transesterifikasi RPO. Proses dilakukan menggunakan 250 g RPO dengan rasio mol minyak:metanol 1:6, katalis KOH 0,8%, kecepatan pengadukan 100 rpm, suhu 70°C, konsentrasi ko-pelarut 0–15%, dan waktu reaksi 5–30 menit. Reaksi dilakukan dalam labu leher dua, kemudian produk didistilasi dan dianalisis menggunakan GC serta uji sifat fisik. Kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi ko-pelarut FAME 5% dan waktu reaksi 30 menit dengan crude yield 99%, konsentrasi FAME 999.265 mg/L, dan densitas 0,88 g/mL yang memenuhi SNI 7182:2015. Penggunaan ko-pelarut FAME meningkatkan efisiensi proses karena tidak memerlukan tahap pemisahan tambahan.

Kata Kunci: Transesterifikasi, Refined Palm Oil (RPO), Ko-pelarut FAME, Biodiesel, Waktu reaksi.

Abstract

The transesterification of refined palm oil (RPO) with methyl ester (FAME) as a cosolvent was investigated to enhance solubility and mass transfer, thereby accelerating the reaction and improving biodiesel yield. This study aimed to evaluate the effects of FAME co-solvent concentration and reaction time on the transesterification process of RPO. The reaction was conducted using 250 g of RPO with a molar ratio of oil to methanol of 1:6, 0.8 wt% KOH catalyst, a stirring speed of 100 rpm, and a reaction temperature of 70°C. The co-solvent concentration was varied from 0% to 15%, while the reaction time ranged from 5 to 30 minutes. The reaction was carried out in a two-neck flask, followed by distillation to remove impurities. The resulting product was analyzed using gas chromatography and physical property tests. The optimum conditions were achieved at 5% FAME co-solvent concentration and a reaction time of 30 minutes, yielding a crude biodiesel yield of 99%, a FAME concentration of 999,265 mg/L, and a density of 0.88 g/mL, which meet the biodiesel quality standard SNI 7182:2015. The use of FAME as a co-solvent improves process efficiency by eliminating the need for a co-solvent separation step at the end of the reaction.

Keywords: *Transesterification, Refined Palm Oil (RPO), FAME co-solvent, Biodiesel, Reaction time.*

1. Pendahuluan

Transesterifikasi adalah proses awal pembuatan biodiesel dengan hasil yang cukup memuaskan. Biodiesel minyak jelantah dari proses transesterifikasi dengan katalis basa memenuhi standard viskositas, angka setana, nilai kalor, densitas dan bilangan iodien (Fahmi and

Idris 2024; Hussein and Idris 2024; Sembiring et al. 2024; Sitinjak and Idris 2024). Transesterifikasi minyak jelantah dengan KOH mendapat rendemen 69,7% pada waktu 1 jam 34 menit (Pratiwi et al. 2023). Transesterifikasi minyak jelantah dengan NaOH mendapat rendemen sekitar 65% (Putra et al. 2021). Proses transesterifikasi juga dilakukan dengan katalis heterogen. Pada transesterifikasi minyak jelantah dengan katalis Al2O3 menghasilkan yield 76,59% pada 1 jam (Mujiharti et al. 2019). Pada esterifikasi minyak jelantah dengan zeolit dilanjutkan transesterifikasi dengan KOH menghasilkan yield cukup tinggi (Ulfa and Samik 2022). Proses produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit melalui reaksi transesterifikasi konvensional umumnya mampu menghasilkan rendemen yang cukup tinggi, namun memerlukan waktu reaksi yang relatif lebih lama.

Penelitian proses transesterifikasi secara modern juga telah dilakukan. Transesterifikasi minyak jelantah dengan reaktor ultrasonik mendapatkan yield 88,33% pada waktu 20 menit (Priscilla et al. 2024). Transesterifikasi minyak jelantah dengan reactive separation menggunakan zeolit dan recovery metanol mendapatkan yield 97% (Pasae et al. 2019). Simulasi ASPEN HYSYS proses transesterifikasi minyak nabati menghasilkan metil ester dengan konsentrasi 96,5% (Dimawarnita et al. 2021). Penelitian-penelitian diatas menggunakan peralatan modern dan analisa dari software yang cukup mahal sehingga kurang ekonomis jika diterapkan di industri.

Proses transesterifikasi konvensional bisa lebih efisien jika hasil yang didapatkan tinggi dengan waktu yang singkat. Salah satu metode yang dapat dilakukan ialah dengan menambahkan ko-pelarut untuk meningkatkan kemampuan pelarutan antara trigliserida dan metanol, sehingga laju reaksi dapat berlangsung lebih cepat (Boocock et al. 1996; Daryono and Mustiadi 2022a; Rachmaniah, O, Baidawi, A and Latif 2009). Pada transesterifikasi minyak kemiri dengan katalis KOH dan ko-pelarut aseton mendapat yield 93% pada 20 menit (Roni et al. 2025). Transesterifikasi minyak jarak pagar dengan ko-pelarut THF mendapat metil ester dengan konsentrasi tinggi (Muyassaroh et al. 2012). Pada penelitian diatas ko-pelarut yang digunakan memerlukan proses pemisahan diakhir reaksi sehingga kurang efisien.

Metil ester yang merupakan hasil reaksi antara minyak dan metanol memiliki kelarutan yang relatif sama dengan reaktannya (Daryono 2020; Daryono and Mustiadi 2017; Daryono and Sinaga 2016; Lam and Lee 2010). Beberapa penelitian telah menggunakan metil ester sebagai ko-pelarut. Pada transesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 1% mendapatkan yield 57,33% pada 15 menit (Daryono and Mustiadi 2022b). Reaksi transesterifikasi RPO menggunakan katalis NaOH sebanyak 1,2% menghasilkan yield sebesar 76,78% setelah waktu reaksi 10 menit (Daryono and Mustiadi 2022c). Belum ada penelitian yang mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi pelarut FAME (0–15%) dan waktu reaksi (5–30 menit) pada transesterifikasi RPO dengan katalis NaOH dosis rendah (0,8%). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum pada proses transesterifikasi RPO dengan katalis NaOH, dengan meninjau pengaruh variasi konsentrasi ko-pelarut metil ester dan waktu reaksi.

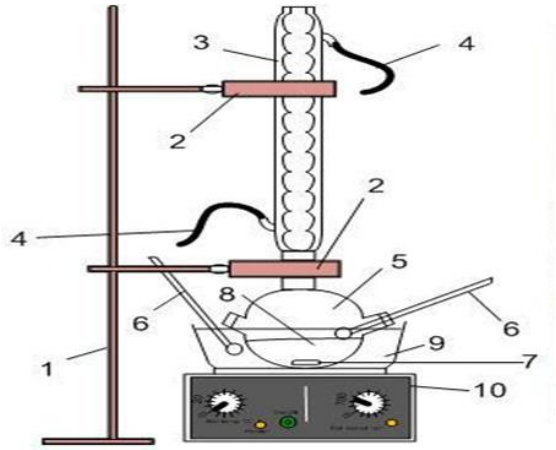
2. Metode

Proses reaksi transesterifikasi RPO menggunakan ko-pelarut FAME (Fatty Acid Methyl Esters) dilakukan berdasarkan tahapan berikut. Sebanyak 250 gram minyak kelapa sawit ditimbang sebagai bahan awal, kemudian ditambahkan katalis NaOH sebanyak 0,8% dari total massa minyak. Rasio molar antara minyak dan metanol ditetapkan sebesar 1:6. Campuran minyak dan ko-pelarut dengan variasi konsentrasi 0%, 5%, 10%, dan 15% dari massa minyak ditempatkan dalam labu Erlenmeyer, lalu dipanaskan hingga suhu mencapai 70°C. Secara terpisah, campuran metanol dan NaOH disiapkan di dalam labu leher tiga, kemudian diaduk dan dipanaskan hingga suhu yang sama, yaitu 70°C. Setelah suhu minyak dan ko-pelarut stabil,

campuran tersebut dituangkan ke dalam labu leher tiga yang telah dilengkapi dengan kondensor berisi larutan metanol–NaOH.

Proses transesterifikasi dijalankan pada suhu konstan 70°C dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, serta variasi waktu reaksi 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit. Setelah reaksi berlangsung sesuai waktu yang telah ditentukan, diambil sampel sebanyak 50 gram, kemudian ditambahkan larutan HCl 1 N hingga mencapai pH netral (pH 7) untuk menghentikan reaksi dan menetralkan katalis basa. Sampel tersebut selanjutnya dipindahkan ke corong pisah dan dibiarkan mengendap selama kurang lebih 12 jam hingga terbentuk dua lapisan. Lapisan bagian atas berisi metil ester, sisa minyak yang tidak bereaksi, serta pengotor lain. Fraksi ini kemudian didestilasi pada suhu sekitar 110°C untuk menghilangkan sisa pengotor. Residu hasil destilasi disaring hingga diperoleh metil ester yang jernih. Produk yang diperoleh ditimbang untuk mengetahui massa hasil reaksi, kemudian dianalisis sifat fisiknya yaitu angka asam dan densitas dengan 3 x pengulangan. Kandungan FAME pada metil ester diuji menggunakan instrumen Gas Chromatography (GC). Lapisan bagian bawah mengandung gliserol, sisa metanol, serta hasil netralisasi katalis. Nilai crude yield dihitung menggunakan persamaan (1). Gambar 1 merupakan deskripsi reaktor yang digunakan pada reaksi transesterifikasi RPO dengan ko-pelarut FAME

$$Crude\ yield\ (\%) = \frac{Berat\ produk - berat\ kopelarut}{Berat\ minyak\ awal} x\ 100\% \quad (1)$$



Keterangan:
1. Statif
2. Klem
3. Pendingin balik
4. Air pendingin
5. Labu leher tiga
6. Termometer
7. Magnetic Stirrer
8. Tempat bahan
9. Panci wadah labu leher tiga
10. Hot plate
11. Kecepatan pengadukan
12. Pengaturan temperatur

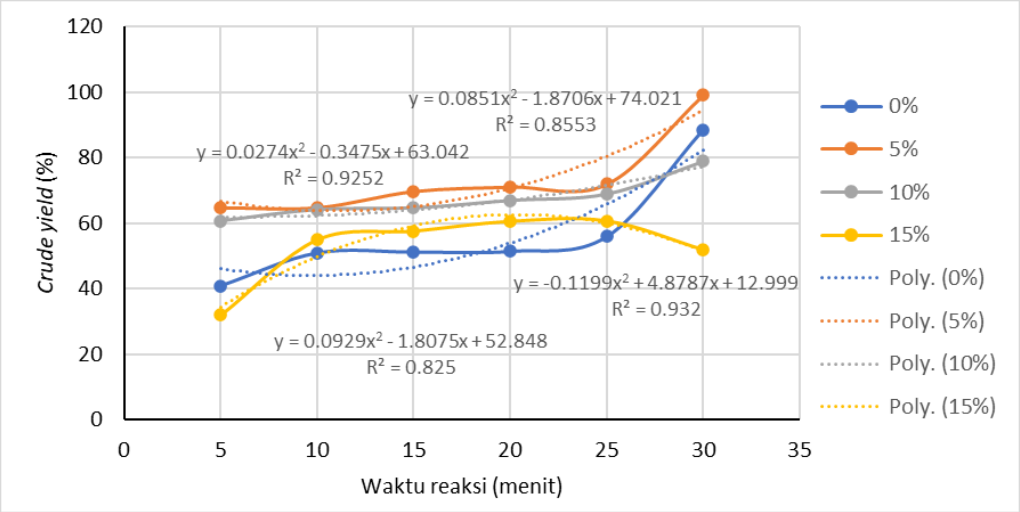
Gambar 1. Reaktor Transesterifikasi RPO dengan Ko-pelarut FAME

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Reaksi transesterifikasi RPO dengan ko-pelarut FAME

Hasil perhitungan crude yield ditampilkan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, dapat diamati bahwa peningkatan waktu reaksi serta konsentrasi ko-pelarut FAME menunjukkan hubungan yang searah dengan nilai crude yield metil ester yang dihasilkan. Pada penggunaan ko-pelarut sebesar 0%, kondisi optimum belum tercapai, dan hasil tertinggi diperoleh pada waktu reaksi 30 menit dengan crude yield sebesar 88,49%. Begitu pula pada variasi ko-pelarut 5%, titik optimum belum teridentifikasi, namun crude yield tertinggi sebesar 99% juga dicapai pada waktu reaksi 30 menit. Untuk konsentrasi ko-pelarut 10%, kondisi paling baik diperoleh pada 30 menit dengan crude yield 78,86%, sedangkan pada konsentrasi 15%, hasil optimum tercapai lebih cepat, yaitu pada 20 menit dengan crude yield 60,52%. Setelah melewati waktu reaksi 30 menit, nilai crude yield mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu reaksi. Hal ini menunjukkan bahwa pada menit ke-20, sistem telah mencapai kesetimbangan, apabila reaksi dilanjutkan, kesetimbangan akan bergeser ke arah reaktan karena sifat reaksinya yang reversibel (Daryono et

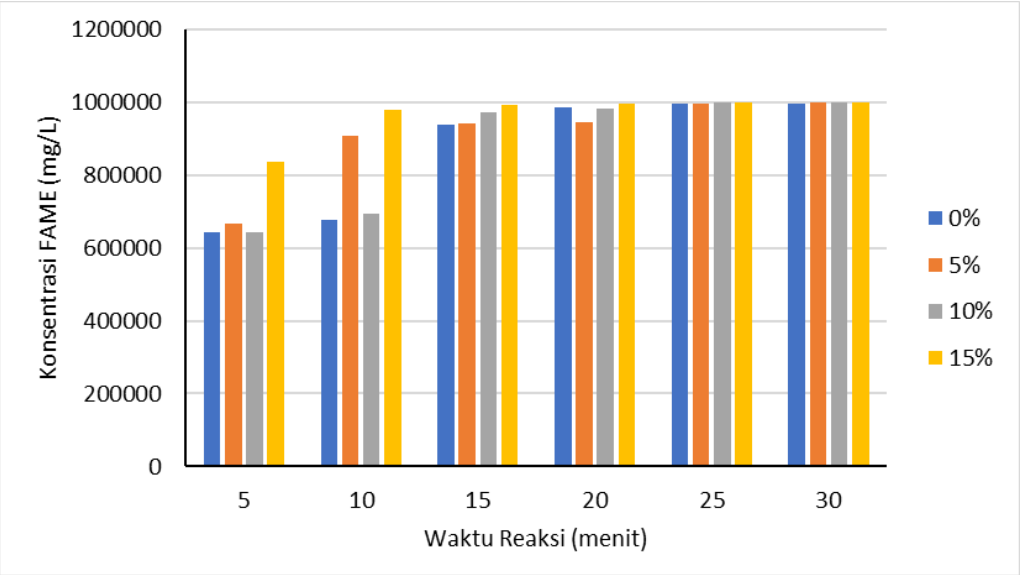
al. 2020; Daryono et al. 2024; Daryono 2013). Secara keseluruhan, kondisi paling optimum untuk proses transesterifikasi RPO dengan penambahan ko-pelarut FAME diperoleh pada konsentrasi ko-pelarut 5% dan waktu reaksi 30 menit. Pada penambahan ko-pelarut 10% dan 15% crude yield turun karena dengan semakin banyaknya ko-pelarut FAME yang juga merupakan hasil reaksi ditambahkan maka akan mempercepat kesetimbangan reaksi bergeser ke arah reaktan. Dengan penambahan ko-pelarut FAME maka sistem satu fase pada campuran reaksi akan lebih cepat terbentuk karena kelarutan reaktan yang meningkat sehingga mempercepat reaksi. Pada transesterifikasi minyak kelapa sawit tanpa ko-pelarut dengan katalis KOH mendapat rendemen 69,7% pada waktu 1 jam 34 menit (Pratiwi et al. 2023) sedangkan pada penelitian ini crude yield 99% pada waktu reaksi 30 menit dengan ko-pelarut FAME 5%.



Gambar 2. Hubungan Konsentrasi Ko-pelarut dan Waktu Reaksi terhadap Crude Yield

3.2. Hasil Analisa Komponen dan Konsentrasi Metil Ester dengan GC

Hasil analisis GC untuk konsentrasi FAME ditampilkan pada Gambar 3 Kromatogram GC untuk komponen FAME pada kondisi terbaik penelitian ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Hubungan Konsentrasi Ko-pelarut dan Waktu Reaksi terhadap Konsentrasi FAME

Pada Gambar 3 terlihat secara garis besar bahwa penambahan waktu reaksi dan konsentrasi ko-pelarut FAME berbanding lurus dengan bertambahnya konsentrasi metil ester yang didapatkan. Pada konsentrasi ko-pelarut 0% kondisi terbaik didapatkan pada waktu reaksi

30 menit dengan konsentrasi metil ester 997.933 mg/L. Pada konsentrasi ko-pelarut 5% dan 10% kondisi terbaik juga didapatkan pada waktu 30 menit dengan konsentrasi metil ester 999.265 mg/L dan 999.505 mg/L. Pada konsentrasi ko-pelarut 15% kondisi terbaik didapatkan pada 30 menit dengan konsentrasi metil ester 999.821 mg/L. Pada waktu reaksi 5 menit penambahan ko-pelarut 15% memberikan perolehan konsentrasi metil ester yang cukup besar dibandingkan konsentrasi ko-pelarut 0%, 5% dan 10%. Pada waktu reaksi 10 menit penambahan ko-pelarut 15% memberikan perolehan konsentrasi metil ester yang cukup besar dibandingkan konsentrasi ko-pelarut 0% dan 10%. Pada waktu reaksi 15 menit dan 20 menit penambahan konsentrasi ko-pelarut FAME memberikan perolehan konsentrasi metil ester yang tidak terlalu besar sedangkan pada waktu reaksi 25 menit dan 30 menit penambahan konsentrasi ko-pelarut FAME memberikan perolehan konsentrasi metil ester yang kecil. Konsentrasi metil ester semakin naik seiring dengan bertambahnya konsentrasi ko-pelarut dan waktu reaksi sampai kondisi optimum didapatkan. Apabila kondisi optimum telah dicapai namun konsentrasi ko-pelarut dan waktu reaksi terus ditingkatkan, maka kesetimbangan reaksi akan bergeser kembali ke arah reaktan, sebab reaksi transesterifikasi bersifat reversibel (Daryono and Mustiadi 2017; Daryono and Sinaga 2016). Dengan bergesernya kesetimbangan reaksi ke kiri maka produk yang terbentuk akan terpecah lagi sehingga mengurangi metil ester yang terbentuk. Secara keseluruhan kondisi terbaik penelitian didapatkan pada konsentrasi ko-pelarut 5% dan waktu reaksi 30 menit dengan konsentrasi metil ester tertinggi.

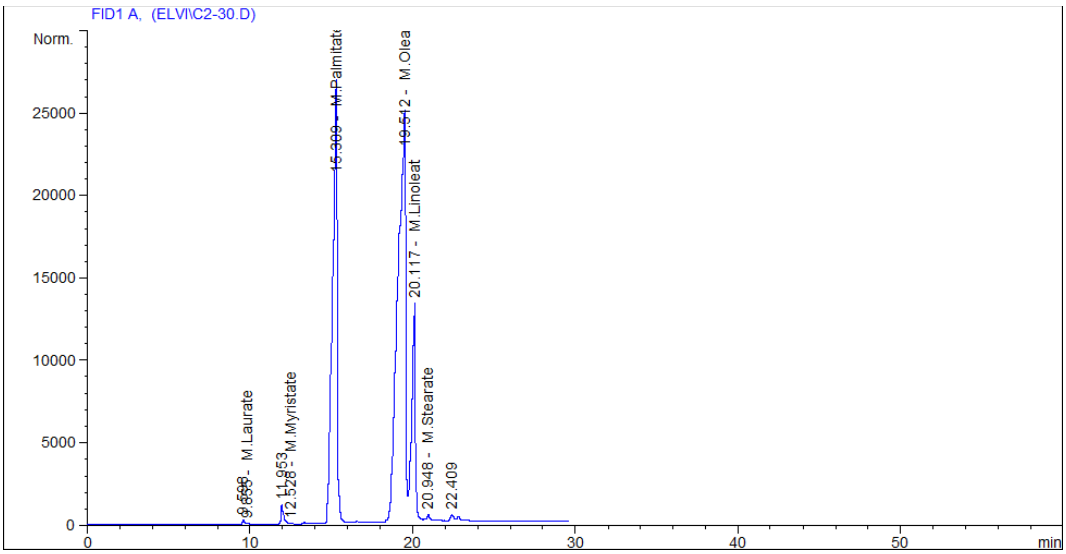
Table 1. Data Analisis Statistik

Konsentrasi (%)	Rata-rata (Mean)	Standard Deviasi	Nilai Minimun	Nilai Maksimum	Rentang (Max – Min)
0	56,46	16,45	40,92	88,49	47,57
5	73,55	12,85	64,79	99,01	34,22
10	67,37	6,27	60,70	78,86	18,16
15	52,92	10,76	32,05	60,62	28,57

Hasil perhitungan ANOVA:

- F-statistic = 3,712
- p-value = 0,0285

Karena p-value < 0,05 maka terdapat perbedaan yang signifikan artinya perubahan konsentrasi memengaruhi nilai respon.



Gambar 4. Kromatogram GC metil ester pada kondisi proses terbaik

Tabel 2. Konsentrasi Metil Ester (%) Hasil Analisa GC pada Konsentrasi Ko-pelarut 5% dan Waktu Reaksi 30 Menit

***Retention Time* (menit)**	**Komponen**	**Konsentrasi FAME (mg/L)**
9,855	Metil Laurat	755,9891
12,528	Metil Miristat	278,1646
15,309	Metil Palmitat	65.263
19,512	Metil Oleat	924.666
20,117	Metil Linoleat	6.589
20,948	Metil Stearat	1712,3258
	Total	999.265

Pada Tabel 2 terlihat bahwa dua komponen metil ester terbesar adalah metil palmitat dan metil linoleate. Dua komponen metil ester terbesar sesuai dengan kandungan asam lemak pada minyak kelapa sawit yaitu asam palmitat dan asam oleat (Marlina et al. 2020; Marlina and Wijayanti 2020). Gambar 4 merupakan hasil kromatogram GC komponen metil ester pada kondisi proses terbaik.

3.3. Analisis Sifat Fisik

Hasil analisa densitas dan angka asam sampel pada kondisi proses terbaik yaitu pada reaksi transesterifikasi RPO dengan konsentrasi ko-pelarut FAME 5% dan waktu reaksi 30 menit disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Angka Asam dan ρ Metil Ester pada Kondisi Proses Terbaik

Waktu Reaksi (menit)	**Konsentrasi Ko-pelarut (%)**	**Angka Asam (mg KOH/g sample)**	**Densitas (g/mL)**
30	5	0,56	0,88

Pada Tabel 3 terbaca density sesuai SNI 7182:2015 (0,85 - 0,89 g/mL) dan angka asam tidak memenuhi SNI 7182:2015 (maks. 0,5 mg-KOH/g). Angka asam tidak memenuhi karena sampel tidak disimpan di botol kaca gelap dan tidak diletakkan di kulkas sebelum dianalisa, sehingga ada sebagian komponen metil ester yang rusak karena cahaya dan terjadi reaksi oksidasi membentuk asam lemak bebas (Daryono et al. 2024).

4. Kesimpulan

Peningkatan konsentrasi ko-pelarut FAME serta perpanjangan waktu reaksi berpengaruh positif terhadap kenaikan crude yield dan konsentrasi metil ester yang dihasilkan. Kondisi terbaik dicapai pada proses transesterifikasi RPO dengan penambahan ko-pelarut FAME sebesar 5%, penggunaan katalis KOH sebanyak 0,8%, pengadukan 100 rpm, waktu 30 menit, suhu 60°C, dan perbandingan molar RPO terhadap metanol sebesar 1:6. Pada kondisi tersebut diperoleh crude yield sebesar 99%, konsentrasi FAME mencapai 999.265 mg/L, serta densitas 0,88 g/mL yang sesuai dengan standar mutu SNI 7182:2015. Nilai angka asam tidak memenuhi standard karena penyimpanan sampel tidak dikontrol sehingga angka asam naik. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah dilakukan uji stabilitas oksidatif, uji cold flow dan optimasi suhu

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada asisten Laboratorium Bioenergi ITN Malang atas dukungan teknis dan bantuan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Kontribusi tersebut sangat membantu kelancaran proses penelitian hingga seluruh tahapan dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

Boocock, David G. B., Samir K. Konar, Vinnie Mao, and Hanif Sidi. 1996. "Fast One-Phase Oil-Rich Processes for the Preparation of Vegetable Oil Methyl Esters." *Biomass and Bioenergy* 11 (1): 43–50. https://doi.org/10.1016/0961-9534(95)00111-5.

Daryono, Elvianto Dwi. 2013. "Biodiesel Dari Minyak Biji Pepaya Dengan Transesterifikasi Insitu." *Jurnal Teknik Kimia* 8 (1): 7–11.

———. 2020. "Proses Interesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel Dengan Co-Solvent Metil Ester." *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan* 4 (1): 1–8. https://rbaet.ub.ac.id/index.php/rbaet/article/downloadSuppFile/76/3.

Daryono, Elvianto Dwi, Jimmy Jimmy, Ferry Setiawan, and Siti Sri Wahyuni. 2024. "Production of Biodiesel from Used Cooking Oil with Zeolite Supported CaO Catalyst: Effect of Catalyst Mass and Transesterification Reaction Time." In *AIP Conference Proceedings*, 3077: 010025. American Institute of Physics. https://doi.org/10.1063/5.0201746.

Daryono, Elvianto Dwi, and Lalu Mustiadi. 2017. "Penggunaan Metil Ester Sebagai Co-Solvent Pada Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel." *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia* 1: 27–33.

———. 2022a. "Pengaruh Penambahan Co-Solvent Metil Ester Dan Waktu Reaksi Pada Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi FAME (Fatty Acid Methyl Esters)." *Jurnal Teknik Kimia USU* 11 (1): 16–20. https://talenta.usu.ac.id/jtk.

———. 2022b. "One-Phase Transesterification of Palm Oil into Biodiesel with Co-Solvent Methyl Esters: The Effect of Adding Co-Solvent to Kinetic Energy and Dipole Moment." *Reaktor* 22 (1): 7–13. https://doi.org/10.14710/reaktor.22.1.7-13.

———. 2022c. "Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Co-Solvent Fame (Fatty Acid Methyl Esters) Dan Aplikasinya Pada Motor Bakar." *Jurnal Rekayasa Mesin* 13 (2): 461–71. https://doi.org/10.21776/jrm.v13i2.1056.

Daryono, Elvianto Dwi, Muyassaroh, and Mohammad Istnaeny Hudha. 2024. "Transesterifikasi In Situ Minyak Biji Pepaya Menggunakan Ko-Pelarut Tetrahidrofuran: Pengaruh Waktu Reaksi Dan Penggunaan Katalis Natrium Hidroksida." *Jurnal Teknik Kimia USU* 13 (2): 96–104. https://doi.org/10.32734/jtk.v13i2.16580.

Daryono, Elvianto Dwi, and Erni Junita Sinaga. 2016. "Transesterifikasi Palm Oil Dengan Variasi Massa Co-Solvent Dan Waktu Reaksi." *Prosiding Sentia* 8 (2): 13–16. http://sentia.polinema.ac.id/index.php/SENTIA2016/article/view/126.

Daryono, Elvianto Dwi, Adi Sintoyo, and Rendi Chandra Gunawan. 2020. "Transesterifikasi in Situ Minyak Biji Pepaya Menjadi Metil Ester Dengan Co-Solvent n-Heksana Menggunakan Microwave." *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan* 4 (2): 17–26.

Dimawarnita, Firda, Afifah Nur Arfiana, Sri Mursidah, Syarifah Rohana Maghfiroh, and Prayoga Suryadarma. 2021. "Optimasi Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Nabati Menggunakan Aspen Hysys." *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 31 (1): 98–109. https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.1.98.

Fahmi, Muhammad Chairul, and Muhammad Idris. 2024. "Studi Eksperimental Angka Setana Diproduksi Dari Minyak Goreng Bekas." *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3 (1): 101–7. https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.102.

Hussein, Muhammad, and Muhammad Idris. 2024. "Studi Eksperimental Titik Nyala Dan Viskositas Biodiesel Diproduksi Dari Minyak Goreng Bekas." *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 3 (1): 86–92. https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i1.101.

Lam, Man Kee, and Keat Teong Lee. 2010. "Accelerating Transesterification Reaction with Biodiesel as Co-Solvent: A Case Study for Solid Acid Sulfated Tin Oxide Catalyst." *Fuel* 89 (12): 3866–70. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.07.005.