

Karakterisasi Produk Metil Ester Hasil Reaksi Interesterifikasi *Refined Palm Oil* dengan Katalis Kalium Hidroksida

Elvianto Dwi Daryono

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional, Malang
Koresponden email: elviantodaryono@lecturer.itn.ac.id

Diterima: 26 Oktober 2025

Disetujui: 31 Oktober 2025

Abstract

The transesterification process in biodiesel production is less effective because there is a separation stage of the glycerol byproduct. The interesterification process is more effective because the triacetin byproduct does not need to be separated and functions as an antioxidant in biodiesel. Stirring speed and catalyst are very important factors for a reaction to occur. Stirring will increase the frequency factor of collisions between reacting particles while the catalyst at a certain amount will accelerate the reaction. The study aims to determine the effect of stirring speed and KOH catalyst concentration on the interesterification reaction of RPO (Refined Palm Oil). The weight of RPO is 250 g, the mole ratio of oil: methyl acetate is 1: 6, stirring speed (200 - 60 rpm), KOH catalyst (0.25 - 0.75%), reaction temperature is 60°C and reaction time is 1 hour. RPO, methyl acetate and KOH are put into a three-neck flask and the reaction is according to the operating conditions. After the reaction is complete, washing with hot water and CH₃COOH is added to neutralize the KOH catalyst. The reaction products are separated with a separating funnel and the resulting phase is washed with distilled water until the pH is neutral. After that, it was distilled and the residue was the result of the reaction which was then analyzed for concentration with GC and its physical properties. The optimum conditions were obtained in the RPO interesterification reaction at a stirring speed of 300 rpm with 0.75% KOH catalyst which produced FAME with a concentration of 33,818 mg/L and an acid value of 0.438 mg KOH/g according to SNI 7182:2015.

Keywords: *transesterification, interesterification, stirring speed, koh catalyst, methyl ester concentration.*

Abstrak

Proses transesterifikasi dalam pembuatan biodiesel kurang efektif karena ada tahap pemisahan produk samping gliserol. Proses interesterifikasi lebih efektif karena produk samping triasetin tidak perlu dipisahkan dan berfungsi sebagai antioksidan pada biodiesel. Kecepatan pengadukan dan katalis merupakan factor yang sangat penting untuk terjadinya suatu reaksi. Pengadukan akan memperbesar faktor frekuensi tumbukan antar partikel yang bereaksi sedangkan katalis pada jumlah tertentu akan mempercepat reaksi. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan dan konsentrasi katalis KOH pada reaksi interesterifikasi RPO (*Refined Palm Oil*). Berat RPO 250 g, rasio mol minyak:metil asetat 1:6, stirring speed (200 – 60 rpm), katalis KOH (0,25 – 0,75%), suhu reaksi 60°C dan waktu reaksi 1 jam. RPO, metil asetat dan KOH dimasukkan labu leher tiga dan reaksi sesuai dengan kondisi operasi. Setelah reaksi selesai dilakukan pencucian dengan air panas dan ditambahkan CH₃COOH untuk netralisasi katalis KOH. Hasil reaksi dipisahkan dengan corong pemisah dan hasil fase dicuci dengan *aquadest* sampai pH netral. Setelah itu didistilasi dan residu adalah hasil reaksi yang kemudian dianalisa konsentrasi dengan GC serta sifat fisiknya. Kondisi optimum diperoleh pada reaksi interesterifikasi RPO pada kecepatan pengadukan 300 rpm dengan katalis KOH 0,75% yang menghasilkan FAME dengan konsentrasi metil ester 33.818 mg/L dan angka asam 0,438 mg KOH/g sesuai SNI 7182:2015.

Kata Kunci: *transesterifikasi, interesterifikasi, kecepatan pengadukan, katalis koh, konsentrasi metil ester*

1. Pendahuluan

Proses pembuatan biodiesel yang pertama kali dilakukan adalah reaksi transesterifikasi dengan produknya adalah metil ester dan gliserol [1]. Gliserol sebagai produk samping harus dipisahkan karena bersifat sebagai pengotor yang mengganggu kinerja biodiesel [2]. Tahap pemisahan gliserol menjadikan waktu proses transesterifikasi lebih lama sehingga kurang efisien. Proses transesterifikasi dengan katalis basa cair memberikan hasil yang cukup baik. Pada transesterifikasi minyak jelantah dengan KOH mendapat *yield* 69% pada 94 menit [3] serta dengan NaOH mendapat *yield* 65% [4]. Transesterifikasi minyak jarak pagar dengan KOH pada 45 menit menghasilkan konsentrasi FAME (*Fatty Acid Methyl Esters*) 99,52% [5]. Proses transesterifikasi juga dilakukan dengan katalis basa padat. Transesterifikasi minyak nyamplung

dengan katalis CaO menghasilkan biodiesel dengan viskositas yang sesuai standard [6]. Transesterifikasi minyak biji karet dengan katalis CaO/ZnO/ γ -Al₂O₃ mendapatkan metil linoleate dengan luas area 35,32% hasil analisa GC-MS [7]. Transesterifikasi minyak sawit dengan katalis CaO yang diimpregnasi dengan Na₂CO₃ menghasilkan *yield* 89% pada waktu reaksi 3,5 jam [8]. Pembuatan biodiesel minyak biji kapuk dengan katalis CaCO₃ 1% mendapatkan konversi 41,57% pada 2 jam dan produk memenuhi ASTM D-1298 [9]. Proses transesterifikasi dengan biokatalis juga telah dilakukan. Transesterifikasi CPO (*Crude Palm Oil*) dengan enzim lipase *amobil* dengan total waktu 6 jam menghasilkan biodiesel yang memenuhi standard [10]. Transesterifikasi CPO (*Crude Palm Oil*) dengan enzim lipase *amobil* dalam *Packed Bed Reactor* dalam waktu 5 jam menghasilkan *yield* 86,76% [11]. Proses transesterifikasi dengan katalis heterogen maupun biokatalis memerlukan waktu yang cukup panjang untuk mendapatkan hasil yang tinggi.

Penyempurnaan proses transesterifikasi adalah proses interesterifikasi dimana produk samping triasetin tidak perlu pemisahan karena bersifat sebagai bioaditif biodiesel [12][13], [14]. Triasetin juga bisa digunakan pada industry makanan sebagai bahan tambahan pangan [15]. Proses interesterifikasi dengan katalis heterogen telah banyak dilakukan. Interesterifikasi *rapeseed oil* dengan katalis SnO mendapat *yield* 90% pada 4 jam [16]. Interesterifikasi minyak kedelai dengan katalis CaO mendapat konsentrasi FAME 62,3% pada 2 jam [17]. Interesterifikasi *palm oil* dengan konsentrasi enzim lipase 2% dari *Bacillus substilis* mendapat *yield* 53,99% [18]. Penggunaan katalis homogen lebih baik karena mempercepat laju reaksi [19]. Interesterifikasi *castor oil* dengan KOH pada suhu 60°C mendapat *yield* 9% pada waktu 8 jam [20]. Interesterifikasi minyak jelantah dengan katalis CH₃COOH pada suhu 80°C mendapat *yield* 50% pada waktu 3 jam [21]. Interesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis KOH 0,75% pada suhu 60°C dan kecepatan pengaduk 300 rpm mendapat *crude yield* 57% pada waktu 1 jam [22]. Interesterifikasi minyak kelapa sawit dengan katalis NaOH 0,5% pada suhu 60°C dan kecepatan pengadukan 400 rpm mendapat *crude yield* 57% pada waktu 1 jam [23]. Proses interesterifikasi terutama dengan bahan baku minyak jelantah yang telah dilakukan tidak mencantumkan komposisi dan konsentrasi FAME yang dihasilkan. Data ini penting untuk membandingkan dengan komposisi minyak jelantah yang digunakan apakah sudah sesuai atau mengalami perubahan produk.

Tujuan penelitian untuk mendapatkan kondisi optimum kecepatan pengadukan dan konsentrasi katalis KOH pada reaksi interesterifikasi minyak jelantah yang dihubungkan dengan komposisi dan konsentrasi FAME yang dihasilkan. Kecepatan pengadukan merupakan salah satu factor yang sangat penting untuk terjadinya suatu reaksi [24]. Pada reaksi pembuatan biodiesel dengan fase cair, pengadukan yang optimum akan memperbesar factor frekuensi tumbukan senyawa-senyawa yang bereaksi untuk menjadi produk [22]. Hasil penelitian diharapkan bisa menambah informasi proses interesterifikasi pembuatan biodiesel yang lebih efektif dari sisi pengadukan dan konsentrasi katalis dengan bahan baku yang murah atau limbah.

2. Metode Penelitian

Bahan

Bahan-bahan adalah minyak kelapa sawit kemasan (RPO), KOH (Riedel-de Haen 99%), metil asetat (Sigma Aldrich 99,9%), indicator PP, CH₃COOH (Sigma Aldrich 99,7%) dan aseton (Merck 99,8%).

Reaksi interesterifikasi RPO dengan katalis KOH

Sebanyak 250 g RPO ditimbang dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Metil asetat dengan rasio mol terhadap minyak 6 juga ditimbang dan dicampur di labu leher tiga sampai homogen dengan katalis KOH konsentrasi (0,25%; 0,5%; 0,75%) dan dipanaskan pada suhu 60°C. Setelah RPO mencapai suhu dimasukkan juga ke dalam labu leher tiga dan reaksi interesterifikasi dimulai. Kondisi operasi reaksi: waktu reaksi 1 jam, suhu 60°C dan kecepatan pengadukan (200, 300, 400, 500 dan 600 rpm). Sebagai reactor adalah labu leher tiga yang dilengkapi dengan refluks yang dipanaskan dengan *hot plate* beserta *magnetic stirrer*.

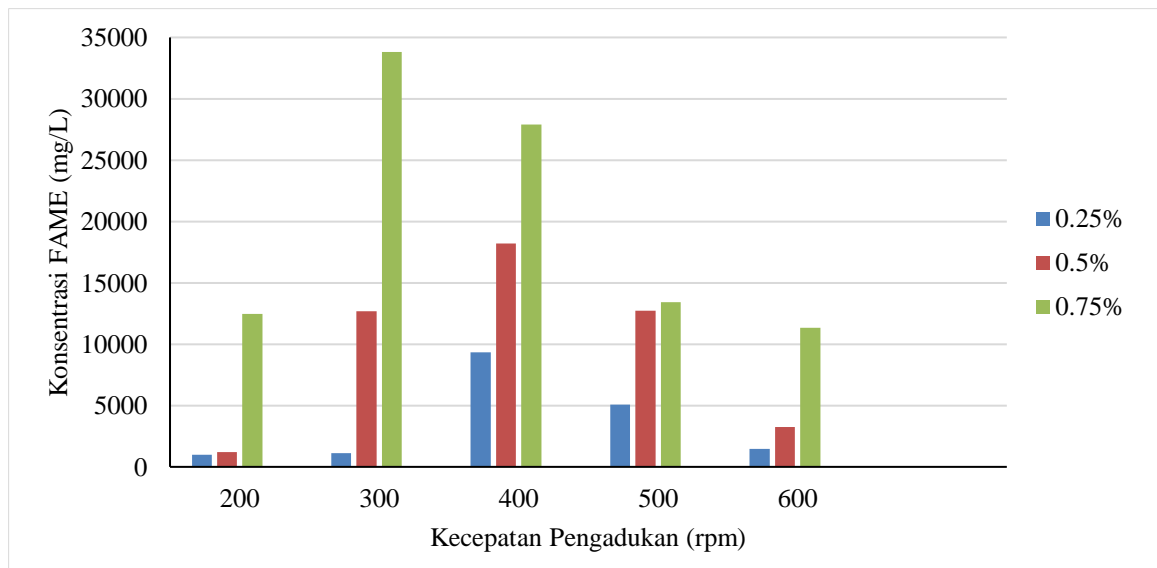
Pemisahan hasil dan sisa reaksi

Setelah reaksi selesai, campuran ditambahkan air panas 60°C sebanyak 50% volume dan CH₃COOH 0,03% untuk netralisasi katalis. Campuran diaduk dengan kecepatan 300 rpm selama 20 menit. Setelah itu campuran dimasukkan corong pemisah selama 1 jam untuk membentuk 2 fase. Fase atas adalah produk hasil reaksi yang kemudian didistilasi untuk memisahkan impuritis. Residu hasil distilasi adalah metil ester yang kemudian dianalisa komposisi dan konsentrasinya dengan GC (*Gas Chromatography*). Metil ester pada kondisi proses optimum dianalisa densitas dan angka asam.

3. Hasil dan Pembahasan

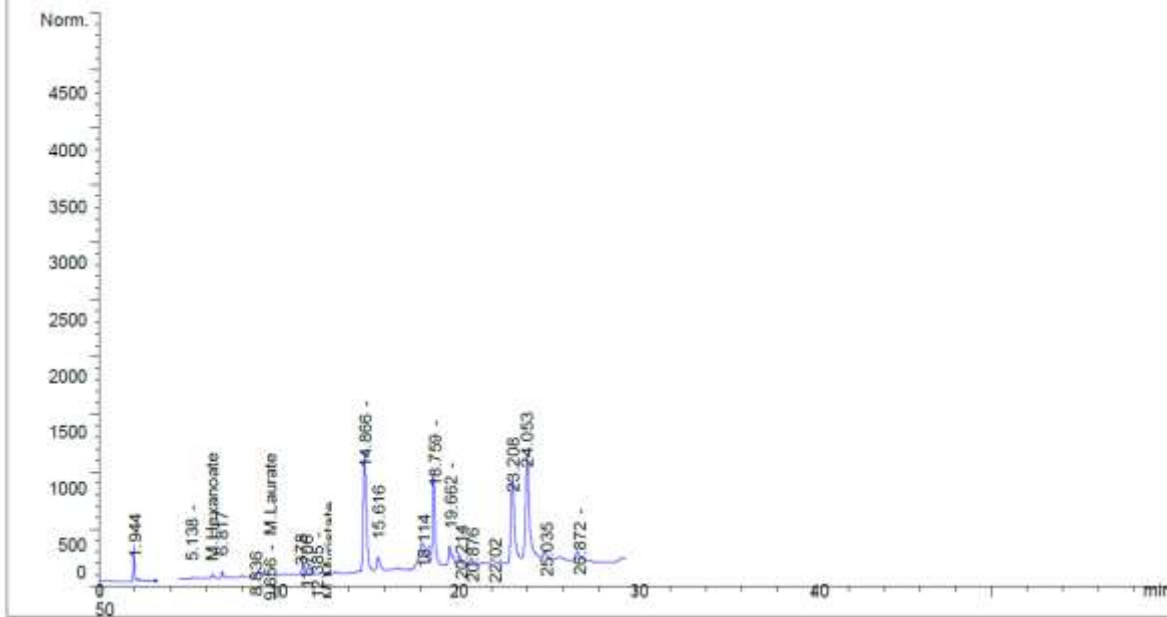
Hasil Analisa Komponen dan Konsentrasi Metil Ester dengan GC

Hasil analisis GC untuk konsentrasi FAME ditampilkan pada **Gambar 1**. Kromatogram GC untuk komponen FAME pada kondisi optimum penelitian ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 1: Hubungan kecepatan pengadukan dan konsentrasi katalis KOH terhadap konsentrasi FAME

Pada **Gambar 1** terlihat secara garis besar bahwa kecepatan pengadukan dan konsentrasi katalis KOH berbanding lurus dengan bertambahnya konsentrasi metil ester yang didapatkan. Pada kecepatan pengadukan 200 rpm hasil terbaik didapatkan pada konsentrasi katalis 0,75% dengan konsentrasi metil ester 12.474 mg/L. Pada kecepatan pengadukan 300 rpm hasil terbaik didapatkan pada konsentrasi katalis 0,75% dengan konsentrasi metil ester 33.818 mg/L. Pada kecepatan pengadukan 400 rpm hasil terbaik didapatkan pada konsentrasi katalis 0,75% dengan konsentrasi metil ester 27.885 mg/L. Pada kecepatan pengadukan 500 rpm hasil terbaik didapatkan pada konsentrasi katalis 0,75% dengan konsentrasi metil ester 13.409 mg/L. Pada kecepatan pengadukan 600 rpm hasil terbaik didapatkan pada konsentrasi katalis 0,75% dengan konsentrasi metil ester 11.342 mg/L. Konsentrasi metil ester semakin naik seiring dengan bertambahnya konsentrasi katalis KOH dan kecepatan pengadukan sampai kondisi optimum didapatkan. Apabila kondisi optimum telah dicapai namun kecepatan pengadukan ditambah, maka kesetimbangan reaksi akan bergeser ke arah reaktan karena reaksi interesterifikasi bersifat reversible (Daryono). Dengan bergesernya kesetimbangan reaksi ke kiri maka produk yang terbentuk akan terpecah lagi sehingga mengurangi metil ester yang terbentuk. Secara keseluruhan kondisi optimum penelitian didapatkan pada kecepatan pengadukan 300 rpm dan konsentrasi katalis KOH 0,75% dengan konsentrasi metil ester tertinggi.

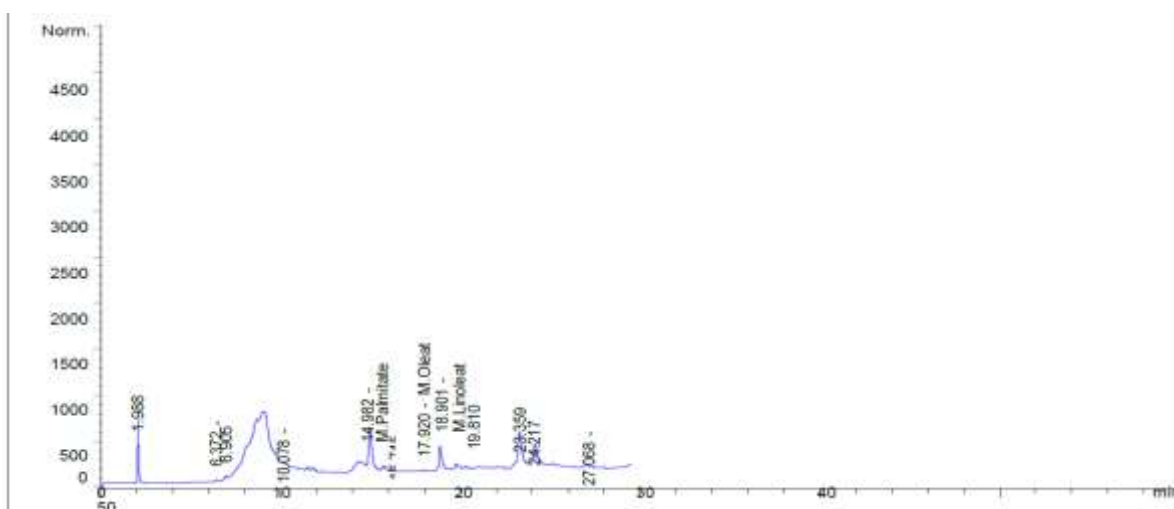


Gambar 2: Kromatogram GC metil ester pada kondisi optimum penelitian

Tabel 1. Komponen dan konsentrasi metil ester pada kondisi optimum proses

<i>Retention Time</i> (menit)	Komponen	Konsentrasi FAME (mg/L)
5,138	Metil Heksanoat	561,4778
6,286	Metil Oktanoat	750,6470
9,656	Metil Laurat	365,0155
12,385	Metil Miristat	216,6179
14,866	Metil Palmitat	17.1417
18,759	Metil Oleat	10.8344
19,662	Metil Linoleat	432,8475
26,872	Metil Arakidat	3.514,857
	Total	33.8176

Pada **Tabel 1** 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 [25], [26]. Kromatogram GC untuk komponen FAME pada kecepatan pengadukan 500 rpm dan konsentrasi katalis KOH 0,75% ditampilkan pada **Gambar 3**. Sementara **Tabel 2** berisi *retention time*, komponen dan konsentrasi FAME kecepatan pengadukan 500 rpm dan konsentrasi katalis KOH 0,75%.



Gambar 3: Kromatogram GC metil ester pada kecepatan pengadukan 500 rpm dan konsentrasi katalis KOH 0,75%

Tabel 2. Komponen dan konsentrasi metil ester pada kecepatan pengadukan 500 rpm dan konsentrasi katalis KOH 0,75%

<i>Retention Time</i> (menit)	Komponen	Konsentrasi FAME (mg/L)
6,372	Metil Oktanoat	495,22849
10,078	Metil Laurat	2.324,0913
14,982	Metil Palmitat	8.210,4616
17,920	Metil Oleat	77,03559
18,901	Metil Linoleat	891,12048
21,047	Metil Stearat	92,34018
27,068	Metil Arakidat	1.318,2726
	Total	13.408,6

Pada **Tabel 2** terlihat bahwa dua komponen metil ester terbesar adalah metil palmitat dan metil laurat. Dua komponen metil ester terbesar sesuai dengan kandungan asam lemak pada minyak kelapa sawit yaitu asam palmitat dan asam laurat [26].

Analisis Sifat Fisik

Hasil analisa densitas dan angka asam sampel pada kondisi proses optimum yaitu pada reaksi interesterifikasi RPO dengan kecepatan pengadukan 300 rpm dan konsentrasi katalis KOH 0,75% disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Angka asam dan ρ metil ester pada kondisi proses optimum

Kecepatan pengadukan (rpm)	Konsentrasi katalis KOH (%)	Angka asam (mg KOH/g sample)	Densitas (g/mL)
300	0,75	0,4377	0,9124

Pada **Tabel 3** terbaca *density* tidak sesuai SNI 7182:2015 (0,85 - 0,89 g/mL) dan angka asam memenuhi SNI 7182:2015 (maks. 0,5 mg-KOH/g). Densitas produk tidak memenuhi standar karena masih banyak minyak yang tidak terinteresterifikasi menjadi metil ester.

4. Kesimpulan

Kecepatan pengadukan dan konsentrasi katalis sangat berpengaruh pada reaksi interesterifikasi minyak kelapa sawit. Penambahan kecepatan pengadukan serta konsentrasi katalis KOH berpengaruh positif terhadap kenaikan konsentrasi metil ester yang dihasilkan sampai kondisi optimum didapatkan. Kondisi optimum reaksi interesterifikasi RPO yaitu pada konsentrasi katalis KOH 0,75%, kecepatan pengaduk 300 rpm, waktu 1 jam, suhu 60°C, dan perbandingan molar RPO terhadap metil asetat 1:6. Pada kondisi optimum diperoleh konsentrasi FAME 33.818 mg/L dan angka asam 0,4377 mg KOH/g sesuai SNI 7182:2015.

5. Ucapan Terima Kasih

Kami berterima kasih kepada Kaprodi Teknik Kimia yang telah mendukung penelitian serta asisten Laboratorium Bioenergi Teknik Kimia ITN Malang yang telah membantu sehingga penelitian bisa berjalan dengan baik dan tepat waktu.

6. Singkatan

<i>RPD</i>	Refined Palm Oil
%	Percentage
<i>GC</i>	Gas Chromatography
<i>FAME</i>	Fatty Acid Methyl Esters
<i>SNI</i>	Standard Nasional Indonesia

7. Daftar Pustaka

- [1] J. Van Gerpen, B. Shanks, R. Pruszko, D. Clements, et G. Knothe, Biodiesel production technology, 2004. doi: 10.1002/9783527809080.catanz01943.
- [2] A. Casas, J. R. Ruiz, M. J. Ramos, et Á. Pérez, Effects of triacetin on biodiesel quality, *Energy and Fuels*, vol. 24, n° 8, p. 4481-4489, 2010, doi: 10.1021/ef100406b.

- [3] A. K. Pratiwi, U. I. F. Styana, et A. Kurniawan, Proses Produksi Biofuel Minyak Jelantah dengan Variasi katalis KOH dan NaOH di Ngentak Kutowinangun Lor Tingkir Salatiga, in *Prosiding Webinar ITY Green Technology (I-Tech #1)*, oct. 2023, p. 45-54.
- [4] R. Putra, S. Supriyadi, et Suheli, Analisa Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah dengan Katalis Basa, *Journal of Vocational Education and Automotive Technology*, vol. 3, n° 1, p. 137-145, avr. 2021.
- [5] E. D. Daryono, R. K. Dewi, et M. I. Hudha, Pengaruh Suhu dan Waktu pada Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Pagar Menjadi Metil Ester dengan Katalis KOH, in *SENIATI 2022*, Malang, juill. 2022, p. 113-122.
- [6] K. N. Abidin, R. Gymnastiar, A. R. Y. Suniarti, D. S. Perwitasari, et F. Kurniawanysah, Modification of CaO Catalyst from Chicken Eggshell with Wet Impregnation Method for Two-Stage Process of Biodiesel from Tamanu Oil, *Serambi Engineering*, vol. X, n° 3, p. 14620-14627, juill. 2025.
- [7] Putri, I. Hasmita, N. P. Mauliza, Zulhaini, et C. Amni, Pengaruh Suhu Transesterifikasi pada Pembuatan Bahan Baku Produk Biodiesel dari Biji Karet Menggunakan Katalis CaO/ZnO/y-Al₂O₃, *Serambi Engineering*, vol. IX, n° 3, p. 10082-10087, juill. 2024.
- [8] A. T. Khansa, S. N. Junaidi, W. Saputro, M. Al Muttaqii, A. Nurmawati, et E. A. Saputro, Comparative Study of Impregnated and Non-Impregnated CaO Catalyst for Biodiesel Synthesis, *Serambi Engineering*, vol. X, no. 4, p. 15227-15231, oct. 2025.
- [9] D. Kartika, I. S. U. Nisa, et D. Hermawan, Pemanfaatan CaCO₃ Terkalsinasi Dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk, *Serambi Engineering*, vol. IX, no. 2, p. 8792-8797, avr. 2024.
- [10] E. P. Dania, M. Aznury, et A. Meidinariasty, Pengaruh Variasi Enzim Lipase Amobil Terhadap Rasio Mol CPO: Metanol Pada Transesterifikasi, *Serambi Engineering*, vol. X, no. 4, p. 15788-15795, Oct. 2025.
- [11] A. N. A. Y. Dewi, M. Aznury, et E. D. Oktaviani, Pengaruh Enzim Lipase Amobile dalam Pengoptimalan Yield Pembuatan Biodiesel dari Crude Palm Oil dalam Packed Bed Reactor, *Serambi Engineering*, vol. X, no. 4, p. 15702-15707, oct. 2025.
- [12] M. O. Ferreira, L. Cardozo Filho, C. Silva, et E. M. B. D. Sousa, Glycerol as additive for fuels - A review, *Latin American Applied Research*, vol. 44, no. 1, p. 47-56, 2014.
- [13] J. T. S. Gomes *et al.*, Development and validation of analytical method for mono, di and triacetin analysis by HPLC/UV-Vis/DAD detection with ¹³C NMR identification, *Results Chem*, vol. 2, p. 100063, 2020, doi: 10.1016/j.rechem.2020.100063.
- [14] M. S. Dhawan, S. C. Barton, et G. D. Yadav, Interesterification of triglycerides with methyl acetate for the co-production biodiesel and triacetin using hydrotalcite as a heterogenous base catalyst, *Catal Today*, vol. 375, no. November 2019, p. 101-111, 2021, doi: 10.1016/j.cattod.2020.07.056.
- [15] S. Van Damme, S. Bram, et F. Contino, Comparison of biodiesel production scenarios with coproduction of triacetin according to energy and GHG emissions, *Energy Procedia*, vol. 61, p. 1852-1859, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.12.228.
- [16] L. Interrante *et al.*, Interesterification of rapeseed oil catalysed by a low surface area tin (II) oxide heterogeneous catalyst, *Fuel Processing Technology*, vol. 177, no. May, p. 336-344, 2018, doi: 10.1016/j.fuproc.2018.05.017.
- [17] A. L. B. Nunes et F. Castilhos, Chemical interesterification of soybean oil and methyl acetate to FAME using CaO as catalyst, *Fuel*, vol. 267, no. October 2019, p. 117264, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.117264.
- [18] A. Alatas, D. N. Putri, S. Perdani, T. S. Utami, et H. Hermansyah, Biodiesel Synthesis through the Non-Alcohol Route using the Immobilized Lipase Enzyme from *Bacillus subtilis* as Biocatalyst, *Int J Adv Sci Eng Inf Technol*, vol. 11, no 3, p. 1239-1245, 2021.
- [19] Z. H. Li, P. H. Lin, J. C. S. Wu, Y. T. Huang, K. S. Lin, et K. C. W. Wu, A stirring packed-bed reactor to enhance the esterification-transesterification in biodiesel production by lowering mass-transfer resistance, *Chemical Engineering Journal*, vol. 234, p. 9-15, 2013, doi: 10.1016/j.cej.2013.08.053.
- [20] R. D. Kusumaningtyas, R. Pristiyani, et H. Dewajani, A new route of biodiesel production through chemical interesterification of *Jatropha* oil using ethyl acetate, *Int J Chemtech Res*, vol. 9, no 6, p. 627-634, 2016.
- [21] S. Chuepeng et C. Komintarachat, Interesterification optimization of waste cooking oil and ethyl acetate over homogeneous catalyst for biofuel production with engine validation, *Appl Energy*, vol. 232, n° July, p. 728-739, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.09.085.

- [22] E. D. Daryono, I. N. G. Wardana, C. Cahyani, et N. Hamidi, Interesterification process of palm oil using base catalyst : the effect of stirring speed and type of catalyst on kinetic energy and dipole moment, *Int J Adv Sci Eng Inf Technol*, vol. 12, no 4, p. 1580-1585, 2022.
- [23] E. D. Daryono, I. N. G. Wardana, C. Cahyani, et N. Hamidi, Biodiesel production process without glycerol by-product with base catalyst: effect of reaction time and type of catalyst on kinetic energy and solubility, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1053, no 012058, p. 1-7, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1053/1/012058.
- [24] J. Pullen et K. Saeed, Investigation of the factors affecting the progress of base-catalyzed transesterification of rapeseed oil to biodiesel FAME, *Fuel Processing Technology*, vol. 130, no C, p. 127-135, 2015, doi: 10.1016/j.fuproc.2014.09.013.
- [25] E. Marlina, W. Wijayanti, L. Yuliati, et I. N. G. Wardana, The role of pole and molecular geometry of fatty acids in vegetable oils droplet on ignition and boiling characteristics, *Renew Energy*, vol. 145, p. 596-603, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.06.064.
- [26] E. Marlina, M. Basjir, M. Ichianagi, T. Suzuki, G. J. Gotama, et W. Anggono, The Role of Eucalyptus Oil in Crude Palm Oil As Biodiesel Fuel, *Automotive Experiences*, vol. 3, no 1, p. 33-38, 2020, doi: 10.31603/ae.v3i1.3257.