



Produksi Biodiesel Yang Berbahan Baku Kelapa Sawit Dengan Melibatkan Katalis Homogen Dan Heterogen

Ghina Nurul Fadhillah, Dessy Agustina Sari*

Program Studi S-1 Teknik Kimia, Universitas Singaperbangsa Karawang

E-mail: *dessy.agustina8@staff.unsika.ac.id

Submitted :25/10/2022 Accepted :23/08/2023 Published:09/09/2023

ABSTRACT

Currently, the need for fuel oil continues to grow at the same time as the population continues to increase and technology continues to develop. Still, reserves of petroleum energy sources originating from fossils continue to be depleted due to their non-renewable nature. Therefore, the struggle to find alternative renewable energy sources must be increased. One of the alternative energy sources currently being widely used is fatty acid methyl ester (FAME), commonly known as biodiesel. Biodiesel is a promising alternative fuel made from residual cooking oil, animal fat or vegetable oil, which is converted into methyl esters through a transesterification process using alcohol. Using heterogeneous catalysts to manufacture biodiesel produces better results because heterogeneous catalysts can overcome some of the weaknesses of homogeneous catalysis.

Keywords: Biodiesel, Catalyst, Palm Oil, Transesterification, Vegetable Oil.

ABSTRAK

Saat ini kebutuhan bahan bakar minyak terus menjadi besar bersamaan dengan meningkatnya populasi dan berkembangnya Teknologi. Namun cadangan sumber energi minyak bumi yang berasal dari fosil terus menjadi menipis karena sifatnya yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, perjuangan buat mencari asal tenaga alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*) butuh ditingkatkan. Salah satu sumber tenaga alternatif yang kala ini banyak dibesarkan ialah *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang umum diketahui dengan nama Biodiesel. Biodiesel ialah bahan bakar alternatif yang menjanjikan serta dapat terbuat dari minyak goreng sisa, lemak hewani ataupun minyak nabati yang dikonversikan ke dalam metil ester lewat proses transesterifikasi memakai alkohol. Reaksi transesterifikasi ini membutuhkan katalis dalam penggunaannya. Setelah di amati, katalis heterogen menjadi katalis yang paling efektif dalam pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi.

Kata kunci: Biodiesel, Katalis, Minyak Kelapa Sawit, Minyak Nabati, Transesterifikasi.

PENDAHULUAN

Permintaan energi dunia meningkat pesat. Hal ini menjadikan sumber energi yang ada akan menghadapi peluang tentang bagaimana pemanfaatannya dalam menghadapi kondisi krisis energi. Di tengah keadaan tersebut dan isu perubahan iklim, pengembangan energi

hijau yang melimpah di bumi menjadi kebutuhan mendesak. Sejak tahun 1980-an, peringatan yang diberikan oleh para ilmuwan telah tersiar kabar tentang fenomena pemanasan global. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa ragam aktivitas manusia mampu memberikan

dampak terhadap kenaikan suhu di permukaan bumi lebih cepat dari sejarah yang pernah ada. Salah satu penyebab utamanya adalah penggunaan bahan bakar fosil. Hasil reaksi pembakaran atas material tersebut yang meningkatkan kuantitas karbon dioksida di lapisan atmosfer. Hal ini merupakan penyebab utama pemanasan global atau lebih dikenal sebagai gas rumah kaca (Kuss et al., 2015).

Krisis minyak bumi juga telah terjadi selama beberapa dekade terakhir terkait dengan peningkatan permintaan bahan bakar dan turut menambah kontribusi kekhawatiran dampak terhadap lingkungan. Kedua hal ini menjadi pendorong penelitian berkelanjutan terkait penyelesaian alternatif melalui pencaharian sumber energi baru atau bahan sebagai substitusi melalui penggunaan sumber bahan bakar lain (misalnya: pembangkit energi listrik, dan sejenisnya). Lalu, faktor lingkungan juga menuntut adanya kehadiran sumber energi alternatif yang ramah, ekonomis, layak secara teknis, dan tersedia secara luas.

Biodiesel saat ini mendapat perhatian lebih dalam menggantikan peran bahan bakar minyak bumi yang bersifat konvensional (de Medeiros et al., 2020). Beberapa contoh pilihan alternatifnya adalah pencampuran antara bahan bakar solar, mikro-emulsi, proses perengkahan termal (misalnya: perengkahan katalitik), dan pirolisis (sebagai proses pemanasan suatu zat tanpa adanya oksigen) melalui proses transesterifikasi. Oleh karena itu, kajian ini akan menjadi lebih bernilai melalui penelusuran keterlibatan peran katalis yang paling efektif dalam pembuatan biodiesel. Bahan baku yang digunakan adalah minyak kelapa sawit melalui metode transesterifikasi. Ulasan ini memanfaatkan peninjauan ulang dari hasil penelitian dan kajian dari aktivitas peneliti sebelumnya.

BIODIESEL

Bahan bakar biodiesel (BDF atau *Biodegradable Fuel*) dikenal sebagai bahan bakar terbarukan, tidak beracun, mudah terdegradasi secara alamiah, dan ramah lingkungan. Harapannya adalah biodiesel ini dapat menggantikan peran bahan bakar minyak solar secara perlahan

(Madhuvilakku & Piraman, 2013). Peninjauan perilaku konsumen adalah implementasi solar secara langsung ataupun secara parsial sebagai campuran pada mesin dengan tidak memberikan perubahan terhadap kinerja peralatan dan gas hasil pembakaran (Sari & Hadiyanto, 2013). Bila dibandingkan dengan bahan bakar fosil, biodiesel telah terbukti lebih bersih dalam memproduksi emisi gas buang terutama partikulat, gas rumah kaca, gas NO_x dan SO_x. Selain itu, biodiesel juga mampu diproduksi melalui jalur transesterifikasi minyak nabati maupun asam lemak dengan bantuan larutan metanol yang tentu pertimbangan aspek ketepatan peran aktivitas katalis (Abdullah et al., 2017). Kemudian, setiap kategori bahan baku untuk biodiesel memiliki kandungan asam lemak bebas maupun trigliserida sejenis minyak nabati maupun hewani, serta residu ataupun limbah minyak dan lemak.

Perkembangan saat ini diketahui bahwa produk biodiesel telah mengantongi kepercayaan konsumen sebagai bahan bakar pengganti yang lebih unggul dibandingkan konvensional dengan seirama ramah bagi lingkungan. Sisi lain, opsi pencampuran kedua bahan bakar minyak tersebut memiliki proporsi tersendiri untuk menghasilkan persentase terbaik bagi kinerja mesin peralatan (Soly et al., 2021). Biodiesel yang dihasilkan dari keseluruhan jenis lemak nabati atau hewani umumnya memiliki kerapatan jenis, viskositas, titik awan (*cloud point* sebagai indikator kestabilan produk ketika disimpan), dan angka setana yang lebih tinggi, dengan nilai volatilitas dan termal yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar minyak solar untuk aspek komersialisasi (Alkabbashi et al., 2009).

Minyak sawit adalah kategori minyak nabati yang dapat dikonsumsi dan didapatkan dari bagian mesokarp pohon kelapa sawit (merupakan lapisan tebal yang berserabut atau lebih dikenal sebagai *elaeis guineensis*). Secara alamiah, minyak ini tergolong stabil atas komposisi asam lemak yang dimilikinya (terdiri atas palmitat, C16:0; stearat, C18:0; oleat, C18:1; linoleat, C18:2; laurat, C12:0; mistat, C14:0; dan lainnya sebesar 44; 4,5; 39,2; 10,1; 0,2; 1,1; dan 0,9% secara

berturut-turut (P Hariyadi, 2012). Hal tersebut mengakibatkan minyak sawit dapat diterapkan pada sebagian besar transformasi fasa minyak nabati cair menjadi padat tanpa melibatkan gas hidrogen. Ketidakhadiran proses hidrogenasi tersebut mampu mereduksi biaya produksi hingga 30% (Mamilla & Mallikarjun, 2012). Capaian ini tentu seirama dalam memberikan dampak positif terhadap harga jual produk minyak sawit di pasaran bila dibandingkan dengan minyak nabati lainnya (Souza et al., 2020). Selain dari sisi harga yang terjangkau nan kompetitif, hal positif lainnya adalah proses sintesis berlangsung efektif dan sekaligus meningkatkan stabilitas secara oksidasi. Lalu, produk turunan dari minyak sawit ini telah merambah pemanfaatannya ke arah komoditas makanan, kosmetik, dan juga kebersihan domestik. Secara tidak langsung, bahan baku kelapa sawit terbilang sangat efektif dalam pemanfaatan bagi kehidupan manusia.

Metode Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah metode yang paling umum dalam memproses trigliserida menjadi produk biodiesel. Minyak nabati dibiarkan bercampur bersama alkohol primer. Reaksi ini membutuhkan alkohol yang berantai pendek (seperti: metanol dan alkohol) untuk menghasilkan metil ester asam lemak atau FAME (Feng et al., 2017; Laosuttiwong et al., 2018). Golongan alkohol yang digunakan pada proses transesterifikasi berupa propanol, metanol, butanol, etanol, dan alkohol berantai pendek lainnya.

Penggunaan metanol mampu memberikan capaian maksimum biodiesel secara bersamaan dengan rendahnya biaya pengeluaran proses produksi dan tingginya karakteristik kelarutan pelarut. Hal ini menjadikan proses optimalisasi dalam memproduksi biodiesel melalui pengaturan rasio molar pelarut atas metanol sebagai poin penting pertimbangan. Sisi berlawanannya, produk biodiesel yang menggunakan hidrokarbon berantai panjang memberikan dampak terhadap penurunan kuantitas rendemen.

Proses transesterifikasi akan lebih terpacu dengan memberikan ruang keterlibatan atas peran katalis, baik itu asam, basa, maupun enzimatik. Katalis dasar yang sangat kerap digunakan adalah natrium (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH). Untuk katalis asam umumnya berupa sulfat, hidroklorik, fosfat; dan lipase yang berperan sebagai katalis enzimatik. Lalu, proses kombinasi antara salah satu jenis katalis dan ester lemak yang dihasilkan dari respon transesterifikasi dinamakan sebagai biodiesel.

Katalis Homogen

Katalis jenis ini dikenali oleh fasa reaktan secara fisik. Klasifikasinya didasari oleh kemudahan bercampurnya reaktan terhadap katalis (baik asam dan basa). Larutan H_2SO_4 dan HCl adalah katalis asam yang populer digunakan. Keduanya merupakan katalis asam yang tidak sensitif terhadap asam lemak bebas dan eksperimen hanya ditujukan untuk skala laboratorium. Kemudian, katalisis basa umumnya lebih cenderung diimplementasikan bagi proses transesterifikasi pada suhu yang lebih rendah karena proses produksi biodiesel menjadi lebih cepat. Peneliti (Chongkhong et al., 2007) menyampaikan bahwa pemanfaatan katalis basa atas larutan KOH dan NaOH memberikan laju reaksi paling tinggi jika dibandingkan dengan penerapan katalis asam.

Keuntungan dari penggunaan katalis yang homogen adalah rendahnya biaya proses produksi, jangkauan ketersediaan bahan baku terbilang mudah dilakukan, dan peningkatan hasil produk biodiesel pada kondisi suhu reaksi yang rendah. Namun, kelemahannya terletak pada proses pemisahan antara katalis yang digunakan terhadap produk pasca keberlangsungan reaksi; adanya korosi pada peralatan reaktor; dan adanya efek samping (seperti proses saponifikasi) yang dapat tertangani melalui penggunaan katalis heterogen (Benitha et al., 2021).

Katalis Heterogen

Katalis ini juga dikenal sebagai katalis yang berkontak tetap dengan perbedaan fasa dari reaktan. Secara

katalitik, aktivitas katalis heterogen memanfaatkan proses adsorpsi reaktan pada permukaannya. Peluang optimalisasi proses produksi biodiesel atas jenis katalis ini adalah variasi luas permukaan adsorben yang digunakan. Pemanfaatan bahan nanopori mampu meningkatkan aktivitas katalisnya.

Katalis heterogen memiliki keunggulan, tetapi juga kelemahan seperti katalis homogen (sulit dipisahkan pasca reaksi) dengan adanya indikasi pencemaran lingkungan. Hal ini menjadi batasan dan ruang lingkup bagi para peneliti terdahulu maupun selanjutnya. Kebutuhan parameter kondisi proses lainnya adalah suhu reaksi yang tinggi, lebih lamanya waktu reaksi, dan rendahnya stabilitas dari aktivitas katalitik akibat adanya proses pelindian yang terbilang cukup serius (sebagai proses pelarutan antara cairan dan ekstraksi suatu zat dari padatan) (Madhuvilakku & Piraman, 2013).

Katalis Yang Paling Efektif

Metode proses transesterifikasi atau alkoholisis dapat melibatkan katalis homogen dan heterogen. Penggunaan katalis jenis pertama memberikan respon biasanya sangat lebih cepat (*flash* atau kilat) dan memerlukan pembebanan biaya proses produksi yang lebih rendah daripada dikatalisis secara heterogen. Sedangkan, kelemahan utama dari katalis homogen berada di *recovery* pasca penggunaan akibat kompleksnya pemisahan antara produk biodiesel dengan katalis. Tentunya, penambahan jumlah katalis homogen yang baru akan memberikan penambahan biaya proses karena adanya tantangan pemakaian secara berulang dari penggunaan katalis homogen (Melero et al., 2009).

Pasca proses produksi biodiesel memiliki tambahan kegiatan yaitu langkah pencucian produk. Tujuannya adalah peraihan kembali katalis yang bercampur dengan produk biodiesel. Peneliti (Shahedi et al., 2021) telah melakukan penghilangan katalis dengan melibatkan pengkonsumsian air yang terdeionisasi. Penghilangan ion terlarut di dalam air (seperti: mineral dan garam) melalui pertukaran ion dari resin yang digunakan

dan sisi sampingnya menghasilkan air limbah yang belum tertangani pasca terkontaminasi. Hal ini menjadi peluang dalam mereduksi kandungan COD dan BOD yang dimiliki limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan (Suherman et al., 2020) baik secara aerobik maupun anaerobik (Sari et al., 2018). Selain itu, limbah tersebut dapat dimanfaatkan oleh warga sekitar dengan mempertimbangkan kandungan asam lemak yang dimiliki sebagai produk samping – sabun melalui penerapan konsep 5R (Firdaus et al., 2022).

Berbeda halnya penggunaan katalis heterogen tidak memiliki keharusan adanya proses pencucian pasca produk biodiesel terbentuk. Kuantitas katalis heterogen yang masih melekat di dalam produk biodiesel terbilang rendah. Seperti halnya dengan kemurnian gliserin yang melibatkan peran katalis heterogen dapat menggunakan secara berulang katalis tersebut tanpa adanya proses pencucian pasca produk terbentuk dibandingkan proses reaksi yang sama dengan katalis homogen. Hal ini berdampak positif bagi pihak industri karena jumlah ion yang terlarut atas katalis yang digunakan di dalam produk jauh lebih sedikit.

Katalis homogen memiliki ketersediaan dua sifat, yaitu asam dan basa. Hal ini juga dimiliki oleh katalis heterogen. Katalis yang pertama paling sering dimanfaatkan dalam proses produksi biodiesel. Sisi pendukungnya juga berada pada kemudahan penggunaan katalis digunakan dan sedikitnya waktu reaksi yang dibutuhkan. Katalis homogen tipe basa memiliki kereaktifan tinggi dalam metode transesterifikasi, tetapi tinggi kandungan minyak akan asam lemak bebas atau FFA - *Free Fatty Acid* mengakibatkan ketidakefektifan produksi biodiesel dan menghasilkan produk lain berupa sabun dalam kuantitas besar.

Sebagian peneliti memiliki tantangan dalam penggunaan katalis homogen basa. Saran terkait riset lanjutan adalah melihat terlebih dahulu kandungan FFA yang dimiliki kurang dari 2% massa sebagai pertimbangan jenis katalis. Sedangkan, katalis homogen asam memberikan *yield* ester alkil yang tinggi, tidak sensitif terhadap kandungan FFA, bahkan mampu

mengkatalisis reaksi esterifikasi maupun transesterifikasi. Sisi lainnya, katalis jenis ini memiliki waktu reaksi yang lebih lambat dan mengalami permasalahan serupa dengan katalis homogen basa.

Katalis heterogen merupakan jenis katalis yang mampu menghasilkan situs aktif dengan tertatanya reaktan sepanjang respon. Respon sampingnya berupa proses saponifikasi gliserida (Shahedi et al., 2021), serta metil ester dan netralisasi FFA oleh katalis yang terjalin bertepatan dengan proses metanolisis. Keunggulan dari katalis heterogen adalah sisi kemudahan pada proses pemurnian produk biodiesel agar pemakaian berulang katalis dapat diberdayakan secara optimal. Hal ini terbantu dengan memperhatikan kisaran suhu yang terbilang tinggi dan lebih besarnya rasio antara minyak atau alkohol terhadap penggunaan katalis homogen.

Keberadaan katalis heterogen basa menjadi solusi penanganan proses saponifikasi pada katalis homogen basa yang menghalangi proses pemisahan gliserol dari susunan metil ester tersebut. Keuntungan dari pemanfaatan katalis heterogen basa adalah tidak bersifat korosif dan ramah lingkungan. Walaupun adanya sedikit kontribusi permasalahan terkait pembuangan limbah, hal tersebut memiliki penanganan yang mudah ketika dipisahkan dari area proses dan memberikan sisi peluang untuk membagi kinerja yang lebih besar.

Katalis heterogen asam memberikan dampak korosi dan bersifat beracun dengan kadar lebih rendah bila dibandingkan dengan penggunaan katalis homogen asam. Proses optimal untuk jenis katalis ini berada di bawah kisaran suhu menengah dengan kereaktifan yang lebih lambat dibandingkan penggunaan katalis heterogen basa dalam fasa padat. Namun, katalis jenis ini membutuhkan kapasitas katalis dan suhu reaksi yang tinggi dan mengakibatkan waktu proses berlangsung lebih lama (Fattah et al., 2020).

SIMPULAN

Setiap katalis mempunyai kelebihan serta kekurangan tersendiri. Adanya kemampuan dapat digunakan kembali katalis heterogen dibandingkan katalis

homogen pasca proses reaksi menjadi salah satu pembedanya. Harganya lebih murah dan sederhana atau lebih tepatnya praktis dalam melangsungkan proses transesterifikasi berbahan baku kelapa sawit dibandingkan katalis homogen yang terbilang rumit dan juga memberikan limbah dari produk biodiesel. Akan tetapi, katalis homogen lebih umum dimanfaatkan dalam proses produksi biodiesel dengan tantangan yang sama dengan katalis heterogen pasca produk terbentuk dalam memisahkan katalis yang digunakan. Katalis homogen ini mampu bereaksi dengan asam lemak dan menghasilkan sabun lemak. Hal ini menjadikan rendahnya hasil produk biodiesel akibat kesulitannya proses pemurnian pasca reaksi. Lebih lanjutnya, adanya peningkatan konsumsi katalis dalam melangsungkan respon metanolisis. Dengan demikian, katalis heterogen menjadi lebih banyak diterapkan karena membantu penyelesaian dari penggunaan katalis homogen selama proses esterifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Apresiasi ditujukan kepada ibu Ir. Dessy Agustina Sari, S.T., M.T., IPP. yang telah membimbing, menelaah, memberi masukan maupun saran untuk pengembangan dan peningkatan kualitas ulasan artikel sehingga dapat terselesaikan dengan baik beserta bantuan dukungan pendanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Rahmawati Sianipar, R. N., Ariyani, D., & Nata, I. F. (2017). Conversion of palm oil sludge to biodiesel using alum and KOH as catalysts. *Sustainable Environment Research*, 27(6), 291–295. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.07.002>
- Alkabbashi, A., Alam, M. Z., Mirghani, M., & Al-Fusaiel, A. (2009). Biodiesel production from crude palm oil by transesterification process. *Journal of Applied Sciences*, 9(17), 3166–3170.
- Benitha, V. S., Prabhakar, R. S. S., & Nagarajan, J. (2021). Enhanced yield of biodiesel through nano catalytic

- transesterification of palm oil. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3088–3094. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.074>
- Chongkhong, S., Tongurai, C., Chetpattananondh, P., & Bunyakan, C. (2007). Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate. *Biomass and Bioenergy*, 31(8), 563–568. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.03.001>
- de Medeiros, T. V., Macina, A., & Naccache, R. (2020). Graphitic carbon nitrides: Efficient heterogeneous catalysts for biodiesel production. *Nano Energy*, 78, 105306. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2020.105306>
- Fattah, I. M. R., Ong, H. C., Mahlia, T. M. I., Mofijur, M., Silitonga, A. S., Rahman, S. M. A., & Ahmad, A. (2020). State of the art of catalysts for biodiesel production. *Frontiers in Energy Research*, 8, 101. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00101>
- Feng, Y., Qiu, T., Yang, J., Li, L., & Wang, X. (2017). Transesterification of palm oil to biodiesel using Brønsted acidic ionic liquid as high-efficient and eco-friendly catalyst. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.06.027>
- Firdaus, M. A., Fardiansyah, M. I., Syofiyatul, V., Abdurahman, F., Utami, A. R., Desy, M., & Sari, D. A. (2022). Pengenalan bahan kimia sederhana melalui pemanfaatan limbah rumah tangga. *Journal of Social Responsibility Projects by Higher Education Forum*, 3(2), 173–177.
- Hariyadi, P. (2012). *Mengenal minyak sawit dengan beberapa karakter unggulnya*. Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, Jakarta.
- Kuss, V. V., Kuss, A. V., Rosa, R. G. da, Aranda, D. A. G., & Cruz, Y. R. (2015). Potential of biodiesel production from palm oil at Brazilian Amazon. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1013–1020. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.055>
- Laosuttiwong, T., Ngaosuwan, K., Kiatkittipong, W., Wongsawaeng, D., Kim-Lohsoontorn, P., & Assabumrungrat, S. (2018). Performance comparison of different cavitation reactors for biodiesel production via transesterification of palm oil. *Journal of Cleaner Production*, 205, 1094–1101. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.159>
- Madhuvilakku, R., & Piraman, S. (2013). Biodiesel synthesis by TiO₂-ZnO mixed oxide nanocatalyst catalyzed palm oil transesterification process. *Bioresource Technology*, 150, 55–59. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.087>
- Mamilla, V. R., & Mallikarjun, M. V. (2012). Biodiesel production from palm oil by transesterification method. *International Journal of Current Research*, 4(8), 83–88.
- Melero, J. A., Bautista, L. F., Morales, G., Iglesias, J., & Briones, D. (2009). Biodiesel production with heterogeneous sulfonic acid-functionalized mesostructured catalysts. *Energy & Fuels*, 23(1), 539–547. <https://doi.org/10.1021/ef8005756>
- Sari, D. A., & Hadiyanto, H. (2013). Proses produksi bioenergi berdasarkan bioteknologi. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 2(3), 108–113.
- Sari, D. A., Sukanta, S., & Hakiim, A. (2018). Anaerobic wastewater treatments: Prediction of retention time on RT/RW plant. *INSIST*, 3(1), 134. <https://doi.org/10.23960/ins.v3i1.134>
- Shahedi, M., Habibi, Z., Yousefi, M., Brask, J., & Mohammadi, M. (2021). Improvement of biodiesel production from palm oil by co-immobilization of *Thermomyces lanuginosa* lipase

- and *Candida antarctica* lipase B: Optimization using response surface methodology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 170, 490–502.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.12.181>
- Soly, A., Alias, M. P., Iype, M. P., Jolly, J., Sankar, V., Babu, K. J., & Baby, D. K. (2021). Materials Today: Proceedings Optimization of biodiesel production by transesterification of palm oil and evaluation of biodiesel quality. *Materials Today: Proceedings*, 42, 1002–1007.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.995>
- Souza, M. F., Hirata, G. F., & Batista, E. A. C. (2020). Fluid Phase Equilibria Evaluation of kinetics and thermodynamic parameters for simulation of palm oil biodiesel production. *Fluid Phase Equilibria*, 525, 112792.
<https://doi.org/10.1016/j.fluid.2020.112792>
- Suherman, S. D. M., Firdaus, M. A., Ryansyah, M. H. D., & Sari, D. A. (2020). Teknologi dan metode pengolahan limbah cair sebagai pencegahan pencemaran lingkungan. *Barometer*, 5(1), 232–238.
<https://doi.org/10.35261/barometer.v5i1.3809>

