

Konversi Mikroalga *Nannochloropsis s.p* menjadi Biodiesel melalui Proses Transesterifikasi secara *In-Situ*

Yustia Wulandari Mirzayanti^{1,3} Rachmad Edo Syafutra¹ Yulia Vinataningsih¹ Chairul Irawan²

¹ Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

² Program Studi Teknik Kimia, Universitas Lambung Mangkurat

³ Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Lambung Mangkurat

✉ yustiauwulandari_che@itats.ac.id

Salah satu bahan bakar minyak alternatif yang dapat menjadi salah satu sumber energi pengganti fosil adalah biodiesel. Bahan baku biodiesel yang paling banyak digunakan saat ini adalah minyak nabati, yaitu minyak sawit. Namun, bahan baku ini sangat terkendala dengan masa panen dan juga merupakan komoditas pangan. Oleh sebab itu, pada generasi ke empat ini, minyak yang berasal dari mikroalga memiliki peluang yang besar untuk menjadi bahan baku bahan bakar minyak. Minyak mikroalga memiliki kandungan asam lemak sekitar 68% pada *Nannochloropsis.sp.* Konversi minyak mikroalga *Nannochloropsis s.p* menjadi biodiesel menggunakan metode transesterifikasi secara *In-Situ* dengan bantuan katalis H_2SO_4 . Penelitian ini berfokus pada pengaruh variasi rasio molar massa mikroalga:methanol (1:3; 1:5; 1:7; 1:9; dan 1:11) dengan konsentrasi katalis (%berat) sebanyak 10% terhadap berat minyak mikroalga. Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka variasi rasio molar minyak mikroalga:methanol yang terbaik adalah 1:11 dengan kadar *Free Fatty Acid* (FFA) sebesar 0,315 mgNaOH/g dan *yield crude* biodiesel yang dihasilkan sebanyak 35%.

Kata kunci: Mikroalga, *Nannochloropsis s.p*, biodiesel, *In-Situ* Transesterifikasi, Katalis Homogen, dan H_2SO_4

Diajukan: 29 November 2021

Direvisi: 29 Desember 2021

Diterima: 30 Desember 2021

Dipublikasikan online: 31 Desember 2021

Pendahuluan

Sumber bahan baku kebutuhan energi secara global masih didominasi oleh fosil. Hal ini mengakibatkan semakin menipisnya bahan bakar fosil di tingkat dunia, peningkatan harga bahkan hingga adanya masalah lingkungan yang serius seperti efek rumah kaca, hujan asam, kerusakan hutan, penipisan ozon, eutrofikasi dan asap fotokimia. Semakin menipisnya sumber energi berbasis bahan bakar fosil disebabkan karena semakin tinggi permintaan energi, maka perlu dilakukan pencarian terhadap sumber energi alternatif yang efisien secara ekonomi, berkeadilan sosial, dan ramah lingkungan (Ari, dkk., 2016). Salah satu bahan bakar minyak alternatif adalah biodiesel. Biodiesel bersumber dari minyak nabati yang berasal dari tumbuhan serta termasuk bahan bakar minyak yang dapat diperbaharui. Biodiesel tersusun dari berbagai macam ester asam lemak yang dapat diproduksi dari minyak tumbuhan maupun lemak hewan (Ari, dkk., 2019). Namun, pembuatan biodiesel dari minyak tumbuhan seperti jagung, kedelai, jarak dan sawit memiliki kekurangan yaitu waktu panen tanaman yang berjarak 3 bulan hingga 5 tahun agar tanaman produktif menghasilkan minyak. Selain itu, menggantungkan substitusi minyak dari minyak jagung, kedelai, dan minyak kelapa sawit akan berbenturan dengan kepentingan konsumsi pangan manusia dan apabila minyak tersebut tetap diproduksi untuk mensubstitusi minyak bumi harganya tidak

kompetitif. Sedangkan, proses pembuatan biodiesel dari lemak hewan dirasa belum optimal. Lemak hewan mengandung asam lemak bebas dan kandungan air yang tinggi yang dapat menurunkan kualitas biodiesel tersebut. Selain itu lemak hewan masih dibutuhkan dalam kepentingan konsumsi dan pembuatan produk-produk oleokimia. Oleh sebab itu, perlu dicari bahan alam lain yang berpotensi dalam pembuatan biodiesel. Salah satu sumber bahan bakar minyak penghasil biodiesel adalah minyak nabati dari tumbuhan, baik bersumber dari komoditi pangan dan non pangan. Saat ini, sedang dikembangkan bahan bakar minyak terbarukan yang bersumber dari minyak mikroalga.

Biomassa mikroalga mendapat prioritas utama, karena memiliki beberapa keunggulan komperatif dibandingkan dengan biomassa nabati lainnya. Keunggulan dari biomassa mikroalga ini yaitu merupakan bahan bakar energi yang dapat diperbarui dan mempunyai kemampuan dalam pengurangan emisi gas CO_2 . Mikroalga mempunyai produktivitas mengubah CO_2 menjadi karbohidrat, lemak dan protein yang jauh lebih efisien dibanding dengan tanaman darat (Lestano, dkk., 2018). Selain itu mikroalga memiliki kecepatan pertumbuhan yang tinggi sehingga masa panennya lebih cepat, mempunyai kandungan lipid yang tinggi, ramah lingkungan, nilai emisinya yang rendah, dan dapat diperbarui (Musdalifah, dkk., 2015). Salah satu jenis mikroalga yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel yaitu mikroalga *Nannochloropsis sp.* Mikroalga

Cara mensitasi artikel ini:

Mirzayanti, Y.W., Syafutra, R.E., Vinataningsih, Y., Irawan, C (2021) Konversi Mikroalga *Nannochloropsis s.p* menjadi Biodiesel melalui Proses Transesterifikasi secara *In-situ*. *Buletin Profesi Insinyur* 4(2) 080-084

ini lebih dikenal dengan *Chlorella* laut karena memiliki nilai nutrisinya sangat tinggi dan keberadaannya di alam sangat melimpah dan mudah dikultur secara massal, masa panen mikroalga ini cukup singkat, pertumbuhannya relatif cepat, dan kandungan lipid yang cukup tinggi yaitu 31-68 % sehingga cocok dijadikan sebagai bahan baku biodiesel (Herman, dkk., 2015; Chisti, 2007; Dyah, 2015).

Secara umum proses dalam pembuatan biodiesel dengan metode konvensional dilakukan dengan mengekstrak lipid dari mikroalga menggunakan pelarut organik dan dilanjutkan dengan proses transesterifikasi. Namun, proses pembuatan biodiesel ini tidak ekonomis dan kurang efektif dilakukan karena waktu yang lebih lama, proses yang membutuhkan suhu tinggi, dan banyak menggunakan pelarut organik (Murtiningrum dan Firdaus, 2016). Oleh sebab itu, upaya untuk mengatasi masalah tersebut adalah mengembangkan proses konversi minyak mikroalga menjadi biodiesel dengan cara mengombinasikan dua langkah menjadi satu langkah yaitu proses transesterifikasi in-situ. Proses transesterifikasi in-situ tersebut merupakan metode baru untuk mengkonversi minyak mikroalga menjadi biodiesel. Hal ini bertujuan untuk memperpendek waktu proses produksi biodiesel. Proses produksi biodiesel dengan reaksi transesterifikasi ini merupakan metode paling efisien dikarenakan proses ekstraksi dan transesterifikasi bahan baku menjadi produk biodiesel dapat dihasilkan dalam satu kali proses secara simultan (Mahlinda dan Busthan, 2018).

Berdasarkan studi literatur tentang penelitian sebelumnya, yaitu *In-situ Transesterification of Chlorella sp microalgae using Li-OH pumice catalys* didapatkan hasil FAME sebesar 47% (Ejikeme, dkk., 2010). Sedangkan penelitian lainnya Pembuatan Biodiesel dari mikroalga *Chlorella sp.* dengan Metode *Microwave Assisted Transesterification* secara *In-situ* didapatkan hasil FAME sebesar 16 % (Dianursanti, dkk., 2015). Penelitian ini menggunakan mikroalga *Nannochloropsis s.p* sebagai sumber bahan baku energi dengan menggunakan proses In-Situ Transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel. Berdasarkan penjelasan penelitian sebelumnya, penelitian ini berfokus pada proses konversi mikroalga *Nannochloropsis s.p* menggunakan katalis homogen yaitu H_2SO_4 . Katalis H_2SO_4 memiliki kelebihan yaitu reaksi akan berlangsung secara cepat, bahan yang mudah diperoleh dan harga yang relatif murah (Zainur, dkk., 2016). Penelitian ini akan mempelajari terkait pengaruh variasi rasio molar minyak mikroalga *Nannochloropsis s.p* dengan metanol.

Metode

Proses konversi mikroalga *Nannochloropsis s.p* melalui proses reaksi transesterifikasi secara In-situ menggunakan bantuan katalis asam sulfat (H_2SO_4).

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain: Senyawa H_2SO_4 yang digunakan sebagai katalis

homogen, mikroalga *Nannochloropsis s.p*, pelarut methanol dan n-heksan. Senyawa H_2SO_4 (p.a) diperoleh dari Merck dengan kemurnian 98%. Mikroalga *Nannochloropsis s.p* diperoleh dari Balai Budidaya Air Payau (BBAP) di Kulon Progo Yogyakarta dalam bentuk cair. Metanol (p.a) dari Merck dengan kemurnian 98%. Sedangkan N-Heksan (p.a) juga dari Merck dengan kemurnian 98%.

Rangkaian peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat reaktor *batch* untuk reaksi transesterifikasi *in-situ* dan serangkaian peralatan destilasi yang digunakan tahap pemurnian produk *crude* biodiesel.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini berfokus untuk mempelajari pengaruh mol rasio pelarut terhadap mikroalga *Nannochloropsis s.p*; konsentrasi katalis H_2SO_4 ; serta waktu reaksi transesterifikasi. Berdasarkan fokus tersebut, maka penelitian ini dilakukan pada beberapa tahapan (Mirzayanti, dkk., 2020; Rahim dan Indah., 2017), yaitu sebagai berikut: 1) Tahap Proses Transesterifikasi secara In-Situ; dan 2) Tahap Pemurnian produk *crude* biodiesel. Uraian masing-masing tahapan adalah sebagai berikut:

1. Tahap Transesterifikasi In-Situ

Tahap Transesterifikasi In-Situ merupakan suatu metode penggabungan proses ekstraksi sekaligus proses transesterifikasi (Mirzayanti, dkk., 2020). Proses ini bertujuan untuk mengekstrak mikroalga *Nannochloropsis s.p* sekaligus melakukan proses transesterifikasi untuk menghasilkan biodiesel berbahan baku mikroalga. Pada tahap ini, mikroalga yang digunakan sebanyak 100 gr dengan variasi rasio molar massa mikroalga *Nannochloropsis s.p*:methanol (1:3; 1:5; 1:7; 1:9; dan 1:11) dan konsentrasi katalis (%berat) sebanyak 10% terhadap berat minyak mikroalga.

2. Tahap Pemurnian Produk *Crude* Biodiesel

Pada tahap pemurnian produk *crude* biodiesel ini bertujuan untuk menghilangkan n-heksan yang tersisa pada *crude* produk biodiesel tersebut. Pemurnian ini dilakukan pada temperatur 70°C yang merupakan titik didih n-heksana. Diharapkan pada temperatur tersebut, n-heksana akan menguap semua. Hal ini ditandai dengan tidak ada lagi embun uap yang mengembun di wadah penampungan. Jika hal itu telah terdeteksi, maka pemanasan dihentikan. Selanjutnya, labu didinginkan kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur 80°C selama 2 jam untuk menguapkan sisa pelarut dan air yang masih tertinggal pada produk *crude* biodiesel.

3. Metode Analisa

Analisa yang digunakan adalah menggunakan densitas Biodiesel berdasarkan pada Persamaan 1 berikut ini:

$$\rho \text{ (g.ml}^{-1}\text{)} = \frac{\text{massa}}{\text{volume sampel}} \dots\dots\dots (1)$$

Sedangkan untuk analisa perhitungan *yield crude* biodiesel (%) berdasarkan Persamaan 2 berikut ini:

$$\text{yield (\%)} = \frac{\text{berat biodiesel (gr)}}{\text{berat mikroalga (gr)}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Kadar Free Fatty Acid (FFA) menggunakan Persamaan 3, sebagai berikut:

$$\text{FFA (mgNaOH.g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{BM} \times \text{N} \times \text{V}}{\text{W}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana BM adalah berat molekul NaOH, N adalah Normalitas NaOH, V adalah volume NaOH, serta W adalah berat sampel dalam gram.

Hasil Eksperimen

Penelitian ini menggunakan senyawa H_2SO_4 sebagai katalis. Pada proses *In-Situ Transesterification*, digunakan senyawa metanol sebagai pengekstrak sekaligus reaktan dan H_2SO_4 sebagai katalis yang berfungsi untuk mempercepat terjadinya reaksi. Penggunaan metanol sebagai reaktan dikarenakan metanol merupakan senyawa polar dan memiliki rantai alkohol yang lebih pendek. Senyawa H_2SO_4 sebagai katalis homogen disebabkan H_2SO_4 lebih efektif dalam mengkonversi *Free Fatty Acid* (FFA) menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). Proses *In-Situ Transesterification* dengan menggunakan katalis H_2SO_4 dapat menghasilkan *yield* yang lebih banyak dikarenakan senyawa H_2SO_4 termasuk asam kuat dimana asam tersebut dapat terlibat reaksi seperti hidrolisa karbohidrat.

Sel mikroalga mengandung campuran kompleks konstituen yang berbeda seperti lipid, karbohidrat, protein, pigmen dan komponen sel lainnya. Nilai lipid adalah prasyarat yang signifikan untuk menentukan kesesuaian mikroalga dalam memproduksi biofuel komersial. Umumnya, mikroalga dapat mengandung 30-80% lipid. Lipid umumnya larut dalam pelarut nonpolar (organik) tetapi tidak dapat larut dalam pelarut polar (air) karena adanya hidrofobik rantai. Oleh karena itu, mereka mudah diekstraksi menggunakan metode ekstraksi pelarut organik. (Suchit, dkk., 2019).

Pengaruh Rasio Molar Minyak Mikroalga *Nannochloropsis s.p.*:Metanol terhadap *Yield* Produk *Crude* Biodiesel

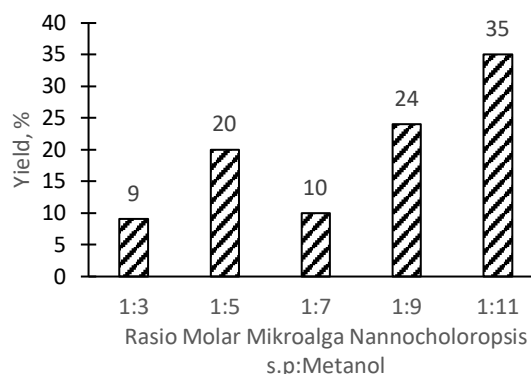
Gambar 1 merupakan grafik pengaruh variasi Rasio Molar Minyak *Nannochloropsis s.p.*:Metanol terhadap *yield* Produk *Crude* Biodiesel pada Konsentrasi Katalis 10%. Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan bahwa perbandingan molar minyak mikrolaga *Nannochloropsis s.p.*:metanol pada 1:11 memiliki *yield* produk *crude* biodiesel (%) lebih tinggi yaitu 35% dibandingkan dengan rasio molar lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar variasi rasio molar minyak mikroalga *Nannochloropsis s.p.*:metanol maka akan semakin banyak *yield crude* biodiesel yang dihasilkan.

Rasio molar berpengaruh signifikan dalam perolehan *yield*, hal ini disebabkan karena fasa kontinu (metanol) reaksi akan bergeser kearah produk. Metanol bertindak sebagai emulsifier dalam campuran reaksi. Metanol yang berlebih akan menyebabkan

gliserol terlarut dalam metanol dan menghambat reaksi transesterifikasi.

Pengaruh Variasi Rasio Molar Minyak Mikroalga *Nannochloropsis s.p.*:Metanol terhadap FFA Produk *Crude* Biodiesel

Gambar 2 merupakan grafik pengaruh rasio molar minyak mikroalga *Nannochloropsis s.p.*:Methanol terhadap FFA dari produk *crude* biodiesel pada konsentrasi katalis 10%. Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio molar antara minyak mikroalga:metanol maka semakin rendah kadar FFA yang dihasilkan oleh produk *crude* biodiesel yaitu diperoleh pada rasio molar 1:11 dengan kadar FFA sebesar 0,315 mgNaOH/g. Bilangan asam yang didapatkan berpengaruh terhadap kualitas biodiesel, semakin tinggi bilangan asam pada biodiesel maka semakin rendah kualitas biodiesel tersebut. Hal tersebut juga dapat mempengaruhi daya simpan dan tingkat korosifitasnya terhadap mesin (Lilla, dkk., 2019). Selain itu, bilangan asam yang tinggi tidak hanya membuat deposit dalam sitem bahan bakar tetapi juga menurunkan kualitas komponen sistem bahan bakar. (Rahim dan Indah, 2017).

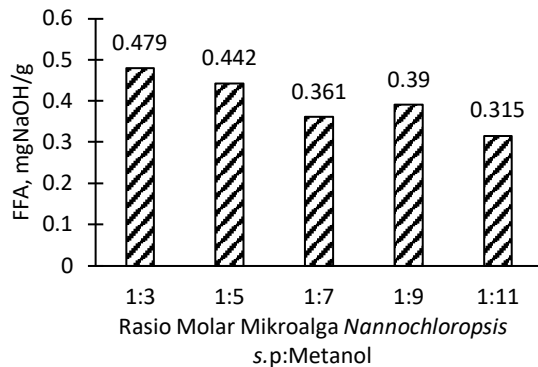


Gambar 1. Grafik pengaruh variasi Rasio Molar Minyak Mikroalga *Nannochloropsis s.p.*:Metanol terhadap *yield* Produk *Crude* Biodiesel pada Konsentrasi Katalis 10%

Penelitian yang telah dilakukan oleh Indah, dkk (2015) menunjukkan hasil bilangan asam dengan katalis basa jauh lebih rendah dibandingkan menggunakan katalis asam. Dalam penelitian ini, didapatkan nilai bilangan asam untuk katalis basa sebesar 0,48 dan katalis asam sebesar 0,73. Hal ini disebabkan karena sifat basa dari katalis basa akan menetralkan/menurunkan FFA dalam bahan baku ataupun produk biodiesel. Namun, pada penelitian ini penggunaan katalis H_2SO_4 yang diaplikasikan untuk mengkonversi minyak mikroalga *Nannochloropsis s.p.* sebagai biodiesel mampu menurunkan kadar FFA hingga 0,315 mgNaOH/g.

Hasil Uji Densitas

Densitas adalah ukuran kepekatan atau kemampatan suatu zat merupakan perbandingan antara massa dan volume zat itu sendiri (Rahim dan Indah, 2017). Berdasarkan SNI 7182:2015 Biodiesel, nilai densitas harus berada dibawah 850-890 kg/m³. Hasil Uji Densitas pada yield crude biodiesel dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Pengaruh Rasio Molar Minyak *Nannochloropsis s.p.*:Metanol terhadap FFA Produk Crude Biodiesel pada Konsentrasi Katalis 10%

Tabel 1 menunjukkan hasil analisa densitas dari yiel produk crude biodiesel dengan konsentrasi katalis H₂SO₄ sebesar 10%. Kadar FFA produk crude biodiesel akan mengalami penurunan seiring dengan kenaikan Rasio Molar Minyak *Nannochloropsis s.p.*:Metanol. Nilai densitas terendah tercapai ketika Rasio Molar Minyak *Nannochloropsis s.p.*:Metanol sebesar 1:11 yaitu 0,315 mgNaOH/g. Penggunaan katalis H₂SO₄ akan mengurangi reaksi penyabunan dalam pembuatan biodiesel. Pada reaksi proses transesterifikasi pembuatan biodiesel akan menghasilkan produk utama metil ester dan produk samping berupa gliserol. Apabila terjadi reaksi penyabunan dalam proses transesterifikasi maka akan mengakibatkan biodiesel yang terbentuk lebih susah dipisahkan dengan gliserol (Boby dan Fradriyan, 2011). Gliserol yang terikut dalam biodiesel mengakibatkan kerapatan dalam biodiesel menjadi lebih besar. Oleh karena itu dengan meningkatnya penggunaan katalis H₂SO₄ akan mengurangi reaksi penyabunan untuk mengurangi gliserol dalam biodiesel, sehingga akan didapatnya nilai densitas yang rendah (Rahim dan Indah, 2017). Pada penelitian sebelumnya, memproduksi biodiesel menggunakan minyak biji karet melalui proses Transesterifikasi In-situ menggunakan katalis asam dan basa. Pada penelitian ini menggunakan bahan baku generasi ke-4 (empat) yaitu minyak mikroalga dengan jenis *Nannochloropsis s.p.* Berdasarkan hasil uji densitas, pada Rasio Molar Minyak *Nannochloropsis s.p.*:Metanol dengan konsentrasi katalis 10% yaitu sebesar 0,8315 gr/ml atau setara dengan 831,5 kg/m³. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan parameter densitas, maka produk crude biodiesel berbahan baku minyak mikroalga dari *Nannochloropsis s.p.* telah memenuhi syarat SNI 7182:2015.

Tabel 1. Hasil Uji Densitas Pada Produk Crude Biodiesel dengan Konsentrasi Katalis H₂SO₄ 10%

Rasio Molar Minyak <i>Nannochloropsis s.p.</i> :Metanol	Densitas g/ml
1:3	0,881
1:5	0,890
1:7	0,848
1:9	0,854
1:11	0,832

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah disampaikan sebelumnya, karakteristik yang dihasilkan pada produk crude biodiesel memiliki yield sebesar 35% dengan kadar FFA sebesar 0,315 mgNaOH/g pada Rasio Molar Minyak *Nannochloropsis s.p.*:Metanol sebesar 1:11. Berdasarkan hasil uji densitas, maka diperoleh hasil 0,832 g/ml pada Rasio Molar Minyak *Nannochloropsis s.p.*:Metanol 1:11.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami tujukan kepada segenap Pimpinan YPTS ITATS; Rektor dan jajarannya serta team peneliti dan Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Lambung Mangkurat.

Referensi

- Ari, Z., Rudiyanto, B., dan Susmiati, Y. (2016). Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Heterogen Cangkang Bekicot (*Achatina fulica*) dengan Metode Pencucian Dry Washing. *Jurnal Rotor*, 9(2), 100–104.
- Ari, Wibowo., Febriansyah, H., dan Suminto, S. (2019). Pengembangan Standar Biodiesel B20 Mendukung Implementasi Diversifikasi Energi Nasional. *Jurnal Standardisasi*, 21(1), 55.
- Boby G., dan Fradriyan A. (2011). Esterifikasi Asam Lemak Bebas Dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(2), 384–388. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i2.2011>
- Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, 25(3), 294–306.
- Dyah, S. (2015). Pembuatan Biodiesel dari Mikroalga *Chlorella sp.* Melalui Dua Tahap Reaksi In-situ. *Neo Teknika*, 1(1).
- Dianursanti, Religia, P., dan Wijanarko, A. (2015). Utilization of n-Hexane as co- solvent to Increase Biodiesel Yield on Direct Transesterifikasi Reaction from Marine Microalgae. *Procedia Enviromental Sciences*, 23 (Ictcred 2015), 412-420.
- Ejikeme., Kwangdinata, R., Raya, I., dan Zakir, M. (2010). Produksi Biodiesel dari Lipid Fitoplankton *Nannochloropsis sp.* Produksi Biodiesel dari Lipid *Marina Chimica Acta*, 1(2), 28–36. <http://journal.unhas.ac.id/index.php/mca/article/view/1187>

- Herman, M., Pranolo, S. H., dan Dyartanti, E. R. (2015). Profil Fermentasi Pada Produksi Minyak Mikroalga Menggunakan *Nannochloropsis Oculata* dalam Medium BG-11. *Ekulibium*, 14(2), 63–67.
- Lestano, W., Ihsan, I. M., & Santoso, A. D. (2018). Profitabilitas Biodiesel dari Biomasa Mikroalga. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 117.
- Lilla, F. (2019). Pengaruh perbandingan minyak/metanol dan waktu reaksi terhadap hasil biodiesel dengan metode sonikasi berbahan baku ampas kelapa dengan katalis CaO. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Luluk, P., Fitriyana, L. A., dan Kadarwati, S. (2012). Produksi Biodiesel dari Dedak Padi (*Rice Bran*) melalui Dua Tahap Reaksi In-Situ. *IJCS - Indonesia Journal of Chemical Science*, 1(2).
- Mahlinda, M., dan Busthan, M. (2018). Transesterifikasi In-Situ Biji Kemiri (*Aleurites moluccana* L) Menggunakan Metanol Daur Ulang dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik. *Agritech*, 37(3), 295.
- Mirzayanti, Y. W., Devitasari, dan Alisa, A. (2020). Produksi Biodiesel dari Dedak Padi dengan Metode In-Situ Dua Tahap menggunakan Katalis Asam Sulfat dan CaO/Hydrotalcite. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 11(3). pp. 375-382.
- Murtiningrum, M., dan Firdaus, A. (2015). Perkembangan Biodiesel Di Indonesia Tinjauan Atas Kondisi Saat Ini, Teknologi Produksi & Analisis Prospektif. *Jurnal PASTI*, 9(1), 35–45.
- Musdalifah, M., Rustam, Y., dan Amini, S. (2015). Kultivasi dan Ekstraksi Minyak dari Mikroalga *Botryococcus braunii* dan *Nannochloropsis sp.* *Biomass*, 11(2), 98.
- Suchit Deshmukh, (2019). Microalgae biodiesel: A review on oil extraction, fatty acid composition, properties and effect on engine performance and emissions. *Fuel Processing Technology*, 191(February), 232–247.
- Rahim, AMEN., dan Indah, P (2017). Pengaruh Katalis Asam dan Basa Terhadap Biodiesel yang Dihasilkan Pada Proses Trans(esterifikasi) In-situ Biji Karet (*Havea brasiliensis*). Prosiding Seminar Nasional ReTII ke-10. pp. 718 – 722. <http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/306>
- Zainur, G., dan Fradiyan, A. (2015) pengaruh katalis asam (H_2SO_4) dan suhu reakis dalam pembuatan biodisel dai limbah minyak ikan. Dihasilkan. *Jurnal Industri Pertanian*, 01, 46–60. <https://doi.org/Jurnal Teknik Pertanian>