

Effectivity CaO/Hydrotalcite catalyst to biofuel microalgae *Nannochloropsis* sp conversion

Yustia Wulandari Mirzayanti*, Muhammad Fadkhul Zakariya, Denny Angga Saputra

Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama, Surabaya 601117, Indonesia

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history:</i> Received: 23 August 2022 Received in revised form: 13 April 2023 Accepted: 17 April 2023</p>	<p>Along with the rapid development of the times, the need for energy is also increasing. Fossil energy in Indonesia reaches 95% of Indonesia's energy needs. For this reason, it is necessary to find a solution to overcome this, one of which is using renewable energy which must also be environmentally friendly. One alternative energy that has been discovered and is still being developed is biofuel. One of the raw materials that can be used for the production of biofuels is the microalgae <i>Nannochloropsis</i> sp. This study aimed to determine the effect of operating time on %yield and FFA of the biofuel produced and the effect of loading catalyst on %yield and FFA of the resulting biofuel. The highest %yield of crude and the lowest FFA were observed at a reaction time of 3 hours and a catalyst loading of 0.45 %wt with values of 47.981 and 0.064, respectively. The lowest %yield of crude and the highest FFA were obtained at a reaction time of 1 hour with a catalyst loading of 0.4 %wt with values of 25.730% and 0.133, respectively.</p>
<p><i>Keywords:</i> Biofuel, CaO/hydrotalcite, in situ transesterification, <i>Nannochloropsis</i> sp.</p>	

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan zaman yang semakin pesat, kebutuhan akan energi juga semakin meningkat. Terjadinya peningkatan kebutuhan energi terjadi pada semua sektor, terutama pada sektor industri dan transportasi. Penggunaan energi fosil di Indonesia mencapai 95% dari kebutuhan energi Indonesia. Bahan bakar fosil dan batubara termasuk bahan bakar yang tidak dapat diperbarui [1]. Hal tersebut menjadi masalah dalam ketersediaan energi untuk pemenuhan permintaan akan energi yang semakin meningkat. Untuk itu perlu dicari solusi untuk mengatasi hal tersebut, salah satunya menggunakan renewable energy yang juga harus ramah lingkungan. Salah satu energi alternatif yang telah ditemukan dan sampai sekarang masih terus dikembangkan yaitu biofuel [2]. Biofuel termasuk bahan bakar yang ramah lingkungan karena emisi gas buang yang dihasilkan dari biofuel lebih kecil daripada emisi gas buang yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar fosil serta biofuel memiliki sifat biodegradabel sehingga dapat diuraikan oleh mikroorganisme dan mengurangi pencemaran lingkungan [3]. Bahan baku yang dapat digunakan untuk produksi biofuel salah satunya adalah mikroalga. Mikroalga memiliki kandungan lipid tinggi, mitigasi emisi CO₂, tingkat pertumbuhan yang cepat dan tidak memerlukan lahan darat untuk budidaya. kandungan minyak dari mikroalga yang ideal untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam produksi biofuel adalah minimal 30% dari berat kering. Mikroalga yang memiliki kandungan lipid dibawah 30% kurang bagus jika dipilih sebagai bahan baku produksi karena yield yang dihasilkan tidak sebanding dengan biaya

produksi [4]. Produksi biofuel dari bahan baku mikroalga dilakukan dengan menggunakan metode transesterifikasi in situ. Metode transesterifikasi in situ merupakan penggabungan antara proses ekstraksi dan transesterifikasi yang terjadi dalam satu proses. Pada metode transesterifikasi in situ, alkohol yang dibutuhkan lebih banyak daripada proses konvensional. hal tersebut dikarenakan alkohol berperan sebagai pelarut minyak dan juga berperan sebagai reagen [5]. Proses Transesterifikasi In Situ dapat dilakukan menggunakan reaktor batch. Adapun beberapa faktor yang diperhatikan dalam pemilihan reaktor adalah biaya, jenis reaksi, temperatur, tekanan, fasa reaksi, katalis, unjuk kerja reactor [6]. Penelitian sebelumnya tentang proses konversi mikroalga menjadi biofuel dengan menggunakan katalis homogen yaitu. Beberapa peneliti fokus pada penggunaan katalis homogen. Tidak ada peneliti yang memperhatikan penggunaan katalis heterogen. Oleh karena itu penelitian ini berfokus pada penggunaan katalis heterogen yaitu CaO/Hydrotalcite konsentrasi 10% untuk konversi mikroalga *Nannochloropsi* sp serta pemberian variasi loading katalis dan variasi waktu. menjadi biofuel. katalis heterogen lebih menguntungkan diaplikasikan untuk mendukung teknologi bersih (green technology) dengan biaya rendah karena katalis heterogen mudah dipisahkan dari campuran reaksi, dapat digunakan kembali beberapa kali, ramah lingkungan, dan rendah toksit [7]. Katalis heterogen memiliki beberapa kelebihan, diantaranya yaitu pemisahan produk dan katalis dapat dengan mudah dilakukan, katalis heterogen dapat digunakan kembali, adanya pengurangan jumlah air limbah yang dihasilkan dan kurang sensitif terhadap keberadaan air dalam bahan baku [8]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu operasi terhadap %yield dan FFA dari biofuel yang dihasilkan dan untuk mengetahui pengaruh loading katalis terhadap %yield dan FFA dari biofuel yang dihasilkan.

* Corresponding author.

Email: yustiawulandari_che@itats.ac.id
<https://doi.org/10.20527/k.v12i1.14209>



2. Metode Penelitian

2.1. Transesterifikasi *in situ*

Metode Transesterifikasi *In Situ* pada penelitian ini yaitu langkah pertama mikroalga basah *Nannochloropsis* sp ditimbang sebanyak 400 gram dan dimasukkan ke dalam reaktor. Langkah yang kedua yaitu metanol dimasukkan sesuai perbandingan pada variabel yaitu rasio molar mikroalga:metanol yaitu 1:17 serta konsentrasi katalis CaO/hydrotalcite sebesar 10% w/w dengan loading katalis 0,4; 0,45; dan 0,5%wt mikroalga kedalam Erlenmeyer, kemudian dicampurkan sampai homogen dan dimasukkan ke dalam reaktor. Langkah yang ketiga yaitu n-heksan ditambahkan ke dalam reaktor sebagai co-solvent dengan perbandingan massa 1:1 dengan metanol. Langkah yang keempat yaitu melakukan transesterifikasi *In Situ* selama 1 jam, 2 jam, 3 jam dengan suhu operasi 60 oC dan kecepatan pengadukan 150 rpm. Langkah yang kelima yaitu campuran hasil transesterifikasi *In Situ* didinginkan hingga suhu ruang dan selanjutnya larutan hasil transesterifikasi *In Situ* disaring dengan pompa vakum untuk memisahkan filtrat dan residu. Langkah yang keenam yaitu residu dicuci dengan pelarut n- heksan sebanyak 50 mL, kemudian filtrat dimasukkan ke dalam corong pemisah dan ditambahkan pelarut n-heksan sebanyak 50 mL dan didiamkan selama 30 menit sehingga terbentuk dua lapisan. Langkah yang ketujuh yaitu lapisan atas yang mengandung heksana, FAME, sisa trigliserida, FFA diambil, sedangkan lapisan bawah yang mengandung metanol, air, sisa trigliserida, FFA dan Gliserol diekstrak kembali menggunakan n-heksan hingga terbentuk dua lapisan lagi. Langkah yang terakhir yaitu lapisan atas diambil kemudian dicuci menggunakan akuades dengan suhu 50oC untuk mengikat sisa katalis, gliserol dan garam-garam yang ada dalam campuran.

2.2. Destilasi

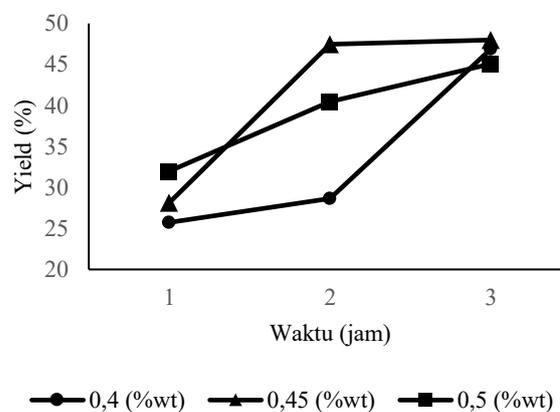
Metode destilasi pada penelitian ini yaitu langkah yang pertama lapisan atas yang sudah dicuci dengan akuades suhu 50oC dimasukkan ke dalam labu destilasi dan menyiapkan wadah penampung n-heksan di ujung kondensor. Langkah yang kedua yaitu memulai proses destilasi dengan cara menyalakan pemanas dan suhu larutan yang ada di dalam labu destilasi dijaga di suhu 70oC. Suhu dijaga pada 70oC karena titik didih dari n- heksan adalah 65-75oC (Sugiarti dkk., 2020). Langkah yang ketiga yaitu mematikan pemanas jika n-heksan sudah menguap seluruhnya dan memindahkan larutan yang ada di dalam labu destilasi ke dalam wadah lain untuk selanjutnya dioven di suhu 80oC selama 120 menit. Langkah yang terakhir yaitu larutan hasil oven didinginkan dan melakukan uji %yield dan FFA.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh waktu reaksi terhadap %yield crude biofuel

Salah satu faktor penting pada proses konversi minyak mikroalga menjadi biofuel adalah lamanya waktu terjadinya reaksi. Gambar 1 merupakan grafik hubungan antara pengaruh waktu reaksi terhadap %yield crude berdasarkan variasi

loading katalis. Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa %yield crude tertinggi terjadi pada waktu reaksi 3 jam dengan loading katalis 0,45 %wt yaitu 47,981%, serta %yield crude terendah terjadi pada waktu reaksi 1 jam dengan loading katalis 0,4 %wt yaitu 25,730%. Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa %yield crude mengalami kenaikan seiring dengan lamanya waktu reaksi. Hal tersebut terjadi pada loading katalis 0,4 %wt, 0,45 %wt dan 0,5 %wt. Semakin lama waktu reaksi maka yield yang dihasilkan semakin tinggi, tetapi waktu reaksi yang berlebihan dapat menurunkan nilai %yield dari biofuel yang dihasilkan [9]. Semakin lama waktu reaksi akan menyebabkan asam lemak yang dikonversi menjadi metil ester semakin banyak, akan tetapi waktu reaksi yang terlalu lama akan menyebabkan kemungkinan terjadinya hidrolisis ester [10]. Waktu reaksi yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya reaksi balik yang mana pada kondisi proses mencapai kesetimbangan maka waktu reaksi yang terus bertambah dapat menyebabkan reaksi berbalik kembali kearah reaktan [11]. Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa pada waktu reaksi 3 jam dengan loading katalis 0,4 %wt, 0,45 %wt dan 0,5 %wt belum mencapai kondisi kesetimbangan reaksi.



Gambar 1. Grafik hubungan antara pengaruh waktu reaksi terhadap %yield crude berdasarkan variasi loading katalis

Berdasarkan gambar 1 dapat dilihat bahwa nilai %yield crude tertinggi terjadi pada loading katalis 0,45 %wt dengan waktu reaksi selama 3 jam dan nilai %yield crude terendah terjadi pada loading katalis 0,4 %wt dengan waktu reaksi 1 jam. pada waktu reaksi 2 dan 3 jam mengalami kenaikan nilai %yield crude pada loading katalis 0,4 %wt dan 0,45 %wt, namun terjadi penurunan nilai %yield crude pada loading katalis 0,5 %wt, namun terjadi penurunan nilai %yield crude pada loading katalis 0,5 %wt. Penurunan nilai %yield crude tersebut disebabkan karena reaksi sudah mencapai titik kesetimbangan pada loading katalis 0,45 %wt sedangkan pada loading katalis 0,5 %wt reaksi akan berbalik menuju reaktan sehingga dapat menyebabkan nilai %yield crude menjadi turun. Pada waktu reaksi 1 jam mengalami kenaikan nilai %yield crude berturut-turut pada loading katalis 0,4 %wt, 0,45 %wt, 0,5 %wt. Hal tersebut karena jumlah loading katalis yang ditambahkan sedikit, sehingga untuk mencapai titik kesetimbangan reaksi membutuhkan waktu reaksi yang lama, maka pada waktu reaksi 1 jam grafiknya akan terus naik karena belum mencapai titik kesetimbangan reaksi. semakin besar jumlah katalis yang ditambahkan maka akan semakin besar pula nilai konstanta kinetika reaksi yang didapatkan [12]. Penambahan loading katalis (NH₄)₂SO₄ 20; 25; 30; dan 35%

menghasilkan %yield berturut-turut sebesar 46,01; 54,63; 80,75; dan 91,29% [13]. Penelitian yang tentang pembuatan *biofuel* dengan *loading* katalis 1; 2; 3; 4; dan 5% menunjukkan hasil %yield berturut-turut 50,32; 68,66; 70,28; 96,40; dan 82,79% [14]. Semakin banyak *loading* katalis yang ditambahkan dapat meningkatkanyield *crude biofuel* [13, 14]. Penambahan *loading* katalisyang banyak akan menyebabkan kenaikan nilai %yield, akan tetapi penambahan *loading* katalis berlebih akan menurunkan nilai %yield karena campuran antara reaktan (minyak dan metanol) dan katalis menjadi terlalu *viscous* [15]. Penggunaan katalis berlebih tidak menyebabkan bertambahnya nilai *yield crude biofuel*, tetapi akan meningkatkan viskositas campuran sehingga distribusi katalis semakin lambat dan memperlambat terjadinya kontak antar reaktan dan permukaan katalis [16].

3.2. Pengaruh waktu reaksi terhadap FFA dari *biofuel*

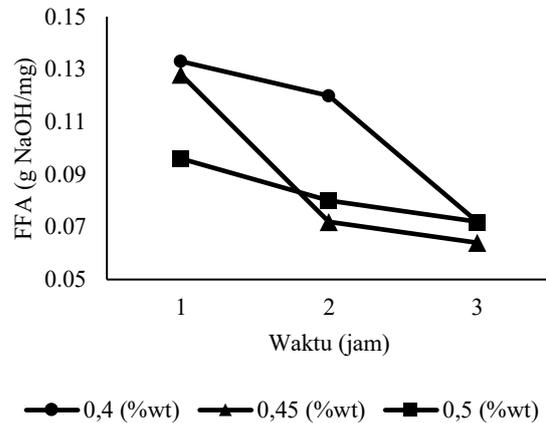
Free Fatty Acid (FFA) merupakan asam lemak yang berada sebagai asam bebas yang tidak terikat sebagai trigliserida. FFA dihasilkan oleh proses hidrolisis dan oksidasi. Gambar 2 merupakan grafik hubunganantara pengaruh waktu reaksi terhadap FFA berdasarkan variasi *loading* katalis. Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa nilai FFA tertinggi terjadi pada waktu reaksi 1 jam dengan *loading* katalis 0,4 %wt yaitu 0,133. Nilai FFA yang terendah terjadi pada waktu reaksi 3 jam dengan *loading* katalis 0,45 %wt yaitu 0,064. Nilai FFA yang cenderung turun seiring dengan bertambahnya waktu. Hal tersebut terjadi pada *loading* katalis 0,4 %wt, 0,45 %wt dan 0,5 %wt. semakin tinggi suhu reaksi maka nilai FFA semakin rendah, hal tersebut disebabkan karenasuhu yang tinggi akan menyebabkan tumbukan efektif antar molekul akan semakin banyak dan asam lemak yang terkonversi menjadi ester semakin besar sehingga dapat meningkatkan nilai *yield* dan dapat menurunkan kadar FFA [17].

Penelitian tentang transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel menunjukkan bahwa pada waktu reaksi 10, 20, 30, 40, 50 menit menghasilkan %yield *crude* berturut-turut sebesar 70, 72, 72, 84, 76 dengan FFA (mgKOH/g) berturut-turut sebesar 0,5; 0,3; 0,5; 0,1; 0,2 [18]. Berdasarkan penelitian tersebut menunjukkan bahwa titik kesetimbangan reaksi terjadi pada waktu reaksi 40 menit dan mengalami kenaikan nilai FFA pada waktu reaksi 50 menit.

Penelitian lain menunjukkan bahwa ketika nilai *yield* 81,72% didapatkan nilai bilangan asam sebesar 0,42 mg KOH/gr, nilai *yield* 87,10 % didapatkan nilai angka asam sebesar 0,37 mg KOH/gr, serta nilai *yield* 89,25 % didapatkan nilai angka asam sebesar 0,28 mg KOH/gr [19]. Penelitian tentang pembuatan *biofuel* dari minyak lumut menunjukkan hasil waktu reaksi 1 jam, 1,5 jam, 2 jam menunjukkan hasil FFA berturut-turut 16,83 ; 31,00 ; 24,17 [20]. Semakin lama waktu reaksi maka %yield *crude* yang dihasilkan semakin besar maka akan mengakibatkan semakin kecil nilai FFA dari *biofuel* yang dihasilkan, namun waktu reaksi yang terlalu lama akan menyebabkan penurunan nilai %yield *crude* dan akan menyebabkan kenaikan nilai FFA [18-20].

Berdasarkan gambar 2 dapat diketahui bahwa nilai FFA tertinggi terjadi pada *loading* katalis 0,4 dengan waktu reaksi 1 jam yaitu 0,133 dan nilai FFA yangterendah terjadi pada waktu reaksi 3 jam dengan *loading* katalis 0,45 %wt yaitu 0,064.

Berdasarkan gambar 2 dapat dilihat terjadi penurunan nilai FFA pada *loading* katalis 0,4 %wt ke 0,45 %wt dan terjadi kenaikan nilai FFA pada *loading* katalis 0,5 %wt. Hal tersebut terjadi pada waktu reaksi 2 jam dan 3 jam. Pada waktu reaksi 2 jam dan 3 jam, titik kesetimbangan terjadi pada *loading* katalis 0,45 %wt dan penambahan *loading* katalis 0,5 %wt akan menyebabkan kenaikan nilai FFA. pada waktu reaksi 1 jam terjadi penurunan nilai FFA secara berturut-turut pada *loading* katalis 0,4; 0,45; dan 0,5%wt. Pada waktu reaksi 1 jam dengan *loading* katalis 0,5 %wt belum mencapai titik kesetimbangan sehingga nilai FFA berturut- turut akan mengalami penurunan.



Gambar 2. Grafik hubungan antara pengaruh waktu reaksi terhadap FFA berdasarkan variasi *loading* katalis

Penelitian tentang pembuatan *biofuel* dari limbah lemak ayam broiler pada *loading* katalis 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1%, 1,25% menunjukkan hasil FFA *biofuel* secara berturut-turut yaitu 1,3737; 1, 4986; 1, 2808; 1,4049; 1,0515 [21]. Penelitian tentang pembuatan *biofuel* dari minyak biji kapuk pada *loading* katalis 1; 2; dan 3%wt dengan waktu reaksi 90 menit menunjukkan hasil nilai FFA secara berturut-turut yaitu 0,8579; 0,8673; 0,8573 [22]. Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak *loading* katalis yang ditambahkan maka akan menyebabkan nilai FFA menjadi turun, akan tetapi penambahan *loading* katalis yang berlebih dapat menyebabkan nilai FFA mengalami kenaikan. Semakin banyak penambahan jumlah katalis yang digunakan maka hasil FFA semakin mengalami penurunan [23].

4. Kesimpulan

Semakin lama waktu reaksi maka akan menyebabkan nilai %yield *crude* semakin meningkat dan nilai FFA akan semakin menurun. Namun, waktu reaksi yang semakin lama akan menyebabkan produk mengalami reaksi balik menuju reaktan dan akan menurunkan nilai %yield *crude* sehingga nilai FFA menjadi meningkat. Semakin banyak *loading* katalis yang ditambahkan maka nilai %yield *crude* semakin meningkat dan nilai FFA akan semakin menurun, namun *loading* katalis yang terlalu banyak akan menyebabkan nilai %yield *crude* turun sehingga nilai FFA menjadi meningkat.

Referensi

- [1] A. Setiawan, N.T. Setioputro, M. Kosim, Perancangan sistem pendingin pada gasifikasi biomassa reaktor aliran searah untuk pengganti bahan

- bakar bensin mesin generator 2 kVA, MESA Jurnal Fakultas Teknik Universitas Subang, 3 (2019) 11-21.
- [2] N.C. Agustin, R. Prasdiantika, Y. Kusumawardani, Biodiesel energi baru terbarukan, CV. Pena Persada, Banyumas, 2020.
- [3] A.K. Koech, A. Kumar, Z.O. Siagi, In Situ transesterification of spirulina microalgae to produce biodiesel using microwave irradiation, *J. Energy*, (2020).
- [4] V.C. Akubude, K.N. Nwaigwe, E. Dintwa, Production of biodiesel from microalgae via nanocatalyzed transesterification process: A Review", *Mater. Sci. Energy Technol.*, 2 (2019) 216-225.
- [5] M. Mahlinda, M. Busthan, Transesterifikasi in situ biji kemiri (*Aleurites moluccana* L) menggunakan metanol daur ulang dengan bantuan gelombang ultrasonik, *Agritech*, 37 (2018) 295-301.
- [6] C.B. Felix, A.T. Ubando, C.F. Madrazo, I.H. Gue, S. Sutanto, P.L. Tran-Nguyen, A.W. Go, Y. Ju, A.B. Culaba, J. Chang, W. Chen, Non-Catalytic In-Situ (Trans) Esterification of lipids in wet microalgae *Chlorella vulgaris* under subcritical conditions for the synthesis of fatty acid methyl esters, *Appl. Energy*, 248 (2019) 526-537.
- [7] M. Zaki, H. Husin, P.N. Alam, C.M. Rosnelly, Transesterification of hura crepitans linn seed oil into biodiesel over CaO heterogeneous Catalyst, *J. Rekayasa Kim.*, 14 (2019) 36-43.
- [8] F. Ruhaiya, H.C. Nisa, M. Hafidh, E. Kurniasih, Journal Review: Transesterification of crude palm oil in biodiesel production with Cao heterogeneous catalysts, *Jurnal Teknik Dan Teknologi*, 15 (2020) 23-29.
- [9] P. Raharjo F.R. Oktavianto, D. Jaya, Pengaruh perbandingan mol reaktan dan waktu reaksi terhadap pembuatan biodiesel dari minyak sapi, Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", Yogyakarta 2019.
- [10] S.A. Mantovani, Pengaruh jumlah katalis dan waktu reaksi terhadap konversi biodiesel dari minyak jelantah dengan katalis CaO dari kulit telur, In Skripsi Universitas Muhammadiyah Surakarta, (2017).
- [11] A.H.M. Retya, A.S.N. Cahyani, Y.W. Mirzayanti, Pembuatan biodiesel mikroalga *Nannochloropsis* Sp menggunakan metode in-situ transesterification microwave-assisted dengan katalis sodium hidroksida, Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan, Surabaya 2022.
- [12] E.D.C. Sidabutar, M.N. Faniudin, M. Said, Pengaruh rasio reaktan dan jumlah katalis terhadap konversi minyak jagung menjadi metil ester, *J. Tek. Kim.*, 19 (2017) 40-49.
- [13] O. Reforman, B. Poedjojono, N. Chasanah, Pembuatan biodiesel dari minyak kesambi menggunakan katalis zno/mwcnts yang disulfonasi dengan ammonium sulfat, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan, Surabaya 2021.
- [14] A. Adelia, N.P. Asri, Sintesis katalis komposit ZnO/multi-walled carbon nanotubes (MWCNs) tersulfonasi untuk transesterifikasi minyak kesambi (*Schleichera oleosa*), Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan, Surabaya 2021.
- [15] B. Poedjojono, Pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas dengan katalis komposit bermotor ganda, *J. Tek. Ind. Kim.*, 3 (2020).
- [16] R.S. Irianty, H.F. Simarmata, E. Saputra, Konversi waste cooking oil (WCO) menjadi biodiesel, *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 16 (2017) 1-6.
- [17] V. Purnomo, A.S. Hidayatullah, A.J. Inam, O.P. Prastuti, E.L. Septiani, R.P. Herwoto, Biodiesel dari minyak jarak pagar dengan transesterifikasi metanol subkritis, *Jurnal Teknik Kimia*, 14 (2020) 73-79.
- [18] Abdullah, A. Savitri, A. Irwan, Pengaruh temperatur dan waktu reaksi pada karakteristik biodiesel hasil transesterifikasi minyak sawit dengan sistem pelarut petroleum benzin, *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, 11 (2017) 37-44.
- [19] E.D. Daryono, A. Sintoyo, R.C. Gunawan, Transesterifikasi in situ minyak biji pepaya menjadi metil ester dengan co-solvent n-heksana menggunakan microwave, *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 4 (2020) 17-26.
- [20] R. Siskayanti, M. E. Kosim, A. Rozalina, Pengaruh waktu pemanasan transesterifikasi minyak ekstrak lumut sebagai bahan baku pembuatan biodiesel, *Jurnal Konversi*, 8 (2019) 71-78.
- [21] R.V. Pratama, Mardiana, H. Niawanti, Pemanfaatan limbah lemak ayam broiler (*gallus domesticus*) sebagai bahan baku pembuatan biodiesel melalui proses transesterifikasi, *Jurnal Chemurgy*, 2 (2019) 6-14.
- [22] F.E. Sari, Pengaruh konsentrasi katalis (Lempung teraktivasi) dan waktu reaksi dari minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*), In Skripsi Universitas Muhammadiyah Surakarta, (2019).
- [23] A. Julrohiniar, S. P. Ayuni, Y.W. Mirzayanti, Pembuatan biodiesel dari mikroalga *nannochloropsis* sp. menggunakan metode transesterifikasi in-situ dengan katalis (SO₄)₂-TiO₂, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan II, (2022) 476-480.