

PEMBUATAN BIODIESEL MIKROALGA *NANNOCHLOROPSIS sp.* MENGUNAKAN METODE *IN-SITU* TRANSESTERIFIKATION *MICROWAVE-ASSISTED* DENGAN KATALIS SODIUM HIDROKSIDA

Adelia Hanifah Mutiara Retya¹, Adhea Sefti Nur Cahyani², dan Yustia Wulandari Mirzayanti^{3*}

^{1,2,3}Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

^{3*}e-mail: yustiawulandari_che@itats.ac.id

ABSTRACT

Microalgae become an alternative to biodiesel because it has a high enough oil content and is easy to cultivate. The microalgae used in this study is Nannochloropsis sp. The purpose of this study is to determine the effect of reaction time variations on crude yields and Free Fatty Acid (FFA) as well as the density of biodiesel formed. The method used is the Microwave-Assisted In-Situ Transesterification Method which has stages in the form of extraction and transesterification processes carried out simultaneously, then the process was continued to the distillation (purification). The materials used include microalgae, n-hexane, methanol, and sodium hydroxide as catalysts. The tools used were microwave and distillation sets. The variables in the study were the concentration of the catalyst 0.2 M, the molar ratio of the microalgae: methanol is 1:10, and the reaction time is 5, 10, 15, 20, and 25 minutes. Based on the research, it was obtained the highest crude biodiesel yield of 71.7% at a variation of 5 minutes, the lowest FFA is 0.009 mgNaOH / g at a variation of 10 minutes and density that meets biodiesel standards based on SNI 7182-2015 which is 0.88 gr / mL at a variation of 10 minutes.

Kata kunci: Biodiesel, *Nannochloropsis sp.*, microwave, in-situ transesterification, reaction time .

ABSTRAK

Mikroalga menjadi alternatif bahan utama biodiesel karena memiliki kandungan minyak yang cukup tinggi dan mudah untuk dibudidayakan. Mikroalga yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Nannochloropsis sp.* Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari variasi waktu reaksi terhadap *yield crude* dan *Free Fatty Acid (FFA)* serta densitas biodiesel yang terbentuk. Metode yang digunakan yaitu Metode *In-Situ Transesterification Microwave-Assisted* yang memiliki tahapan berupa proses ekstraksi dan transesterifikasi dilakukan secara bersamaan, kemudian dilanjutkan dengan proses destilasi (pemurnian). Bahan-bahan yang digunakan antara lain mikroalga, n-heksana, metanol, dan sodium hidroksida sebagai katalis. Alat yang digunakan adalah *microwave* dan *set* destilasi. Variabel pada penelitian ini adalah konsentrasi katalis 0.2 M, rasio molar mikroalga : metanol yaitu 1:10, serta waktu reaksi yaitu 5, 10, 15, 20, dan 25 menit. Berdasarkan penelitian didapatkan *yield crude* biodiesel tertinggi sebesar 71,7% pada variasi waktu 5 menit, *FFA* terendah yaitu 0,009 mgNaOH/g pada variasi waktu 10 menit serta densitas yang memenuhi standar biodiesel berdasarkan SNI 7182-2015 yaitu sebesar 0,88 gr/mL pada variasi waktu 10 menit.

Kata kunci: Biodiesel, *Nannochloropsis sp.* , microwave, transesterifikasi in-situ, waktu reaksi .

PENDAHULUAN

Dunia membutuhkan bahan bakar untuk mendukung kemajuan ekonomi, sosial, dan untuk membangun kualitas hidup yang lebih baik, dalam konteks ini bahan bakar lebih banyak diperlukan di negara-negara berkembang [1]. Permintaan akan bahan bakar sangatlah tinggi, sehingga diperkirakan 1,7 juta barel minyak mentah diekstraksi setiap harinya, hal ini meningkatkan kekhawatiran tentang penipisan sumber alam dalam 53,3 tahun kedepan [2]. Sesuai dengan *Life Cycle Assesment*, biodiesel merupakan salah satu sumber energi terbarukan utama yang berguna untuk pembangunan berkelanjutan, dan memiliki potensi tinggi dalam menggantikan penggunaan bahan bakar minyak (berbasis fosil) [3].

Berdasarkan perkembangan, biodiesel generasi pertama kurang efektif karena bahan baku berupa bahan-bahan pangan yang dikhawatirkan akan menimbulkan persaingan antara kebutuhan untuk produksi energi dan kebutuhan untuk pangan, sementara generasi kedua memiliki kelemahan karena membutuhkan waktu yang lama dalam mempersiapkan bahan bakunya [4]. Biodiesel generasi ketiga diproduksi tidak hanya dari mikroalga tetapi dari semua spesies mikrobiologis dan organisme yang dapat mengakumulasi lipid, namun

dalam budidaya mikroalga lahan pertanian tidak diperlukan, dan mikroalga dapat terus dipanen sepanjang tahun [5].

Nannochloropsis sp. merupakan salah satu jenis mikroalga yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel. *Nannochloropsis sp.*, juga dikenal sebagai *Chlorella* laut yang memiliki banyak manfaat, termasuk kualitas nutrisi yang tinggi, kemampuan untuk dikembangbiakkan dalam jumlah besar, pertumbuhan yang relatif cukup cepat, periode panen yang singkat, dan kandungan lipid yang relatif tinggi, yaitu 31% - 68%, membuat *Nannochloropsis sp.* cocok sebagai bahan baku biodiesel [6]. Proses penghematan energi dalam pembuatan biodiesel dapat dilakukan dengan proses transesterifikasi in-situ dengan bantuan *microwave*. Hal ini dikarenakan *microwave* meningkatkan reaksi karena mentransfer panas ke cairan melalui radiasi bukan konveksi ataupun konduksi. Selain itu, pemanasan terjadi dari dalam ke luar, mengakibatkan kehilangan panas lebih sedikit jika dibandingkan dengan sistem konvensional [7]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari rasio molar pelarut (metanol) dan *Nannochloropsis sp.*, konsentrasi katalis (sodium hidroksida) dan variasi waktu reaksi terhadap perolehan *yield crude* dan *Free Fatty Acid (FFA)*, serta untuk mengetahui densitas biodiesel.

TINJAUAN PUSTAKA

Biodiesel

Biodiesel berpotensi baik sebagai pengganti petroleum. Para ahli menyimpulkan, bahwa total energi yang dimiliki bahan bakar biodiesel mendekati setara, tanpa harus melakukan perubahan pada mesin diesel. Keunggulan yang dimiliki biodiesel antara lain memiliki kandungan sulfur dan senyawa aromatik rendah, *cetane number* yang tinggi, rendah emisi, dan *biodegradable*. Terdapat juga manfaat lain dari penggunaan biodiesel yaitu:

1. Merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui, karena sumber bahan baku ada di alam.
2. Efisiensi energi bahan bakar lebih tinggi daripada efisiensi petroleum diesel.
3. Bisa langsung digunakan dalam mesin diesel.
4. Dapat meminimalisir *global warming* dan emisi dari knalpot (-41%) [8].

Potensi Mikroalga sebagai Biodiesel

Beberapa keuntungan dari mikroalga yaitu tidak membutuhkan lingkungan yang luas, dan dapat tumbuh sepanjang tahun tanpa mengenal perubahan musim. Daya serap CO₂ mikroalga 10 kali lebih mampu menyerap daripada tumbuhan lain karena seluruh tubuhnya mengandung zat hijau daun. Mikroalga seberat satu kilogram dapat menghasilkan sekitar 360 gram minyak mentah dan sekitar 60% dari minyak mentah itu dapat diubah menjadi biofuel, yang artinya satu kilogram mikroalga mampu menghasilkan sekitar 240 gram biofuel. Budidaya mikroalga perlu dilakukan karena besarnya potensi pemanfaatan alga yang diperlukan untuk meringankan beban ekonomi masyarakat di sekitar pesisir sebagai bahan utama pembuatan biodiesel yang terintegrasi sehingga akan memberi dampak sosial yang positif bagi kekuatan pertahanan maritim [9].

Morfologi

Nannochloropsis sp. adalah genus mikroalga fototrofik yang mempunyai beberapa spesies. Setiap spesiesnya menunjukkan tingkatan untuk dijadikan biomassa serta menunjukkan tingkat akumulasi lipid. Karakteristik ini menunjukkan bahwa *Nannochloropsis sp.* adalah mikroalga yang cocok dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel berskala besar dan *co-product* termasuk asam *eicosapentaenoic (EPA)*, *nutraceutical* yang penting secara ekonomi [10]. *Nannochloropsis sp.* merupakan salah satu *fitoplankton* yang dimanfaatkan untuk pembenihan ikan laut. *Nannochloropsis sp.* memiliki beberapa nutrisi yang terkandung di dalamnya antara lain, karbohidrat 16,00%, protein 52,11%, dan lemak 27,64% yang tersusun atas *Eicosa Pentaenoic Acid (EPA)* dan *Dokosa Heksaenoat Acid (DHA)*. Adanya kandungan tersebut dapat menjadikan *Nannochloropsis sp.* sebagai pakan alami untuk rotifera dan larva ikan.

Lipid

Lipid merupakan bagian penting yang fungsional dari mikroalga. Dalam kondisi pertumbuhan yang optimal, mikroalga mensintesis asam lemak terutama untuk esterifikasi ke dalam lipid membran berbasis gliserol, yang merupakan sekitar 5%–20% dari berat kering sel (DW). *Nannochloropsis sp* memiliki lipid

mulai dari 37% hingga 60% (DW), lebih tinggi dari strain mikroalga lainnya yang dapat dilihat di **Tabel Kandungan Lipid Berbagai Jenis Mikroalga**. Hal ini menunjukkan keunggulan *Nannochloropsis sp.*

Tabel 1 Kandungan Lipid Berbagai Jenis Mikroalga [11].

Spesies	Total Lipid Content (% dry mass)	Neutral Lipid Content (% Total Lipid)
<i>Neochloris oleoabundans</i>	2-47	23-73
<i>Scenedesmus obliquus</i>	12-14	-
<i>Nannochloropsis</i>	37-60	23-58
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20	-
<i>Tetraselmis maculata</i>	8	-
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30	-
<i>Haenatococcus pluvialis</i>	16-35	50-59
<i>Spirulina platensis</i>	7,6-8,2	-
<i>Isochrysis</i>	25-33	80
<i>Dunaliella salina</i>	23	30

Asam Lemak

Selain kandungan lipid yang tinggi, mikroalga yang digunakan untuk produksi biodiesel harus memiliki kandungan asam lemak yang sesuai. Beberapa sifat biodiesel seperti panas pembakaran, pelumasan, viskositas, sifat suhu rendah dan stabilitas oksidatif dipengaruhi oleh asam lemak. Sebagian besar minyak nabati memiliki asam lemak dalam kisaran C16–18 dan proporsi jenuh yang kandungannya besar.

Metode Microwave Assisted-Transesterification

Gelombang mikro ialah gelombang radio yang berfrekuensi sangat tinggi sehingga mengakibatkan adanya getaran molekul. Radiasi gelombang mikro terbukti dapat mempercepat proses transesterifikasi in-situ dengan bantuan katalis basa homogen. Gelombang mikro diklaim sebagai metode paling sederhana dan efisien yang digunakan untuk proses ekstraksi minyak mikroalga jika dianalogikan dengan beberapa metode lainnya. Radiasi gelombang mikro digunakan sebagai *heating methode*. Gelombang mikro akan memacu penghancuran sel mikroalga, oleh karena itu reaksi transesterifikasi terjadi akibat adanya radiasi gelombang mikro. Dengan adanya *heating methode* maka ekstraksi lipid akan berjalan lebih cepat dan mengubah lipid menjadi *Fatty Acid Ethyl Ester* (FAEE) atau *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME). Adapun efek gelombang mikro :

1. Gelombang mikro akan menimbulkan efek termal yang digunakan untuk meningkatkan kandungan alkohol. Dalam hal ini minyak akan terekstrak dari biomassa alga pada suspensi (ekstraksi difusi).
2. Gelombang mikro memiliki efek yang cukup besar. Efek ini mengakibatkan terjadinya perembesan *solvent* melalui dinding sel, kemudian evaporasi pada metanol menyebabkan sel pecah mengeluarkan minyak [12].

METODE

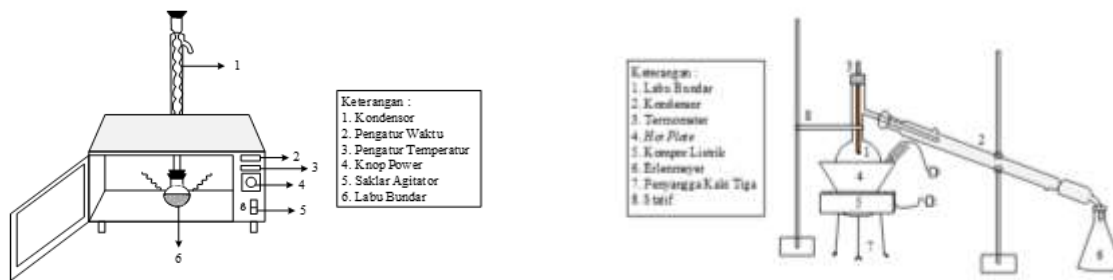
Proses pembuatan biodiesel dari biomassa *Nannochloropsis sp.* dilakukan dengan menggunakan metode *in-situ transesterification microwave-assisted*. Proses pembuatan biodiesel dari *Nannochloropsis sp.* terdiri dari dua tahapan utama, yaitu: proses pembuatan biodiesel secara *in-situ transesterification microwave-assisted* dan dilanjutkan destilasi. Panas dari radiasi *microwave*, rasio molar *Nannochloropsis sp.* dengan metanol 1:10 dan katalis homogen bersifat alkali yaitu sodium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 0,2 M dapat digunakan untuk mempercepat waktu reaksi. Pada penelitian ini akan dilakukan dengan cara memberikan variasi waktu berlangsungnya reaksi yaitu 5, 10, 15, 20 dan 25 menit.

Bahan Transesterifikasi In-Situ Microwave -Assisted

Bahan transesterifikasi in-situ *microwave-assisted* terdiri dari mikroalga *Nannochloropsis sp.* yang akan dipergunakan berbentuk cair dengan volume 1L, berasal dari Ugo Plankton. Mikroalga ini merupakan bahan baku dalam pembuatan biodiesel. Metanol 95 % yang berasal dari Mutiara group supplier. Larutan metanol yang akan digunakan berfungsi sebagai pengikat senyawa non-lipid yang terbentuk ketika proses

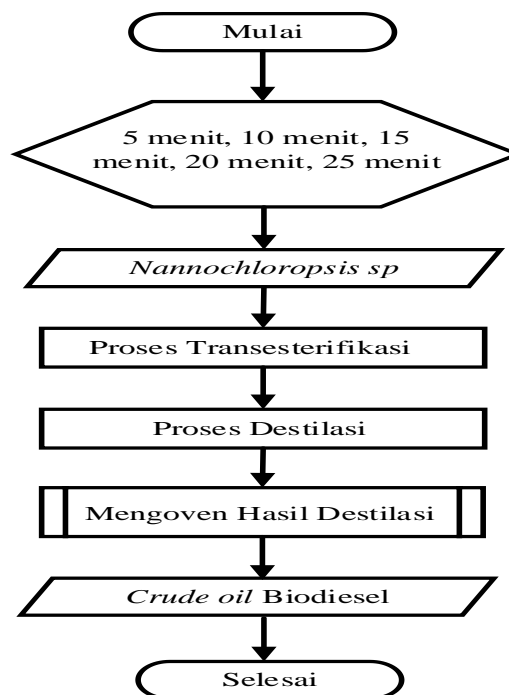
ekstraksi, dan berfungsi sebagai pereaksi pada reaksi transesterifikasi in-situ. Heksana teknis 95 % Berasal dari PT. Brataco Tidar. Larutan heksana yang digunakan berfungsi sebagai pelarut untuk lipid dalam proses ekstraksi biomassa dan pelarut pendamping pada proses transesterifikasi in-situ. Katalis sodium hidroksida yang digunakan berfungsi sebagai katalis homogen, yang digunakan dalam mempercepat reaksi transesterifikasi in-situ. Larutan akuades yang digunakan berfungsi sebagai larutan pencuci metil-ester hasil dari proses transesterifikasi in-situ. Kemudian biodiesel yang terbentuk digunakan untuk bahan destilasi.

Gambar Alat



Gambar 1 alat transesterifikasi in-situ *microwave assisted* dan alat destilasi

Skema Penelitian



Gambar 2 skema proses transesterifikasi in-situ *microwave assisted* dan proses destilasi

Variabel Penelitian

Variabel In-Situ Transesterification Microwave-Assisted :

Variabel tetap yang digunakan dalam proses transesterifikasi in-situ *microwave-assisted* adalah daya *microwave* sebesar 400 watt [13], volume heksana (*co-solvent*) sebesar 10 mL [8], rasio mikroalga : metanol sebesar 1:10, konsentrasi NaOH (*catalyst*) sebesar 0,2M. Sedangkan variabel berubah berupa waktu reaksi selama 5, 10, 15, 20, dan 25 menit.

Variabel Destilasi Hasil Transesterifikasi In-Situ :

Variabel tetap yang digunakan dalam proses destilasi adalah suhu operasi sebesar 70 °C, suhu oven sebesar 80 °C, dan waktu oven selama 120 menit.

Metode Analisa

Metode analisa dilakukan sesuai dengan SNI 7431-2015 [14]

a. Analisa *yield crude* Biodiesel (%)

$$\text{yield (\%)} = \frac{\text{berat crude biodiesel (gr)}}{\text{berat mikroalga}} \times 100\% \quad \dots(1)$$

b. Prosedur Penentuan Asam Lemak Bebas (FFA)

1. Timbang sampel sebanyak 0,5 gram, kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL.
2. Tambahkan 50 mL larutan alkohol netral.
3. Tambahkan lima tetes indikator *phenolphetalein* 1% sampai larutan berwarna kuning.
4. Titrasi dengan larutan NaOH 0,1 N hingga larutan berwarna merah muda.

$$\text{FFA} \left(\text{mg} \frac{\text{NaOH}}{\text{gram}} \right) = \frac{\text{BM} \times \text{N} \times \text{V}}{\text{W}} \quad \dots(2)$$

Keterangan :

FFA = Asam Lemak Bebas
 N = Normalitas NaOH
 V = Volume NaOH
 W = Berat sampel (gram)
 BM = Berat molekul NaOH

c. Analisa densitas *densitas* Biodiesel

$$\rho = \frac{\text{massa pipet volume isi crude biodiesel (gr)}}{\text{volume pipet volume (mL)}} \quad \dots(3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

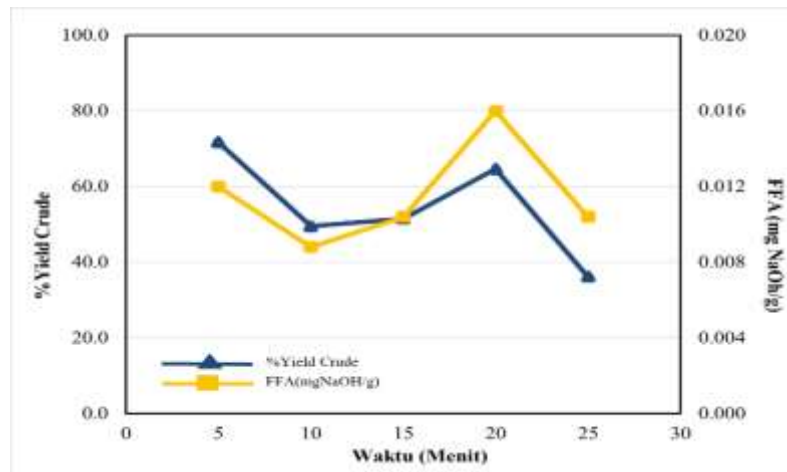
Pada **Tabel 2** merupakan hasil pengukuran %*yield crude* dan FFA serta densitas biodiesel. Tabel tersebut menunjukkan bahwa pada rasio molar mikroalga dengan metanol 1:10 dan konsentrasi NaOH 0,2 M diperoleh *yield crude* biodiesel tertinggi pada waktu 5 menit, dengan nilai %*yield crude* biodiesel sebesar 71,7 % dan %*yield crude* biodiesel terendah diperoleh pada waktu 25 menit yaitu sebesar 36,2%. Sementara nilai *free fatty acid* terendah pada waktu 10 menit sebesar 0,009 mg NaOH/g dan yang tertinggi diperoleh pada waktu 20 menit yaitu sebesar 0,016 mg NaOH/g. Pada **Tabel 2** juga dapat diketahui jika hanya pada waktu reaksi 10 menit nilai densitas 0,88 gr/mL memenuhi standar biodiesel berdasarkan SNI 7182-2015 yaitu 850 - 890 kg/m³ [15]. Sementara pada waktu reaksi 20 menit nilai densitas 0,76 gr/mL lebih merujuk pada *range* densitas alkana dan alkena. Bahwa alkana (*paraffins*) mengandung massa jenis yang lebih rendah daripada hidrokarbon lainnya (620 - 770 kg/m³), sementara untuk alkena densitasnya antara 620 - 820 kg/m³ [16]. Salah satu faktor yang mempengaruhi perbedaan densitas biodiesel adalah komposisi asam lemak dan kemurnian bahan baku serta densitas akan meningkat seiring dengan penurunan panjang rantai karbon dan peningkatan jumlah ikatan rangkap pada asam lemak dan kemurnian bahan baku [17].

Tabel 2 Hasil analisa %*yield crude*, FFA, dan densitas biodiesel

Waktu (Menit)	Yield Crude (%)	FFA (mg NaOH/g)	Densitas (gr/mL)
5	71,7	0,012	0,52
10	49,5	0,009	0,88
15	51,5	0,010	0,94
20	64,6	0,016	0,76
25	36,2	0,010	0,92

Pada **Gambar 3** dapat diketahui jika waktu reaksi dapat menyebabkan terjadinya penurunan nilai *yield crude* biodiesel. Hal ini dapat terjadi ketika reaksi telah mencapai kondisi optimal, lamanya waktu reaksi akan memberikan hasil biodiesel yang lebih rendah [18]. Secara umum, waktu reaksi optimal dapat memberikan interaksi yang memadai antara gelombang mikro dan campuran reaksi yang menghasilkan

hasil yang lebih baik dari reaksi transesterifikasi, namun karena transesterifikasi adalah reaksi reversibel, meningkatkan waktu reaksi di atas 9 menit menyebabkan lebih banyak kelarutan gliserol dan menyebabkan terbentuknya produk samping [19]. Dari hasil penelitian diketahui bahwa, ketika reaksi berlangsung pada waktu yang singkat yaitu 10 menit, maka diperlukan rasio berat yang lebih besar untuk memperoleh hasil yang optimal [20].



Gambar 3 Grafik pengaruh variasi waktu terhadap %yield crude biodiesel dan FFA

Namun pada variasi waktu 15 dan 20 menit %yield crude biodiesel kembali mengalami kenaikan. Hal ini dapat terjadi mengingat waktu reaksi merupakan faktor penting yang mempengaruhi transesterifikasi in-situ dengan radiasi gelombang mikro dimana yield biodiesel akan meningkat dengan bertambahnya waktu reaksi [21]. Akan tetapi nilai yield crude kembali mengalami penurunan pada waktu 25 menit. Menurut Suryanto dkk., (2015) reaksi yang lebih lama memiliki suhu reaksi yang lebih tinggi, menghasilkan kelarutan gliserin yang lebih besar, peningkatan suhu akan membantu kerusakan dinding sel mikroalga, tetapi pemanasan yang berlebihan mengakibatkan *overheating* untuk reaksi dan sedikit minyak akan terbakar [18]. Pada **Gambar 3** dapat diketahui bahwa nilai *free fatty acid* sempat mengalami kenaikan dan penurunan. Namun kenaikan masih berada jauh dibawah ambang batas SNI 7182:2015 Biodiesel, yaitu kandungan FFA harus berada dibawah 0,5 mgNaOH/g sehingga kenaikan FFA pada grafik tidak berpengaruh pada kualitas biodiesel. Tingginya asam lemak bebas menjadi perhatian khusus karena kekhawatiran terjadinya reaksi penyabunan karena katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah katalis basa. Proses penyabunan akan terjadi ketika asam lemak bebas berada dalam kondisi basa [20]. Semakin kecil kandungan FFA pada metil ester maka semakin kecil pula angka asam sehingga kualitas biodiesel semakin baik, karena tidak terjadi kerusakan pada komponen metil ester [22].

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa waktu reaksi yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan. Semakin kecil kandungan FFA maka kualitas biodiesel semakin baik. Kekhawatiran akan kecilnya nilai %yield crude dan besarnya nilai FFA dapat terjadi mengingat proses transesterifikasi in-situ *microwave assisted* menggunakan katalis basa. Densitas dipengaruhi oleh kemurnian bahan dan komposisi asam lemak yang terkandung dalam biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Koech, A. K., Kumar, A., dan Siagi, Z. O. (2020). In Situ Transesterification of Spirulina Microalgae to Produce Biodiesel Using Microwave Irradiation. *Journal of Energy*, vol.2020, Page.1–10. Article ID 8816296, <https://doi.org/10.1155/2020/8816296>
- [2] Fazril, I., Shamsuddin, A. H., Nomanbhay, S., Kusomo, F., Hanif, M., Ahmad Zamri, M. F. M., Akhiar, A., dan Ismail, M. F. (2020). Microwave-Assisted In Situ Transesterification Of Wet Microalgae For The Production Of Biodiesel: Progress Review. *Review Progress Conference on Civil dan Environmental Engineering*, vol.476, no.1, Page.1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012078>

- [3] Kazemifard, S., Nayebzadeh, H., Saghatoleslami, N., dan Safakish, E. (2019). Application Of Magnetic Alumina-Ferric Oxide Nanocatalyst Supported By KOH For In-Situ Transesterification Of Microalgae Cultivated In Wastewater Medium. *Research Paper Biomass and Bioenergy*, vol.129, Page.1–9. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105338>
- [4] Mahfud, M., Kalsum, U., dan Aswie, V. (2020). Biodiesel Production Through Catalytic Microwave In-Situ Transesterification Of Microalgae (*Chlorella Sp.*). *International Journal of Renewable Energy Development*, vol.9, no.1, Page.113–117. <https://doi.org/10.14710/ijred.9.1.113-117>
- [5] Taher, H., Giwa, A., Abusabiekeh, H., dan Al-Zuhair, S. (2020). Biodiesel Production From *Nannochloropsis Gaditana* Using Supercritical CO₂ For Lipid Extraction And Immobilized Lipase Transesterification: Economic And Environmental Impact Assessments. *Research Article*, vol.198, Page.1–13. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2019.106249>
- [6] Edo, R., Vinata, Y., dan Wulandari, Y. (2020). Pembuatan Biodiesel dari Mikroalga *Nannochloropsis sp.* Menggunakan Metode Transesterifikasi Insitu dengan Bantuan Katalis Asam Sulfat. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, Page.507–514. ISSN (print) : 2686-0023. ISSN (online) : 2685-6875. <https://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/1280>
- [7] Nayak, S. N., Bhasin, C. P., dan Nayak, M. G. (2019). A Review On Microwave-Assisted Transesterification Processes Using Various Catalytic And Non-Catalytic Systems. *Review Journal Renewable Energy*, vol.143, Page.1366–1387. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.056>
- [8] Renova, P., dan Asrim, W. O. M. (2017). Production Of Biodiesel From Microalgae *Chlorella Sp.* With Microwave Assisted Transesterification In Situ Method. *Final Project*, Page.1–64. <https://repository.its.ac.id/id/eprint/44269>
- [9] Khotimah, K. (2018). Membangun Ketahanan Energi Pendukung Pertahanan Maritim Melalui Pemanfaatan Mikroalga Sebagai Biodiesel Bagi Masyarakat Pesisir. *Jurnal Pertahanan dan Bela Negara*, vol.8, no.1, Page.67–84. <https://doi.org/10.33172/jpbh.v8i1.266>
- [10] Schambach, J. Y., Finck, A. M., Kitin, P., Hunt, C. G., Hanschen, E. R., Vogler, B., Starckenburg, S. R., dan Barry, A. N. (2020). Growth, Total Lipid, And Omega-3 Fatty Acid Production By *Nannochloropsis Spp.* Cultivated With Raw Plant Substrate. *Algal Research*, vol.51, Page 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102041>
- [11] Ma, X. N., Chen, T. P., Yang, B., Liu, J., dan Chen, F. (2016). Lipid production from *Nannochloropsis*. *Jornal of Marine Drugs*, vol.14, no.4, Page. 1-18. <https://doi.org/10.3390/md14040061>
- [12] Liu, J., Sun, Z., Gerken, H. (2016). *Recent Advances in Microalgal Biotechnology*. Page.709-727 USA: OMICS Group eBooks.
- [13] Suryanto, A., Suprpto, S., dan Mahfud, M. (2015). Production Biodiesel from Coconut Oil Using Microwave : Effect of Some Parameters on Transesterification Reaction by NaOH Catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering dan Catalysis*, vol.10, no.2, Page.162–168. <https://doi.org/10.9767/bcrec.10.2.8080.162-168>
- [14] SNI 7431-2015. (2015). Mutu dan Metode Uji Minyak Nabati Murni Untuk Bahan Bakar Motor Diesel Putaran Sedang. Badan Standarisasi Nasional. www.bsn.go.id
- [15] SNI 7182-2015. (2015). Mutu dan Metode Uji Biodiesel. Badan Standarisasi Nasional. www.bsn.go.id
- [16] Iyu, C., Chen, R., Li, J. J., Li, J. J., Drahansky, M., Paridah, M. ., Moradbak, A., Mohamed, A. ., Owolabi, FolaLi, H. Abdulwahab Taiwo, Asniza, M., Abdul Khalid, S. H. ., Sharma, T., Dohare, N., Kumari, M., Singh, U. K., Khan, A. B., Borse, M. S., Patel, R., Paez, A., (2020). Fuels of the Diesel-Gasoline Engines and Their Properties. *Journal of Intech Open*, vol.1, Page.1–13. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.89044>
- [17] Mahlinda, dan Djafar, F. (2016). Pengaruh Jenis CO-SOLVENT Terhadap Rendemen dan Mutu Biodiesel Secara Transesterifikasi InSitu Menggunakan Radiasi Gelombang mikro vol.10, no 2. Page. 119–126. <http://dx.doi.org/10.26578/jrti.v10i2.2563>
- [18] Qadariyah, L., Panjaitan, M. R., Mujaddid, F., dan Kalsum, U. (2018). Biodiesel Production from Dry Microalga Biomass by Microwave-Assisted In-Situ Transesterification. *MATEC Web of Conferences*, vol.156, Page.1–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815606005>

- [19] Dehghan, L., Golmakani, M., Mohammad, S., dan Hosseini, H. (2019). Optimization of microwave-assisted accelerated transesterification of inedible olive oil for biodiesel production. *Renewable Energy*, vol.138, Page.915–922.<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.017>
- [20] Rahkadima, Y. T., dan Qurrota, A. (2017). Transesterifikasi Minyak Dedak Padi Secara In-Situ Dengan Bantuan Gelombang Mikro. *Journal of Research and Technology*, vol.3, no.2, Page.54–62. P-ISSN: 2460 – 5972 E-ISSN: 2477 – 6165. <https://journal.unusida.ac.id/index.php/jrt/article/view/232>
- [21] Kalsum, U., Kusuma, H. S., Roesyadi, A., dan Mahfud, M. (2018). Production Biodiesel via In-situ Transesterification from *Chlorella* sp. Using Microwave with Base Catalyst. *Journal of Research*. vol.56, no.5, Page.773–778. <http://dx.doi.org/10.9713/kcer.2018.56.5.773>
- [22] Daryono, E. D., Sintoyo, A., dan Gunawan, R. C. (2020). Transesterifikasi In Situ Minyak Biji Pepaya Menjadi Metil Ester dengan Co-Solvent N-Heksana Menggunakan Microwave. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, vol.4, no.1, Page.17–26. p-ISSN : 2579-8537, e-ISSN : 2579-9746. <http://dx.doi.org/10.33795/jtkl.v4i1.148>