

Proses Pembuatan Biodiesel dari Mikroalga *Nannochloropsis sp.* Menggunakan Metode Transesterifikasi *In-Situ* dengan Katalis KOH

Faizul Baqi, Rizqyta Subtantia Intan Putri, Yustia Wulandari Mirzayanti*

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama, Surabaya, Indonesia 60117

*Corresponding author: yustiawulandari_che@itats.ac.id

DOI: <https://dx.doi.org/10.20961/equilibrium.v6i2.63257>

Article History

Received: 31-03-2022, Accepted: 29-10-2022, Published: 04-11-2022

Kata kunci:

Biodiesel,
Nannochloropsis sp., FFA,
Transesterifikasi
In-Situ, Yield
Crude.

ABSTRAK. Mikroalga *Nannochloropsis sp* merupakan alternatif bahan baku yang digunakan untuk pembuatan biodiesel karena memiliki kandungan asam lemak dan lipid yang tinggi serta pertumbuhannya yang begitu cepat. Metode yang digunakan yaitu transesterifikasi *in situ* dimana proses ekstraksi dan transesterifikasi berlangsung secara bersamaan yang terdiri dari 2 tahap, proses transesterifikasi *in situ* dan pemurnian biodiesel. Proses transesterifikasi *in situ* berlangsung selama 8 jam setelah itu, dilanjutkan dengan proses distilasi untuk menghilangkan kandungan n-heksana dan di oven selama 2 jam untuk menguapkan air yang tersisa. Penelitian ini memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui pengaruh rasio molar minyak mikroalga : metanol dengan variasi katalis yang dimana rasio 1:6 memiliki tingkat kesetimbangan yang tinggi sehingga dapat menghasilkan %yield yang besar. Rasio molar minyak mikroalga : metanol 1:6 dengan variasi katalis KOH 2; 2,5; 3; 3,5; dan 4%w/w, dengan pelarut n-heksana 70%v/v terhadap yield crude dan kandungan FFA. Hasil yield crude biodiesel yang didapatkan pada penelitian ini sebesar 7%, kadar FFA sebesar 0,74 mg NaOH/gr.

Keywords:

Biodiesel,
Nannochloropsis sp., FFA,
Transesterifikasi
In-Situ, Yield
Crude

ABSTRACT. Microalgae *Nannochloropsis sp* is an alternative raw material which is used for biodiesel production because it has a high content of fatty acids and increased lipid and its growth is so fast. The method was in situ transesterification in which extraction and transesterification processes took place simultaneously and consisted of 2 steps; in situ transesterification process and biodiesel purification. The in-situ transesterification process lasted for 8 hours after that, followed by a distillation process to remove the n-hexane content and in the oven for 2 hours to evaporate the remaining air. The aim of this study was to determine the effect of the molar ratio from microalgae oil: methanol with variations of catalyst where the ratio of 1:6 has a high equilibrium level so that it can produce a large % yield. the molar ratio from microalgae oil: methanol 1:6 with variations of KOH catalysts 2; 2.5; 3; 3.5; and 4%w/w, with solvent n-hexane is 70%v/v to the yield of crude and FFA biodiesel. The variable used was the molar ratio variation of microalgae oil: methanol 1:6. The yield of biodiesel crude obtained was 7%, and FFA content was 0.74 mg NaOH/gr.

1. PENDAHULUAN

Salah satu masalah lingkungan yang utama terkait dengan mengonsumsi sumber bahan bakar dari fosil adalah perubahan iklim dan *global warming*. Oleh karena itu, bahan bakar energi terbarukan harus digunakan untuk memberikan perlindungan lingkungan, dan semakin rendah harga dan penggunaan jangka panjang, sumber energi baru dapat digunakan untuk bahan bakar yang sangat dibutuhkan manusia untuk kehidupan sehari-hari. Kebutuhan bahan bakar mengalami kenaikan setiap tahun berdampingan dengan jumlah penduduk yang meningkat dan pertumbuhan industri. Data Badan Pengatur Hilir Migas total BBM yang dikonsumsi secara nasional meningkat dari 72 miliar pada tahun 2015 menjadi 80,5 miliar pada tahun 2017. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan sumber energi terbarukan salah satunya adalah pembuatan biodiesel [1].

Biodiesel adalah generasi dari energi minyak hewani, minyak nabati dan minyak habis pakai yang digunakan sebagai pengganti bahan bakar yang dapat diformulasikan khusus mesin diesel yang terdiri campuran mono-alkil ester yang merupakan rantai terpanjang asam lemak. Biodiesel baru-baru ini menarik perhatian yang luar biasa dalam penelitian bahan bakar alternatif karena berpotensi dibandingkan mineral diesel termasuk

sifatnya yang dapat diperbaharui, biodegradabilitas, non-toksitas, titik nyala lebih tinggi, dan emisi yang lebih bersih [2]. Pasokan bahan baku terbatas dan menjadi penghambat utama dalam produksi biodiesel. Mikroalga berminyak telah menarik perhatian sebagai sumber daya biodiesel generasi berikutnya karena tingkat pertumbuhannya yang cepat dan kandungan lipid yang tinggi serta mempunyai sifat aman bagi lingkungan dibandingkan dengan tanaman lainnya [3].

Mikroalga merupakan mikroorganisme fotosintesis yang mempunyai potensi menjadi sumber bahan dasar biodiesel. Mikroalga memiliki kemampuan khusus untuk menghasilkan biota sel dalam bentuk murni dan dapat tumbuh dengan baik di daerah dimana tanaman tidak bisa tumbuh. Mikroorganisme fotosintetik ini digunakan dalam membuat biomassa, produksi sumber energi, dan memproduksi beberapa produk yang dapat bermanfaat, bioakumulasi untuk sebuah senyawa tertentu dan beraneka proses biotransformasi. Hasil produk mikroalga sebagian mempunyai sifat ekstraselular dan berasal dari metabolit antibiotik sederhana hingga kompleks, pigmen, toksin dan beberapa produk lainnya. Selain digunakan untuk bahan makanan dan pertanian, mikroalga memproduksi metana dengan cara melalui proses anaerobik biomasanya, turunan minyak nabatinya menghasilkan biodiesel serta biohidrogen dari proses fotosintesisnya [4]. Mikroalga dapat digunakan untuk memproduksi biofuel diantaranya, energi non karbon seperti gas hidrogen yang berasal dari gulma air segar, mengubah zat-zat kecil yang membiakkan segala sesuatu menjadi energi utama yang melahirkan segala sesuatu. Mikroalga yang digunakan untuk pembuatan biodiesel adalah *Nannochloropsis sp.*

Nannochloropsis sp sudah memenuhi syarat batasan standar densitas dan viskositas yang telah ditetapkan Dirjen Migas. *Nannochloropsis sp* atau dikenal sebagai *Chlorella* laut adalah tergolong kelompok mikroalga yang mempunyai kandungan total lipid yang sangat besar yaitu, antara 31 – 68% dari berat kering, memiliki nilai nutrisi yang sangat tinggi, keberadaan di alam sangat dominan, mudah dikultur secara massal, pertumbuhan relatif cepat, dan sangat singkatnya masa panen [5].

Secara umum, pembuatan biodiesel menggunakan metode konvensional yaitu ekstraksi lipid mikroalga dengan pelarut organik dan selanjutnya dilakukan proses transesterifikasi. Namun, dalam metode konvensional ini membutuhkan biaya yang mahal untuk alat ekstraktornya, pelarut yang digunakan dalam proses ekstraksi dan pemurnian minyak [3]. Suhu yang tinggi, kurang efektif karena membutuhkan waktu yang sangat lama dan banyak menggunakan pelarut organik [6]. Metode Transesterifikasi *In-Situ* dimana proses *In Situ* dalam konteks transesterifikasi mengacu pada penggunaan langsung dari biomassa tanpa ekstraksi sebelumnya lipid dan membiarkan reaksi transesterifikasi berlangsung dalam matriks padat [3].

Dalam penelitian ini, menggunakan mikroalga *Nannochloropsis sp* sebagai bahan baku dan menggunakan katalis KOH. Bahan baku dan katalis memiliki keunggulan yaitu mudah didapatkan dan harganya ekonomis. Katalis KOH sangat efektif dalam membuat energi aktivasi sistem reaksi menjadi turun, efektifitas lebih maksimal, waktu reaksi yang singkat, dan suhu reaksi yang kecil [7]. Penelitian ini menghasilkan nilai *FFA* yang sesuai dengan standar minimal SNI 7182:2015 yaitu maksimal 0,8 mg NaOH/gr sehingga biodiesel dapat layak digunakan [8].

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Bahan

Proses pembuatan biodiesel dari mikroalga *Nannochloropsis sp* menggunakan metode transesterifikasi *in situ* dengan katalis KOH. Dalam pembuatan biodiesel ini, ada 2 tahap yang harus dilakukan yaitu; ekstraksi-transesterifikasi mikroalga dan pemurnian biodiesel. Proses ini menggunakan variasi molar pelarut metanol terhadap massa mikroalga dan konsentrasi katalis KOH. Bahan yang digunakan dalam tahap transesterifikasi *in situ* yaitu Mikroalga *nannochloropsis Sp* bentuk cair dari Ugo Plankton bahan baku pembuatan biodiesel, metanol 96%, KOH, pelarut heksana teknis 95%, *aquadest*. Adapun bahan yang digunakan dalam tahap distilasi yaitu larutan hasil transesterifikasi *in situ*.

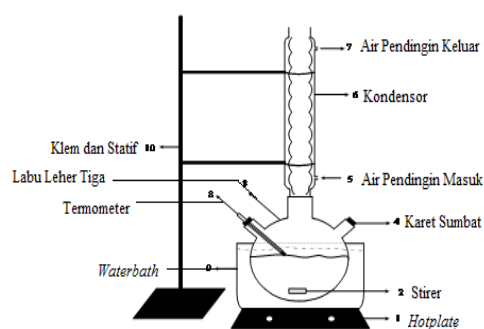
2.2 Alat

Rangkaian peralatan penelitian sebagaimana ditunjukkan dengan Gambar 1 dan 2.

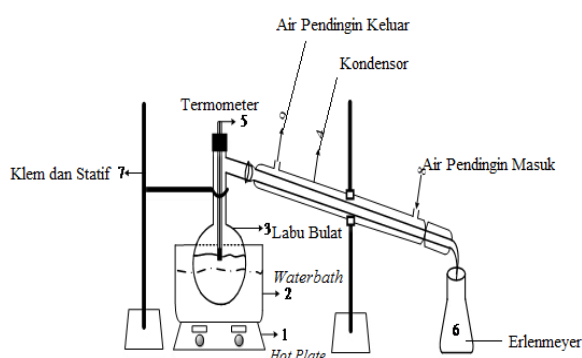
2.3 Proses Ekstraksi-Transesterifikasi *In Situ*

Mikroalga *nannochloropsis sp.* ditimbang 100 gr dan dimasukkan ke dalam labu. Metanol dimasukkan sesuai dengan perbandingan rasio molar minyak mikroalga dan katalis ke dalam erlenmeyer, lalu dicampurkan sampai homogen dan dimasukkan ke dalam labu. *Hotplate* dinyalakan dan diatur suhu operasi pada 65°C dengan dilengkapi penangas air disertai pengadukan dengan kecepatan pengadukan 600 rpm. Proses transesterifikasi *in*

situ dimulai (proses yang diawali ekstraksi dan diikuti reaksi). Proses transesterifikasi *in situ* dihentikan ketika mencapai waktu reaksi selama 8 jam. Campuran hasil transesterifikasi *in situ* didinginkan. Hasil transesterifikasi disaring dengan pompa vakum pemisahan. Residu dicuci dengan pelarut n-heksana 50 ml agar residu yang mengandung FAME diperoleh kembali. Filtrat dimasukkan dalam corong lalu pelarut n-heksana ditambahkan sebanyak 50 ml dan campuran dikocok dan didiamkan selama 30 menit sehingga terbentuk lapisan. Lapisan atas: heksana + FAME, sisa trigliserida, FFA dan lapisan bawah campuran air, metanol, FFA, sisa trigliserida, dan gliserol. Lapisan atas diambil, lapisan bawah diekstrak dengan pelarut n-heksana 50 ml kemudian campuran dikocok dan didiamkan selama 30 menit sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas dibilas dengan akuades (suhu 50 °C) bertujuan katalis sisa, gliserol dan garam-garam yang ada terikat dalam larutan. Pada proses ini menggunakan variabel tetap : suhu operasi 70 °C, suhu pengeringan (oven) 80°C dalam waktu 2 jam. Variabel bebas : Konsentrasi katalis terhadap mikroalga (%w/w) 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; dan 4%, Rasio Molar Minyak Mikroalga:Metanol 1:6 dan konsentrasi n-heksana terhadap pelarut (%v/v) 70%.



Gambar 1. Rangkaian Alat Transesterifikasi *In-Situ*



Gambar 2. Rangkaian Alat Distilasi

2.3 Proses Ekstraksi-Transesterifikasi *In Situ*

Mikroalga *nannocloropsis sp.* ditimbang 100 gr dan dimasukkan ke dalam labu. Metanol dimasukkan sesuai dengan perbandingan rasio molar minyak mikroalga dan katalis ke dalam erlenmeyer, lalu dicampurkan sampai homogen dan dimasukkan ke dalam labu. Hotplate dinyalakan dan diatur suhu operasi pada 65°C dengan dilengkapi penangas air disertai pengadukan dengan kecepatan pengadukan 600 rpm. Proses transesterifikasi *in situ* dimulai (proses yang diawali ekstraksi dan diikuti reaksi). Proses transesterifikasi *in situ* dihentikan ketika mencapai waktu reaksi selama 8 jam. Campuran hasil transesterifikasi *in situ* didinginkan. Hasil transesterifikasi disaring dengan pompa vakum pemisahan. Residu dicuci dengan pelarut n-heksana 50 ml agar residu yang mengandung FAME diperoleh kembali. Filtrat dimasukkan dalam corong lalu pelarut n-heksana ditambahkan sebanyak 50 ml dan campuran dikocok dan didiamkan selama 30 menit sehingga terbentuk lapisan. Lapisan atas: heksana + FAME, sisa trigliserida, FFA dan lapisan bawah campuran air, metanol, FFA, sisa trigliserida, dan gliserol. Lapisan atas diambil, lapisan bawah diekstrak dengan pelarut n-heksana 50 ml kemudian campuran dikocok dan didiamkan selama 30 menit sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan atas dibilas dengan akuades (suhu 50 °C) bertujuan katalis sisa, gliserol dan garam-garam yang ada terikat dalam larutan. Pada proses ini menggunakan variabel tetap : suhu operasi 70 °C, suhu pengeringan (oven) 80°C dalam waktu 2 jam. Variabel bebas : Konsentrasi katalis terhadap mikroalga (%w/w) 2 ; 2,5 ; 3 ; 3,5 ; dan 4%, Rasio Molar Minyak Mikroalga:Metanol 1:6 dan konsentrasi n-heksana terhadap pelarut (%v/v) 70%.

2.4 Proses Distilasi

Sampel lapisan atas hasil proses ekstraksi dan transesterifikasi dimasukkan ke dalam labu didih. Erlenmeyer diletakkan di ujung pendingin, pemanas (*hotplate*) dinyalakan dan diatur pada suhu 70 °C. Labu didih dipanaskan sampai suhu 70 °C (suhu didih pelarut n-heksana), pemanasan dihentikan setelah n-heksana menguap. Larutan di labu didinginkan dan dipindahkan ke beaker glass lalu dimasukkan ke oven. Larutan

dipanaskan pada suhu 80°C selama 2 jam untuk menghilangkan pelarut sisa. Larutan hasil distilasi kemudian didinginkan dan analisa biodiesel.

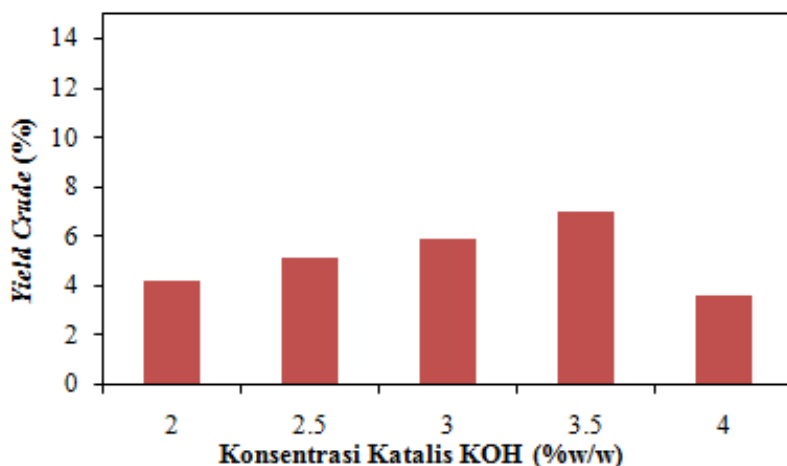
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Rasio Molar Minyak Mikroalga : Metanol 1:6 dan Variasi Konsentrasi Katalis KOH Terhadap Yield Crude Biodiesel dengan Konsentrasi n-Heksana 70%

Tabel 1. Hasil *Yield Crude* Biodiesel dengan Konsentrasi n-Heksana 70%

| Katalis (%w/w) | % <i>Yield Crude</i> Biodiesel |
|----------------|--------------------------------|
| 2 | 4,21 |
| 2,5 | 5,12 |
| 3 | 5,89 |
| 3,5 | 7,00 |
| 4 | 3,57 |

Berdasarkan Tabel 1 *yield crude* biodiesel dengan pelarut n- heksana 70%v/v tertinggi pada rasio molar minyak mikroalga:metanol 1:6 dengan konsentrasi katalis 3,5%w/w sebesar 7% dan terendah diperoleh pada konsentrasi katalis 2%w/w dengan nilai *yield crude* sebesar 3,57%. Hal ini disebabkan karena trigliserida sudah habis beraksi dan sudah mencapai titik kesetimbangan. N-heksana disini mempunyai fungsi yaitu sebagai pelarut untuk mengikat lipid pada hasil proses transesterifikasi in-situ [9].



Gambar 3. Pengaruh Rasio Molar Minyak Mikroalga : Metanol 1:6 dan Variasi Konsentrasi Katalis KOH Terhadap *Yield Crude* Biodiesel dengan Konsentrasi n-Heksana 70%

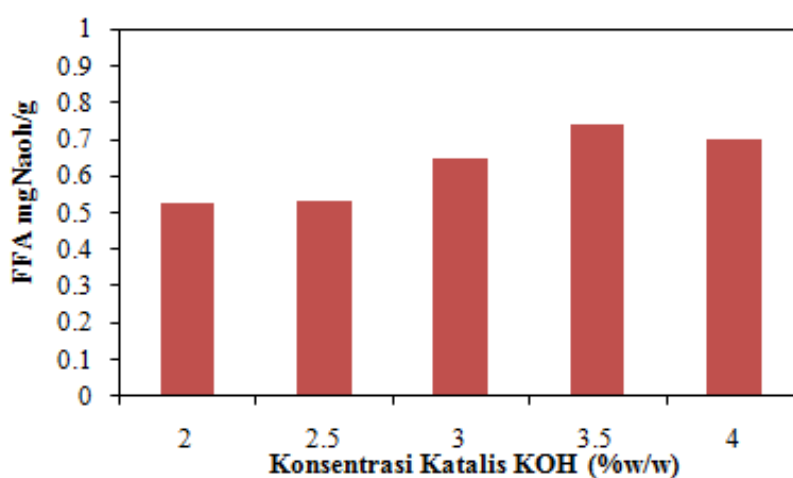
Pada Gambar 3 puncak terjadinya titik kesetimbangan terdapat pada katalis KOH dengan konsentrasi 3,5%w/w dan mengalami penurunan pada konsentrasi katalis KOH 4%w/w. Hal ini disebabkan konsentrasi katalis yang berlebih. Sesuai dengan pernyataan Manik, dkk.2017 dimana persen konsentrasi katalis yang berlebih menyebabkan reaksi saponifikasi yang dapat menghasilkan zat penghambat yaitu sabun kalium dan gliserol hasil reaksi saponifikasi, asam lemak yang tidak bertransformasi menjadi FAME sehingga *yield crude* biodiesel yang dihasilkan tidak maksimal [10]. Dalam reaksi seperti ini, peningkatan jumlah trigliserida sebagai reaktan dapat menurunkan *yield* metil ester. Penambahan volume minyak mikroalga terhadap metanol harus diperhatikan supaya reaksi dapat berjalan dan mempercepat reaksi transesterifikasi [11]. Dalam hal ini konsentrasi katalis juga mempunyai peranan penting yaitu untuk mempercepat laju reaksi dan tidak mengubah kesetimbangan reaksi. Proses ini bisa dilakukan tanpa adanya katalis namun, reaksi dapat berjalan sangat lambat dan membutuhkan suhu yang tinggi untuk menghasilkan *yield crude* yang maksimum. Semakin banyak katalis yang digunakan, semakin tinggi minyak mentah yang diperoleh [12].

3.2 Pengaruh Rasio Molar Minyak Mikroalga:Metanol 1:6 dan Variasi Konsentrasi Katalis KOH Terhadap FFA Biodiesel dengan Konsentrasi n-Heksana 70%

Tabel 2. Hasil FFA Biodiesel dengan Konsentrasi n-Heksana 70%

| Katalis (%w/w) | FFA (mg NaOH/gr) |
|----------------|------------------|
| 2 | 0,52 |
| 2,5 | 0,53 |
| 3 | 0,64 |
| 3,5 | 0,74 |
| 4 | 0,69 |

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil FFA biodiesel tertinggi dengan konsentrasi n-heksana 70% terdapat pada katalis 3,5%w/w sebesar 0,74 mgNaOH/gr dan terendah diperoleh pada konsentrasi katalis 2%w/w sebesar 0,52 mgNaOH/gr.



Gambar 4. Pengaruh Rasio Molar Minyak Mikroalga:Metanol 1:6 dan Variasi Konsentrasi Katalis KOH Terhadap FFA Biodiesel dengan Konsentrasi n-Heksana 70%

Pada Gambar 4 menunjukkan puncak terjadinya nilai FFA pada konsentrasi katalis KOH 3,5% sebesar 0,74 mgNaOH/gr dan mengalami penurunan pada konsentrasi katalis KOH 2% sebesar 0,52 mgNaOH/gr. Pada umumnya penambahan konsentrasi katalis dapat menurunkan kadar FFA. Namun, pengecualian untuk konsentrasi katalis 3,5%w/w yang mengalami peningkatan kadar FFA. Penurunan kadar FFA akibat asam lemak/FFA bertransformasi menjadi metil ester. Hal ini terjadi karena kelebihan katalis akan menyebabkan terbentuknya dimetil eter. Metanol pada suhu tinggi akan menyebabkan reaksi yang berlangsung lambat sehingga, menurunkan nilai asam lemak. Kadar FFA dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerusakan metil ester akibat oksidasi [13]. Kadar FFA juga mempengaruhi kualitas biodiesel. Kadar asam yang tinggi tidak hanya menyebabkan deposit pada sistem bahan bakar, tetapi juga menurunkan kualitas komponen sistem bahan bakar. Kadar FFA yang terbaik dan sesuai dengan standar biodiesel yaitu 0.52 mgNaOH/gr. Biodiesel yang baik digunakan untuk bahan bakar yaitu tidak memiliki sifat korosif dan dapat mempengaruhi daya simpan pada biodiesel [14].

4. KESIMPULAN

Semakin besar rasio molar minyak mikroalga : metanol dan %w/w konsentrasi katalis, maka semakin banyak *yield crude* biodiesel. Semakin besar rasio molar minyak mikroalga : metanol dan %w/w konsentrasi katalis, maka semakin rendah kadar FFA.

PUSTAKA

- [1] Bphmigas.go.id, “Total Konsumsi Bahan Bakar Minyak Nasional,” *Badan Pengatur Hilir Migas*, 2017. <https://www.bphmigas.go.id/konsumsi-bbm-nasional/>.
- [2] T. Dong, D. Gao, C. Miao, and X. Yu, “Two-Step Microalgal Biodiesel Production Using Acidic Catalyst Generated from Pyrolysis-Derived Bio-Char,” *J. Energy Manag.*, 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2015.06.072.
- [3] A. W. Go, S. Sutanto, L. K. Ong, and P. L. Tran-Nguyen, “Developments in in-situ (trans) Esterification for Biodiesel Production: A Critical Review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 60, pp. 284–305, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.070.
- [4] F. Uzwatania, “Teknologi Proses Bio Oil Dari Mikroalga Sebagai Energi Alternatif,” *J. Agroindustri Halal*, vol. 3, no. 1, pp. 074–079, 2017, doi: 10.30997/jah.v3i1.683.
- [5] D. P. Shintawati, “Produksi Biodiesel dari Mikroalga Chlorella sp dengan Metode Esterifikasi in-situ,” Universitas Diponegoro, 2011.
- [6] Murtiningrum and A. Firdaus, “Perkembangan Biodiesel di Indonesia Tinjauan Atas Kondisi Saat Ini, Teknologi Produksi & Analisis Prospektif,” *J. Pasti*, vol. 9, no. 1, pp. 35–45, 2015, [Online]. Available: <https://publikasi.mercubuana.ac.id/index.php/pasti/article/view/467>.
- [7] R. C. Widyastuti and A. C. Dewi, “Sintesis Biodiesel Dari Minyak Mikroalga Chlorella Vulgaris Dengan Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis Koh,” *J. Bahan Alam Terbarukan*, vol. 4, no. 1, pp. 29–33, 2015, doi: 10.15294/jbat.v3i1.3099.
- [8] SNI, “SNI 7182 : 2015 (Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di dalam Negeri,” 2015. .
- [9] R. Edo, Y. Vinata, and Y. Wulandari, “Menggunakan Metode Transesterifikasi Insitu dengan Bantuan Katalis Asam Sulfat,” *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 507–514, 2020, [Online]. Available: <http://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/1280>.
- [10] D. J. Manik, F. Hamzah, and F. Restuhadi, “Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis Basa Heterogen Berbahan Dasar Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATKKS),” *J. Online Mhs. Fak. Pertan.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2017, [Online]. Available: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFAPERTA/article/view/16874>.
- [11] W. Andalia and I. Pratiwi, “Pemilihan Katalis Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Pada Proses Pembuatan Biodiesel Reaksi Transesterifikasi,” *J. Ind. Serv.*, vol. 3, no. 1a, pp. 8–15, 2017, doi: 10.36055/jiss.v3i1a.2055.
- [12] E. Daryono, “Biodiesel Dari Minyak Biji Pepaya Dengan Transesterifikasi Insitu,” *J. Tek. Kim. UPN Veteran Jatim*, vol. 8, no. 1, pp. 7–11, 2013.
- [13] S. N. Nayak, C. P. Bhasin, and M. G. Nayak, “Review on Microwave- Assisted Transesterification Processes Using Various Catalytic and Non Catalytic Systems,” *Renew. Energy*, vol. 143, pp. 1366–1387, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.05.056.
- [14] I. A. Mappapa and I. Prihatiningtyas, “Pengaruh Katalis Asam dan Basa Terhadap Biodiesel yang Dihasilkan Pada Proses Transesterifikasi Insitu,” *J. Polines Natl. Eng. Semin. ke-3*, pp. 115–120, 2015, [Online]. Available: http://digilib.mercubuana.ac.id/manager/t!/@file_artikel_abstrak/Isi_Artikel_617640373646.pdf.