

Optimalisasi Proses *Degumming* Minyak Biji Ketapang Menggunakan Asam Fosfat dan NaOH sebagai Bahan Baku Biodiesel

Maliya Syabriyana^{1*}, Zeni Ulma², Ais Shenly Eka Putri Vinzani³

¹Program Studi Teknik Kimia, Universitas Serambi Mekkah, Banda Aceh

^{2,3}Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Politeknik Negeri Jember, Jember

*Koresponden email: maliya.syabriyana@serambimekkah.ac.id

Diterima: 3 Oktober 2024

Disetujui: 22 Oktober 2024

Abstract

Ketapang seeds (*Terminalia catappa*) are a potential source of vegetable oil as a feedstock for biodiesel production. However, the use of ketapang seed oil remains very limited. Degumming is a crucial step in biodiesel production as it determines the quality of the raw material preparation. Various methods can be used to remove gum, including heating and the addition of acids (H_3PO_4 , H_2SO_4 and HCl) or bases ($NaOH$). The aim of this study is to maximise the quality of biodiesel feedstock by improving the degumming efficiency using different concentrations of phosphoric acid (H_3PO_4) and $NaOH$. The phosphoric acid concentrations used were 0.5%, 1% and 1.5% v/v and the $NaOH$ concentrations were 0.5%, 1% and 1.5% w/w. The degumming process was carried out at 80 °C with stirring for 30 min at each stage. After degumming, ketapang oil has excellent clarity compared to before treatment. Based on the research conducted, the optimum degumming conditions were found at a phosphoric acid concentration of 0.5% v/v and a $NaOH$ mass of 1% w/w, resulting in an FFA content of 0.4% and a density of 902.5 kg/m³.

Keywords: *ketapang seed oil, degumming, biodiesel, ffa content, density*

Abstrak

Biji ketapang (*Terminalia catappa*) merupakan salah satu sumber minyak nabati yang berpotensi sebagai bahan baku biodiesel. Namun, pemanfaatan minyak biji ketapang masih sangat terbatas. *Degumming* merupakan tahap utama dalam pembuatan biodiesel karena proses ini merupakan penentu salah satu kualitas dari persiapan bahan baku. Berbagai metode dapat digunakan untuk menghilangkan gum, antara lain berupa dengan pemanasan, penambahan asam (H_3PO_4 , H_2SO_4 , dan HCl) atau basa ($NaOH$). Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan kualitas bahan baku biodiesel dengan meningkatkan efisiensi *degumming* dengan variasi konsentrasi asam fosfat H_3PO_4 dan massa $NaOH$. Variasi konsentrasi asam fosfat yang digunakan adalah 0,5%, 1%, 1,5% v/v dan variasi konsentrasi $NaOH$ 0,5%, 1%, 1,5% b/b. Proses *degumming* dilakukan pada suhu 80°C dengan pengadukan selama 30 pada tiap tahapan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh kondisi optimum *degumming* pada variasi konsentrasi asam fosfat 0,5% v/v dan variasi massa $NaOH$ 1% b/b yang berpengaruh terhadap nilai kadar FFA 0,4%, dan densitas 902,5 kg/m³

Kata kunci: *minyak biji ketapang, degumming, biodiesel, kadar ffa, densitas*

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai salah satu negara anggota Perjanjian Paris, memiliki komitmen yang kuat untuk mencapai target *net zero emissions* pada tahun 2060 dengan menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 29% dengan menggunakan seluruh sumber daya sendiri atau 41% dengan dukungan serta kerja sama internasional. Oleh karena itu, ketergantungan akan energi fosil harus ditekan dengan melakukan bauran energi baru terbarukan ke dalam penggunaan energi Indonesia.

Biodiesel menjadi salah satu alternative bahan bakar terbarukan dan ramah lingkungan. Sehubungan hal tersebut, Kementerian ESDM menetapkan alokasi Biodiesel tahun 2023 melalui Keputusan Menteri ESDM Nomor 205.K/EK.05/DJE/2022 tanggal 15 Desember 2022 tentang Penetapan Badan Usaha Bahan Bakar Minyak dan Badan Usaha Bahan Bakar Nabati Jenis Biodiesel serta Alokasi Besaran Volume untuk Pencampuran Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar Periode Januari - Desember 2023. Bahan bakar ini diproduksi dengan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi menggunakan bahan baku minyak tumbuhan atau lemak hewan yang direaksikan dengan alkohol rantai pendek seperti metanol atau etanol dengan bantuan katalis [1]. Dalam produksi biodiesel, *degumming* merupakan salah satu tahapan proses pemurnian yang

bertujuan untuk memisahkan getah atau *gum* dan lendir (fosfolipid, protein, residu dan karbohidrat) dalam minyak tanpa mengurangi jumlah asam lemak bebas [2]. Beberapa cara untuk menghilangkan *gum*, antara lain dengan pemanasan, penambahan asam (H_3PO_4 , H_2SO_4 , dan HCl) atau basa ($NaOH$). Banyak tanaman memiliki potensi untuk menghasilkan biodiesel termasuk, jarak pagar[3][4], biji ketapang [5][6], jagung [7], kedelai[8][9], kelapa sawit [10][11][12], kelapa [13] dan biji kapas [14].

Ketapang (*Terminalia catappa*) adalah pohon yang tumbuh optimal di pesisir pantai, dan sangat banyak ditemukan di Indonesia. Biji ketapang dapat menghasilkan rendemen sekitar 51,25% b/b yang mengandung Palmitat 33,38%, Linoleat 32,52%, Oleat 29,60%, Stearat 4,20% [15]. Pemanfaatan biji ketapang masih belum maksimal sehingga terbuang sebagai limbah. Dengan demikian, biji ketapang memiliki potensi berkelanjutan untuk diolah sebagai bahan baku biodiesel.

Ref [5] telah melakukan ekstraksi minyak biji ketapang dengan proses evaporasi dan menghasilkan minyak dengan berat jenis 0,77 – 0,80 gr/ml, kandungan asam lemak bebas (% FFA) 3,7%-4,8%, dan angka IOD 0,22-0,33[5]. Parameter sifat minyak yang dihasilkan masih tergolong tinggi. Nilai FFA lebih tinggi juga diperoleh oleh [6] sebesar 25-38 % dengan cara merendam bubuk biji ketapang yang dibungkus dengan kertas saring ke dalam gelas kimia yang berisi 500 mL pelarut n-Heksana yang kemudian didestilasi.

Penelitian [15] mengevaluasi pengaruh volume asam fosfat (H_3PO_4) dalam proses *degumming* terhadap kualitas biodiesel dari biji buah bintaro menggunakan metode katalis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi volume H_3PO_4 (1,1%, 1,2%, 1,3%) mempengaruhi kadar FFA (1,396%, 0,378%, 0,238%), densitas ($887,1 \text{ kg/m}^3$), viskositas ($5,892 \text{ mm}^2/\text{s}$), angka setana (51,02), titik nyala (131°C), fosfor ($3,577 \text{ mg/kg}$), residu karbon (0,129% massa), kandungan air (0,0323% volume), dan angka asam (0,402 mg KOH/g).

Berdasarkan penelitian terdahulu di atas, peneliti ingin mengoptimalkan proses *degumming* dengan penambahan asam dan basa sehingga dihasilkan minyak biji ketapang yang meningkat kualitasnya. Basa yang ditambahkan berperan mengikat pengotor dalam minyak yang tidak larut dengan asam. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan proses *degumming* sehingga dapat dihasilkan minyak dengan FFA kurang dari 2% dengan variasi penambahan asam fosfat dan sodium hidroksida. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar asam fosfat dan $NaOH$ berpengaruh terhadap nilai FFA, densitas, dan kejernihan minyak yang diperoleh.

2. Metode Penelitian

1.1 Preparasi minyak biji ketapang

Biji ketapang yang jatuh dari pohon dibersihkan dan kemudian dioven pada suhu 105°C selama 1,5 jam. Setelah kering biji dipotong kecil-kecil $\pm 1 \text{ cm}$ tujuannya untuk mempermudah saat proses pengepresan, dilanjutkan dengan dioven kembali pada suhu 50°C selama 30 menit. Biji ketapang yang sudah dioven dimasukkan ke dalam kain penyaring yang kemudian dimasukkan ke dalam mesin press. Pengepresan menggunakan mesin press hidrolik dengan tekanan press sekitar 200 pound/inch^2 . Pengepresan dilakukan pengulangan sebanyak dua kali.

1.2 Proses *degumming*

Larutan asam fosfat (H_3PO_4 , variasi (0,5%, 1%, 1,5%) di tambahkan ke dalam minyak biji ketapang menggunakan pipet tetes, kemudian diaduk secara konstan menggunakan *magnetic stirrer* dengan suhu 80°C selama 30 menit hingga terbentuk *gum* di bagian bawah campuran. Selanjutnya larutan didinginkan dan didiamkan selama 1 hari hingga *gum* hingga terkumpul maksimal dan diambil endapannya. Selanjutnya ditambahkan $NaOH$ (0,5%, 1%, 1,5%) dari (b/b) minyak dipanaskan dan diaduk kembali dengan suhu 80°C selama 20 menit.

Minyak biji ketapang yang telah proses *degumming* selanjutnya yaitu dilakukan water washing dengan penambahan aquades dengan suhu ($60-70^\circ\text{C}$) 50% dari (v/v) minyak dan diaduk selama 30 menit hingga tidak ada letupan pada pengeringan didalam oven selama 2 jam untuk mengurangi kadar air.

1.3 Karakterisasi minyak biji ketapang

Untuk mengetahui hasil dan kualitas dari minyak sebelum dan sesudah proses *degumming* dilakukan, maka dilakukan uji parameter sebagai berikut: nilai asam lemak bebas (FFA) menggunakan standar AOAC 1984, densitas (ASTM D1298), kejernihan (mengamati hasil setelah proses pencucian yang telah dioven dengan suhu 105°C selama 2 jam), dan nilai endapan *gum* (dengan menimbang *gum* yang dihasilkan).

3. Hasil dan Pembahasan

Biji ketapang sebelum pengepresan terlebih dahulu dikeringkan pada suhu 50°C, dengan tujuan membuka dan menurunkan viskositas minyak yang terkandung dalam biji – bijian, sehingga minyak mudah keluar dan maksimal jumlahnya. Minyak hasil pengepresan ini masih tercampur dengan kandungan getah dan air. Sebelum dilanjutkan ke proses *degumming*, dilakukan uji nilai FFA terlebih dahulu dengan menggunakan standard AOAC 1984 dan perhitungan hasil uji menggunakan rumus berikut:

$$FFA = \frac{Volume\ KOH\ (mL) \times N \times Mr}{10 \times massa\ sampel} \quad (1)$$

Dimana Mr adalah berat molekul reaktif asam lemak yang paling banyak dalam minyak. Selanjutnya minyak segar hasil pengepresan juga dilakukan uji densitas dan pengamatan tingkat kejernihan. Karakterisasi awal bahan baku minyak biji ketapang dalam penelitian ini mengandung kadar FFA sebesar 2,877% dan densitas 950,5kg/m³. Warna minyak dihasilkan memiliki warna coklat gelap seperti yang terlihat pada **Gambar 1**. Warna gelap yang dihasilkan disebabkan masih adanya kandungan getah, lendir, air, ampas, dan pengotor yang masih terlarut. Selain itu, kualitas minyak biji ketapang dipengaruhi oleh getah setiap biji, karena buah ketapang yang diambil tidak selalu jatuh dari pohon pada waktu dan kondisi yang sama. Hal ini mempengaruhi warna dan kekeruhan minyak biji ketapang yang dihasilkan.



Gambar 1. Minyak biji ketapang hasil pengepresan (*fresh*)

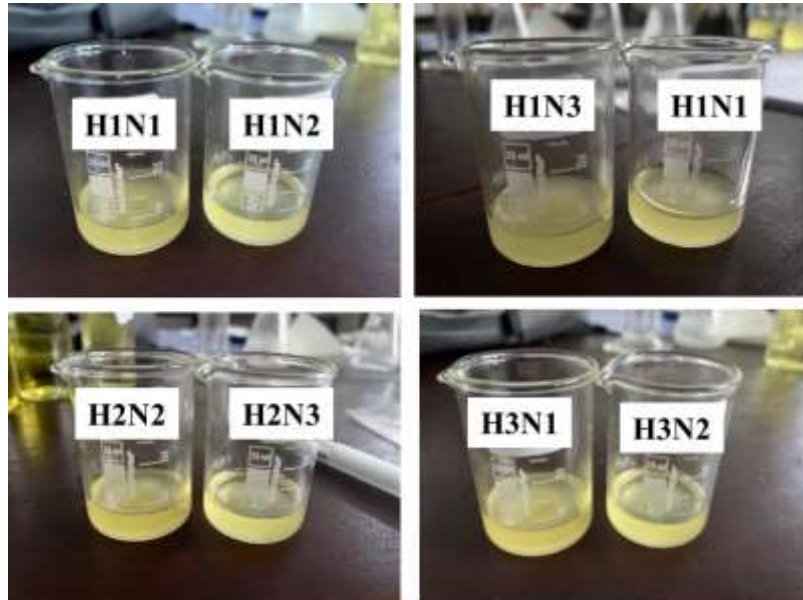
Oleh karena itu, untuk meningkatkan bahan baku minyak biji ketapang dalam pembuatan biodiesel, maka proses penghilangan getah (*degumming*) merupakan tahapan yang paling utama. Proses *degumming* dilakukan dengan penambahan asam fosfat yang suhu reaksi 80°C. Setelah pendinginan selama 1 hari, terbentuk dua lapisan, yaitu: lapisan atas merupakan minyak murni biji ketapang, dan lapisan bawah adalah endapan *gum*. Pada saat penambahan H₃PO₄, minyak telah terpisah maksimal dari getahnya, namun pemberian NaOH pada proses selanjutnya mampu mengikat zat pengotor yang tidak larut dalam asam fosfat. Penambahan asam fosfat dilakukan dengan variasi konsentrasi 0,5%, 1%, 1,5%, dan diperoleh hasil endapan gum maksimal dengan variasi konsentrasi 1% dengan warna minyak lebih cerah dibandingkan dengan penambahan 0,5% asam.

Untuk memurnikan minyak setelah penghilangan getah, aquades digunakan untuk menghilangkan sisa pengotor, asam, serta basa yang masih tertinggal. Pada sampel dengan penambahan asam fosfat (H₃PO₄) 0,5% dan massa NaOH 1,5%, setelah pencucian dibagian bawah minyak terdapat endapan putih. Endapan ini terjadi karena proses penyabunan yaitu reaksi antara NaOH dengan asam lemak bebas, dimana endapan ini mudah dipisahkan [16]. Karakteristik minyak biji ketapang setelah pencucian hasil *degumming* dapat dilihat pada **Table 1** berikut. Dari tabel tersebut terlihat bahwa variasi konsentrasi H₃PO₄ dan NaOH mempengaruhi hasil *degumming* dan diperoleh variasi terbaik pada H₂N1 dengan adanya keselarasan antara nilai FFA dan densitas. Untuk membuktikan pengaruh ini telah dilakukan perhitungan sidik ragam yang memberikan hasil berbeda sangat nyata untuk kedua variasi penambahan (HxN). Setelah *degumming*, minyak yang dihasilkan melewati proses pencucian yang hasilnya dapat dilihat pada **Gambar 2**. Berdasarkan pengamatan visual terhadap kejernihan minyak setelah *degumming* dan pencucian, kejernihan terbaik terletak pada variasi konsentrasi asam fosfat (H₃PO₄) 0,5% v/v dan variasi massa NaOH 1% b/b.

Tabel 1. Karakteristik Minyak Biji Ketapang Setelah Proses Pencucian Hasil *Degumming*.

Variasi	Kadar FFA (%)	Densitas (kg/m ³)
Variable control	2,877	950,5
H1N1 (0,5% v/v; 0,5% b/b)	0,4	916
H2N1(1% v/v, 0,5% b/b)	0,512	934,5
H3N1(1,5% v/v, 0,5% b/b)	1,064	905
H1N2 (0,5% v/v, 1% b/b)	0,4	902,5
H2N2 (1% v/v, 1% b/b)	0,576	911
H3N2 (1,5% v/v, 1% b/b)	0,503	916
H1N3 (0,5% v/v, 1,5% b/b)	0,487	905
H2N3 (1% v/v, 1,5% b/b)	0,896	903,5
H3N3 (1,5% v/v, 1,5% b/b)	0,768	921

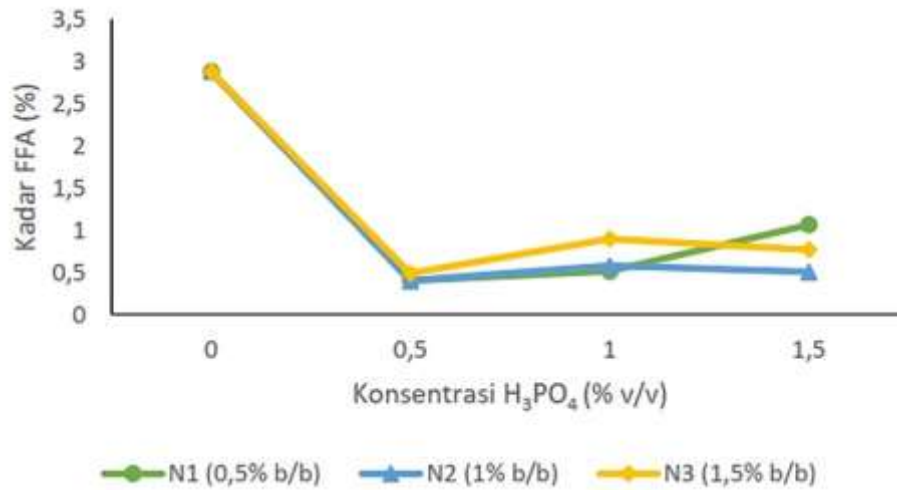
Keterangan: H = konsentrasi H₃PO₄ dan N: massa NaOH.



Gambar 2. Minyak biji ketapang setelah pencucian

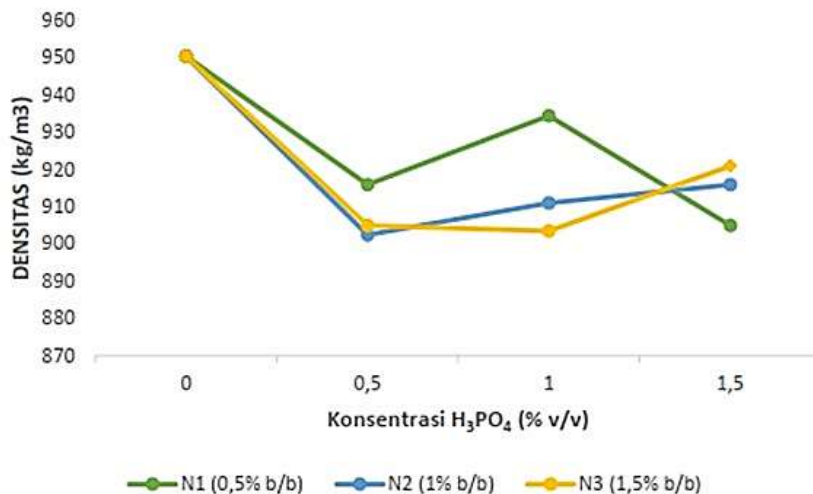
Asam lemak bebas (FFA) dapat terpisah dari trigliserida, digliserida, monogliserida, dan gliserin bebas akibat pemanasan dan keberadaan air, yang memicu proses hidrolisis. Dalam proses konversi trigliserida menjadi alkil esternya melalui reaksi transesterifikasi dengan katalis basa, asam lemak bebas harus dipisahkan atau dikonversi menjadi alkil ester terlebih dahulu karena ia akan bereaksi dengan katalis dan menimbulkan reaksi penyabunan [17]. Selain itu, minyak biji ketapang memiliki kandungan FFA tinggi ditinjau dari linoleat sebagai asam lemaknya[6], sehingga untuk menghasilkan kualitas minyak yang bagus untuk biodiesel, maka FFA harus di bawah 2 %. Adanya kandungan sabun pada reaksi transesterifikasi dapat mengganggu reaksi pembuatan dan proses pemurnian dari biodiesel itu sendiri. Dalam proses pembuatan biodiesel, jika kadar FFA >2% harus dilakukan proses esterifikasi untuk menurunkan kadar FFA.

Kadar FFA pada minyak biji ketapang memiliki nilai yang berbeda – beda ditinjau dari penambahan konsentrasi asam fosfat dan massa NaOH. **Gambar 3** menunjukkan nilai FFA rata-rata pada variasi H₃PO₄ dan NaOH berbeda. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa penambahan masa NaOH berpengaruh terhadap penurunan kadar FFA minyak biji ketapang NaOH. Akan tetapi, tingginya konsentrasi H₃PO₄ dan massa NaOH belum tentu menghasilkan proses *degumming* yang optimum. Hal ini disebabkan oleh asam fosfat belum maksimal dalam mengikat asam lemak yang terjerat pada minyak biji ketapang. Terbukti pada variasi konsentrasi H₃PO₄ 1% dan NaOH 1,5% mengalami peningkatan FFA cukup tinggi.



Gambar 3. Grafik rata-rata kadar FFA. N yaitu variasi NaOH.

Uji densitas berkaitan dengan nilai kalor dan daya yang dihasilkan mesin diesel persatuan volume bahan bakar. Densitas yang tinggi pada bahan bakar dapat mengakibatkan keausan pada mesin dan tingginya gas buang[18], sehingga sangat penting untuk mendapatkan densitas yang memenuhi standar biodiesel. Berdasarkan **Gambar 4** dapat diketahui bahwa setelah dilakukan proses *degumming* nilai densitas paling rendah terletak pada variasi konsentrasi asam fosfat 0,5% v/v dan variasi massa sodium hydroxide 1% b/b yaitu 902,5Kg/m³. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), biodiesel yang baik memiliki densitas 850–890 kg/m³ pada suhu 40°C [19]. Oleh karena itu, proses *degumming* pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh signifikan karena nilai densitas yang masih sangat tinggi. Sehingga harus ada proses lanjutan yaitu transesterifikasi untuk menurunkan nilai densitas.



Gambar 4. Grafik Rata – Rata Densitas

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, proses *degumming* dengan penambahan asam fosfat dan sodium hidroksida telah mampu menghasilkan minyak biji ketapang yang lebih jernih. Penggunaan H₃PO₄ dapat mengikat *gum* secara maksimal dalam minyak, sedangkan NaOH berperan untuk mengikat sisa zat pengotor yang tidak mampu diambil oleh asam fosfat. Komposisi optimum penambahan H₃PO₄ sebesar 0,5% v/v dan massa NaOH 1%b/b. pada kondisi optimum ini dihasilkan minyak biji ketapang dengan kadar FFA terendah 0,4% dan densitas 902.5 kg/m³. Densitas minyak biji ketapang masih sedikit lebih tinggi dari standar SNI, sehingga perlu dilakukan proses transesterifikasi untuk menghasilkan minyak dengan densitas rendah.

5. Referensi

- [1] Y. Pasae, L. Bulu, N. Lola, T. T. Seno, and K. Tikupadang, "Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Proses Reactive Separation," in *Seminar Nasional Hasil Penelitian &*

- Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, 2019, pp. 50–53.
- [2] A. P. Mayalibit, Z. L. Sarungallo, and S. N. Paiki, “Pengaruh proses degumming menggunakan asam sitrat terhadap kualitas minyak buah merah (*Pandanus conoideus* Lamk),” *Agritechnology*, vol. 2, no. 1, pp. 23–31, 2020.
- [3] R. A. Putri, A. Muhammad, and I. Ishak, “Optimasi proses pembuatan biodiesel biji jarak pagar (*Jatropha Curcas* L.) melalui proses ekstraksi reaktif,” *J. Teknol. Kim. Unimal*, vol. 6, no. 2, pp. 16–30, 2018.
- [4] V. Purnomo, A. S. Hidayatullah, A. Inam, O. P. Prastuti, E. L. Septiani, and R. P. Herwoto, “Biodiesel dari minyak jarak pagar dengan transesterifikasi metanol subkritis,” *J. Tek. Kim.*, vol. 14, no. 2, pp. 73–79, 2020.
- [5] D. Ariyani, E. Megawati, P. Ira, A. Sadesi, and M. A. Sugiarto, “Pembuatan Biodiesesl Dan Pengaruh Jenis Pelarut Dan Massa Biji Terhadap% Yield Ekstrak Minyak Biji Ketapang (*Terminalia catappa* Linn),” *PETROGAS J. Energy Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 51–56, 2020.
- [6] N. P. Putri, M. A. Muslim, J. G. Sitorus, D. L. Putra, and M. Marjenah, “Extraction Of Ketapang Seeds (*Terminalia Catappa* Linn) As Raw Material Of Biodiesel,” *Konversi*, vol. 7, no. 1, pp. 10–14, 2019.
- [7] F. M. A. Chusna, S. Cahaya, and S. Aprianita, “Optimasi Pembuatan Bioetanol dari Limbah Bonggol Jagung Berdasarkan Beda Waktu Fermentasi dan Berat Ragi,” *J. Serambi Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 8140–8145, 2024.
- [8] F. Febriyanti, I. Sofianty, A. G. P. Sari, R. F. Madani, M. R. Bilad, and A. B. D. Nandiyanto, “Fluidized Bed Reactor Type: Reactor Design for Biodiesel Production from Soybean Oil Using MgO Catalyst,” *J. Earth Energy Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 2, 2022.
- [9] S. Oko, M. Mustafa, A. Kurniawan, and D. Willain, “Sintesis Biodiesel Dari Minyak Kedelai Melalui Reaksi Transesterifikasi Dengan Katalis CaO/NaOH,” *J. Teknol.*, vol. 13, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [10] J. P. Susanto, A. D. Santoso, and N. Suwedi, “Perhitungan potensi limbah padat kelapa sawit untuk sumber energi terbarukan dengan metode LCA,” *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 18, no. 2, pp. 165–172, 2017.
- [11] N. Abdurrojaq *et al.*, “Perbandingan Uji Densitas Menggunakan Metode ASTM D1298 dengan ASTM D4052 pada Biodiesel Berbasis Kelapa Sawit,” *Lembaran Publ. Miny. dan gas bumi*, vol. 55, no. 1, pp. 49–57, 2021.
- [12] D. A. Prasetyo, M. R. A. Saputro, and Z. Ulma, “Arang Kulit Biji Kakao (*Theobroma cacao* L) sebagai Adsorben untuk Menurunkan Kadar Asam Lemak Bebas pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah,” *J. Tek. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 25–35, 2023.
- [13] I. Rizal, “Sintesis Coco-Biodiesel Dari Minyak Kelapa Mentah (Crude Coconut Oil) Menggunakan Static Mixer,” *Indones. J. Ind. Res.*, vol. 36, no. 2, pp. 73–82, 2019.
- [14] N. K. Erliyanti, A. K. Sari, A. Chumaidi, R. R. Yogaswara, and E. A. Saputro, “Transesterification Of Biodiesel From Kapok Seed Oil (*Ceiba pentandra*),” *Konversi*, vol. 10, no. 2, 2021.
- [15] R. Rahmaniar, “Minyak Biji Ketapang (*Terminalia Catappa* L) sebagai Bahan Pelunak dalam Pembuatan Kompon Karet,” *J. Din. Penelit. Ind.*, vol. 24, no. 1, pp. 49–56, 2013.
- [16] N. Hidayat, “Pengaruh Lama Waktu Pengadukan dan Konsentrasi NaOH pada Proses Pemurnian Minyak Goreng Superworm (*Zophobas morio*),” 2018.
- [17] D. Hasahatan, J. Sunaryo, and L. N. Komariah, “Pengaruh ratio H₂SO₄ dan waktu reaksi terhadap kuantitas dan kualitas biodiesel dari minyak jarak pagar,” *J. Tek. Kim.*, vol. 18, no. 2, pp. 26–36, 2012.
- [18] M. Alamsyah and R. Kalla, “Pemurnian minyak jelantah dengan proses adsorpsi,” *J. Chem. Process Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 22–26, 2017.
- [19] S. D. Purwaningrum and S. Sukaryo, “Uji Karakteristik Biodiesel Berbahan Dasar Limbah Jeroan Ikan Diproses Menggunakan Mikrogelombang,” *METANA*, vol. 14, no. 2, pp. 37–42, 2018.