

## **PENGARUH PROSES DEGUMMING MENGGUNAKAN ASAM FOSFAT TERHADAP KARAKTERISTIK FISIKO-KIMIA MINYAK NYAMPLUNG (*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) SEBAGAI BAHAN BAKU BIODIESEL**

**Heni Sugesti<sup>a,\*</sup>, Agung Prabowo<sup>b</sup>, Yola Berlistya Hendri<sup>c</sup>, Arya Wiranata<sup>a</sup>, Yogi Chandra<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Departemen Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara, Kota Palembang, Palembang 30128, Indonesia

<sup>b</sup>Departemen Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda

Jl. Cipto Mangun Kusumo, Kota Samarinda, 75131 Samarinda, Indonesia

<sup>c</sup>Departemen Teknik Kimia, Universitas Riau

Simpang Baru, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru, Pekanbaru 28293, Indonesia

\*E-mail: henisugesti@polsri.ac.id

Masuk Tanggal: 30 September, revisi tanggal: 21 November, diterima untuk diterbitkan tanggal: 20 Desember 2025

### **Abstrak**

Minyak nyamplung memiliki potensi besar sebagai bahan baku biodiesel karena kandungan trigliserida yang tinggi. Namun, tingginya kadar gum, fosfatida, air, dan asam lemak bebas (ALB) dapat menurunkan kualitas biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh proses degumming menggunakan asam fosfat terhadap parameter fisiko-kimia minyak nyamplung. Degumming dilakukan dengan variasi konsentrasi asam fosfat (0,1%, 0,3%, 0,5%) dan suhu pemanasan (60 °C dan 70 °C). Parameter yang diuji meliputi densitas, viskositas, kadar air, dan kadar ALB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan degumming optimal pada konsentrasi asam fosfat 0,3% dan suhu 70 °C menghasilkan penurunan kadar ALB sebesar 66,7% dari 10,5% menjadi 3,1%, penurunan viskositas dari 52,4 cSt menjadi 42,3 cSt, dan pengurangan kadar air dari 0,47% menjadi 0,19%. Dengan demikian, proses degumming secara signifikan meningkatkan kualitas minyak nyamplung sebagai bahan baku biodiesel.

**Kata Kunci:** Minyak nyamplung, Degumming, Asam fosfat, Fisiko-kimia

### **Abstract**

*Nyamplung oil (Calophyllum inophyllum) has excellent potential as a raw material for biodiesel due to its high triglyceride content. However, high levels of gum, phosphatides, water, and free fatty acids (FFA) can reduce the quality of biodiesel. This study aimed to evaluate the effect of the degumming process using phosphoric acid on the physicochemical parameters of nyamplung oil. Degumming was carried out with variations in phosphoric acid concentration (0.1%, 0.3%, 0.5%) and heating temperature (60 °C and 70 °C). The test parameters included density, viscosity, water content, and ALB content. The results showed that the optimal degumming treatment at a phosphoric acid concentration of 0.3% and a temperature of 70 °C resulted in a decrease in FFA content of 58.7% from 7.5% to 3.1%, a decrease in viscosity from 52.4 cSt to 42.3 cSt, and a reduction in water content from 0.47% to 0.19%. Thus, the degumming process significantly improves the quality of nyamplung oil, making it a more suitable raw material for biodiesel.*

**Keywords:** *Nyamplung oil, Degumming, Phosphoric acid, Physico-chemical*

## **1. PENDAHULUAN**

Permasalahan energi saat ini menjadi isu global yang mendesak. Ketergantungan dunia pada bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan batu

bara, telah menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, ketidakstabilan pasokan energi, serta ancaman kerusakan lingkungan [1]. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi alternatif yang

terbarukan, ramah lingkungan, dan berkelanjutan menjadi prioritas utama, baik secara nasional maupun internasional [2].

Salah satu bentuk energi terbarukan yang mendapat perhatian luas adalah biodiesel, yaitu bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses transesterifikasi [3]. Biodiesel memiliki keunggulan antara lain dapat terurai secara hayati, memiliki emisi karbon lebih rendah, dan kompatibel dengan mesin diesel konvensional [4].

Namun demikian, pengembangan biodiesel menghadapi tantangan dalam pemilihan bahan baku. Penggunaan minyak nabati pangan seperti minyak sawit dan kedelai menimbulkan konflik pangan (*food vs fuel*). Oleh karena itu, perhatian beralih ke minyak nabati non-pangan (*non-edible oil*), salah satunya adalah minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) [5].

Tanaman nyamplung banyak ditemukan di daerah pesisir Indonesia dan mampu tumbuh di lahan marginal. Minyak yang dihasilkan dari bijinya memiliki kandungan trigliserida tinggi dan potensi produksi yang signifikan, menjadikannya kandidat kuat sebagai bahan baku biodiesel. Minyak nyamplung diperoleh dengan proses pengepresan biji nyamplung. Minyak yang keluar dari mesin pres umumnya berwarna hijau gelap, karena banyak mengandung kotoran yang berasal dari kulit dan senyawa kimia seperti alkaloid, fosfatida, karotenoid, khlorofil, protein, pati dan lain-lain. Minyak nyamplung mentah umumnya memiliki kadar asam lemak bebas (ALB) tinggi (>5%), serta kandungan gum (getah), fosfatida, dan air yang relatif besar [6, 7]. Kondisi ini menyebabkan masalah dalam proses transesterifikasi, seperti pembentukan sabun (saponifikasi) yang menurunkan rendemen biodiesel dan meningkatkan konsumsi katalis [8, 9].

Sebelum minyak nyamplung dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel, diperlukan tahap pra-perlakuan (*pretreatment*). Salah satu tahap penting adalah proses *degumming*, yaitu proses penghilangan senyawa gum dan fosfatida yang bersifat polar dan tidak larut dalam minyak. Proses ini biasanya dilakukan dengan penambahan air panas (*hidrodegumming*) atau bahan kimia seperti asam fosfat (*acid degumming*) untuk mengendapkan kotoran polar [10].

Beberapa studi sebelumnya menyatakan bahwa penggunaan asam fosfat dalam proses *degumming* lebih efektif dibandingkan air, terutama dalam mengurangi kadar fosfatida dan menurunkan viskositas serta kadar ALB [11, 12]. Namun, kajian terkait *degumming* khusus untuk minyak nyamplung masih sangat terbatas. Selain

itu, perlu dievaluasi bagaimana variasi konsentrasi asam fosfat dan suhu pemanasan memengaruhi hasil *degumming* terhadap parameter penting seperti viskositas, densitas, kadar air, dan kadar ALB.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji secara sistematis pengaruh proses *degumming* dengan asam fosfat terhadap karakteristik fisiko-kimia minyak nyamplung. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perlakuan optimal dalam meningkatkan kualitas minyak sebagai bahan baku biodiesel, sekaligus memberikan kontribusi terhadap pemanfaatan energi terbarukan berbasis sumber daya lokal.

## 2. PROSEDUR PERCOBAAN

Penelitian dilakukan dengan eksperimen di laboratorium dengan menggunakan alat dan bahan serta prosedur sebagai berikut.

### 2.1. Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan utama berupa minyak nyamplung mentah yang diperoleh dari hasil pengepresan biji nyamplung kering. Bahan kimia yang digunakan adalah larutan asam fosfat teknis 85% (PT. Bratachem) dengan konsentrasi bervariasi (0,1%, 0,3%, dan 0,5%), serta air suling sebagai media pengendapan gum.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi hotplate stirrer untuk pemanasan dan pengadukan, corong pisah untuk pemisahan fase gum, gelas ukur, gelas kimia, pipet ukur, oven pengering suhu 105 °C, dan timbangan digital. Peralatan uji laboratorium terdiri dari piknometer (untuk pengukuran densitas minyak), viskometer kinematik (untuk pengujian viskositas), oven (untuk analisis kadar air), dan peralatan titrasi basa (untuk penentuan kadar asam lemak bebas).

### 2.2. Prosedur

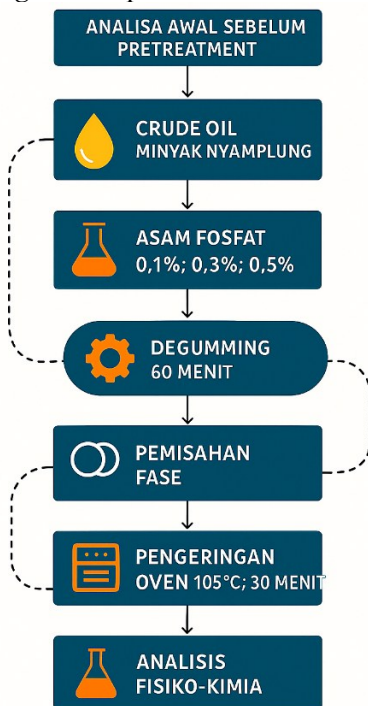
Proses penelitian dimulai dengan tahap pertama, penyiapan minyak nyamplung mentah yang ditimbang sesuai kebutuhan. Minyak kemudian dimasukkan ke dalam gelas kimia dan dipanaskan menggunakan *hotplate stirrer* hingga mencapai suhu sesuai perlakuan (60 °C atau 70 °C). Setelah suhu tercapai, tahap kedua, larutan asam fosfat ditambahkan perlahan sambil diaduk secara konstan selama 30 menit.

Selanjutnya, tahap ketiga, campuran minyak dan asam fosfat didiamkan pada suhu ruang selama 60 menit agar gum dan fosfatida dapat mengendap sempurna di dasar wadah. Pada tahap keempat, pemisahan fase dilakukan menggunakan corong pisah dengan hati-hati agar tidak terjadi kontaminasi antara fase minyak dan endapan gum. Minyak hasil pemisahan kemudian dikeringkan

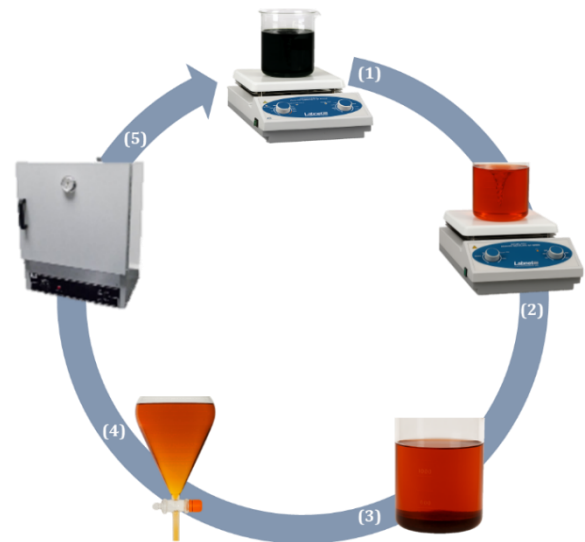
dalam oven pada suhu 105 °C selama 30 menit untuk mengurangi kadar air residu.

Setelah proses degumming, minyak dianalisis untuk menentukan perubahan karakteristik fisiko-kimia. Pengujian densitas dilakukan dengan piknometer. Pengukuran viskositas menggunakan viskometer kinematik. Kadar air ditentukan menggunakan gravimetri, sedangkan kadar asam lemak bebas diukur dengan metode titrasi asam basa menggunakan larutan NaOH 0,1 N dengan indikator fenolftalein, kemudian dihitung persentase asam oleat. Asam oleat adalah salah satu asam lemak utama yang terkandung dalam minyak nyamplung.

Proses *degumming* bertujuan untuk memisahkan *gum* yang ada di minyak. *Gum* yang ada pada minyak nyamplung dapat mempengaruhi perolehan yield biodiesel serta kualitas dari biodiesel yang dihasilkan. Skema tahapan proses *degumming* terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. *Degumming* Minyak Nyamplung



Gambar 2. Skema Tahapan Proses *Degumming*

## 2.3 Analisis Data

### 2.3.1 Penentuan Densitas

Penentuan densitas minyak nyamplung dilakukan dengan menggunakan piknometer kalibrasi standar. Piknometer 25 mL, telah dikalibrasi sebelumnya menggunakan air suling pada suhu 25 °C. Piknometer ditimbang kemudian massa kosong piknometer dicatat sebagai  $m_1$ . Piknometer diisi penuh dengan air, selanjutnya ditimbang kembali, dicatat sebagai  $m_2$ . Massa piknometer berisi minyak dicatat sebagai  $m_3$ . Densitas minyak dihitung dengan membandingkan massa jenis relatif minyak terhadap massa jenis air suling dengan Persamaan (1).

$$\rho_s = \rho_{air} \times \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \quad (1)$$

### 2.3.2 Penentuan Viskositas

Viskositas minyak nyamplung ditentukan menggunakan viskometer Ostwald yang mengukur waktu alir cairan melalui kapiler. Prosedur dimulai dengan kalibrasi alat menggunakan air suling pada suhu konstan 40°C di penangas air, mencatat waktu alir air sebagai  $t_0$ . Setelah viskometer dibersihkan, prosedur yang sama diulangi menggunakan sampel minyak nyamplung, dan waktu alirnya dicatat sebagai  $t_1$ . Viskositas minyak dihitung dengan membandingkan waktu alir sampel dengan waktu alir air, dikalikan rasio densitas, sesuai Persamaan (2).

$$\eta_s = \eta_0 \times \frac{t_1}{t_0} \times \frac{\rho_s}{\rho_0} \quad (2)$$

Dengan  $\eta_0$  adalah viskositas dinamik air pada suhu 40 °C,  $\rho_s$  adalah densitas minyak nyamplung, dan  $\rho_0$  adalah densitas air.

### 2.3.3 Penentuan Kadar Air

Penetapan kadar air minyak nyamplung dilakukan menggunakan metode pengeringan dalam oven. Sampel minyak ditimbang sebanyak 5 gram dalam cawan porselen bersih dan kering, kemudian dimasukkan ke dalam oven pengering pada suhu 105°C selama 2 jam hingga berat konstan tercapai. Setelah pengeringan, cawan dikeluarkan dan didinginkan dalam desikator selama 15 menit, lalu ditimbang kembali. Selisih massa sebelum dan sesudah pemanasan digunakan untuk menghitung kadar air dalam persen berdasarkan berat sampel awal. Pengujian dilakukan dalam tiga kali ulangan, dan hasil rata-rata digunakan sebagai nilai kadar air minyak nyamplung.

### 2.3.4 Penentuan Asam Lemak Bebas

Penentuan kadar asam lemak bebas dilakukan dengan metode titrasi asam basa menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) sebagai titran. Sebanyak 5 gram minyak nyamplung ditimbang dengan cermat dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL. Selanjutnya, ditambahkan 50 mL campuran pelarut etanol panas dan eter dengan perbandingan 1:1 (v/v) untuk melarutkan sampel.

Dua hingga tiga tetes indikator fenoltalein ditetaskan ke dalam larutan hingga tercapai warna merah muda yang stabil. Larutan kemudian dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 N yang telah distandarisasi, sampai warna merah muda persisten selama minimal 15 detik. Volume titran yang digunakan dicatat sebagai dasar perhitungan. Kadar asam lemak bebas dinyatakan dalam persen asam oleat dan dihitung dengan Persamaan (3).

$$\%ALB = \frac{V \times N \times 28,2}{m} \quad (3)$$

Tabel 1. Sifat Fisikokimia Minyak sebelum dan sesudah *Degumming*

Parameter	Awal	60 °C			70 °C		
		0.1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.5
ALB(%)	10.5	6.1	4.6	4.2	3.9	3.1	3.6
Densitas (gr/mL)	0.935	0.933	0.931	0.93	0.933	0.928	0.932
Viskositas (cSt)	52.4	50.2	48.4	44.5	49.8	42.3	42.8
Kadar air (%)	0.47	0.4	0.34	0.28	0.39	0.19	0.2

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Analisa Awal Minyak Nyamplung

Minyak nyamplung mentah yang digunakan pada penelitian ini memiliki kadar asam lemak bebas (ALB) awal 10,5%, viskositas 52,4 cSt pada 40 °C, densitas 0,935 g/cm<sup>3</sup>, serta kadar air 0,47%. Nilai ALB tersebut tergolong tinggi untuk bahan baku biodiesel, mengingat batas maksimal ALB agar transesterifikasi basa dapat berlangsung efisien biasanya <1%. Kandungan ALB yang tinggi dapat menimbulkan reaksi samping berupa saponifikasi apabila langsung diproses dengan katalis basa, sehingga akan menurunkan rendemen biodiesel dan menyulitkan pemisahan fase.

Selain itu, nilai viskositas yang tinggi menunjukkan adanya banyak komponen berat seperti trigliserida dengan panjang rantai karbon yang kompleks, resin, serta senyawa gum yang bersifat polar. Kandungan air yang relatif tinggi juga dapat mempercepat hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak bebas, sehingga semakin memperburuk kualitas minyak mentah. Oleh karena itu, tahap degumming menjadi sangat penting untuk memperbaiki mutu minyak sebelum masuk ke tahap selanjutnya.

### 3.2. Perubahan Sifat Fisikokimia Minyak Setelah Degumming

Proses degumming dilakukan dengan menambahkan larutan asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) pada variasi konsentrasi (0,1–0,5%), dipanaskan pada suhu 60–70 °C menggunakan hotplate-stirrer, kemudian dilakukan pendiaman dan pemisahan fase gum. Minyak hasil degumming selanjutnya dikeringkan pada 105°C untuk menghilangkan kadar air sisa. Perubahan sifat fisiko-kimia pada minyak nyamplung sebelum dan setelah proses *degumming* disajikan dalam Tabel 1. Tampilan minyak nyamplung sebelum dan setelah proses seperti pada Gambar 3.



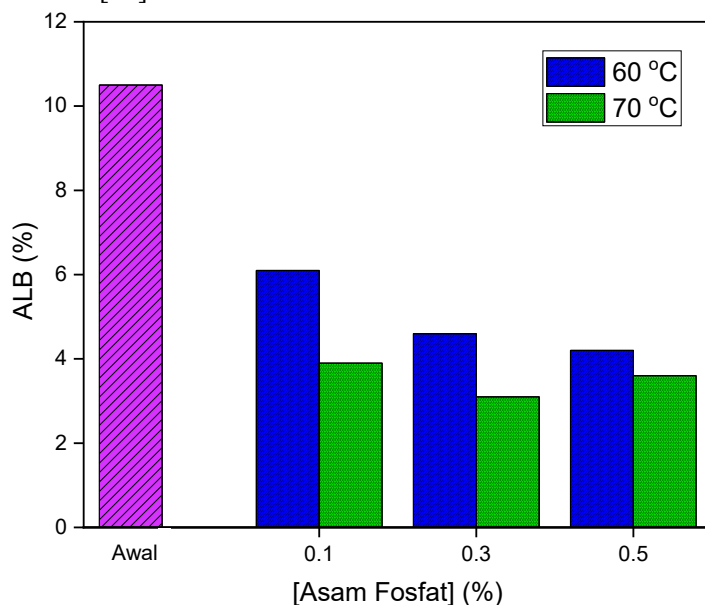
Gambar 3. (a) Minyak Sebelum *Degumming*, (b) Minyak Setelah *Degumming*

### 3.3. Analisis Penurunan ALB

Gambar 4 menunjukkan bahwa ALB minyak nyamplung mengalami penurunan signifikan setelah *degumming*, terutama pada kondisi 0,3%  $H_3PO_4$  pada 70 °C, yaitu dari 10,5% menjadi 3,1% atau berkurang sekitar 66,7%. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar asam lemak bebas dan senyawa polar berhasil terikat serta ikut terendapkan bersama gum. Namun demikian, kadar ALB akhir masih >1% [13]. Artinya, walaupun *degumming* efektif menurunkan ALB, minyak hasil *degumming* masih membutuhkan esterifikasi pendahuluan menggunakan katalis asam untuk menurunkan ALB hingga <1% sebelum transesterifikasi basa [14].

### 3.4. Perubahan Viskositas dan Densitas

Viskositas minyak menurun cukup signifikan dari 52,4 cSt menjadi 42,3 cSt pada kondisi optimum. Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya senyawa gum (fosfolipid, protein, dan resin) yang umumnya bersifat koloidal dan meningkatkan kekentalan minyak. Densitas juga sedikit menurun, dari 0,935 menjadi 0,928 g/cm<sup>3</sup>. Walaupun penurunannya tidak sebesar viskositas, hal ini mengindikasikan bahwa minyak menjadi lebih murni dengan berkurangnya fraksi berat yang tersuspensi [15].



Gambar 4. Analisis Penurunan ALB

### 3.5. Penurunan Kadar Air

Kadar air minyak nyamplung menurun dari 0,47% menjadi 0,19% pada kondisi optimum, yaitu suhu 70° C dan konsentrasi asam fosfat 0,3%

Penurunan ini terjadi karena air yang terikat pada koloid fosfolipid ikut terbawa dalam fase gum. Selain itu, tahap pengeringan akhir pada 105 °C juga efektif menghilangkan sisa air dalam minyak.

Kadar air yang lebih rendah ini sangat penting karena air dapat memicu reaksi samping hidrolisis dan mengganggu kestabilan penyimpanan minyak [16].

### 3.6. Pengaruh Konsentrasi Asam Fosfat

Menariknya, peningkatan konsentrasi  $H_3PO_4$  dari 0,3% menjadi 0,5% tidak memberikan perbaikan mutu yang signifikan, bahkan pada beberapa kasus justru menurunkan kualitas (ALB sedikit meningkat).

Hal ini disebabkan oleh: (1) hidrolisis parsial trigliserida akibat medium asam yang terlalu kuat, sehingga menghasilkan kembali ALB; dan (2) pembentukan emulsi akibat kelebihan asam, yang menyulitkan pemisahan fase gum dengan minyak sehingga sebagian komponen polar kembali bercampur ke dalam minyak [14, 17].

### 3.7. Mekanisme Penghilangan Gum

Secara mekanistik, asam fosfat bekerja dengan cara mengubah fosfatida non-hidrat menjadi bentuk terhidrat, yang kemudian menggumpal (flokulasi) sehingga mudah terpisah dari fase minyak. Pada suhu 70 °C, energi kinetik molekul meningkat sehingga mempercepat proses penggumpalan dan memperbesar ukuran partikel gum. Akibatnya, proses pemisahan fase menjadi lebih mudah dilakukan. Dengan demikian, kombinasi asam fosfat 0,3% dan suhu 70 °C terbukti memberikan kondisi paling optimal untuk menghilangkan gum, menurunkan viskositas, mengurangi kadar air, serta memperbaiki kualitas minyak nyamplung [18].

### 3.8. Implikasi untuk Produksi Biodiesel

Minyak hasil *degumming* dengan kualitas yang lebih baik akan lebih mudah diproses pada tahap esterifikasi–transesterifikasi. Penurunan viskositas meningkatkan kelancaran proses reaksi, sedangkan penurunan kadar air meminimalkan terbentuknya sabun dan emulsi saat reaksi berlangsung. Namun, karena kandungan ALB masih >3%, tahap esterifikasi asam tetap diperlukan sebelum masuk ke transesterifikasi basa untuk memastikan efisiensi konversi metil ester.

## 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini mengonfirmasi bahwa proses *degumming* menggunakan asam fosfat berperan penting dalam meningkatkan mutu minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) sebagai kandidat bahan baku biodiesel. Perlakuan optimum tercapai pada konsentrasi asam fosfat 0,3% dengan suhu 70 °C, yang ditandai dengan penurunan kadar asam lemak bebas (ALB) sebesar

66,7% dari 10,5% menjadi 3,1%, penurunan viskositas dari 52,4 cSt menjadi 42,3 cSt, serta pengurangan kadar air dari 0,47% menjadi 0,19%. Penurunan nilai-nilai tersebut menunjukkan keberhasilan proses dalam menghilangkan gum, fosfatida, dan senyawa polar lainnya yang berpengaruh negatif terhadap proses transesterifikasi.

Meskipun terjadi perbaikan signifikan terhadap karakteristik fisiko-kimia minyak, kadar ALB akhir masih melebihi ambang batas <1% yang dipersyaratkan untuk reaksi transesterifikasi basa. Dengan demikian, minyak hasil *degumming* tetap memerlukan tahap esterifikasi pendahuluan berbasis katalis asam sebelum proses transesterifikasi basa untuk menghasilkan biodiesel yang berkualitas tinggi.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa *degumming* menggunakan asam fosfat dengan kondisi yang terkontrol dapat dijadikan tahapan pretreatment yang efektif. Hal ini tidak hanya meningkatkan kelayakan minyak nyamplung sebagai bahan baku biodiesel, tetapi juga berkontribusi terhadap upaya pengembangan energi terbarukan berbasis sumber daya lokal yang berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. M. Waruwu, "Krisis Energi dan Harga Minyak Stabilitas Pasar dan Dampak Terhadap Ekonomi Dunia," *Circle Archive*, vol. 1, no. 2, 2023.
- [2] I. R. Dewi, *Energi Terbarukan: Pemanfaatan Energi Terbarukan sebagai Energi Alternatif yang Berkelanjutan dan Ramah Lingkungan-Rajawali Pers*. PT. RajaGrafindo Persada, 2023.
- [3] K. Y. Suryatini and M. N. Made, "Pemanfaatan potensi minyak goreng bekas (jelantah) sebagai biodiesel," *Emasains: Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, vol. 12, no. 1, pp. 116-124, 2023.
- [4] Y. Palani, C. Devarajan, D. Manickam, and S. Thanikodi, "Performance and emission characteristics of biodiesel-blend in diesel engine: A review," *Environmental Engineering Research*, vol. 27, no. 1, 2022.
- [5] I. Purnama *et al.*, "Environmental Impacts and the Food vs. Fuel Debate: A Critical Review of Palm Oil as Biodiesel," *GCB Bioenergy*, vol. 17, no. 6, p. e70043, 2025.
- [6] N. S. Hanafi, M. Gozan, and S. Abd - Aziz, "Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) Oil," *Biorefinery of Oil Producing Plants for Value - Added Products*, vol. 1, pp. 79-98, 2022.

- [7] F. Pambayun and R. W. Broto, "The Effect of Moisture Content on Reducing the Free Fatty Acid Content of Nyamplung Seed Oil (*Calophyllum inophyllum*) Using Factorial Design Method," *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, vol. 5, no. 1, pp. 31-35, 2023.
- [8] R. L. Aprilia and S. Sukur, "Kajian sifat fisik, kimia, dan biologi pada tanah berpasir di beberapa wilayah indonesia," *Jurnal Agroteknologi*, vol. 1, no. 02, pp. 71-79, 2022.
- [9] S. A. Rahman and H. Baral, "Nature-based solution for balancing the food, energy, and environment trilemma: Lessons from Indonesia," in *Nature-based Solutions for Resilient Ecosystems and Societies*: Springer, 2020, pp. 69-82.
- [10] D. L. Lamas, "Effect of enzymatic degumming process on the physicochemical and nutritional properties of fish byproducts oil," *Applied Food Research*, vol. 2, no. 2, p. 100170, 2022.
- [11] D. L. Lamas, D. T. Constenla, and D. Raab, "Effect of degumming process on physicochemical properties of sunflower oil," *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, vol. 6, pp. 138-143, 2016.
- [12] S. Paisan, P. Chetpattananondh, and S. Chongkhong, "Assessment of water degumming and acid degumming of mixed algal oil," *Journal of environmental chemical engineering*, vol. 5, no. 5, pp. 5115-5123, 2017.
- [13] A. J. Dijkstra, "Enzymatic degumming," *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 112, no. 11, pp. 1178-1189, 2010.
- [14] F. R. Nada Mudia, "Proses Degumming Minyak Biji Bintaro (*Cerbera manghas* L) Dengan Menggunakan Variasi Asam Fosfat Dan Sitrat Dalam Proses Pembuatan Biodiesel," Politeknik Negeri Sriwijaya, 2019.
- [15] I. Pratiwi, Z. L. Sarungallo, and B. Santoso, "Sifat fisikokimia minyak buah merah (*Pandanus conoideus* Lamk.) degumming dan karakteristik mikroenkapsulat minyak buah merah yang dihasilkan," 2020.
- [16] A. P. Mayalibit, Z. L. Sarungallo, and S. N. Paiki, "Pengaruh proses degumming menggunakan asam sitrat terhadap kualitas minyak buah merah (*Pandanus conoideus* Lamk.)," 2019.
- [17] Y. Fransisca, B. Santoso, and Z. L. Sarungallo, "Pengaruh jenis pengemulsi terhadap karakteristik fisik, total karotenoid dan sifat organoleptik mayones dari minyak buah merah (*Pandanus conoideus* Lamk.) degumming," *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 17, no. 3, pp. 706-715, 2023.
- [18] R. Pandey, P. Sanyal, N. Chattopadhyay, and S. Kaul, "Treatment and reuse of wastes of a vegetable oil refinery," *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 37, no. 2, pp. 101-117, 2003.