



ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PROSES ACID DEGUMMING TERHADAP KUALITAS MINYAK PADA PEMBUATAN *PURE PALM OIL*

Derman Francisco Siregar^a, Rico Aditia Prahmana^{a*}, Abdul Muhyi^a, Novalia Anggraini^b, Abdi Hanra Sebayang^c

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365 Indonesia

^bProgram Studi Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Rajabasa, Bandar Lampung, Lampung 35145, Indonesia.

^cProgram Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

*Corresponding authors at: rico.aditia@ms.itera.ac.id (rico) Tel.: +622281098851

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 23 Februari 2026

Direvisi pada 13 Juli 2026

Disetujui pada 16 Juli 2026

Tersedia daring pada 22 Juli 2026

Kata kunci:

Minyak Sawit Murni (PPaO), Minyak Sawit Mentah (CPO), Degumming Asam, Nilai Kalor Bawah (LHV), Viskositas, Biofuel.

Keywords:

Pure Palm Oil (PPaO), Crude Palm Oil (CPO), Acid Degumming, Lower Heating Value (LHV), Viscosity; Biofuel.

ABSTRAK

Bahan bakar fosil yang bersumber dari minyak bumi telah lama menjadi sumber energi utama, tetapi penggunaannya menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan *biofuel* berbasis minyak nabati menjadi alternatif berkelanjutan yang menjanjikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi temperatur pada proses *acid degumming* terhadap Nilai *Lower Heating Value* (LHV) dan viskositas minyak sawit murni (*Pure Palm Oil*/PPaO) yang dihasilkan dari *Crude Palm Oil* (CPO). Proses *acid degumming* dilakukan pada temperatur 65 °C, 75 °C, dan 85 °C menggunakan reaktor minyak sawit, kemudian dilanjutkan dengan tahap netralisasi pada temperatur 80 °C menggunakan larutan *natrium hidroksida* (NaOH). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik minyak. Viskositas menurun seiring meningkatnya temperatur, sedangkan densitas berada pada kisaran 892,02–895,81 kg/m³. Nilai LHV tertinggi, yaitu 8.038 kcal/kg, diperoleh pada temperatur 85 °C. Rentang temperatur optimum 75–85 °C menghasilkan pemisahan fase yang lebih baik serta meningkatkan kemurnian, stabilitas termal, dan potensi energi minyak sawit sebagai bahan baku *biofuel* berkelanjutan.

ABSTRACT

Fossil fuels derived from petroleum have long served as the primary source of energy; however, their use causes adverse environmental impacts. Therefore, the development of vegetable oil-based biofuels has emerged as a promising sustainable alternative. This study aims to examine the effect of temperature variation in the acid degumming process on the lower heating value (LHV) and Viscosity of Pure Palm Oil (PPaO) produced from Crude Palm Oil (CPO). The acid degumming process was carried out at temperatures of 65 °C, 75 °C, and 85 °C using a palm oil reactor, followed by a neutralization stage at 80 °C using a sodium hydroxide (NaOH) solution. The results indicate that increasing the temperature has a significant effect on the physical properties of the oil. Viscosity decreased as the temperature increased, while density ranged from 892.02 to 895.81 kg/m³. The highest LHV of 8,038 kcal/kg was obtained at a temperature of 85 °C. The optimum temperature range of 75–85 °C produced better phase separation and improved the purity, thermal stability, and energy potential of palm oil as a sustainable biofuel feedstock.

1. PENGANTAR

Krisis energi global yang dipicu oleh menurunnya cadangan bahan bakar fosil telah mendorong kebutuhan mendesak akan pengembangan sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Akasah dkk., 2024; Mamola dkk., 2025; Juangsa, dkk., 2024; Prahmana, dkk., 2024). Indonesia masih sangat bergantung pada minyak bumi, dengan tingkat konsumsi mencapai 1,6 juta barel per hari sementara produksi domestik hanya sekitar 600 ribu barel per hari pada tahun 2020. Kondisi ini meningkatkan ketergantungan pada impor serta memperbesar risiko terhadap fluktuasi harga energi global. Dalam upaya mendukung ketahanan energi nasional, *biofuel* berbasis minyak nabati muncul sebagai alternatif yang sangat potensial (Idris dkk., 2024; Prahmana, 2021; Sebayang dkk., 2022; Atmaja

dkk., 2024). Sebagai produsen utama minyak sawit dunia, Indonesia berkontribusi sebesar 59,2% terhadap produksi global pada tahun 2024 (Sulaiman dkk., 2024). Minyak sawit mentah (Crude Palm Oil, CPO) merupakan bahan baku strategis untuk biofuel (Hariyanto dkk., 2026). Namun, pemanfaatan CPO secara langsung sebagai bahan bakar masih menghadapi kendala teknis karena tingginya kadar asam lemak bebas (Free Fatty Acid, FFA) dan kandungan gum (fosfatida, protein, dan karbohidrat) yang dapat menurunkan stabilitas termal serta efisiensi pembakaran. Oleh karena itu, CPO perlu dimurnikan menjadi Pure Palm Oil (PPaO) melalui proses pemurnian dua tahap, yaitu acid degumming menggunakan H_3PO_4 dan netralisasi dengan NaOH (Arsanto dkk., 2022).

Penelitian-penelitian terdahulu telah banyak mengkaji proses pemurnian minyak sawit. Arifin dkk. (2024) melaporkan bahwa efektivitas pemisahan gum sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi, terutama temperatur. Putra dkk. (2024) menambahkan bahwa temperatur pada proses acid degumming berperan penting dalam menentukan keberhasilan pemisahan gum, penurunan kadar FFA, (Latisya, 2022) serta perbaikan karakteristik fisik dan termal minyak. Rodrigues dkk. (2021) menjelaskan bahwa penambahan H_3PO_4 mampu mengubah struktur kimia non-hydratable phosphatides (NHP) menjadi bentuk lebih polar sehingga dapat dipisahkan secara mekanis. Sementara itu, Saputra dkk. (2024) menekankan pentingnya pengendalian kondisi netralisasi, termasuk temperatur, untuk menghindari pembentukan soapstock berlebihan yang dapat menurunkan rendemen minyak murni. Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan, masih terdapat kesenjangan penelitian yang belum terisi secara sistematis. Sebagian besar studi sebelumnya lebih fokus pada efisiensi degumming secara umum atau karakterisasi akhir PPaO tanpa mengkaji secara spesifik pengaruh variasi temperatur pada tahap acid degumming terhadap kualitas PPaO yang dihasilkan. Belum ada penelitian yang secara terukur membandingkan bagaimana perbedaan temperatur (misalnya rendah, sedang, dan tinggi) pada proses degumming dengan H_3PO_4 memengaruhi parameter kualitas kunci seperti kadar FFA sisa, efisiensi pemisahan gum, stabilitas termal, dan potensi energi PPaO sebagai bahan bakar nabati. Selain itu, integrasi antara tahap acid degumming dan netralisasi dalam kerangka optimasi temperatur belum dieksplorasi secara mendalam.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, oleh karena itu pada penelitian ini menyediakan data eksperimental yang sistematis mengenai pengaruh variasi temperatur pada proses acid degumming menggunakan H_3PO_4 terhadap karakteristik kualitas PPaO, yang sebelumnya belum tersedia secara komprehensif dalam literatur. Penelitian ini juga menawarkan identifikasi temperatur optimum yang menghasilkan keseimbangan terbaik antara penurunan kadar FFA, efisiensi pemisahan gum, dan stabilitas termal PPaO, sehingga memberikan kontribusi terhadap pengembangan parameter operasional standar untuk produksi biofuel berbasis minyak sawit murni di Indonesia. Kebaruan ini didukung oleh kajian literatur yang menunjukkan bahwa belum ada studi sebelumnya yang secara khusus dan terukur mengkaji variasi temperatur pada acid degumming dalam konteks penyiapan PPaO untuk bahan bakar nabati.

Sejalan dengan latar belakang permasalahan ketergantungan energi fosil, kesenjangan penelitian yang telah diidentifikasi, serta kajian literatur yang relevan, maka tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur pada proses acid degumming terhadap kualitas hasil pembuatan minyak PPaO. Secara lebih rinci, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perubahan kadar FFA, kadar gum, dan stabilitas termal PPaO pada berbagai temperatur degumming, kemudian menentukan temperatur optimum proses acid degumming yang menghasilkan PPaO dengan kualitas terbaik sebagai bahan baku biofuel, serta mengkaji hubungan antara variasi temperatur dengan efisiensi proses netralisasi lanjutan. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan proses pemurnian CPO menjadi PPaO yang lebih efisien dan berkelanjutan untuk mendukung ketahanan energi nasional.

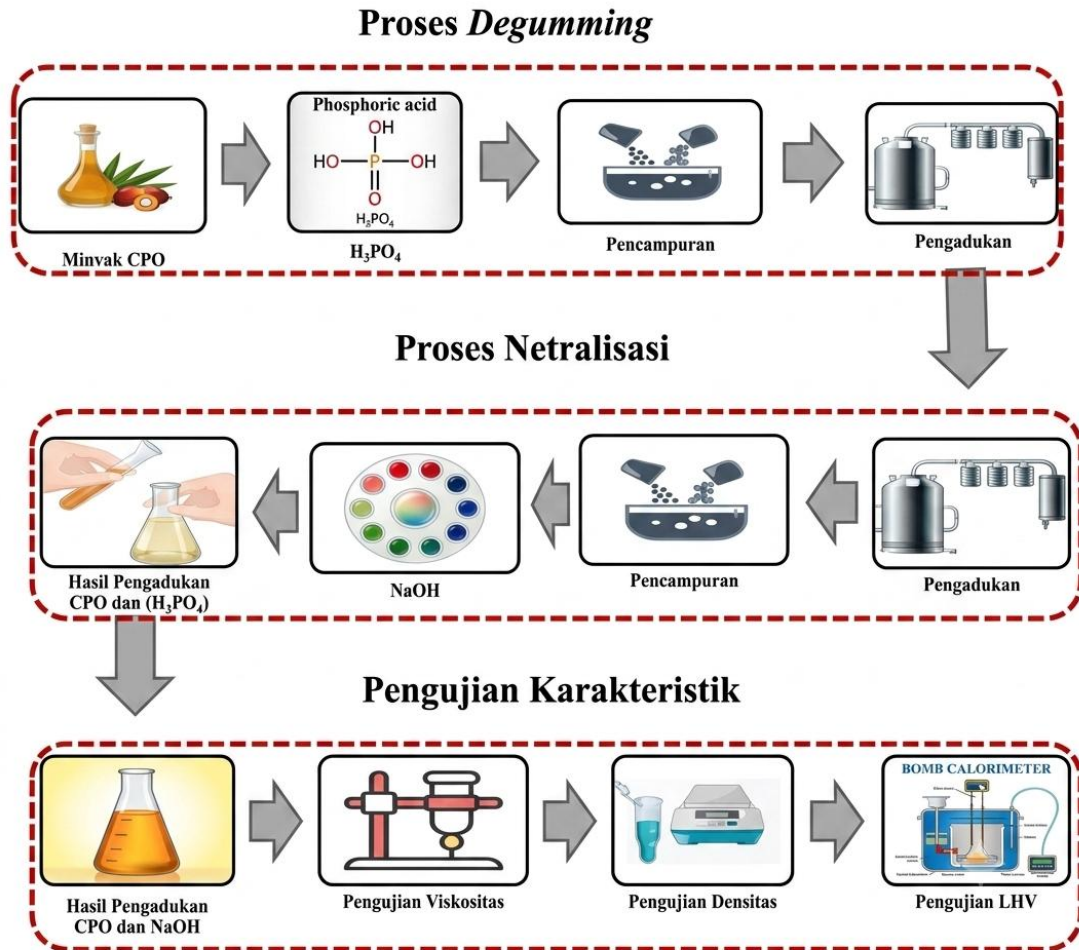
2. METODE

2.1 Skematik Penelitian dan Pengujian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang disusun secara sistematis agar proses berjalan dengan baik dan efisien, seperti terlihat pada Gambar 1. Tahapan penelitian tugas akhir ini dimulai dari proses *degumming*, dilanjutkan dengan proses netralisasi, dan diakhiri dengan serangkaian pengujian karakteristik terhadap produk yang dihasilkan. Pada tahap awal, minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*, CPO) sebanyak 1 liter dicampurkan dengan asam fosfat (H_3PO_4) konsentrasi 0,2%, yang berfungsi mengikat dan mengendapkan fosfatida non-hidratabel (*non-hydratable phosphatides*, NHP) serta berbagai pengotor lainnya. Pencampuran dilakukan dengan pengadukan menggunakan motor DC pada kecepatan 300 rpm selama 60 menit untuk memastikan reaksi berlangsung secara homogen, sehingga terbentuk fase gum yang selanjutnya dipisahkan dari minyak.

Setelah proses degumming selesai, tahap berikutnya adalah netralisasi menggunakan larutan natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi sebanyak 250 mL per liter minyak CPO. Hasil *degumming* dicampurkan dengan larutan NaOH melalui pengadukan lanjutan pada kecepatan 400 rpm selama 30 menit pada temperatur 80 °C. Penambahan NaOH bertujuan menetralkan asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*, FFA) yang masih tersisa dalam minyak melalui reaksi saponifikasi, sehingga terbentuk senyawa sabun (*soapstock*) yang dapat dipisahkan dari fase minyak murni.

Setelah melalui kedua tahap pemurnian tersebut, diperoleh tiga variasi sampel PPaO (*Pure Palm Oil*) yang masing-masing diproses pada temperatur *degumming* berbeda, yaitu PPaO1 (65 °C), PPaO2 (75 °C), dan PPaO3 (85 °C). Ketiga sampel kemudian diuji karakteristik fisik dan termalnya untuk menilai kelayakannya sebagai bahan bakar nabati. Pengujian viskositas dilakukan menggunakan viskometer *Redwood* untuk mengetahui tingkat kekentalan minyak pada berbagai temperatur, pengujian densitas menggunakan piknometer untuk mengetahui massa jenis setiap sampel, serta pengujian nilai kalor menggunakan *bomb calorimeter* untuk menentukan *Lower Heating Value* (LHV) masing-masing sampel PPaO. Setiap pengukuran viskositas, densitas, dan nilai kalor dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan (triplikasi) untuk setiap sampel, dan hasilnya dilaporkan sebagai nilai rata-rata $\pm$ simpangan baku (*standard deviation*) guna menjamin keterulangan (reproduktibilitas) data. Hasil seluruh rangkaian pengujian tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan pengaruh variasi temperatur proses *degumming* terhadap kualitas PPaO yang dihasilkan, sekaligus mengidentifikasi kondisi operasi paling optimum dalam pemurnian CPO menjadi PPaO sebagai bahan baku *biofuel*.



Gambar 1: Skematik penelitian dan pengujian

2.2 Alat dan Bahan

Dalam proses pembuatan dan pengujian pada penelitian ini, diperlukan berbagai alat dan bahan untuk mendukung pelaksanaan eksperimen. Bahan yang digunakan meliputi minyak sawit mentah (CPO) yang diperoleh dari PT. Perkebunan Nusantara VII, asam fosfat (H_3PO_4), dan natrium hidroksida (NaOH). Sementara itu, peralatan yang digunakan dalam kegiatan pengujian, pencampuran, dan pengadukan adalah reaktor minyak sawit murni seperti terlihat pada Gambar 2. Reaktor minyak sawit murni merupakan alat yang dirancang untuk mendukung proses *degumming* dan netralisasi CPO melalui sistem pencampuran yang homogen dan terkendali. Alat ini dilengkapi motor DC *brushless* berkecepatan variabel hingga 2.700 rpm yang mampu menghasilkan torsi stabil guna mengatasi viskositas CPO, sehingga pencampuran antara minyak, metanol, dan katalis berlangsung lebih efektif. Wadah reaktor berbahan *stainless steel* SUS 304 berkapasitas 5 liter dengan pengaduk tunggal dirancang untuk meningkatkan pola aliran radial serta efisiensi transfer massa dan panas. Selain itu, pemanas listrik 500 W dan sistem kontrol temperatur berbasis PID, yang dipadukan dengan pengaturan kecepatan motor menggunakan PWM, memungkinkan pengendalian kondisi reaksi secara presisi. Kombinasi tersebut mendukung optimasi kinetika reaksi dalam konversi CPO menjadi *Pure Palm Oil* (PPaO) secara efisien dan terukur.



Gambar 2: Reaktor minyak sawit murni

Redwood Viscometer Apparatus seperti terlihat pada Gambar 3, digunakan untuk mengukur dan mengamati karakteristik viskositas minyak sawit murni, sehingga viskositas minyak tersebut dapat diketahui. Alat ini memiliki spesifikasi kontrol pemanas yang dapat diatur secara manual maupun digital, dengan rentang temperatur pemanasan antara 0 – 90 °C.



Gambar 3: *Redwood Viscometer Apparatus*

Piknometer yang terlihat pada Gambar 4 (a) merupakan alat yang digunakan untuk menguji nilai densitas dari minyak PPaO melalui pengukuran massa fluida pada volume spesifik. Kapasitas volume piknometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 50 mL. Sementara itu, neraca analitik pada Gambar 4 (b) digunakan untuk menimbang massa minyak secara presisi, yang kemudian digunakan dalam perhitungan nilai densitas tersebut.



(a)



(b)

Gambar 4: (a) Piknometer, dan (b) Neraca Analitik

Bomb Calorimeter seperti terlihat pada Gambar 5 digunakan untuk mengukur nilai kalor (LHV) pada minyak PPaO. Alat ini dapat mengukur nilai kalor dari bahan bakar cair dan padat, termasuk minyak sawit, melalui proses pembakaran sempurna dalam oksigen bertekanan antara 25 hingga 30 atm.



Gambar 5: *Bomb Calorimeter*

2.3 Karakteristik Fisik dan Termal PPaO

Untuk mengetahui seberapa layak PPaO digunakan sebagai bahan bakar pada motor diesel, diperlukan serangkaian pengujian berdasarkan sifat-sifat fisika dan termokimia yang dimiliki oleh PPaO. Sifat-sifat tersebut menjadi acuan identifikasi dalam menentukan tingkat kelayakan minyak sebagai bahan bakar alternatif yang stabil dan efisien. Pengujian karakteristik PPaO dalam penelitian ini meliputi

tiga parameter utama, yaitu pengujian viskositas dengan menggunakan *Redwood Viscometer Apparatus* untuk mengamati perilaku aliran minyak, pengujian densitas menggunakan piknometer dan neraca analitik untuk mengukur kerapatan massa, serta pengujian LHV menggunakan *bomb calorimeter* untuk menentukan nilai kalor atau energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran.

Viskositas merupakan salah satu sifat fisik zat yang menggambarkan tingkat kekentalan atau kemampuan zat tersebut untuk mengalir. Pengujian viskositas pada PPaO menjadi komponen penting untuk memastikan fluida tetap optimal dalam sistem pembakaran motor diesel. Secara lebih teknis, viskositas (kekentalan) didefinisikan sebagai ukuran resistansi suatu fluida terhadap tegangan geser yang terjadi pada dinding tempat fluida tersebut mengalir. Viskositas dinamik (viskositas absolut) menggambarkan hubungan antara tegangan geser dan laju geseran (du/dy). Apabila viskositas dinamik dibagi dengan rapat massa pada temperatur yang sama, maka diperoleh viskositas kinematik. Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan 1 (Ranyono & Caroko, 2024):

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (1)$$

Keterangan:

v = viskositas kinematik (cSt atau mm²/s)

μ = viskositas dinamik (Ns/m²)

ρ = rapat massa (kg/m³)

Berdasarkan standar internasional ASTM D-445 serta prinsip kerja alat ukur viskositas tipe *Redwood*, nilai viskositas kinematik dapat dihitung menggunakan pendekatan empiris yang membedakan dua kondisi waktu alir. Jika waktu alir PPaO kurang dari 100 detik, maka berlaku persamaan 2:

$$v = 0,00269t - \frac{1,79}{t} \quad (2)$$

Sebaliknya, jika waktu alir PPaO lebih dari 100 detik, maka digunakan adalah persamaan 3.

$$v = 0,00247t - \frac{0,50}{t} \quad (3)$$

Keterangan:

v = viskositas kinematik (mm²/s)

t = waktu alir (s)

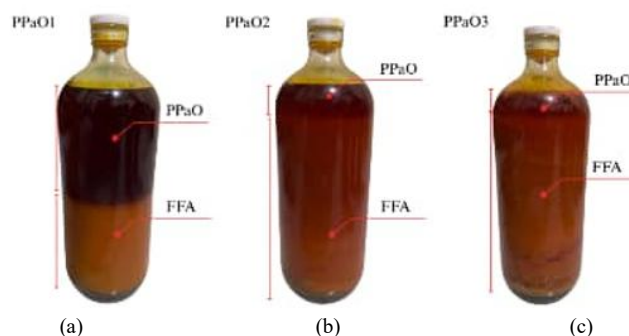
Formulasi pengujian sampel PPaO yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Tabel 1. Tabel tersebut memuat tiga variasi sampel PPaO (PPaO1, PPaO2, dan PPaO3) yang masing-masing diproses pada temperatur *degumming* yang berbeda, yaitu 65 °C, 75 °C, dan 85°C. Setiap sampel kemudian diuji karakteristik fisik dan termalnya meliputi viskositas, densitas, serta nilai *Lower Heating Value* (LHV).

Tabel 1: Formulasi pengujian sampel PPaO

No	Variasi Temperatur (°C)	Formulasi sampel
1	65	PPaO1
2	75	PPaO2
3	85	PPaO3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

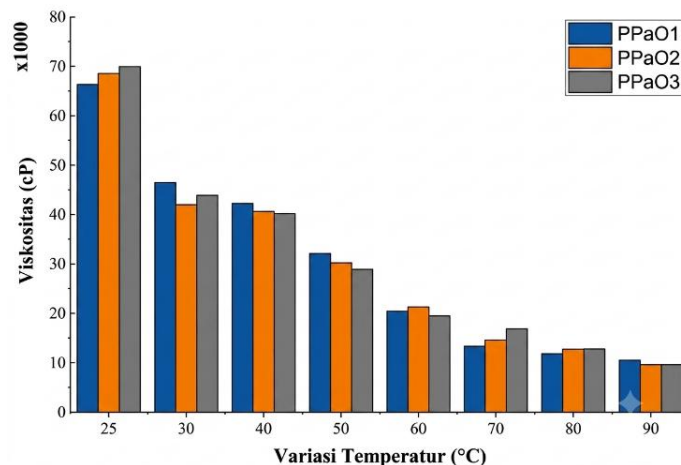
Karakteristik visual terhadap minyak PPaO yang telah diendapkan selama 10 jam pada temperatur ruangan (25 °C) ditampilkan pada Gambar 6. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ketiga sampel, yaitu PPaO1, PPaO2, dan PPaO3, menunjukkan perbedaan yang nyata pada warna, tingkat kejernihan, serta jumlah endapan yang terbentuk. Setelah proses pengendapan berlangsung, setiap sampel membentuk dua lapisan utama. Lapisan atas berupa minyak PPaO murni, sedangkan lapisan bawah mengandung asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*, FFA) serta partikel-partikel pengotor yang berhasil dipisahkan selama proses pemurnian. Perbedaan karakteristik visual antar sampel ini mengindikasikan bahwa variasi temperatur pada proses *degumming* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas pemisahan fase dan kemurnian minyak PPaO yang dihasilkan.



Gambar 6: Hasil pengamatan selama 10 jam (a) PPaO1, (b) PPaO2, dan (c) PPaO3

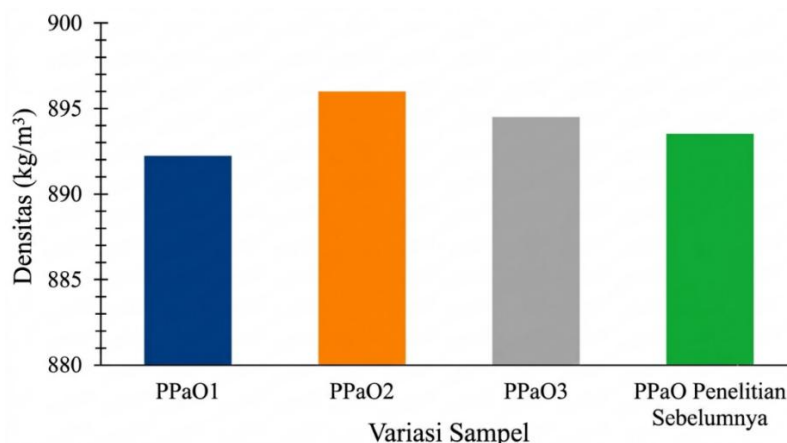
Hasil visual menunjukkan bahwa variasi temperatur proses berpengaruh nyata terhadap efektivitas pemisahan fase dan rendemen minyak PPaO. Sampel PPaO1 yang diproses pada temperatur 65 °C menghasilkan pemisahan fase paling baik, ditandai dengan dominasi lapisan minyak murni sekitar 40% serta tingkat kejernihan yang tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa pada temperatur tersebut penurunan kadar FFA dan pengotor berlangsung efektif tanpa memicu reaksi saponifikasi berlebih. Pada sampel PPaO2 dengan temperatur 75 °C, pemisahan fase masih terlihat jelas, tetapi rendemen minyak murni menurun menjadi sekitar 35% disertai peningkatan endapan FFA; kenaikan temperatur mempercepat reaksi netralisasi, namun juga mulai memicu reaksi samping antara trigliserida dan basa. Sementara itu, sampel PPaO3 pada temperatur 85 °C menghasilkan rendemen terendah, yaitu sekitar 33%, dengan lapisan FFA yang lebih tebal dan pekat akibat saponifikasi berlebih yang mengonversi sebagian trigliserida menjadi *soapstock*. Dengan demikian, ditinjau dari parameter pemisahan fase dan rendemen, temperatur 65 °C merupakan kondisi operasi paling optimum karena menghasilkan volume minyak murni tertinggi, tingkat kejernihan yang baik, serta pembentukan endapan FFA yang minimal. Meskipun demikian, sebagaimana akan ditunjukkan pada hasil pengujian viskositas dan nilai kalor, peningkatan temperatur hingga 85 °C memberikan keunggulan pada sifat aliran dan potensi energi minyak, sehingga penentuan kondisi optimum secara keseluruhan perlu mempertimbangkan kompromi (*trade-off*) antara rendemen dan kualitas termal produk.

Selanjutnya, Gambar 7 menyajikan perbandingan pengaruh variasi temperatur terhadap viskositas ketiga sampel PPaO. Hasil pengujian pada rentang temperatur 25–90 °C menunjukkan bahwa peningkatan temperatur berpengaruh signifikan terhadap penurunan nilai viskositas minyak. Seluruh sampel memperlihatkan pola penurunan yang konsisten, sejalan dengan karakteristik fluida Newtonian, karena meningkatnya temperatur melemahkan gaya kohesi antarmolekul trigliserida. Dengan demikian, pengendalian temperatur menjadi faktor kunci dalam proses pemurnian minyak sawit untuk memperoleh karakteristik aliran dan performa termal yang diinginkan.



Gambar 7: Perbandingan variasi temperatur (°C) terhadap viskositas (cP)

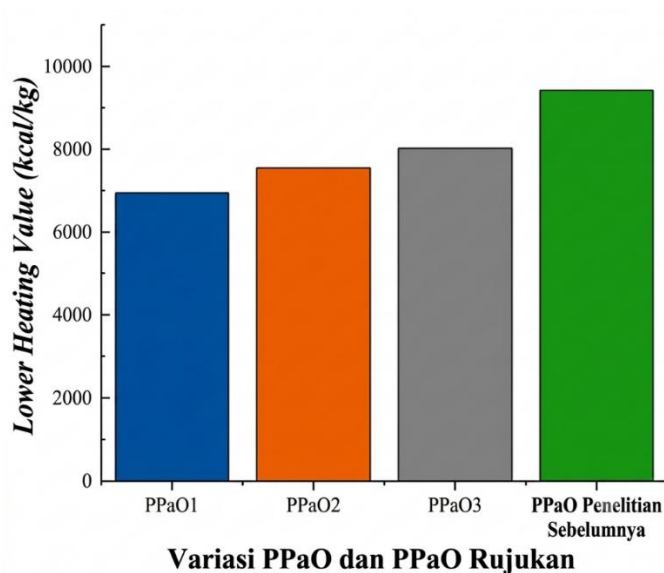
Secara komparatif, PPaO3 memiliki nilai viskositas awal tertinggi sebesar 69,691 cP pada 25 °C dan menurun hingga 9,662 cP pada 90 °C, sedangkan PPaO1 dan PPaO2 menunjukkan nilai viskositas awal yang lebih rendah namun tetap mengalami penurunan signifikan seiring kenaikan temperatur. Perbedaan nilai viskositas antar sampel terlihat lebih nyata pada temperatur rendah, sementara pada ujung atas rentang pengujian, yaitu mendekati 90 °C, nilai viskositas ketiga sampel cenderung saling mendekat (konvergen). Berdasarkan kecenderungan tersebut, dapat diprediksi bahwa pada temperatur di atas 90 °C — di luar rentang pengujian pada penelitian ini — perbedaan viskositas antar sampel akan semakin kecil, meskipun hal ini memerlukan verifikasi eksperimental lebih lanjut menggunakan alat dengan rentang pengukuran yang lebih luas. Pola konvergensi ini mengindikasikan bahwa pengaruh perbedaan komposisi awal minyak akibat variasi kondisi pemurnian semakin berkurang pada temperatur tinggi, sehingga karakteristik aliran ketiga sampel cenderung seragam pada rentang temperatur kerja mesin diesel yang umumnya beroperasi pada suhu tinggi.



Gambar 8: Perbandingan Hasil Pengujian Densitas PPaO dengan Rujukan (Juangsa, dkk., 2024; Prahmana, dkk., 2024)

Berdasarkan Gambar 8, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai densitas ketiga variasi sampel PPaO berada dalam kisaran 892,02–895,81 kg/m³. Nilai tertinggi diperoleh oleh sampel PPaO2 sebesar 895,81 kg/m³, sedangkan nilai terendah diperoleh oleh sampel PPaO1 sebesar 892,02 kg/m³, dan sampel PPaO3 menempati urutan kedua di antara ketiganya. Dari nilai densitas antar variasi tersebut terlihat bahwa perbedaan temperatur pada proses *degumming* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap massa jenis total campuran. Secara teoritis, densitas fluida dipengaruhi oleh struktur molekul dan kekuatan interaksi antarmolekul dalam sistem campuran, di mana campuran yang mengandung molekul dengan ukuran serta massa molar yang lebih besar umumnya memiliki densitas yang lebih tinggi. Karena pengujian dilakukan pada kondisi temperatur ruang yang konstan, pengaruh temperatur terhadap hasil pengukuran dapat diabaikan.

Konsistensi hasil ini menegaskan bahwa PPaO yang dihasilkan memiliki sifat fisik yang sebanding dengan minyak nabati pada umumnya, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan bakar nabati (*biofuel*). Apabila dibandingkan dengan nilai densitas PPaO rujukan sebesar 893,5 kg/m³, seluruh hasil pengujian densitas pada PPaO1, PPaO2, dan PPaO3 menunjukkan tingkat kesesuaian yang baik. Perbedaan nilai densitas yang relatif kecil tersebut dapat dipengaruhi oleh variasi kondisi proses, perbedaan karakteristik bahan baku CPO, serta metode pengujian yang digunakan.



Gambar 9: Perbandingan Hasil Pengujian LHV PPaO dengan Rujukan (Juangsa, dkk., 2024; Prahmana, dkk., 2024)

Dari hasil pengujian yang disajikan pada Gambar 9 diketahui bahwa hasil pengujian *Lower Heating Value* (LHV), ketiga sampel minyak PPaO menunjukkan perbedaan nilai kalor yang cukup signifikan, di mana PPaO1 memiliki nilai LHV sebesar 6.946 kcal/kg, PPaO2 sebesar 7.567 kcal/kg, dan PPaO3 mencapai nilai tertinggi yaitu 8.038 kcal/kg. Kecenderungan peningkatan LHV tersebut mengindikasikan bahwa perbaikan kondisi proses pemurnian berperan penting dalam meningkatkan kualitas energi minyak, terutama melalui penurunan kandungan air dan pengotor non-energetik serta peningkatan fraksi trigliserida yang bersifat mudah terbakar. Nilai LHV yang relatif rendah pada PPaO1 menunjukkan masih adanya fraksi pengotor yang menurunkan efisiensi pembakaran, sedangkan peningkatan signifikan pada PPaO2 dan PPaO3 mencerminkan efektivitas proses *degumming* dan netralisasi dalam memperbaiki komposisi kimia minyak. PPaO3 dengan nilai LHV tertinggi mengindikasikan kualitas termal terbaik akibat semakin rendahnya kadar pengotor dan meningkatnya kestabilan struktur molekul minyak, meskipun penggunaan temperatur proses yang terlalu tinggi tetap perlu dikendalikan untuk mencegah degradasi termal.

Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa variasi kondisi proses pemurnian berpengaruh nyata terhadap nilai kalor minyak, dan PPaO khususnya PPaO3 memiliki potensi yang menjanjikan sebagai bahan bakar nabati yang mampu menghasilkan energi pembakaran lebih tinggi dan efisien. Apabila dibandingkan dengan nilai LHV PPaO rujukan sebesar 9.451 kcal/kg, seluruh variasi PPaO hasil penelitian masih menunjukkan nilai yang lebih rendah. Selisih nilai LHV antara PPaO3 dan PPaO rujukan tercatat sekitar 1.413 kcal/kg atau setara dengan perbedaan sebesar $\pm 15\%$. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh variasi karakteristik bahan baku, metode pengolahan, kondisi proses seperti temperatur dan waktu, serta tingkat pemurnian produk yang digunakan dalam penelitian rujukan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa variasi temperatur pada proses acid *degumming* berpengaruh signifikan terhadap karakteristik fisik dan kualitas *Pure Palm Oil* (PPaO) yang dihasilkan dari *Crude Palm Oil* (CPO). Peningkatan temperatur proses menyebabkan penurunan nilai viskositas minyak, sedangkan densitas relatif stabil pada rentang 892,02–895,81 kg/m³, yang menunjukkan bahwa perbedaan temperatur *degumming* tidak berpengaruh signifikan terhadap massa jenis minyak yang dihasilkan. Nilai *Lower Heating Value* (LHV) cenderung meningkat seiring kenaikan temperatur proses, dengan nilai tertinggi sebesar 8.038 kcal/kg dicapai oleh PPaO3 pada temperatur 85 °C, yang mengindikasikan peningkatan potensi energi minyak. Namun, ditinjau dari rendemen dan efektivitas pemisahan fase, temperatur 65 °C (PPaO1) memberikan hasil terbaik dengan volume minyak murni tertinggi sekitar 40%, tingkat kejernihan paling

baik, dan pembentukan endapan FFA yang minimal, sementara temperatur 85 °C memicu saponifikasi berlebih yang menurunkan rendemen hingga sekitar 33%.

Hasil ini menunjukkan adanya kompromi (*trade-off*) antara potensi energi dan efisiensi rendemen dalam pemilihan temperatur proses. Dengan mempertimbangkan bahwa penurunan rendemen sebesar $\pm 7\%$ pada temperatur tinggi tidak sebanding dengan peningkatan nilai kalor yang diperoleh, temperatur 65 °C direkomendasikan sebagai kondisi operasi optimum karena menghasilkan keseimbangan terbaik antara kuantitas dan kualitas PPao. Secara keseluruhan, pengendalian temperatur pada proses *acid degumming* terbukti menjadi faktor kunci dalam menentukan kemurnian, karakteristik termal, dan kelayakan minyak sawit sebagai bahan baku *biofuel* yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada LPPM ITERA yang telah mendanai penelitian ini melalui program HIBAH Penugasan Pada tahun 2025 berdasarkan surat perjanjian/kontrak nomor 3401/IT9.2.1/PT.01.03/2025.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat dianggap memengaruhi hasil atau pembahasan dalam artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akasah, A., Aditia Prahmana, R., Meurah, T., Riayatsyah, I., Afisna, L. P., & Syauckani, M. (2024). Uji Performa Motor Diesel Satu Silinder Generator Set Menggunakan Campuran Bahan Bakar *Crude Palm Oil-Dexlite* Dengan Penambahan Bioaditif Alami. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 47–55.
- Almay Arsanto, D., Wahyu Pratama, D., Sumbogo Murti, S., Soraya, S., & Widya, W. (2022). Penentuan Tingkat Efisiensi Komposisi H3Po4 pada Proses Degumming dalam Pembuatan Pure Plant Oil dari *Crude Palm Oil off-Grade*. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 3(07), 877–889.
- Amran Sulaiman, A., Djufry, F., Syamsuri, P., Setiyanto, A., Haris Bahrin, A., Hendrawati, D., & Fauzan Ridha, M. (2024). *Sawit Indonesia Dalam Dinamika Pasar Dunia*. Redaksi Pertanian Press.
- Arifin, A. Z., Fadhillah, R. I., & Saputro, E. A. (2024). Optimasi Peningkatan Karakteristik *Crude Palm Oil* (CPO) sebagai Bahan Bakar Diesel. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 24(3), 2464.
- Hariyanto, Nelza, N., Arsil, F., Gusfityesi, & Maulidna. (2026). Kajian Teknis Kehilangan Minyak Pada Kolam Fat Pit dalam Upaya Peningkatan Rendemen *Crude Palm Oil*. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(1), 30–37.
- Idris, M., Hermanto, T., Syah, R., Husein, M., & Sitinjak, S. (2024). Pembuatan Biodiesel Dari Limbah Minyak Goreng: Studi Perbandingan Berbagai Waktu Reaksi. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 64–71.
- Latisya, S. (2022). Teknologi Proses Untuk Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Kelapa Sawit. *WARTA Pusat Penelitian Kelapa Sawit*, 27(2), 78–91.
- Mamola, R., Nurcholik, S. D., Prahmana, R. A., Juangsa, F. B., Pratama, R. H., Prihasto, B., Suardi, S., & Sa'adiyah, D. S. (2025). Pure Palm Oil Spray Characteristics Of Diesel Fuel Injector. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(1), 383–390.
- Prahmana, R. A. (2021). Effects of Bioadditives and Commercial Additive on the Performance and Exhaust Emissions of a Gasoline Engine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 830(1), 012077.
- Prahmana, R. A., Darmanto, P. S., Juangsa, F. B., Reksowardojo, I. K., Prakoso, T., Hendarsakti, J., Serunting, M. A., Yuwazama, Z., & Ahmad, A. H. (2024). The influence of acetylene black microparticles as a fuel additive in pure palm oil and its performance characteristic on diesel engine. *Results in Engineering*, 23, 102390.
- Prahmana, R. A., Darmanto, P. S., Reksowardojo, I. K., Riayatsyah, T. M. I., Fahmi, A. G., Juangsa, F. B., Prakoso, T., Sebayang, A. H., Syauckani, M., Yuwazama, Z., & Widoyoko, W. T. N. (2024). Effect of graphite microparticles as additive in an indirect diesel engine fuelled with pure palm oil. *Journal of Oil Palm Research*, 36(3), 445–455.
- Putra, R. L., Zahrina, I., & Aziz, Y. (2024). *Journal Review: Kinetika Penghilangan Fosfatida Crude Palm Oil Melalui Proses Acid Degumming*.

- Rodrigues, M. S., Dos Passos, R. M., Pontes, P. V. de A., Ferreira, M. C., Meirelles, A. J. A., Stevens, C. V., Maximo, G. J., & Sampaio, K. A. (2021). Enzymatic Degumming of Rice Bran Oil Using Different Commercial Phospholipases and Their Cocktails. *Life* 2021, Vol. 11, Page 1197, 11(11), 1197.
- Saputra, H., Rantawi, A. B., Siregar, A. L., Rahardja, I. B., & Simatupang, D. F. (2024). Red Palm Oil from Crude Palm Oil Refinement Using The Acid Degumming Method. *International Journal of Applied Research and Sustainable Sciences*, 2(6), 455–464.
- Sebayang, A. H., Milano, J., Shamsuddin, A. H., Alfansuri, M., Silitonga, A. S., Kusumo, F., Prahmana, R. A., Fayaz, H., & Zamri, M. F. M. A. (2022). Modelling and prediction approach for engine performance and exhaust emission based on artificial intelligence of *sterculia foetida* biodiesel. *Energy Reports*, 8, 8333–8345.
- Setya Atmaja, M., Hendrarsakti, J., Meurah, T., Riayatsyah, I., Syaukani, M., & Sebayang, A. H. (2024). Unjuk Kerja Mesin Diesel Generator Set Dengan Variasi Campuran Dexlite-Virgin Coconut Oil Melalui Metode Tanpa Pemanasan. *SINERGI POLMED: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 38–46.
- Utuh Ranyono, S., & Caroko, N. (2024). Pengaruh Level Campuran Biodiesel Nyamplung-Solar (B5-B40) Terhadap Densitas, Viskositas Dan Sudut Injeksi Bahan Bakar. *JMPM: Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, XX, No.XXX.