p-ISSN: 1907-8056
e-ISSN: 2527-5410
AGROINTEK
Jurnal Teknologi Industri Pertanian
journal homepage: journal.trunojoyo.ac.id/agrointek

Optimasi proses degumming minyak sawit mentah (DRPO) dengan *response surface methodology* (RSM) berbasis *central composte design* (CCD)

Jefri Pandu Hidayat[1*], Rizka Lestari[1], Siti Munfarida[2], Andini Angelina Putri[1], Adrian Prananda Putra[1], Fidela Chosta[3], Ahmad Maulidi[1]

[1]*Teknik Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia*
[2]*Teknologi Pangan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia*
[3]*Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia*

Article history
Diterima:
19 Juni 2024
Diperbaiki:
11 Oktober 2024
Disetujui:
17 Oktober 2024

Keyword
Carotene;
CPO;
Degumming;
Optimization;
RSM

ABSTRACT

Crude palm oil (CPO) is widely used in various processed food products, especially cooking oil. Refining cooking oil involves high heating temperatures and the addition of bleaching earth, which aims to remove the sap and brown-red color. As a result, it can eliminate the carotene, which is not functionally used for good human metabolism. This research aims to remove sap and impurities in CPO by analyzing the optimal operation of heating temperature (60-80 °C) and phosphoric acid concentration (0.5-2 ml) and comparing the functional group change on the degumming process. The analytical method used was Response Surface Technology (RSM) by Central Composite Design (CCD) at Design Expert 12, which used carotene, density, and free fatty acid (FFA) responses. The results are optimal variables on heating temperature 80 °C and 2 ml of phosphoric acid concentration. The result of %FFA in DRPO was 1.917 %, the carotene was 381,350 ppm, and the density was 0.909 g/l. Heating temperature influences the FFA content, which is an important consideration. Higher temperatures can lead to an increase in FFA content. Indeed, lipase activation significantly affects the FFA content by accelerating the enzyme-catalyzed reaction. Apart from that, the addition of phosphoric acid affects the increase in FFA due to the non-reaction of phosphoric acid. The physicochemical characteristics of palm oil after the degumming process have not changed significantly, with the density before and after the degumming process still being in the range of (0.909–0.912) g/l. Group bonds have no change because the C-H and C=O group bonds in the main triglyceride compound. It requires a lot of energy to break the triglyceride cluster chains. The preliminary FFA model was revealed $y = 0.169(T) - 0.1064(V) - 1.5$ *to degummed reactor design, further.*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

[*] Penulis korespondensi
Email : jefri.pandu@lecturer.itk.ac.id
DOI 10.21107/agrointek.v19i2.26063

PENDAHULUAN

Minyak sawit merupakan komoditas perkebunan yang memiliki banyak manfaat di berbagai bidang mulai dari kosmetik, pangan, dan biodiesel. Salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia yaitu Indonesia, dengan luasan kebun *degumming* sawit mencapai 16,8 juta hektar (BPS 2023), yang peranannya sebagai sumber strategis perekonomian negara. Tercatat produksi minyak sawit tahun 2018 sebesar 48,68 juta ton, yang terdiri dari 40,57 juta ton *crude palm oil* (CPO) dan 8,11 juta ton *palm kernel oil* (PKO) yang berasal dari perkebunan rakyat sebesar 35%, perkebunan besar negara sebesar 5% dan perkebunan besar swasta sebesar 60% (BPS 2023). Adapun hasil perkebunannya yakni minyak sawit mentah atau *crude palm oil* (CPO).

CPO merupakan minyak sawit mentah yang memiliki tekstur kasar yang dihasilkan dari bagian sabut buah sawit. Adapun komponen utama yang terkandung pada minyak sawit yaitu trigliserida dengan persentase 94%, asam lemak 3-5% dan komponen lainnya 1% seperti β-karoten merupakan provitamin A, serta sumber pigmen warna merah-oranye, tokoferol, tokotrienol, triterpene, alkohol, fosfolipida, glikolipida, dan berbagai asam volatil yang menyebabkan bau dan rasa tidak enak (asam lemak bebas dan komponen non gliserida) (Sulihatimarsyila et al. 2020; Zhu et al. 2015). CPO sering digunakan untuk membuat minyak goreng dengan menggunakan suhu pemanasan yang tinggi dengan tambahan *bleaching earth* pada proses pemurnian, sehingga warna merah pada minyak hilang, lalu menjadi lebih cerah (Hidayat et al. 2022). Hal tersebut dapat menghilangkan senyawa bioaktif karoten pada CPO. Oleh sebab itu, dibutuhkan inovasi untuk mengolah CPO menjadi *red palm oil* (RPO) yang kaya akan kandungan karoten. CPO yang digunakan sebagai bahan baku produksi RPO harus diolah terlebih dahulu, karena masih mengandung pengotor seperti getah dalam bentuk fosfolipid, kotoran dan residu lainnya yang dapat merusak kualitas minyak jika tidak dihilangkan. Pengolahan minyak sawit kasar yaitu melalui proses permurnian awal yang juga disebut *degumming*. Tujuannya untuk menghilangkan fosfolipid atau gum dari minyak sawit mentah (Zikri et al. 2020).

Proses *degumming* merupakan proses tahap pemurnian yang bertujuan untuk memisahkan getah dan lendir dalam bentuk fosfolipid, protein, residu dan karbohidrat dalam minyak tanpa mengurangi jumlah asam lemak bebas (Mayalibit et al. 2019). Proses yang dilakukan yaitu dengan penambahan asam fosfat yang berfungsi untuk memisahkan fosfatida yang merupakan sumber rasa dan warna yang memengaruhi kualitas minyak dan umur simpan minyak (Łaska-Zieja et al. 2020; Nidzam et al. 2022). Penggunaan asam fosfat pada proses *degumming* harus diperhatikan, jika dosis asam fosfat pada proses ini kekurangan atau kelebihan dapat memicu warna hitam pada minyak saat proses deodorisasi. Oleh karena itu, dengan bantuan *response surface methodology* (RSM) agar didapat secara matematis jumlah asam fosfat yang ditambahkan untuk menjaga proses *degumming* tetap optimal.

Metode ini merupakan suatu teknik penyelesaian masalah untuk menemukan kondisi optimal *degumming* dengan perlakuan suhu dan konsentrasi asam fosfat melalui pendekatan matematis dan statistik dalam suatu model. Dengan menggunakan metode ini dapat memperoleh hasil yang lebih efektif dan efisien, bila dibandingkan dengan teknik konvensional yang harus melakukan percobaan berulang-ulang (Tripathi et al. 2015). Dengan melakukan pemilihan permodelan berupa model 2FI (Interaksi Dua Faktor) menggunakan *central composite design* (CCD).

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan kondisi operasi optimal *degumming* dari interaksi dua faktor (suhu pemanasan dalam rentang (60-80°C) dan konsentrasi asam fosfat dalam rentang (0,5-2 ml) berbasis CCD serta membandingkan perubahan gugus fungsi pada perlakuan tersebut, yang dianalisis berdasarkan respon sifat fungsional (karoten, asam lemak bebas dan densitas) *degummed red palm oil* (DRPO).

METODE

Bahan dan Alat

CPO diperoleh dari perusahaan sawit di wilayah Sepaku, Kalimantan Timur, asam fosfat (H_3PO_4) 85% *food grade*, natrium hidroksida (NaOH) merek Merck, n-hexane (C_6H_{14}) merek Merck, Propanol (C_3H_8O) merek Merck dan akuades diperoleh dari distributor bahan kimia di Kalimantan Timur.

Persiapan Sampel

Preparasi sampel pada penelitian ini bertujuan untuk menghomogenkan CPO dengan

kondisi yang mula-mula membeku yang tidak tercampur merata karena terbentuk dua layer yaitu padatan dan cairan. CPO yang masih terbentuk dua layer memerlukan pemanasan agar sampel berwujud cair. Hal ini dikarena CPO memiliki titik beku (21-24)°C. Adapun kondisi operasi yang digunakan untuk pemanasan sampel yaitu dengan mengambil sampel sebanyak 240 ml menggunakan suhu (60-70)°C selama (15-20) menit sampai terlihat tidak ada layer padatan yang masih tersisa. Setelah itu sampel dapat dipanaskan sesuai dengan suhu *degumming*.

Acid Degumming

Acid degumming merupakan proses penghilangan zat-zat pengotor yang terdapat dalam minyak berupa fosfatida yang berbentuk gum dan impurities lainnya dengan proses pemanasan, pengadukan dan penambahan asam fosfat dengan dosis tertentu sesuai dengan variabel yang telah ditentukan. Pada proses ini terdapat 13 *run* variabel untuk mendapatkan kondisi optimal.

Adapun variabel tetap pada proses *degumming* yaitu, dilakukannya pengadukan dengan kecepatan 200 rpm selama 30 menit dan di tutup menggunakan alumunium foil. Proses pengadukan bertujuan untuk menghomogenkan asam fosfat dengan minyak agar fosfatida dapat terikat dengan asam fosfat dan akan mengendap dibagian bawah minyak yang nantinya akan disaring secara fisik sebelum dilakukannya sentrifugasi. Setelah proses *degumming* telah dilakukan sampel akan didiamkan selama 20-30 menit menunggu sampel sedikit hangat dan pengendapan gum dapat terpisah kebagian bawah minyak.

Sentrifugasi

Sentrifugasi merupakan proses pemisahan gum setelah *degumming* yang masih terkandung didalam minyak yang tidak dapat dipisahkan melalui penyaringan sederhana menggunakan kain saring karena masih menyatu dengan minyak sehingga diperlukan sentrifugasi agar gum dapat terpisah dengan fraksi minyak dengan menggunakan *centrifuge* dengan menggunakan kecepatan 3000 rpm selama 30 menit (Arsanto et al. 2022). Setelah dilakukan sentrifugasi didapatkan fraksi berat dan ringan, dimana fraksi berat berupa gum dan fraksi ringan yaitu minyak. Tahap selanjutnya, antara fraksi berat dan ringan dipisahkan dengan mengambil fraksi ringan dengan menuangkan ke wadah lain dan didapatkan minyak hasil *degumming*.

Uji Densitas

Salah satu parameter kualitas minyak yaitu densitas, yang dapat diukur dengan membandingkan massa dan volume menggunakan piknometer (Hidayat et al., 2023). Persamaan (1) digunakan untuk menghitung densitas.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Kualitas minyak yang baik berada pada jangkauan (860-910) kg/m³ atau (0,86-0,91) g/dm³. Berdasarkan SNI 7709-2012, berat jenis minyak goreng komersial yaitu 0,9 g/l.

Uji Asam Lemak Bebas (FFA)

Kadar *free fatty acid* (FFA) ditentukan dengan menggunakan metode titrasi sesuai AOCS dengan beberapa modifikasi (Widiastuti et al. 2022). Sampel sebanyak 5 g ditimbang dan dipanaskan pada suhu 50°C. Selanjutnya dicampurkan dengan propanol sebanyak 50 ml. Larutan dititrasi dengan 0,1026 N NaOH untuk proses titrasi. Persentase FFA dihitung sebagai asam palmitat dengan berat molekul sebesar 25,6. Persamaan (2) digunakan dalam perhitungan FFA

$$\text{FFA\%} = \frac{25{,}6 \times \alpha \times \text{N}}{\text{W}} \quad (2)$$

Berdasarkan SNI 7709-2012 minyak goreng sawit, kadar asam lemak bebas (dihitung sebagai asam palmitat) dengan persyaratan maksimal 0,3% (BSN 2019).

Uji Karoten

Uji karoten digunakan dengan mengadopsi prosedur MPOB Test Method (Bhargava et al. 2020) dengan UV-Vis Spectrophotometer *single beam* merek Thermo Scientific (AQB 100). Menimbang sampel 0,1 g dan dimasukkan ke dalam labu takar 25 mL dan ditambahkan pelarut n-heksan sampai dengan tanda tera, kemudian dihomogenkan. Absorbansi dari campuran diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada Panjang gelombang 446 nm. Persamaan (3) merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung kadar karoten (ppm).

$$\text{Karoten (ppm)} = \frac{25 \text{ x A x } 383}{\text{W x } 100} \quad (3)$$

Berdasarkan SNI 7709-2012, kadar karoten dalam minyak goreng minimum 30 ppm dengan warna minyak kuning-jingga (BSN 2019).

Uji Gugus Fungsi

Sampel dianalisis meggunakan FTIR Spektrofotometer Bruker Alpha II dengan menembakkan gelombang infrared di gelombang menengah dengan rentang (600-4000)/cm dengan resolusi 4/cm (Muñoz-Almagro et al. 2021). Tujuan dilakukannya FTIR yaitu untuk mengetahui pengaruh pemanasan serta penambahan asam fosfat terhadap perubahan gugus fungsi pada CPO sebelum dan sesudah dilakukan proses *degumming* (DRPO).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis hasil ANOVA Model dan *Lack Of fit* harus bernilai p-values < 0,05 untuk membuktikan bahwa model variabel pada hasil pengujian sudah sesuai dengan grafik pada RSM. Parameter yang diuji adalah nilai karoten, FFA, dan densitas dengan variabel suhu dan konsentrasi sesuai tabel 1.

Tabel 1 Desain penelitian RSM

Run	Factor 1 A: Suhu (°C)	Factor 2 B: Konsentrasi (ml)
1	70	1.25
2	80	2
3	80	0.5
4	55.8579	1.25
5	84.1421	1.25
6	70	1.25
7	70	1.25
8	70	1.25
9	70	2.31066
10	60	0.5
11	60	2
12	70	0.18934
13	70	1.25

Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil analisis dari pengaruh kondisi operasi terhadap kandungan FFA, karoten dan densitas minyak merah dari proses *degumming* yang mana terjadi kenaikan dan penurunan FFA ditandai dengan kandungan FFA crude palm oil mula-mula 1,468%, sedangkan setelah dilakukan proses *degumming* rentang FFA yang terkandung dalam minyak berada pada rentang (1,099-1,917)%, begitupun dengan kandungan karoten terjadi penurunan dengan total karoten mula-mula 422,041 ppm dan setelah dilakukan proses *degumming* kandungan karoten minyak sawit berada pada rentang (360,288-411,490) ppm. Hal berbeda pada densitas yang masih berada pada rentang (0,909-0,910) g/l. Dari data respon yang didapat pada Tabel 1 untuk menentukan variabel optimal pada proses *degumming* maka harus diketahui grafik *residual* vs *predicted* yang dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 2 Hasil pengukuran kadar FFA, karoten, dan densitas minyak sawit merah degummed (DRPO)

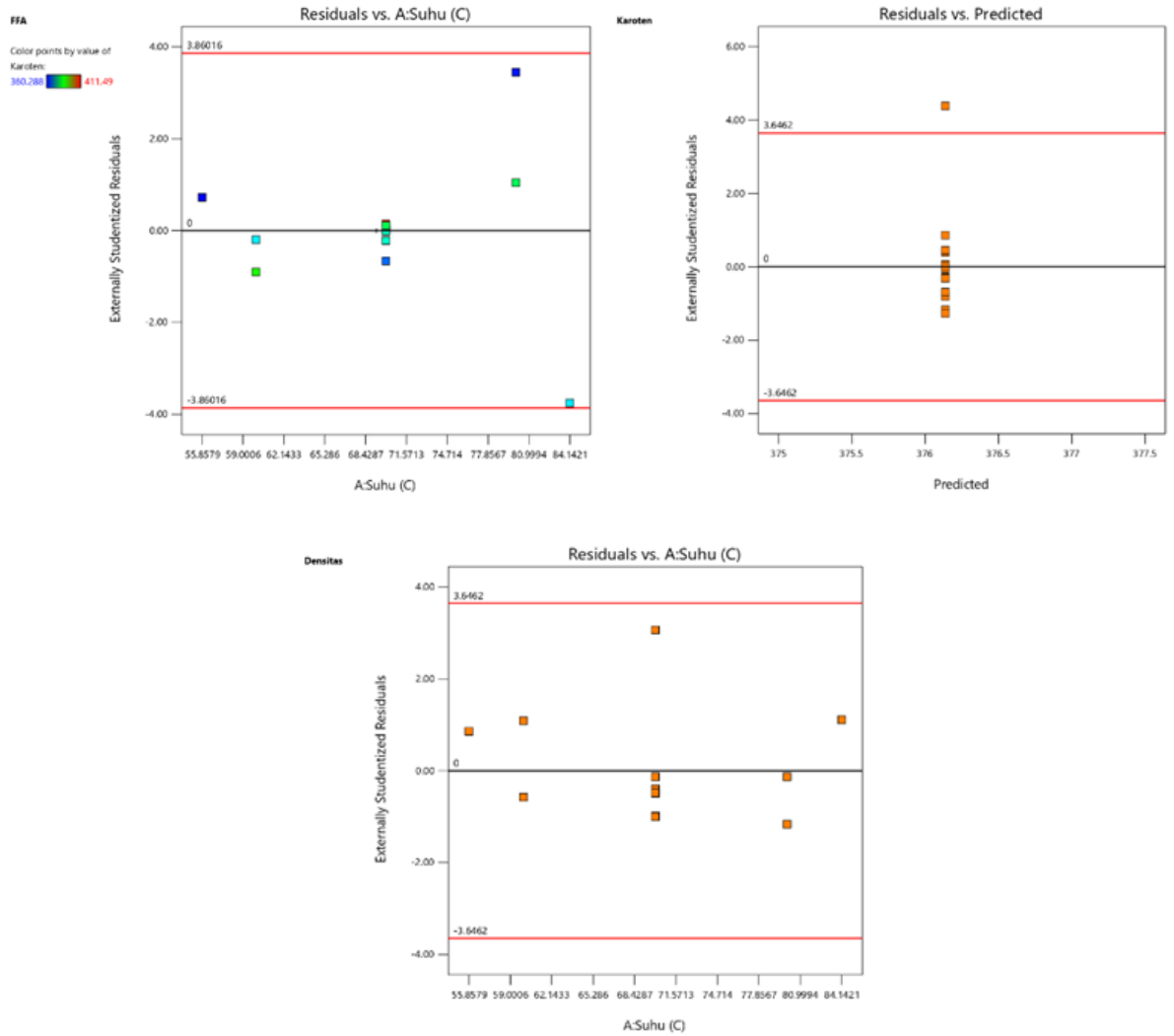
Run	FFA (%)	Karoten (ppm)	Densitas (g/l)
CPO	1,468	422,041	0,909
1	1,523	411,490	0,908
2	1,917	381,350	0,909
3	1,887	361,409	0,907
4	1,360	360,288	0,910
5	1,402	371,954	0,910
6	1,517	382,123	0,909
7	1,505	376,994	0,907
8	1,496	367,104	0,908
9	1,619	375,546	0,908
10	1,099	387,293	0,908
11	1,407	372,412	0,910
12	1,256	365,666	0,912
13	1,496	376,161	0,907

Pada Gambar 1 terlihat bahwa variabel yang dapat digunakan sebagai variabel optimal yaitu variabel yang masih berada dalam koridor garis merah, namun jika hasil respon terletak diluar koridor garis merah variabel tersebut tereleminasi untuk dijadikan sebagai variabel optimal, seperti halnya pada run-10 varibel terletak diluar koridor sehingga tidak memungkinkan dijadikan sebagai variabel optimal. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa terdapat 12 variabel tersisa yang berpotensi sebagai variabel optimal, untuk menentukan satu variabel optimal diperlukan satu titik puncak yang terbentuk dengan melihat grafik *3D surface* yang disajikan pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa kontur warna dari hasil analisis FFA, karoten dan densitas dalam menentukan variabel optimal. Pada Gambar A.1 dapat dilihat analisis FFA berada diantara kontur warna biru-jingga yang menandakan kontur biru memiliki nilai FFA yang rendah dan semakin bergeser kearah kuning nilai FFA semakin tinggi. Sedangkan untuk Gambar 2 merupakan grafik 3D yang dihasilkan dari Gambar A.1 untuk melihat

titik puncak yang akan dijadikan sebagai variabel optimal dari proses *degumming*, dalam hal ini titik puncak terbentuk pada gradasi warna jingga variabel Run-2. Pada Gambar B.1 dan B.2 analisis karoten berada pada kontur warna hijau toska tanpa ada gradasi warna lain yang berarti tidak terjadi faktor signifikan pada model variabel yang digunakan. Hal yang sama terjadi pada analisis densitas pada Gambar C.1. dan C.2 yang hanya memiliki 1 kontur warna hijau toska.

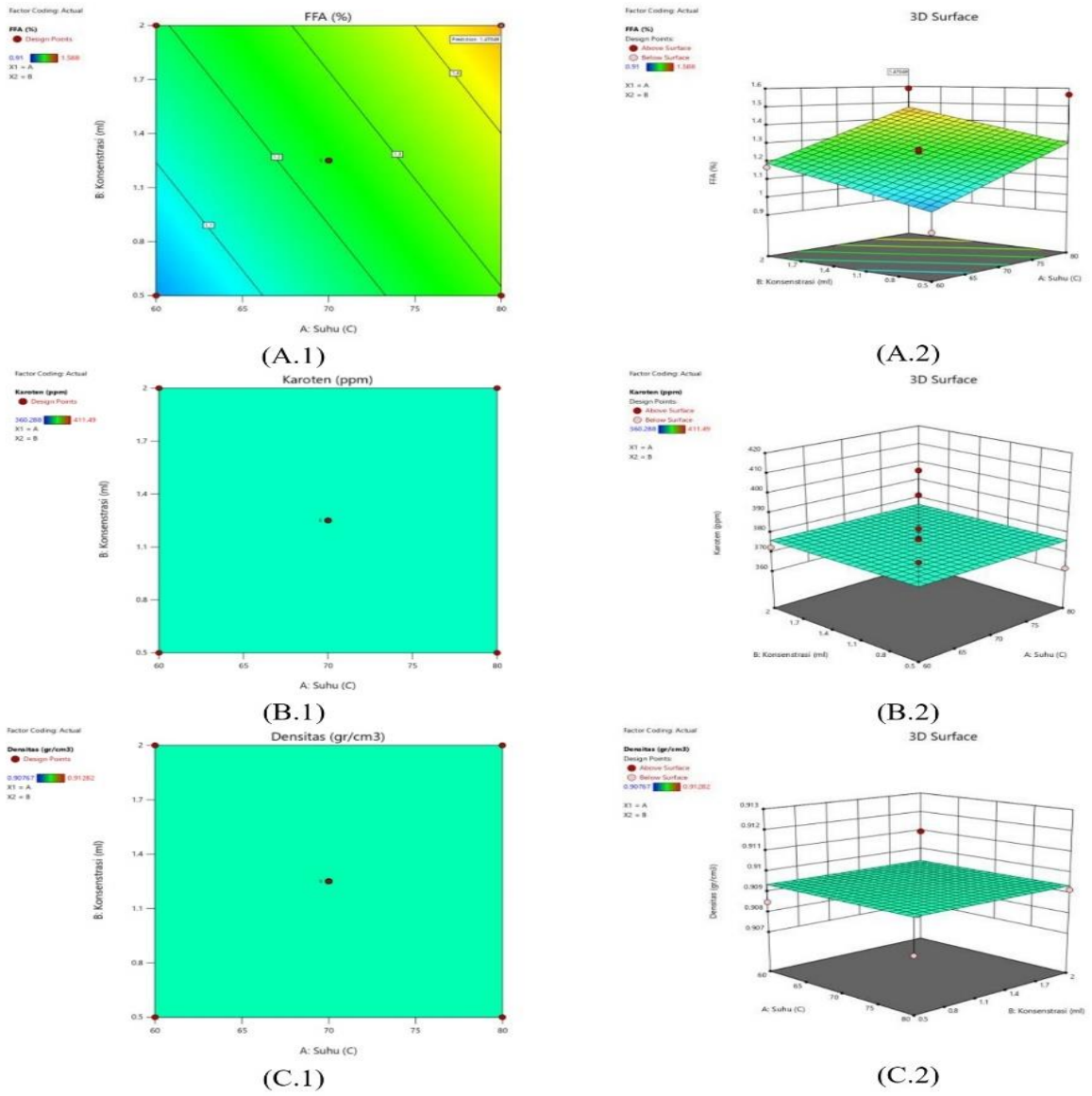
Dengan melihat grafik pada Gambar 4 yang memiliki model faktor yang signifikan terletak pada kandungan FFA sehingga dalam penentukan variabel optimal digunakan grafik terhadap respon FFA, karena memiliki 1 titik puncak yang berpengaruh signifikan pada run ke-2. Di sisi lain, variabel optimal dapat dilihat secara *numerical* yang disajikan pada Tabel 2.



Gambar 1 Grafik *residual* vs *predicted* (A) FFA, (B) karoten, (C) densitas

Tabel 3 Solusi Numerical Design Expert-13

Number	Suhu (°C)	Konsentrasi (mL)	FFA (%)	Karoten (ppm)	Densitas (g/L)
1	**69,363**	**1,961**	**1,589**	**376,138**	**0,310**
2	80	0,5	1,562	376,138	0,310
3	60	0,5	1,223	376,138	0,310
4	60	2	1,436	376,138	0,310
5	80	2	1,775	376,138	0,310



Gambar 2 Pengaruh suhu pemanasan dan konsentrasi asam fosfat terhadap (A) *free fatty acid* (FFA), (B) karoten, (C) densitas minyak sawit merah

Berdasarkan Tabel 3 variabel optimal secara *numerical* dengan menggunakan kondisi operasi di suhu *degumming* 69,363 °C dengan penambahan asam fosfat sebanyak 1,961 mL. Dasar penentuan diambilnya variabel optimal dengan menggunakan titik puncak yaitu hasil dari proses *degumming* dengan menggunakan kondisi operasi run-2 masih termasuk ke dalam solusi *numerical* dengan nilai *desirability* berada pada angka 0,512. Nilai *desirability* yang semakin mendekati nilai 1.0 menunjukkan produk yang dikehendaki efektif dan mendekati kondisi riil (Sumarna et al. 2021).

Tidak ada perubahan karoten dan densitas yang ditunjukkan secara 3D pada Gambar 2. Signifikansi perubahan ditunjukkan pada nilai FFA. Maka penentuan *desirebility* program juga berpengaruh besar oleh nilai FFA. Adapun persamaan linear dan nilai R^2 dari *fit statistic* model FFA yang didapatkan pada variabel suhu dan konsentrasi asam fosfat dinyatakan dalam Persamaan (4).

$$\text{FFA}\ (\%) = 0{,}169(\text{X}) - 0{,}1064(\text{Y}) - 1{,}5 \quad (4)$$

Keterangan :
X(T) = Suhu (60 – 80)°C
Y(V) = Konsentrasi (0,5 – 2) ml
Intercept = 1,50

Meskipun demikian, berdasarkan nilai regresi *run* penelitian, model berpotensi eror sebesar (46-47)%. Diperlukan pengujian lebih lanjut pada rentang variabel yang lebih luas

hingga syarat regresi memenuhi $R^2 > 0,7$ (Hidayat et al., 2024). Pemilihan kondisi operasi tetap didasarkan pada titik puncak grafik 3D.

Tabel 4 *Fit statictic* model *degumming* terhadap respon FFA

Std.Dev.	0,1661	R^2	0,5377
Mean	1,50		

Dari persamaan linear berdasarkan *fit statistic* Tabel 4, memiliki fungsi untuk memprediksi kadar FFA dengan menggunakan kondisi operasi dengan rentang suhu pemanasan (60-80) °C dan konsentrasi reagen asam fosfat (0,5-2) mL basis 240 mL CPO.

Pengaruh Suhu Pemanasan dan Konsentrasi Asam Fosfat terhadap FFA DRPO

Kualitas CPO setelah *degumming* dapat dilihat melalui parameter FFA atau asam lemak bebas yang merupakan hasil hidrolisis dari trigliserida sehingga memengaruhi kualitas minyak yang menyebabkan bau tengik pada minyak, jika kandungan yang berada di dalam minyak melebihi 0,5% (BSN 2019). Pada penelitian ini digunakan metode RSM basis interaksi 2 faktor (CCD) untuk mengetahui pengaruh suhu dan penambahan asam fosfat terhadap asam lemak bebas dalam minyak sawit. Dapat dilihat pada Gambar 3 grafik pengaruh suhu dan konsentrasi asam fosfat terhadap asam lemak bebas pada minyak sawit yang diolah menggunakan aplikasi Design Expert 12.

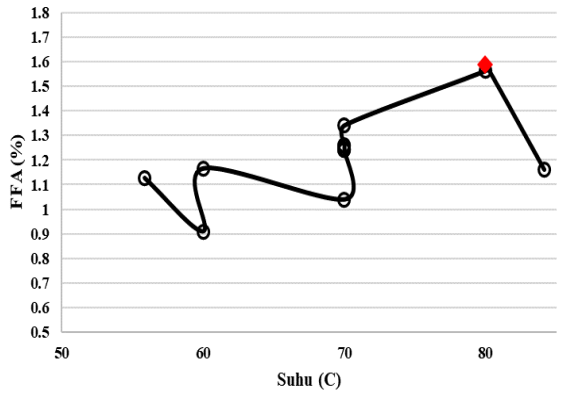
Sesuai Gambar 2 (A.1) dan (A.2) dapat dilihat bahwa suhu dan konsentrasi pada proses *degumming* mempengaruhi kadar asam lemak bebas pada minyak sawit, semakin tinggi suhu *degumming* maka %FFA akan semakin meningkat. Hal ini terjadi karena asam lemak bebas mengalami kenaikan yang disebabkan adanya hidrolisis pada minyak yang menghasilkan gliserol dan asam lemak bebas yang dipengaruhi oleh faktor suhu, air, keasaman dan katalis (enzim), semakin lama reaksi berlangsung maka semakin banyak kadar asam lemak bebas (ALB) yang terbentuk (Nurfiqih et al. 2021).

Peningkatan FFA sangat dipengaruhi oleh suhu operasi yang melibatkan terjadinya proses enzimatis. Secara umum suhu sangat berpengaruh pada reaksi kimia, dimana kenaikan suhu akan menaikkan kecepatan reaksi (Indriyani et al. 2021). Hal ini menyebabkan peningkatkan pertumbuhan mikroorganisme penghasil enzim lipase (Nurfiqih et al. 2021). Meskipun demikian, enzim memiliki sifat rentan terhadap suhu, dimana enzim akan mengalami inaktivasi pada suhu tinggi. Oleh karena itu, pada proses enzimatis terdapat batasan suhu agar enzim dapat bekerja secara optimal. Adapun jenis enzim yang menaikkan ALB pada minyak sawit yaitu enzim lipase yang berasal dari minyak sawit itu sendiri karena terdapat kandungan lemak (palmitat) dan protein yang dimanfaatkan sebagai sumber makanan bagi enzim. Berdasarkan pengujian aktivitas enzim dengan memanfaatkan substrat paranitrofenil palimat (asam palmitat) menghasilkan aktivitas enzim tertinggi pada fraksi (20-40)% sebesar 215,799 unit/mg protein pada kondisi suhu 70°C (Indriyani et al. 2021).

Tabel 5 Data Pengujian FFA berdasarkan signfikansi kondisi operasi berbasis *numerical*

Variabel	Suhu (°C)	Asam fosfat (mL)	FFA (%)
CPO	-	-	1,216
1	70	1,25	1,262
2	80	2	1,588
3	80	0,5	1,564
4	55,85	1,25	1,127
5	84,14	1,25	1,161
6	70	1,25	1,257
7	70	1,25	1,247
8	70	1,25	1,24
9	70	2,31	1,341
10	60	0,5	0,91
11	60	2	1,166
12	70	0,189	1,04
13	70	1,25	1,24

Hal ini terbukti bahwa semakin tinggi suhu pada proses *degumming* dengan konsentrasi asam fosfat yang sama, maka kadar asam lemak bebas yang terkandung pada minyak sawit semakin meningkat di rentang suhu (70-80)°C dan menurun pada suhu 84°C karena enzim lipase mengalami inaktivasi yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik pengaruh suhu terhadap FFA

Peningkatan kadar asam lemak bebas setelah proses *degumming* juga dipengaruhi oleh suhu ruang penyimpanan di laboratorium ketika penelitian berlangsung, dimana seharusnya CPO maupun DRPO disimpan di dalam bejana berbahan *stainless steel* pada suhu 45°C untuk menghindari terhidrolisisnya minyak (Pramono et al. 2023; Stark and Matuana 2021). Faktor lainnya, DRPO disimpan di dalam botol plastik dengan suhu ruang yang selalu berubah-ubah juga berpotensi meningkatnya nilai FFA meskipun kecil pengaruhnya.

Tabel 6 Nilai *p-value* Design Expert-12

Source	p-value	category
Model	**0,0214**	***Significant***
A-suhu	0,0163	*Significant*
B-Konsentrasi	0,1006	*No Significant*
Lack Of fit	<0,0001	*Significant*

Pengaruh konsentrasi asam fosfat dalam proses *degumming* yang dilakukan pada penelitian ini berpengaruh terhadap kenaikan FFA, hanya saja pengaruhnya tidak signifikan karena *p-value* > 0,05. Walaupun tidak signifikan, kenaikan FFA yang disebabkan oleh konsentrasi asam fosfat dalam proses *degumming* dapat terjadi karena sisa-sisa asam fosfat yang tidak bereaksi dengan fosfolipid. Lebih jauh lagi, menyebabkan lendir atau getah pada minyak mengendap sehingga terjadi kenaikan kadar FFA (Tan et al. 2021). Berdasarkan hasil uji RSM menggunakan design expert, model variabel yang diuji dalam penelitian ini berpengaruh signifikan jika *p-values* < 0,05. Hal ini terbukti karena *p-values* pada pengujian ini < 0,05 yang disajikan pada Tabel 6.

Dapat dilihat pada Tabel 6 diatas terdapat *Lack Of fit* atau nilai penyimpangan yang dapat terjadi jika model regresi tidak menggambarkan hubungan fungsional antara faktor eksperimen dan variabel respons. Pada penelitian didapatkan *Lack Of fit* <0,0001 yang artinya bahwa meskipun variabel operasi signifikan berpengaruh terhadap respon, namun model prediksi masih belum sesuai apabila dilakukan eksperimen secara berulang. Model tentu perlu dikaji lebih lanjut, meskipun dapat dipakai dalam metode prediksi secara empiris antara faktor eksperimen dan variabel respons. Nilai p-values < 0,05 maka model variabel yang digunakan berpengaruh signifikan terhadap hasil pengujian yang sesuai dengan grafik RSM. Dengan demikian, variabel optimal dapat diambil dari titik puncak bertanda titik merah sebagai acuan utama yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Pengaruh Suhu Pemanasan terhadap Total Karoten pada DRPO

Gambar 2 (B.1) dan (B.2) dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan warna permukaan grafik RSM dan tidak terdapat titik puncak dalam mendeteksi pengaruh suhu dan konsentrasi asam fosfat terhadap degradasi karoten. Artinya pada penelitian ini dengan menggunakan suhu pemanasan di rentang (55-84)°C dan konsentrasi asam fosfat (0.18-2) ml per 240 ml sampel tidak berpengaruh terhadap degradasi karoten yang signifikan. Hal ini disebabkan karoten belum mengalami kerusakan ketika dilakukan pemanasan pada suhu 60°C, tetapi reaksi oksidasi karoten dapat berjalan lebih cepat pada suhu yang relatif tinggi, sehingga total karoten yang dihasilkan akan semakin melimpah. Setelah mencapai titik tertentu dengan adanya peningkatan suhu, akan merusak pigmen tersebut, lalu menurunkan total karoten.

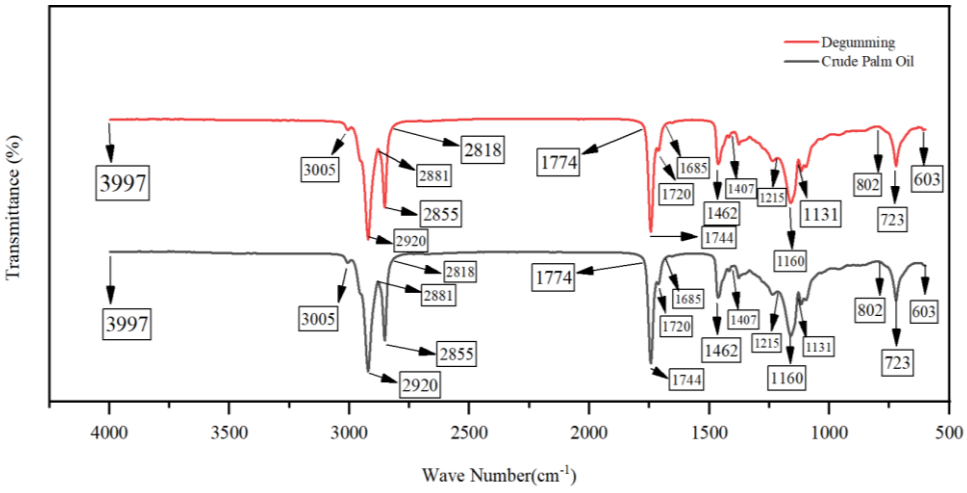
Melalui proses *thermal degradation kinetic* karoten pada jus jeruk dengan perlakuan isotermal di suhu antara 75°C dan 100°C terdapat perbedaan stabilitas antara karoten provitamin A utama yang tidak berpengaruh secara signifikan selama pemrosesan termal konvensional. Selain itu, pengujian stabilitas karoten khususnya β-karoten

pada proses ekstraksi buah merah dengan suhu perebusan 85°C dalam waktu (60-360) menit masih dapat mempertahankan kandungan karoten buah merah dengan kisaran rerata (897,73-1.521,74) ppm. Selanjutnya, riset pemanasan buah pisang tongka pada suhu 90°C, karoten mengalami kerusakan dengan presentase 10% dalam waktu pemanasan 5 menit, 28% selama 10 menit, 32% selama 15 menit dan 32% selama 20 menit. Dari riset ini dapat disimpulkan bahwa suhu (60-85)°C memengaruhi stabilitas zat aktif seperti β-karoten dengan adanya degradasi karoten yang masih dapat ditoleransi. Mulai rusak secara eksponensial di atas suhu pemanasan 90°C (Jin et al. 2024; Lee et al. 2020).

Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa terjadi degradasi karoten setelah dilakukan proses *acid degumming*. Menurunnya kandungan karoten pada minyak sawit merah selama pemanasan akan menurunkan kualitas minyak yang ditandai dengan terbentuknya asam lemak bebas dan senyawa peroksida sebagai akibat reaksi oksidasi dan hidrolisis trigliserida (Kumoro et al. 2022). Pada penelitian ini proses *degumming* dengan rentang suhu pemanasan (55-84)°C selama 20 menit dapat mempertahankan kandungan karoten dengan persentase degradasi karoten pada rentang (2,49-14,63)% dan konsentrasi (411,49-360,288) ppm. Berkurangnya kandungan karoten tidak signifikan terjadi karena pemanasan minyak sawit merah dilakukan pada suhu rendah. Hal ini berkolerasi dengan (Tan et al. 2021), dimana suhu pemanasan kurang dari 100°C selama 120 menit tidak terjadi penurunan karoten secara signifikan, sedangkan pada pemanasan 200°C persentase penurunan karoten sebesar 59%.

Tabel 7 Data kadar karoten pada minyak merah *degumming* (DRPO)

Variabel	Suhu (°C)	Asam fosfat (ml)	Karoten (ppm)	Degradasi karoten (%)
CPO	-	-	422,041	
1	70	1,25	411,490	2,49
2	80	2	381,350	9,64
3	80	0,5	361,409	14,36
4	55,85	1,25	360,288	14,63
5	84,14	1,25	371,954	11,86
6	70	1,25	382,123	9,45
7	70	1,25	376,994	10,67
8	70	1,25	367,104	13,01
9	70	2,31	375,546	11,01
10	60	0,5	387,293	8,23
11	60	2	372,412	11,76
12	70	0,189	365,666	13,36
13	70	1,25	376,161	10,87



Gambar 4 Grafik uji gugus fungsi FTIR

Pengaruh Proses *Degumming* terhadap Densitas Minyak Sawit

Pada Gambar 2 (C.1) dan (C.2) grafik RSM yang dihasilkan tidak menunjukkan terdapat perbedaan warna permukaan grafik RSM dan tidak terdapat titik puncak dalam mendeteksi pengaruh suhu dan konsentrasi asam fosfat terhadap densitas sehingga proses *degumming* tidak memiliki pengaruh terhadap densitas minyak sawit. Hal ini terbukti karena densitas sebelum dan sesudah dilakukannya *degumming* berada pada rentang (0,909-0,912) g/l. Kualitas minyak yang baik berada pada rentang 860-910 kg/m³ atau (0,86-0,91) g/l Berdasarkan standar (Hidayat et al., 2022), berat jenis minyak goreng yaitu 0,9 g/l. Pada data hasil penelitian terdapat kenaikan 0,003 g/l. Hal ini dapat dipengaruhi oleh suhu pemanasan karena cairan akan meregang mengikuti perubahan peningkatan suhu. Pada umumnya densitas berkaitan dikaitkan dengan viskositas, dimana cairan lebih kental maka viskositasnya lebih tinggi (Hidayat et al. 2024; Kumoro and Hidayat 2018).

Analisis FTIR Minyak Sawit

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat grafik spektrum *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan pada Tabel 9 interpretasi ikatan dan jenis senyawa antara CPO sebelum dan sesudah dilakukan proses *degumming* (DRPO) menunjukkan spektrum yang sama tanpa ada perubahan puncak yang terdiri dari ikatan C-H, C=O dan O-H dengan jenis senyawa aromatik, keton, dan asam karboksilat (Oey et al. 2022). Pada pengujian FTIR setelah aktivasi tidak menunjukkan vibrasi ulur gugus (C=O) dan (C=C) yang menunjukkan bahwa tidak terjadinya penurunan kadar FFA pada minyak sawit.

Hal ini berkolerasi dengan hasil pengujian FFA setelah dilakukan *degumming*, yang mana terjadi kenaikan kadar FFA. Selain itu, fosfatida yang terdapat pada CPO berupa gum berada pada gugus hidrofilik yang terletak pada peak 3.425 cm^{-1} yang merupakan bagian polar, terdapat ikatan H dan OH, karbonil karboksil. Di sisi lain, gugus lipofilik terletak pada peak 1.265 cm^{-1}, 1.381 cm^{-1}, 1.712 cm^{-1} yang merupakan bagian non polar dengan rantai hidrokarbon (Husein et al. 2020; Kumoro and Hidayat 2018). Berdasarkan hasil pengujian FTIR setelah dilakukannya proses *degumming peak* yang mengandung fosfatida Sebagian besar masih ada, sehingga tidak merubah gugus fungsi. Hasil pengujian *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dapat disimpulkan bahwa suhu operasi (55-84)°C tidak memengaruhi gugus fungsi pada CPO.

Tabel 8 Hasil uji densitas CPO dan minyak merah *degumming* (DRPO)

Variabel	Suhu (°C)	Densitas
CPO	-	0,909
1	70	0,908
2	80	0,909
3	80	0,907
4	55,85	0,910
5	84,14	0,910
6	70	0,909
7	70	0,907
8	70	0,908
9	70	0,908
10	60	0,908
11	60	0,910
12	70	0,912
13	70	0,907

Hal ini terjadi karena suhu yang digunakan termasuk suhu rendah dengan tujuan untuk mempertahankan kandungan karoten pada minyak. Ikatan gugus pada minyak relatif tidak berubah karena minyak yang berasal dari sawit memiliki susunan yang tidak berubah. Ikatan C-H pada minyak sawit terdapat rantai karbon panjang trigliserida yang membuat ikatan ini stabil dan merupakan ikatan kovalen yang kuat sehingga sulit untuk berubah menjadi gugus fungsi lain tanpa menggunakan energi yang besar, sama halnya dengan ikatan C=O merupakan senyawa yang stabil pada minyak sawit sehingga saat proses *degumming* berlangsung tidak memengaruhi ikatan C=O sebagai gugus karbonil pada senyawa trigliserida yang umumnya lebih stabil (Jamari and Howse 2012). Di lain hal, ikatan O-H pada minyak sawit merupakan gugus hidroksil yang tidak terdapat dalam senyawa utama minyak sawit yaitu trigliserida sehingga tidak mengalami perubahan gugus. Selain itu, masih terdapat fosfatida yang tersisa pada minyak sawit sehingga tidak merubah ikatan yang terdapat pada gugus fungsi hidrofilik dan lipofilik. Perubahan gugus memengaruhi kualitas minyak yang dapat terjadi jika dilakukan pemanasan pada suhu yang sangat tinggi yaitu (160-180)°C secara berkelanjutan karena akan terjadi oksidasi minyak, setiap peningkatan 10°C laju kecepatan oksidasi meningkat dua kali lipat (Husein et al. 2020; Teh and Lau 2021).

Tabel 9 Tabel interpretasi gugus fungsi FTIR

Peak	Ikatan	Jenis Senyawa
603		
723	C-H	Aromatik (Meta)
802	C-O	Aromatik (Para)
1131	C-O	Anhidrida
	C-H	Aromatik (Para)
1160	C-O	Anhidrida
	C-H	Aromatik (Para)
1215	C-O	Anhidrida
	C-H	Aromatik (Para)
1407	$-CH_3$	Alkil
1462	$-CH_3$	Alkil
1685	C-H	Aromatik (Para)
	C=O	Keton
1720	C=O	Aldehida, Keton, Amida
	C-H	Aromatik (Para)
1744	C=O	Ester, Asam Karboksilat, Amida
	C-H	Aromatik (Para)
1774	C=O	Amida
	C-H	Aromatik (Para)
2818	O-H	Asam Karboksilat, Ikatan Hydrogen
	C-H	Aldehida, Alkil, Aromatik (Para)
2881	O-H	Asam Karboksilat, Ikatan Hydrogen, Aldehida, Alkil
	C-H	Aromatik (Para)
2885	O-H	Asam Karboksilat, Ikatan Hydrogen
	C-H	Aromatik (Para), Alkil
2920	C-H	Alkil, Aromatik (Para)
	O-H	Asam Karboksilat, Ikatan Hydrogen
3005	O-H	Asam Karboksilat, Ikatan Hydrogen
	C-H	Aromatik (Para)
3997	C-H	Aromatik (Para)

KESIMPULAN

Kondisi operasi optimal yang digunakan dalam proses *degumming* yaitu dengan mengambil satu titik puncak pada run-2 grafik 3D RSM dengan suhu pemanasan 80°C dan asam fosfat sebanyak 2 ml basis 240 ml CPO. Respon densitas dan hasil gugus fungsi tidak mengalami perubahan yang signifikan. Signifikasni terjadi dari hasil FFA 1,917% dan karoten total sebesar 381,35 ppm. Berdasarkan standar SNI, persentase FFA DRPO telah memenuhi kriteria yang memiliki nilai maksimum 5% dan minimal kadar karoten 30 ppm. Kajian selanjutnya dapat divariasikan dengan batas rentang suhu dan waktu sintesis yang lebih lebar, agar terlihat perbedaan respon *free fatty acid* (FFA), densitas, dan kadar karoten yang signifikan. Model kinetik sederhana secara linier $y = 0{,}169(T) - 0{,}1064(V) - 1{,}5$ pada variabel uji FFA dapat dijadikan rujukan sebagai pembanding dan perancangan desain reaktor *degumming*. Pengujian karakteristik fisikokimia dan viskositas dapat dilakukan untuk memastikan kualitas DRPO secara fungsional. Modifikasi *degumming* juga berpotensi dapat dilakukan secara enzimatis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung dengan pendanaan dari Hibah Riset Kerja Sama Dalam Negeri Institut Teknologi Kalimantan 2024. Terima kasih kepada Teknik Kimia Universitas Dipoengoro yang memberikan fasilitas uji minyak merah (DRPO) dan pematangan hasil pembahasan riset. Terima kasih kepada Group for Advanced Studies in Food Technology and Research (Gastro), Institut Teknologi Kalimantan dari persiapan bahan baku, optimasi sintesis *degumming* hingga pemenuhan alat dan bahan penunjang.

DAFTAR PUSTAKA

Arsanto, D. A., Pratama, D. W., Murti, S. D. S., Soraya, S., Widya. 2022. Penentuan tingkat efisiensi komposisi H_3PO_4 pada proses degumming dalam pembuatan pure plant oil dari crude palm oil off-grade. *JIST, 3(7), 877–889.*

Bhargava, N., Sharanagat, V. S., Mor, R. S., Kumar, K. 2020. Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review. *Trends in Food Science and Technology, 105, 385–401.* https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.015

Badan Pusat Statistik. 2023. Indonesian Oil Palm Statistics 2022.

Badan Standardisasi Nasional. 2019. SNI 7709:2019 Minyak Goreng Sawit, pp. 1–33.

Hidayat, J. P., Hariyadi, A., Chosta, F. 2022. Bentonite and RHA Adsorption Performance Against Characteristics Waste-Cooking Oil. J. *Sains Dan Teknologi Pangan, 7(6), 5600–5614*.

Hidayat, J. P., Munfarida, S., Hariyadi, A. 2024. Modified ganyong (*Canna edulis Kerr*.) starch prospective as wheat flour

alternative. *Food Research, 8, 11–17*. https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(S1).2

Hidayat, J. P., Putri, A. A., Munfarida, S., Kumoro, A. C. 2024. Kinetic bio - reaction modelling durian seed fused *Lactobacillus plantarum* suspension by high - order embedded runge - kutta. *Food Research, 8, 1–10.* https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(S1).1

Hidayat, J. P., Romadhona, H. A., Sholihah, N., Munfarida, S. 2023. Aloe vera gel-based edible coating characterization by onion powder fortification method as an antimicrobial. *Agrointek, 17(3), 493–501.* https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i3.14607

Husein, S. G., Firmansyah, A., Yusuf, F. F. 2020. Analisis kemometrika spektrum fourier transformed infrared (FTIR) dari minyak nabati. *Jurnal Sains Dan Teknologi Farmasi Indonesia, 9(2), 45–55.* https://doi.org/10.58327/jstfi.v9i2.189

Indriyani, D. M., Nurhasanah, Herasari, D. 2021. Optimization of lipase production from local bacteria isolate with palm oil inducer. *Journal of Scientific and Applied Chemistry, 24(2), 58–61*. https://doi.org/10.14710/jksa.24.2.58-61

Jamari, S. S., Howse, J. R. 2012. The effect of the hydrothermal carbonization process on palm oil empty fruit bunch. *Biomass and Bioenergy, 47, 82–90.* https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.061

Jin, Y., Teh, S. S., Yap, W. H., Lau, H. L. N., Mah, S. H. 2024. In vivo retinoid metabolic and visual cycle pathways assessment of carotenoid-rich refined red palm-pressed mesocarp olein. *Journal of Functional Foods, 116, 106140*. https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106140

Kumoro, A. C., Hidayat, J. P. 2018. Functional and thermal properties of flour obtained from submerged fermentation of durian (*Durio zibethinus Murr*.) seed chips using *Lactobacillus plantarum*. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, 12(1), 607–614.* https://doi.org/10.5219/965

Kumoro, A. C., Mariana, S., Maurice, T. H., Hidayat, J. P. 2022. Pectin Derived from Hydrolysis of Ripe Kepok Kuning Banana Peel Powder Employing Crude Pectinases Produced by *Aspergillus niger*. *Sains Malaysiana, 51(7), 2047–2059.* https://doi.org/10.17576/jsm-2022-5107-09

Kumoro, A., Hidayat, J. 2018. Effect of soaking time in sodium metabisulfite solution on the physicochemical and functional properties of durian seed flour. *MATEC Web of Conferences, 156, 1–5*. https://doi.org/10.1051/matecconf/201815601028

Łaska-Zieja, B., Golimowski, W., Marcinkowski, D., Niedbała, G., Wojciechowska, E. 2020. Low-cost investment with high quality performance. Bleaching earths for phosphorus reduction in the low-temperature bleaching process of rapeseed oil. *MDPI, 9(603)*. https://doi.org/10.3390/foods9050603

Lee, W. J., Tan, C. P., Sulaiman, R., Hee, Y. Y., Chong, G. H. 2020. Storage stability and degradation kinetics of bioactive compounds in red palm oil microcapsules produced with solution-enhanced dispersion by supercritical carbon dioxide: A comparison with the spray-drying method. *Food Chemistry, 304.* https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125427

Mayalibit, A. P., Sarungallo, Z. L., Paiki, S. N. 2019. The effect of degumming process using citric acid on the quality of red fruit oil (*Pandanus conoideus Lamk*.). *Agritechnology, 2(1), 23–31*. https://doi.org/10.51310/agritechnology.v2i1.25

Muñoz-Almagro, N., Vendrell-Calatayud, M., Méndez-Albiñana, P., Moreno, R., Cano, M. P., Villamiel, M. 2021. Extraction optimization and structural characterization of pectin from persimmon fruit (*Diospyros kaki Thunb. var. Rojo brillante*). *Carbohydrate Polymers, 272, 118411.* https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118411

Nidzam, M. S., Hossain, S., Ismail, N., Latip, R. A., Illias, M. K. M., Siddique, B. M., Zulkifi, M. 2022. Influence of the degumming process parameters on the formation of glyceryl esters and 3-MCPDE in refined palm: optimization and palm oil quality analyses. *MDPI, 11(124)*. https://doi.org/10.3390/foods11010124

Sulihatimarsyila, A. W. N., Lau, H. L. N., Nabilah, K. M., Nur Azreena, I. 2020.

Production of refined red palm-pressed fibre oil from physical refining pilot plant. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 2, 100035.* https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100035

Nurfiqih, D., Hakim, L., Muhammad. 2021. Pengaruh suhu, persentase air, dan lama penyimpanan terhadap persentase kenaikan asam lemak bebas (ALB) pada crude palm oil (CPO). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal, 10(2), 1–14.* https://doi.org/10.29103/jtku.v10i2.4955

Oey, S. B., van der Fels-Klerx, H. J., Fogliano, V., van Leeuwen, S. P. J. 2022. Chemical refining methods effectively mitigate 2-MCPD esters, 3-MCPD esters, and glycidyl esters formation in refined vegetable oils. *Food Research International, 156, 111137*. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111137

Pramono, Y. B., Abduh, S. B. M., Hidayat, J. P., Gunawan, C., 2023. Food Quality Defines Your Own Quality, ITK Press.

Stark, N. M., Matuana, L. M., 2021. Trends in sustainable biobased packaging materials: a mini review. *Materials Today Sustainability, 15.* https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2021.100084

Sumarna, D., Sumarlan, S. H., Wijaya, S., Hidayat, N. 2021. Processing of olein fraction red palm oil with minimal refining method and optimization of deodorization process. *ICTAFF, 167–175.*

Tan, C. H., Lee, C. J., Tan, S. N., Poon, D. T. S., Chong, C. Y. E., Pui, L. P. 2021. Red palm oil: A review on processing, health benefits and its application in food. *Journal of Oleo Science, 70(9), 1201–1210.* https://doi.org/10.5650/jos.ess21108

Teh, S. S., Lau, H. L. N. 2021. Quality assessment of refined red palm-pressed mesocarp olein. *Food Chemistry, 340, 127912.* https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127912

Tripathi, A. D., Srivastava, S. K., Singh, P., Singh, R. P., Singh, S. P., Jha, A., Yadav, P. 2015. Optimization of process variables for enhanced lactic acid production utilizing paneer whey as substrate in SMF. *Applied Food Biotechnology, 2(2), 47–56.* https://doi.org/10.22037/afb.v2i2.7612

Widiastuti, N., Silitonga, R. S., Dharma, H. N. C., Jaafar, J., Widyanto, A. R., Purwanto, M. 2022. Decreasing free fatty acid of crude palm oil with polyvinylidene fluoride hollow fiber membranes using a combination of chitosan and glutaraldehyde. *RSC Advances, 12(35), 22662–22670.* https://doi.org/10.1039/d2ra04005k

Zhu, C., Cai, Y., Gertz, E. R., La Frano, M. R., Burnett, D. J., Burri, B. J. 2015. Red palm oil-supplemented and biofortified cassava gari increase the carotenoid and retinyl palmitate concentrations of triacylglycerol-rich plasma in women. *Nutrition Research, 35(11), 965–974*. https://doi.org/10.1016/j.nutres.2015.08.003

Zikri, A., Erlinawati, Sutini, P. L., Agus, M., Fathona, S. 2020. Biodiesel Production from Bintaro (*Cerbera Manghas L.*) Seeds with Potassium Hydroxide as Catalyst. *Journal of Physics: Conference Series,* 1500(012084).https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012084