



PENGARUH DOSIS LEMPUNG LOKAL TERAKTIVASI HCl TERHADAP PENGHILANGAN β -KAROTEN DAN KARAKTERISTIK MUTU REFINED PALM OIL

Jusman^{1*}, Syamsuddin²

^{1,2} Program Studi Kimia, Universitas Tadulako

E-mail: [*jusman_palu04@yahoo.com](mailto:jusman_palu04@yahoo.com), syamsuddinpalu2023@gmail.com

ABSTRACT

Bleaching is an important stage in palm oil refining because it reduces pigments and other impurities through interactions with adsorbents. This study evaluated the effect of the mass of HCl-activated local clay on β -carotene removal and selected quality characteristics of refined palm oil (RPO). A one-factor design with five clay masses (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, and 2.5 g per 20 mL RPO) was conducted with three independent replicates. Bleaching was performed at 50 ± 2 °C for 15 min. β -Carotene was determined by UV-Vis spectrophotometry at 446 nm, while moisture, free fatty acids (FFA), and peroxide value were analyzed by gravimetric and titrimetric methods. The initial β -carotene concentration of 227.83 ± 1.17 ppm decreased to 73.50 ± 0.66 , 49.47 ± 0.93 , 32.00 ± 0.40 , 20.80 ± 0.44 , and 13.83 ± 0.35 ppm as clay mass increased. Removal efficiency increased from 67.74% to 93.93%. One-way ANOVA showed that clay mass significantly affected β -carotene, moisture, and FFA ($p < 0.001$), but not peroxide value ($p = 0.466$). A clay mass of 1.5 g was selected based on the proximity of the resulting β -carotene concentration to the 30 ppm target used in the study, rather than on maximum removal. The findings indicate that HCl-activated local clay has potential as an adsorbent for RPO bleaching under relatively mild conditions, although adsorbent characteristics and the mechanisms responsible for β -carotene removal require further investigation.
Keywords: *β -carotene, bleaching, activated clay, palm oil, adsorption*

ABSTRAK

Bleaching merupakan salah satu tahapan penting dalam pemurnian minyak sawit karena berperan dalam mengurangi pigmen dan pengotor melalui interaksi dengan adsorben. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh massa lempung lokal teraktivasi HCl terhadap penghilangan β -karoten dan beberapa karakteristik mutu refined palm oil (RPO). Penelitian menggunakan rancangan satu faktor dengan lima taraf massa lempung, yaitu 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; dan 2,5 g per 20 mL RPO, dengan tiga ulangan independen. Bleaching dilakukan pada suhu 50 ± 2 °C selama 15 menit. Kadar β -karoten ditentukan menggunakan spektrofotometri UV-Vis pada 446 nm, sedangkan kadar air, asam lemak bebas (FFA), dan bilangan peroksida dianalisis secara gravimetri dan titrimetri.

Article History

Received: September 2026

Reviewed: September 2026

Published: September 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed
under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Kadar β -karoten awal sebesar $227,83 \pm 1,17$ ppm menurun menjadi masing-masing $73,50 \pm 0,66$; $49,47 \pm 0,93$; $32,00 \pm 0,40$; $20,80 \pm 0,44$; dan $13,83 \pm 0,35$ ppm pada peningkatan massa lempung. Efisiensi penghilangan β -karoten meningkat dari 67,74 menjadi 93,93%. ANOVA menunjukkan bahwa massa lempung berpengaruh sangat nyata terhadap kadar β -karoten, kadar air, dan FFA ($p < 0,001$), tetapi tidak terhadap bilangan peroksida ($p = 0,466$). Massa 1,5 g dipilih berdasarkan kedekatan kadar β -karoten terhadap target 30 ppm yang digunakan dalam penelitian, bukan berdasarkan penghilangan maksimum. Hasil menunjukkan bahwa lempung lokal teraktivasi HCl berpotensi digunakan sebagai adsorben pada bleaching RPO, meskipun karakteristik adsorben dan mekanisme penghilangan β -karoten masih perlu dikaji lebih lanjut.

Kata Kunci: β -karoten, bleaching, lempung teraktivasi, minyak sawit, adsorpsi

1. PENDAHULUAN

Crude palm oil (CPO) merupakan minyak nabati yang mengandung trigliserida sebagai komponen utama serta sejumlah komponen minor, termasuk karotenoid dan tokoferol. Karotenoid, terutama β -karoten, berkontribusi terhadap warna merah-oranye khas CPO dan refined palm oil (RPO). Kandungan karoten pada CPO dapat bervariasi secara substansial bergantung pada faktor biologis, genotipe, dan asal geografis bahan baku. Morcillo et al. (2021) menunjukkan adanya keragaman yang cukup besar dalam kandungan karoten, tokochromanol, dan komposisi asam lemak CPO dari berbagai sumber. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa karakteristik bahan baku perlu dipertimbangkan ketika mengevaluasi efektivitas proses pemurnian.

Pengolahan CPO menjadi minyak yang lebih murni umumnya melibatkan beberapa tahapan, termasuk degumming, netralisasi, bleaching, dan deodorization. Tahapan tersebut bertujuan mengurangi fosfolipid, asam lemak bebas, pigmen, pengotor, dan komponen lain yang dapat menurunkan mutu minyak. Tan et al. (2021) menjelaskan bahwa pengolahan RPO perlu dikendalikan agar penghilangan komponen yang tidak diinginkan tidak menyebabkan kehilangan berlebihan terhadap komponen minor yang memiliki nilai fungsional, terutama β -karoten dan vitamin E. Dengan demikian, pemilihan kondisi pemurnian merupakan aspek penting dalam menghasilkan minyak dengan karakteristik mutu yang sesuai.

Bleaching menggunakan material berpori merupakan salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk menghilangkan pigmen dari minyak. Lempung atau bleaching earth dapat berinteraksi dengan senyawa berwarna melalui mekanisme adsorpsi yang dipengaruhi oleh luas permukaan, struktur pori, keasaman permukaan, dan karakteristik mineral. Ifa et al. (2021) menunjukkan bahwa konsentrasi bentonit dan waktu kontak memengaruhi penghilangan warna dan karoten pada CPO. Sementara itu, Nga et al. (2022) menunjukkan bahwa aktivasi asam pada lempung dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi β -karoten dan mengubah karakteristik struktur pori adsorben.



Aktivasi asam merupakan salah satu metode modifikasi lempung yang dapat meningkatkan aksesibilitas permukaan dan mengubah karakteristik situs aktif. Hambly et al. (2025) menunjukkan bahwa lempung yang diaktivasi dengan asam dapat memiliki luas permukaan spesifik dan volume pori yang lebih besar serta situs asam yang lebih kuat dibandingkan lempung tanpa aktivasi. Karakteristik tersebut dapat meningkatkan interaksi antara permukaan adsorben dan molekul β -karoten. Namun demikian, berkurangnya β -karoten yang terukur tidak selalu menunjukkan bahwa seluruh pigmen hanya mengalami adsorpsi, karena transformasi oksidatif β -karoten juga dapat terjadi pada permukaan lempung teraktivasi asam.

Selain jenis dan karakteristik adsorben, jumlah bleaching earth merupakan faktor penting yang menentukan efektivitas pemurnian. Peningkatan dosis adsorben dapat meningkatkan jumlah situs yang tersedia untuk berinteraksi dengan pigmen, tetapi peningkatan tersebut tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja pemurnian secara proporsional. Abedi et al. (2025) menunjukkan bahwa efektivitas bleaching dipengaruhi oleh jenis adsorben, karakteristik permukaan, dosis, kondisi proses, serta potensi dampaknya terhadap kualitas minyak. Oleh karena itu, evaluasi dosis adsorben perlu mempertimbangkan tidak hanya penghilangan pigmen, tetapi juga parameter mutu minyak.

Meskipun berbagai penelitian telah mengevaluasi bleaching menggunakan bentonit dan material berbasis lempung, masih diperlukan kajian mengenai respons dosis **lempung lokal yang diaktivasi menggunakan HCl** terhadap penghilangan β -karoten pada kondisi bleaching yang relatif ringan, sekaligus terhadap beberapa parameter mutu RPO. Pertanyaan penelitian ini adalah: **bagaimana peningkatan massa lempung lokal teraktivasi HCl memengaruhi kadar dan efisiensi penghilangan β -karoten serta kadar air, FFA, dan bilangan peroksida RPO pada kondisi bleaching yang dikendalikan?**

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh massa lempung lokal teraktivasi HCl terhadap penghilangan β -karoten dan karakteristik mutu RPO. Hipotesis penelitian adalah bahwa peningkatan massa lempung akan meningkatkan penghilangan β -karoten, sedangkan respons kadar air, FFA, dan bilangan peroksida bergantung pada karakteristik masing-masing parameter mutu.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain penelitian

Penelitian menggunakan rancangan satu faktor untuk mengevaluasi pengaruh massa lempung teraktivasi HCl terhadap penghilangan β -karoten dan karakteristik mutu RPO. Faktor perlakuan berupa massa lempung teraktivasi dengan lima taraf, yaitu 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; dan 2,5 g untuk setiap 20 mL RPO.

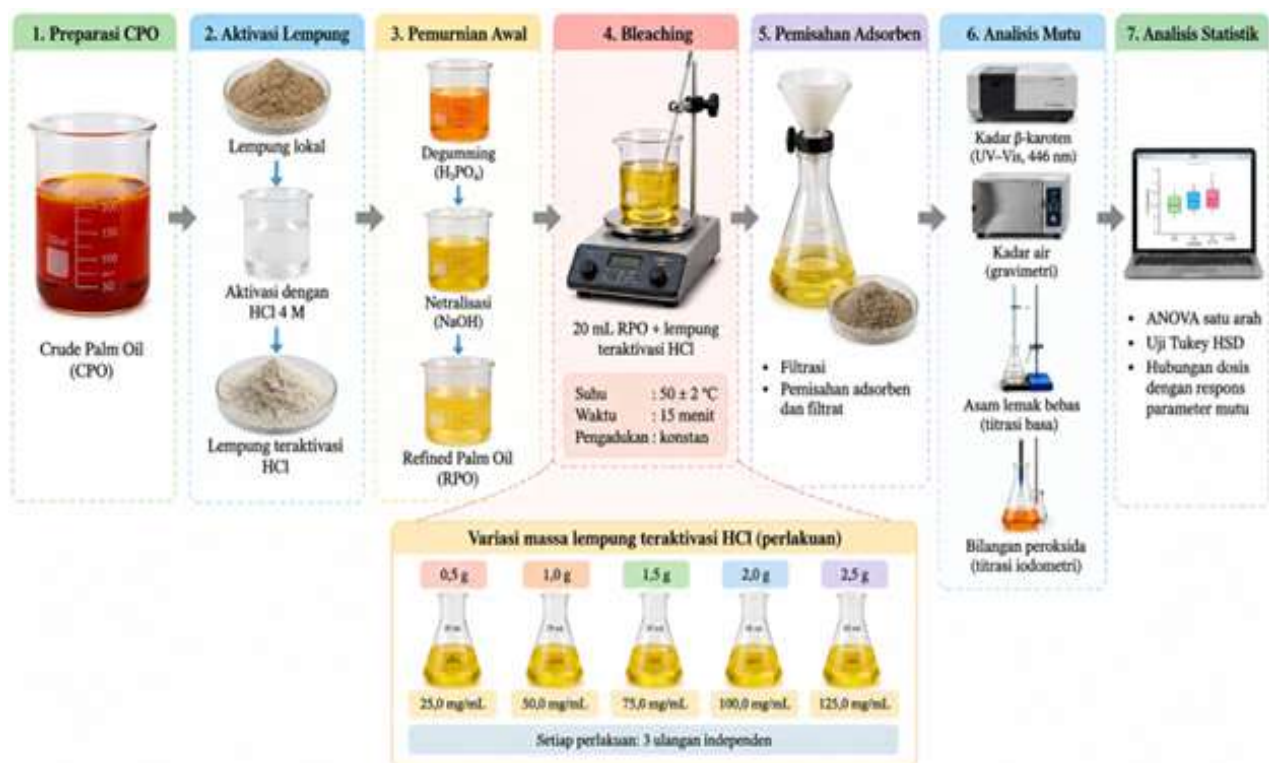
Setiap perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan independen sehingga diperoleh 15 unit eksperimen. Suhu bleaching ditetapkan pada 50 ± 2 °C dan waktu kontak selama **15 menit**. Dengan demikian, massa adsorben merupakan variabel bebas utama, sedangkan volume RPO, suhu, dan waktu kontak dikondisikan tetap.

Minyak sebelum bleaching digunakan sebagai **baseline analitik** untuk menghitung efisiensi penghilangan β -karoten dan tidak dimasukkan sebagai kelompok perlakuan dalam ANOVA.

Tabel 1. Rancangan perlakuan bleaching

Perlakuan	Massa lempung (g)	RPO (mL)	Ulangan	Dosis (mg/mL)	Suhu	Waktu
P1	0,5	20	3	25,0	$50 \pm 2^\circ \text{C}$	15 menit
P2	1,0	20	3	50,0	$50 \pm 2^\circ \text{C}$	15 menit
P3	1,5	20	3	75,0	$50 \pm 2^\circ \text{C}$	15 menit
P4	2,0	20	3	100,0	$50 \pm 2^\circ \text{C}$	15 menit
P5	2,5	20	3	125,0	$50 \pm 2^\circ \text{C}$	15 menit

Alur penelitian meliputi preparasi CPO, aktivasi lempung, pemisahan fraksi minyak, degumming, netralisasi, bleaching, pemisahan adsorben, dan analisis karakteristik minyak.



Gambar 1. Alur penelitian dari preparasi CPO, pemurnian awal, bleaching, pemisahan adsorben, analisis mutu, hingga analisis statistik.

2.2 Bahan dan peralatan

Bahan utama yang digunakan adalah CPO yang diperoleh dari Pasangkayu dan lempung lokal dari Desa Beka. Bahan kimia meliputi HCl 4 M, NaOH, H_3PO_4 , KOH 0,1 N, indikator fenoltalein, n-heksana, etanol 96%, asam asetat glasial, KI, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, kloroform, dan akuades.



2.3 Preparasi lempung dan RPO

2.3.1 Aktivasi lempung

Sebanyak 500 g lempung direndam dalam 250 mL HCl 4 M selama 24 jam. Setelah aktivasi, lempung disaring dan dicuci menggunakan akuades hingga mencapai pH netral. Lempung kemudian dikeringkan pada suhu 110 °C selama 3 jam, didinginkan dalam desikator, dan digunakan sebagai adsorben.

2.3.2 Pemisahan fraksi CPO

CPO dipisahkan menjadi fraksi olein dan stearin menggunakan sentrifus pada kecepatan 4000 rpm selama 30 menit. Fraksi olein digunakan untuk tahapan pemurnian selanjutnya.

2.3.3 Degumming

Sebanyak 500 g CPO dipanaskan pada 60 °C sambil diaduk. H₃PO₄ 85% ditambahkan sebanyak 0,09% (v/w), kemudian campuran dipertahankan selama 15 menit. Setelah itu ditambahkan air hangat dan campuran didiamkan hingga terbentuk dua lapisan. Fase minyak dipisahkan dan dicuci hingga mencapai kondisi netral.

2.3.4 Netralisasi

Sebanyak 200 g CPO hasil degumming dipanaskan pada 60 °C. NaOH ditambahkan berdasarkan kadar FFA dengan kelebihan 0,10% dari massa minyak. Campuran diaduk selama 15 menit dan didiamkan selama 30 menit dalam corong pisah. Minyak kemudian dicuci dengan air panas hingga pH netral.

2.4 Proses bleaching

Sebanyak 20 mL RPO ditempatkan dalam wadah reaksi dan distabilkan pada suhu 50 ± 2 °C. Lempung teraktivasi HCl ditambahkan sesuai perlakuan, yaitu 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; dan 2,5 g. Campuran diaduk selama 15 menit pada suhu 50 ± 2 °C. Setelah waktu kontak tercapai, lempung dipisahkan melalui filtrasi menggunakan corong dan kertas saring. Filtrat dihomogenkan sebelum pengambilan aliquot untuk analisis.

2.5 Analisis β -karoten

Sebanyak 1 g minyak ditimbang dan dilarutkan menggunakan n-heksana dalam labu ukur 25 mL. Larutan diencerkan hingga tanda batas dan dihomogenkan. Absorbansi diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 446 nm. Kadar β -karoten dihitung berdasarkan hubungan kalibrasi yang digunakan dalam analisis. Prosedur pengukuran pada 446 nm sesuai dengan pendekatan analisis karoten pada minyak sawit yang dilaporkan dalam literatur.

2.6 Analisis parameter mutu

Kadar air ditentukan secara gravimetri. FFA ditentukan melalui titrasi menggunakan NaOH 0,05 N dengan indikator fenolftalein. Bilangan peroksida ditentukan menggunakan metode iodometri dengan Na₂S₂O₃ 0,005 N.

2.7 Analisis statistik

Data dinyatakan sebagai rerata $\pm$ simpangan baku (SD) dari tiga ulangan independen. Pengaruh massa lempung terhadap setiap parameter dianalisis menggunakan ANOVA satu arah pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Apabila terdapat perbedaan nyata, analisis dilanjutkan menggunakan uji Tukey HSD.

Efisiensi penghilangan β -karoten dihitung menggunakan:

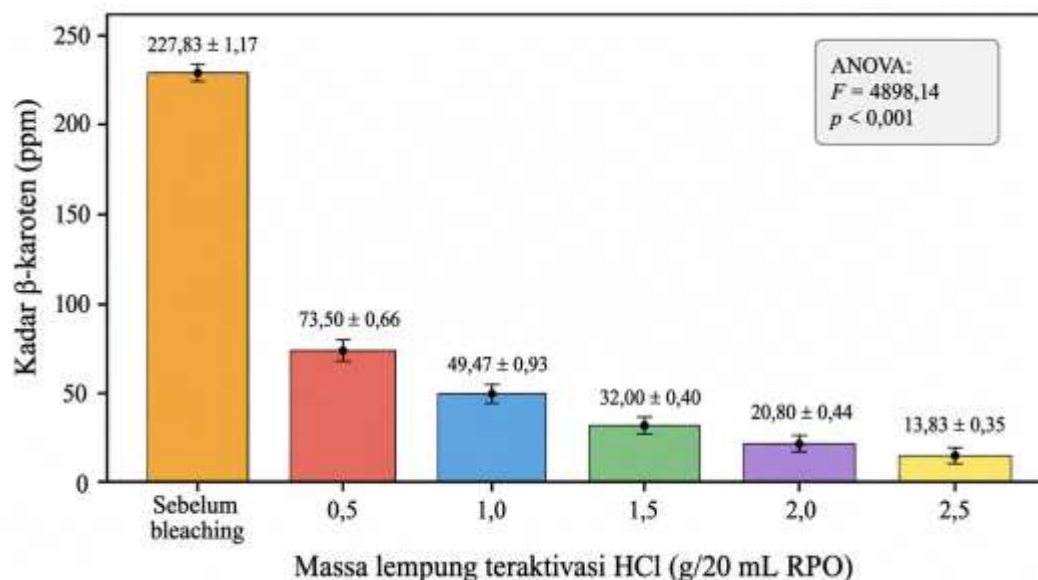
$$Removal(\%) = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$$

dengan C_0 adalah kadar β -karoten baseline dan C_t adalah kadar β -karoten setelah perlakuan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh massa lempung terhadap kadar β -karoten

Kadar β -karoten baseline sebelum bleaching adalah $227,83 \pm 1,17$ ppm. Setelah bleaching, kadar β -karoten menurun menjadi $73,50 \pm 0,66$ ppm pada 0,5 g; $49,47 \pm 0,93$ ppm pada 1,0 g; $32,00 \pm 0,40$ ppm pada 1,5 g; $20,80 \pm 0,44$ ppm pada 2,0 g; dan $13,83 \pm 0,35$ ppm pada 2,5 g. Seperti ditunjukkan pada gambar 2, peningkatan massa lempung dari 0,5 menjadi 2,5 g menyebabkan penurunan kadar β -karoten secara konsisten.



Gambar 2. Kadar β -karoten

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa peningkatan massa lempung teraktivasi HCl dari 0,5 hingga 2,5 g menyebabkan penurunan kadar β -karoten secara konsisten, dari $73,50 \pm 0,66$ ppm menjadi $13,83 \pm 0,35$ ppm. Sejalan dengan penurunan tersebut, efisiensi penghilangan meningkat dari $67,74\%$ menjadi $93,93\%$. Dengan demikian, peningkatan dosis adsorben memberikan respons yang semakin besar terhadap penghilangan β -karoten pada kondisi bleaching yang digunakan. Pola ini konsisten dengan kecenderungan yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 serta menjadi dasar untuk membahas pengaruh massa adsorben terhadap proses penghilangan β -karoten.

Tabel 2. Kadar β -karoten dan efisiensi penghilangan

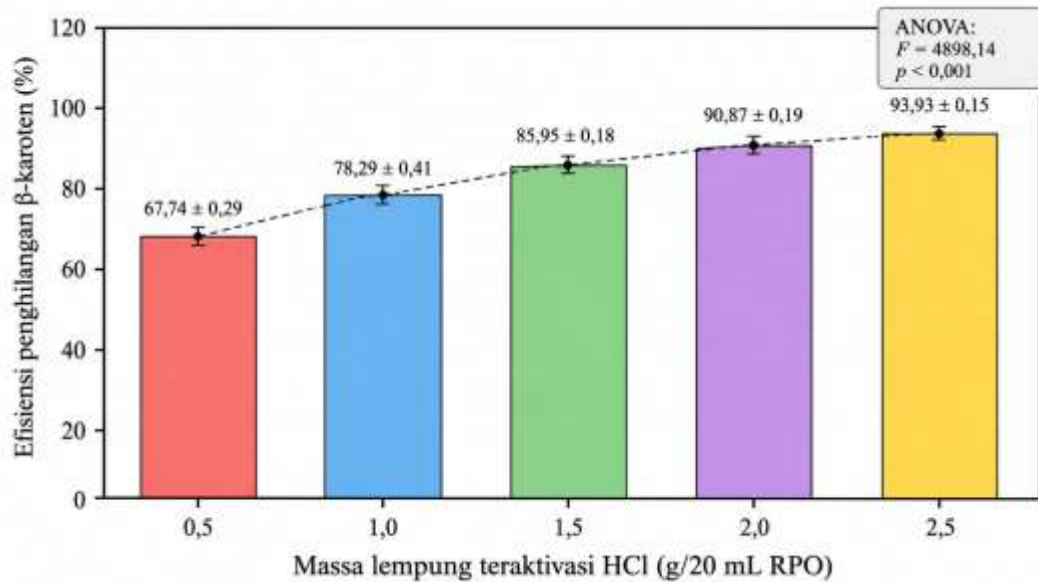
Massa lempung (g)	Rep-1	Rep-2	Rep-3	Rerata $\pm$ SD (ppm)	Removal (%)
0,5	74,10	72,80	73,60	73,50 $\pm$ 0,66	67,74
1,0	49,20	50,50	48,70	49,47 $\pm$ 0,93	78,29
1,5	32,40	31,60	32,00	32,00 $\pm$ 0,40	85,95
2,0	21,10	20,30	21,00	20,80 $\pm$ 0,44	90,87
2,5	13,80	14,20	13,50	13,83 $\pm$ 0,35	93,93

ANOVA menunjukkan bahwa massa adsorben memberikan pengaruh sangat nyata terhadap kadar β -karoten ($F = 4898,14$; $p < 0,001$). Uji Tukey HSD menunjukkan bahwa seluruh pasangan perlakuan berbeda nyata ($p < 0,05$).

Penurunan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan rasio adsorben terhadap minyak meningkatkan kemampuan sistem dalam menghilangkan pigmen. Hal ini dapat dikaitkan dengan meningkatnya jumlah permukaan dan situs aktif yang tersedia untuk berinteraksi dengan molekul β -karoten. Temuan ini sejalan dengan penelitian Iffa et al. (2021), yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi bentonit dapat meningkatkan penghilangan warna dan karoten pada CPO. Nga et al. (2022) juga menunjukkan bahwa lempung teraktivasi asam memiliki kemampuan adsorpsi terhadap β -karoten yang dipengaruhi oleh karakteristik permukaan dan porositas. Namun, penurunan β -karoten tidak dapat secara langsung digunakan sebagai bukti bahwa seluruh pigmen dihilangkan melalui adsorpsi. Hambly et al. (2025) menunjukkan bahwa interaksi β -karoten dengan lempung teraktivasi asam dapat melibatkan adsorpsi sekaligus transformasi oksidatif. Oleh karena itu, pada penelitian ini istilah **penghilangan β -karoten** lebih tepat digunakan daripada menyatakan bahwa seluruh penurunan disebabkan oleh adsorpsi.

3.2 Efisiensi penghilangan β -karoten

Efisiensi penghilangan β -karoten meningkat dari **67,74% pada 0,5 g menjadi 93,93% pada 2,5 g**. Peningkatan efisiensi menunjukkan bahwa penambahan massa adsorben meningkatkan kapasitas sistem untuk menghilangkan β -karoten. Namun, peningkatan efisiensi semakin kecil pada dosis tinggi. Kenaikan efisiensi masing-masing adalah 10,55; 7,66; 4,92; dan 3,06 poin persentase ketika massa lempung ditingkatkan secara berturut-turut dari 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,5-2,0; dan 2,0-2,5 g.

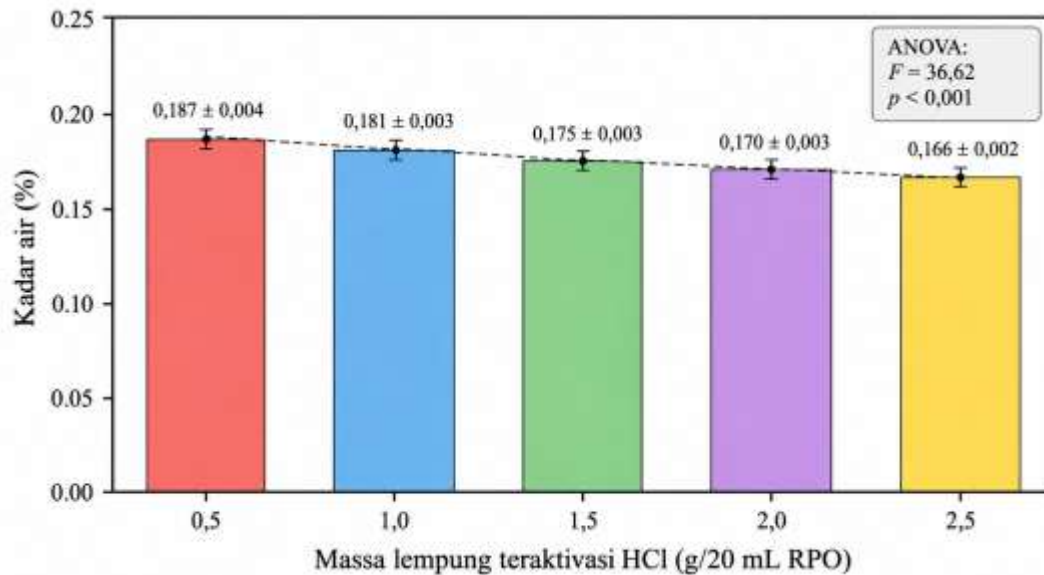


Gambar 3. Efisiensi penghilangan β -karoten berdasarkan kadar baseline. Nilai dihitung dari rerata kadar β -karoten sebelum dan sesudah perlakuan.

Pola tersebut menunjukkan kecenderungan *diminishing return*, yaitu tambahan adsorben masih meningkatkan penghilangan β -karoten, tetapi peningkatan efisiensi per tambahan massa semakin kecil. Kondisi tersebut penting secara praktis karena peningkatan dosis adsorben perlu dipertimbangkan terhadap kebutuhan material dan parameter mutu minyak lainnya.

3.3 Kadar air

Kadar air merupakan salah satu parameter mutu yang penting dalam mengevaluasi hasil proses bleaching karena keberadaan air dalam minyak dapat memengaruhi stabilitas dan kualitas minyak selama penyimpanan. Pada penelitian ini, kadar air dianalisis pada minyak setelah perlakuan bleaching dengan berbagai massa lempung teraktivasi HCl. Gambar 4 menunjukkan perubahan kadar air minyak sebagai respons terhadap peningkatan massa lempung teraktivasi HCl dari 0,5 hingga 2,5 g per 20 mL RPO. Nilai yang ditampilkan merupakan rerata $\pm$ SD dari tiga ulangan independen. Kadar air menurun dari 0,187% pada 0,5 g menjadi 0,166% pada 2,5 g.



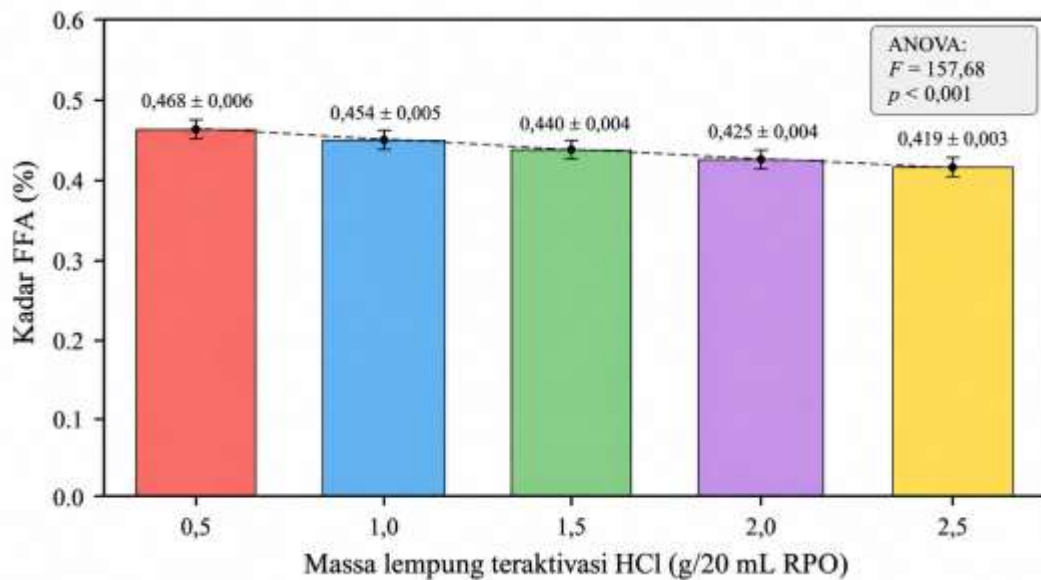
Gambar 4. Kadar air minyak setelah bleaching, titik menunjukkan rerata $\pm$ SD ($n=3$).

ANOVA menunjukkan bahwa massa adsorben berpengaruh nyata terhadap kadar air ($F = 36,62$; $p < 0,001$). Uji Tukey menunjukkan bahwa beberapa pasangan perlakuan berbeda nyata, terutama antara dosis rendah dan tinggi.

Penurunan kadar air dapat berkaitan dengan interaksi permukaan lempung terhadap sebagian komponen polar yang masih terdapat dalam minyak. Namun, kadar air juga dapat dipengaruhi oleh proses pencucian, pemisahan fase, pengeringan, dan penanganan sampel. Oleh karena itu, perubahan kadar air tidak dapat sepenuhnya dikaitkan dengan mekanisme adsorpsi β -karoten.

3.4 Asam lemak bebas

Asam lemak bebas (free fatty acids, FFA) merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi mutu minyak setelah proses bleaching. Pada penelitian ini, kadar FFA dianalisis untuk mengetahui respons minyak terhadap peningkatan massa lempung teraktivasi HCl pada kondisi bleaching yang sama. **Gambar 5 menunjukkan perubahan kadar FFA minyak setelah perlakuan bleaching pada massa lempung teraktivasi HCl 0,5-2,5 g per 20 mL RPO.** Nilai yang disajikan merupakan rerata $\pm$ SD dari tiga ulangan independen.



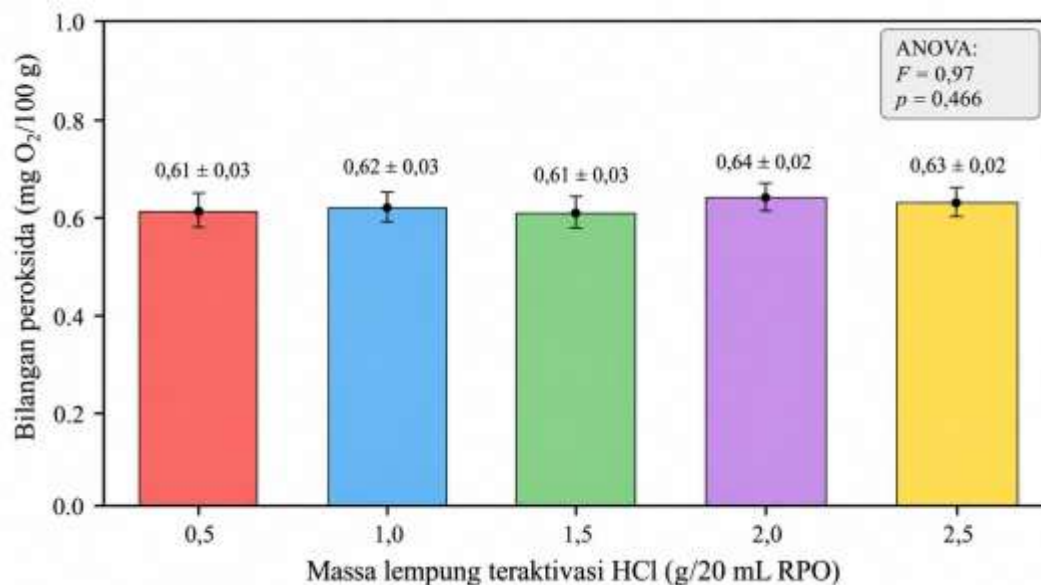
Gambar 5. Kadar FFA minyak setelah bleaching, titik menunjukkan rerata $\pm$ SD ($n=3$).

FFA menurun dari **0,468%** pada **0,5 g** menjadi **0,419%** pada **2,5 g**. ANOVA menunjukkan pengaruh sangat nyata massa adsorben terhadap FFA ($F = 157,68$; $p < 0,001$). Uji Tukey menunjukkan bahwa sebagian besar pasangan perlakuan berbeda nyata, sedangkan perbedaan antara 2,0 dan 2,5 g tidak nyata.

Penurunan FFA dapat berkaitan dengan interaksi komponen asam atau polar dengan permukaan adsorben. Namun, bleaching bukan tahap utama penghilangan FFA. Penurunan FFA pada minyak akhir kemungkinan merupakan hasil gabungan dari efektivitas degumming, netralisasi, dan interaksi selama bleaching. Raniyatunnisa dan Hendriyana (2026) menunjukkan bahwa netralisasi merupakan tahapan penting dalam pengurangan FFA selama pemurnian RPO. Oleh karena itu, nilai FFA setelah bleaching harus dipahami sebagai karakteristik akhir dari keseluruhan rangkaian pemurnian, bukan sebagai efek bleaching semata.

3.5 Bilangan peroksida

Bilangan peroksida digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi kondisi oksidatif minyak setelah proses bleaching. Pada penelitian ini, bilangan peroksida dianalisis pada minyak yang diberi perlakuan berbagai massa lempung teraktivasi HCl pada kondisi suhu dan waktu bleaching yang sama. Gambar 6 menunjukkan perubahan bilangan peroksida minyak setelah perlakuan bleaching dengan massa lempung teraktivasi HCl sebesar 0,5-2,5 g per 20 mL RPO. Nilai yang ditampilkan merupakan rerata $\pm$ SD dari tiga ulangan independen.



Bilangan peroksida berada pada rentang 0,61-0,64 mg O₂/100 g. ANOVA menunjukkan bahwa massa lempung tidak berpengaruh nyata terhadap bilangan peroksida ($F = 0,97$; $p = 0,466$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan massa lempung pada kondisi bleaching yang digunakan tidak menghasilkan perubahan statistik yang terukur terhadap indikator oksidasi primer. Temuan ini penting karena proses bleaching perlu mempertahankan keseimbangan antara penghilangan pigmen dan kualitas oksidatif minyak. Meskipun lempung teraktivasi asam dapat berinteraksi dengan β -karoten dan memungkinkan terjadinya transformasi oksidatif, tidak terdapat bukti statistik dalam penelitian ini bahwa peningkatan massa lempung menyebabkan perubahan bilangan peroksida. Stabilitas relatif parameter ini penting karena aktivitas bleaching yang efektif terhadap pigmen sebaiknya tidak diikuti peningkatan oksidasi minyak. Pembentukan dan penguraian hidroperoksida tetap dipengaruhi oleh temperatur, oksigen, ion logam, dan sifat permukaan adsorben (Tay Yen Ping et al., 2020). Dengan demikian, penurunan β -karoten yang besar pada penelitian ini tidak disertai perubahan nyata pada bilangan peroksida dalam kondisi eksperimen yang digunakan.

3.6 Ringkasan statistik

Tabel 3. Ringkasan hasil ANOVA

Parameter	F	p-value	Interpretasi
β -karoten	4898,14	<0,001	Berbeda nyata
Kadar air	36,62	<0,001	Berbeda nyata
FFA	157,68	<0,001	Berbeda nyata
Bilangan peroksida	0,97	0,466	Tidak berbeda nyata

β -karoten menunjukkan respons paling kuat terhadap perubahan massa adsorben. Nilai F yang sangat tinggi menunjukkan bahwa variasi antarperlakuan jauh lebih besar dibandingkan variasi di dalam ulangan. Sebaliknya, bilangan peroksida relatif stabil pada seluruh perlakuan.



3.7 Evaluasi terpadu dan pemilihan massa lempung

Hasil penelitian menunjukkan hubungan yang konsisten antara peningkatan massa lempung dan penghilangan β -karoten. Massa 2,5 g menghasilkan penghilangan tertinggi sebesar **93,93%**, tetapi peningkatan efisiensi dari 2,0 menjadi 2,5 g relatif kecil, yaitu hanya 3,06 poin persentase. Massa **1,5 g** menghasilkan kadar β -karoten sebesar **32,00 $\pm$ 0,40 ppm** dengan efisiensi penghilangan **85,95%**. Massa tersebut dipilih berdasarkan target kadar β -karoten minimum **30 ppm** yang digunakan dalam penelitian. Dengan demikian 1,5 g bukan merupakan perlakuan dengan penghilangan β -karoten maksimum, tetapi merupakan perlakuan yang paling dekat dengan target tersebut dengan penggunaan adsorben yang lebih rendah dibandingkan dosis 2,0 dan 2,5 g.

Pembedaan antara “**removal maksimum**” dan “**massa terpilih berdasarkan target**” penting secara ilmiah. Apabila kriteria yang digunakan hanya penghilangan β -karoten maksimum, maka 2,5 g merupakan perlakuan dengan respons tertinggi. Namun, apabila tujuan proses adalah mencapai kadar β -karoten tertentu dengan penggunaan adsorben yang lebih rendah, maka 1,5 g memiliki dasar pemilihan yang berbeda. Karakteristik bahan baku juga perlu dipertimbangkan. Morcillo et al. (2021) menunjukkan bahwa kadar karoten CPO dapat sangat bervariasi berdasarkan sumber bahan baku. Oleh karena itu, kadar awal 227,83 ppm dalam penelitian ini merupakan karakteristik spesifik bahan yang digunakan dan tidak dapat langsung digeneralisasi ke seluruh CPO.

Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa lempung lokal teraktivasi HCl memiliki potensi untuk digunakan sebagai adsorben pada bleaching RPO. Namun, penelitian ini belum mengkarakterisasi luas permukaan, distribusi ukuran pori, keasaman permukaan, komposisi mineral, atau produk oksidasi β -karoten. Oleh karena itu, mekanisme penghilangan yang lebih spesifik belum dapat ditentukan hanya berdasarkan data kadar β -karoten dan parameter mutu minyak.

4. KESIMPULAN

Peningkatan massa lempung lokal teraktivasi HCl dari 0,5 hingga 2,5 g per 20 mL RPO meningkatkan penghilangan β -karoten serta memengaruhi kadar air dan FFA, sedangkan bilangan peroksida tidak menunjukkan perubahan nyata. Massa 1,5 g dipilih sebagai kondisi penelitian berdasarkan kedekatan kadar β -karoten terhadap target 30 ppm dengan penggunaan adsorben yang lebih rendah dibandingkan dosis yang lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa lempung lokal teraktivasi HCl berpotensi digunakan sebagai adsorben pada bleaching RPO pada kondisi relatif ringan. Namun, mekanisme penghilangan β -karoten belum dapat ditentukan secara definitif karena karakteristik fisikokimia lempung dan produk transformasi β -karoten belum dikaji.

Penelitian selanjutnya perlu memfokuskan kajian pada karakterisasi fisikokimia lempung, kinetika dan isoterm adsorpsi, serta identifikasi kemungkinan produk oksidasi β -karoten. Optimasi suhu, waktu kontak, dan dosis adsorben juga diperlukan dengan mempertimbangkan penghilangan β -karoten, mutu oksidatif, FFA, kadar air, dan kehilangan minyak secara simultan. Pengujian pada berbagai karakteristik bahan baku dan skala proses yang lebih besar diperlukan untuk mengevaluasi konsistensi serta potensi penerapan lempung lokal sebagai bleaching adsorbent.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abedi, E., Akhavan, H.-R., Hashemi, S. M. B., Oliyai, N., Sourghali, M., Karimzadeh, A., & Rownaghi, M. (2025). Comparison between emerging and conventional methods for edible oils bleaching. *Food Science & Nutrition*, 13(11), e71121. <https://doi.org/10.1002/fsn3.71121>
- Ajemba, R. O., Nweke, C. N., Okoye, C. C., & Nwachukwu, J. O. (2023). Adsorption of carotene from crude palm oil by activated Achalla clay. *Journal of Engineering Research and Reports*, 24(5), 1-17. <https://doi.org/10.9734/JERR/2023/v24i5813>
- Hidayati, B. P., Andarwulan, N., & Faridah, D. N. (2024). Pencucian crude palm oil (CPO) untuk mitigasi penurunan 3-MCPDE dan GE pada pemurnian minyak sawit. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 35(1), 1-9. <https://doi.org/10.6066/jtip.2024.35.1.1>
- Hambly, A. J., Van Duijneveldt, J. S., & Gates, P. J. (2021). Identification of B-carotene oxidation products produced by bleaching clay using UPLC-ESI-MS/MS. *Food Chemistry*, 353, 129455. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129455>
- Hambly, A. J., Van Duijneveldt, J. S., & Gates, P. J. (2025). Adsorption and oxidation of B-carotene by montmorillonite bleaching clays. *Applied Clay Science*, 263, 107638. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2024.107638>
- Hoe, B. C., Chan, E. S., Ramanan, R. N., & Ooi, C. W. (2022). Direct recovery of palm carotene by liquid-liquid extraction. *Journal of Food Engineering*, 313, 110755. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110755>
- Ifa, L., Wiyani, L., Nurdjannah, N., Ghalib, A. M. T., Ramadhaniar, S., & Kusuma, H. S. (2021). Analysis of bentonite performance on the quality of refined crude palm oil's color, free fatty acid and carotene: The effect of bentonite concentration and contact time. *Heliyon*, 7(6), e07230. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07230>
- Lau, H. L. N., Tee, Y. S., Chan, M. K., & Teh, S. S. (2022). Phosphorus removal and phytonutrients retention in the refining of solvent extracted palm-pressed mesocarp fiber oil. *Journal of Oleo Science*, 71(2), 177-185. <https://doi.org/10.5650/jos.ess21256>
- Meisyah, A. A., Prayitno, S. A., & Ningrum, S. (2024). Analisis syarat mutu minyak goreng di Balai Standardisasi Pelayanan dan Jasa Industri Surabaya. *Journal of Food Safety and Processing Technology*, 2(1), 86-91. <https://doi.org/10.30587/jfspt.v2i1.8295>
- Morcillo, F., Vaissayre, V., Serret, J., Avallone, S., Domonh do, H., Jacob, F., & Dussert, S. (2021). Natural diversity in the carotene, tocochromanol and fatty acid composition of crude palm oil. *Food Chemistry*, 365, 130638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130638>
- Nga, J., Avom, J., Tonga Limbe, J., Ndinteh, D., Assonfack, H. L., & Kede, C. M. (2022). Kinetics and thermodynamics of B-carotene adsorption onto acid-activated clays modified by zero valent iron. *Journal of Chemistry*, 2022, 6505556. <https://doi.org/10.1155/2022/6505556>
- Olivares-Tenorio, M. L., Cortes-Prieto, C. M., Londo o-Univio, N. C., et al. (2024). Bioactive compounds in palm oil: A comprehensive review of recent advances in physicochemical characteristics, health-promoting properties and technologies for extraction, concentration, fractionation, encapsulation and functional food applications. *Journal of Food Composition and Analysis*, 132, 106306. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106306>



Raniyatunnisa, P. F., & Hendriyana. (2025). Optimization of neutralization in the integrated refining of red palm oil: Effects on free fatty acids and water content. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 13(1), 30-39.

Rouhani, H., Farhadi, F., Akbari Kenari, M., et al. (2021). Selection of suitable bentonite and the influence of various acids on the preparation of a special clay for the removal of trace olefins from aromatics. *Clay Minerals*, 56(3), 185-196. <https://doi.org/10.1180/clm.2021.32>

Santoso, S. P., Angkawijaya, A. E., Yuliana, M., et al. (2020). Saponin-intercalated organoclays for adsorptive removal of β -carotene: Equilibrium, reusability, and phytotoxicity assessment. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 117, 198-208. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.11.036>

Sim, B. I., Khor, Y. P., Lai, O. M., Yeoh, C. B., Wang, Y., Liu, Y., Nehdi, I. A., & Tan, C. P. (2020). Mitigation of 3-MCPD esters and glycidyl esters during the physical refining process of palm oil by micro and macro laboratory scale refining. *Food Chemistry*, 328, 127147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127147>

Steffens, B. C., Segala, B. N., Tanabe, E. H., Ballus, C. A., & Bertuol, D. A. (2024). Adsorption and desorption strategy for recovering β -carotene from crude palm oil: Kinetics, equilibrium and thermodynamics studies. *Food and Bioproducts Processing*, 143, 158-169. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.11.002>

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>

Tay Yen Ping, B., Che Anishas Che Idris, C., & Abd Maurad, Z. (2020). Oxidative stability of refined red palm olein under two Malaysian storage conditions. *Journal of Oleo Science*, 69(10), 1209-1218. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20045>

Ulia, H., Hafnimardiyanti, Yahya, A. K., Nurmalasari, E., Sahaq, A. B., & Maulana, A. Y. (2026). Enhancement of coal fly ash as a bleaching adsorbent for crude palm kernel oil through physical and chemical activation. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*, 13(1), 65-77.

Widigdo, I., Sukarno, W., Christianti, I., & Wassell, P. (2023). Micronutrient retention in high oleic palm oil: Effect of refining technique. *International Journal of Food Science & Technology*, 58(7), 3707-3714. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16473>

Yahya, A. K., Nurmalasari, E., Aini, A. P., & Ulya, H. N. (2024). Performance evaluation of bentonite/nano-SiO₂ composite as bleaching earth in crude palm oil processing. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 27(4), 167-173. <https://doi.org/10.14710/jksa.27.4.167-173>

Yuliana, M., Sutrisno, R. J., Hermanto, S., et al. (2020). Hydrophobic cetyltrimethylammonium bromide-pillared bentonite as an effective palm oil bleaching agent. *ACS Omega*, 5(44), 28844-28855. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04238>

**LAMPIRAN DATA HASIL PENELITIAN**

Tabel berikut menyajikan data individual yang digunakan untuk perhitungan rerata, simpangan baku, efisiensi penghilangan, dan analisis statistik.

Lampiran A. Data β -karoten

Massa clay (g)	Rep-1 (ppm)	Rep-2 (ppm)	Rep-3 (ppm)	Rerata (ppm)	SD	Removal (%)
0.5	74.10	72.80	73.60	73.50	0.66	67.74
1.0	49.20	50.50	48.70	49.47	0.93	78.29
1.5	32.40	31.60	32.00	32.00	0.40	85.95
2.0	21.10	20.30	21.00	20.80	0.44	90.87
2.5	13.80	14.20	13.50	13.83	0.35	93.93

Baseline β -karoten (ppm): 226.80, 227.60, 229.10; rerata 227.83 ± 1.17 ppm.

Lampiran B. Data kadar air

Massa clay (g)	Rep-1 (%)	Rep-2 (%)	Rep-3 (%)	Rerata (%)	SD
0.5	0.184	0.191	0.187	0.187	0.004
1.0	0.180	0.176	0.182	0.179	0.003
1.5	0.173	0.177	0.175	0.175	0.002
2.0	0.168	0.171	0.169	0.169	0.002
2.5	0.165	0.167	0.166	0.166	0.001

Lampiran C. Data FFA

Massa clay (g)	Rep-1 (%)	Rep-2 (%)	Rep-3 (%)	Rerata (%)	SD
0.5	0.465	0.472	0.468	0.468	0.004
1.0	0.451	0.447	0.454	0.451	0.004
1.5	0.432	0.438	0.435	0.435	0.003
2.0	0.421	0.425	0.423	0.423	0.002
2.5	0.417	0.420	0.419	0.419	0.002

Lampiran D. Data bilangan peroksida

Massa clay (g)	Rep-1	Rep-2	Rep-3	Rerata	SD
0.5	0.58	0.63	0.61	0.61	0.03
1.0	0.60	0.65	0.62	0.62	0.03
1.5	0.59	0.64	0.61	0.61	0.03
2.0	0.62	0.66	0.64	0.64	0.02
2.5	0.61	0.65	0.63	0.63	0.02



Lampiran E. Dataset gabungan

Massa clay (g)	Ulangan	β -karoten (ppm)	Air (%)	FFA (%)	PV (mg O ₂ /100 g)
0.5	1	74.10	0.184	0.465	0.58
0.5	2	72.80	0.191	0.472	0.63
0.5	3	73.60	0.187	0.468	0.61
1.0	1	49.20	0.180	0.451	0.60
1.0	2	50.50	0.176	0.447	0.65
1.0	3	48.70	0.182	0.454	0.62
1.5	1	32.40	0.173	0.432	0.59
1.5	2	31.60	0.177	0.438	0.64
1.5	3	32.00	0.175	0.435	0.61
2.0	1	21.10	0.168	0.421	0.62
2.0	2	20.30	0.171	0.425	0.66
2.0	3	21.00	0.169	0.423	0.64
2.5	1	13.80	0.165	0.417	0.61
2.5	2	14.20	0.167	0.420	0.65
2.5	3	13.50	0.166	0.419	0.63