

# Jenis dan Konsentrasi Tanah Pengelantang untuk Menurunkan Prekursor Senyawa 3-MCPDE dan GE pada Pemucatan CPO

## (Type and Concentration of Bleaching Earth on Reducing 3-MCPDE and GE Compound Precursors on CPO Bleaching)

Kartika Sari<sup>1</sup>, Nur Wulandari<sup>1,2</sup>, Azis Boing Sitanggang<sup>1</sup>, Nuri Andarwulan<sup>1,2\*</sup>

(Diterima Januari 2023/Disetujui Mei 2023)

### ABSTRAK

Minyak sawit hasil pemurnian diketahui mengandung kontaminan berupa 3-monokloropropanadiol ester (3-MCPDE) dan glisidil ester (GE) yang terbentuk dari diasilgliserol (DAG) dan klorida (Cl) sebagai prekursor selama pemrosesan. Kadar prekursor perlu dikendalikan terutama selama tahap pemucatan minyak sawit menggunakan tanah pengelantang (*bleaching earth*, BE) terpilih. Penurunan jumlah prekursor setelah tahap pemucatan akan meminimumkan pembentukan 3-MCPDE dan GE pada minyak sawit hasil pemucatan (*bleached palm oil*, BPO) pada tahap pemurnian berikutnya. Penelitian ini terdiri atas tiga tahap: (1) pencirian bahan baku yang terdiri atas CPO, BE jenis 1, 2, 3, 4, dan 5; (2) kajian pengaruh jenis BE; dan (3) kajian pengaruh konsentrasi BE terpilih pada penurunan kadar DAG dan Cl melalui analisis kimia kualitas minyak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *degummed palm oil* (DPO) mengandung DAG 6,70%, asam lemak bebas 5,66%, karotena 424,31 mg/kg, unsur P 20,30 mg/kg, dan Fe <0,021 mg/kg. Kelima jenis BE memiliki sifat fisikokimia yang berbeda yang terlihat efeknya pada BPO. Hasil tahap kedua menunjukkan bahwa jenis BE-4 terpilih sebagai BE yang paling potensial. Penggunaan BE-4 pada konsentrasi 2,5% terbukti dapat menurunkan total Cl sebagai prekursor 3-MCPDE pada sampel BPO yang dihasilkan. Kadar Cl menurun menjadi 3,05 mg/kg dengan persentase penurunan tertinggi, yaitu 55,80% dibandingkan dengan sampel DPO. BE-4 konsentrasi 2,5% mampu menahan dan mencegah peningkatan DAG sebagai prekursor kontaminan GE selama pemucatan.

Kata kunci: 3-monokloropropanadiol ester, diasilgliserol, glisidil ester, klorida, minyak sawit

### ABSTRACT

Refined palm oil contains contaminants such as 3-monochloropropane diol ester (3-MCPDE) and glycidyl ester (GE) which are formed from diacylglycerol (DAG) and chloride (Cl) as precursors during processing. There is a need to control the levels of precursors especially during the bleaching stage using selected bleaching earth (BE). Reducing the number of precursors after the bleaching stage will minimize the formation of 3-MCPDE and GE in bleached palm oil (BPO) for the next refinery stage. The research consisted of three stages: (1) characterization of raw materials consisting of CPO, BE types 1, 2, 3, 4, and 5; (2) study on the effect of BE type; and (3) study on the concentration effect of selected BE for reducing DAG and Cl by chemical analysis of oil quality. The results showed that degummed palm oil (DPO) contained DAG of 6.70%, free fatty acid 5.66%, carotene 424.31 mg/kg, P 20.30 mg/kg, and Fe <0.021 mg/kg. The five types of BE have different physicochemical properties on which the effect will be seen on BPO. The second stage results showed that BE-4 was selected as the most potential BE. Using BE-4 of 2.5% was proven to reduce total Cl as 3-MCPDE precursors in the resulted BPO sample. The Cl level decreased to 3.05 mg/kg with the largest decrease percentage of 55.80% compared to DPO sample. BE-4 concentration of 2.5% has been able to withstand and prevent the increase of DAG as a precursor to GE contaminants during bleaching process.

Keywords: 3-monokloropropanadiol ester, chloride, diacylglycerol, glycidyl ester, palm oil

### PENDAHULUAN

Minyak sawit mentah (*crude palm oil*, CPO) merupakan salah satu minyak yang terbanyak diproduksi di dunia. Pemanfaatan CPO sangat luas,

baik di pangan maupun nonpangan. Indonesia merupakan negara dengan produksi CPO tertinggi di dunia, yaitu 45,12 juta ton dengan volume ekspor mencapai 25,62 juta ton pada tahun 2021 (BPS 2021). Sebanyak 40% dari minyak nabati yang dikonsumsi dunia adalah minyak sawit yang sebagian besar dimanfaatkan untuk produk pangan. Informasi dari Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia menunjukkan bahwa konsumsi minyak sawit di Indonesia adalah 18,42 juta ton pada tahun 2021 (GAPKI 2022). Jumlah tersebut meningkat 6,63% dari tahun sebelumnya dan tertinggi sejak tahun 2015. Sebagian besar (48,6%) CPO diolah menjadi minyak goreng melalui pemurnian

<sup>1</sup> Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB Univeristy, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

<sup>2</sup> South-East Asia Food & Agricultural Science and Technology (SEAFST) Center, IPB Univeristy, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

\* Penulis Korespondensi:

Email: andarwulan@apps.ipb.ac.id

yang terdiri atas *degumming*, pemucatan (*bleaching*), dan deodorisasi. Deodorisasi bertujuan menghilangkan bau CPO yang akan menentukan keberterimaan minyak oleh calon konsumen. Deodorisasi menggunakan suhu tinggi di atas 200 °C. Dalam tahap deodorisasi dapat terbentuk kontaminan pangan yang tidak diinginkan, yaitu senyawa 3-monokloropropanadiol ester (3-MCPDE) dan glisidil ester (GE).

Senyawa 3-MCPDE dikategorikan sebagai kelompok kontaminan yang dihasilkan selama pengolahan, terbentuk dari asilgliserol dan klorida selama pemurnian minyak nabati pada suhu tinggi. Menurut *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA), organ target utama untuk toksisitas 3-MCPD adalah ginjal, dengan paparan oral kronis mengakibatkan nefropati, tubular hiperplasia, dan adenoma (Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization, 2002). Sementara itu, GE adalah senyawa yang juga terbentuk selama pemurnian minyak nabati tetapi secara struktural dibentuk oleh asilgliserol yang mengandung gugus fungsi epoksida. Menurut Zhang *et al.* (2016), 3-MCPDE dan GE yang terkandung dalam minyak bermigrasi ke makanan yang digoreng, menimbulkan potensi risiko saat makanan gorengan tersebut tertelan. 3-MCPDE dan GE dapat dihidrolisis menjadi 3-MCPD bebas dan glisidil bebas dalam saluran cerna, yang kedua-duanya berbahaya bagi ginjal (Lampen 2014; Scholz dan Schilter 2014). Oleh karena itu, pada tahun 2016, International Agency for Research on Cancer (IARC) mengklasifikasikan 3-MCPD dan glisidol sebagai bahan karsinogenik bagi manusia (EFSA 2016). CPO mengandung prekursor pembentuk kontaminan 3-MCPDE dan GE yang diindikasikan oleh dua senyawa utama, yaitu diasilgliserol (DAG) dan klorida (Tiong *et al.* 2018). Minyak sawit menghasilkan jumlah GE yang lebih tinggi dari minyak nabati lainnya karena kandungan DAG yang melekat dan terkandung dalam minyak tersebut. Pembentukan GE dipercepat ketika jumlah DAG dalam minyak sawit melebihi 3% hingga 4% dari total lipid.

Berdasarkan berbagai kajian terdahulu, terlihat bahwa begitu luas cakupan penelitian terkait jenis BE dan potensinya dalam menurunkan kadar kontaminan 3-MCPDE. Belum terdapat informasi yang spesifik dan memadai mengenai jenis BE yang betul-betul efektif dalam menurunkan kadar 3-MCPDE dan GE pada pemurnian minyak sawit yang dapat diterapkan oleh industri pemurnian minyak sawit. Di sisi lain, diketahui pula bahwa 3-MCPDE dan GE hanya dapat terbentuk bila tersedia prekursornya. Oleh karena itu, salah satu pendekatan yang potensial untuk menurunkan kadar kontaminan 3-MCPDE dan GE pada minyak hasil pemurnian adalah dengan mengendalikan keberadaan prekursor pembentuknya pada bahan yang diproses.

Upaya pengendalian keberadaan 3-MCPDE dan GE pada penelitian ini diarahkan pada prekursor pembentuknya, yaitu DAG dan klorida, serta difokus-

kan pada tahap pemucatan. Pemucatan bertujuan menghilangkan sebagian pigmen warna dalam minyak sehingga menghasilkan minyak yang cerah dan dapat diterima oleh konsumen. Tahap pemucatan melibatkan tambahan adsorben seperti tanah pengelantang (*bleaching earth*, BE) yang memiliki sifat agansia pemucatan ke dalam CPO pada konsentrasi tertentu. Adsorpsi oleh BE dianggap sebagai cara terbaik untuk menangani pigmen dengan pertimbangan biaya yang rendah, efisiensi tinggi, penanganan yang mudah, dan tersedia berbagai jenis adsorben. Prinsip adsorpsi terbukti lebih unggul untuk menghilangkan logam berat daripada teknik lainnya dalam hal biaya, fleksibilitas, kesederhanaan desain, kemudahan pengoperasian, kurang sensitif terhadap polutan beracun, dan efisiensi penyisihan yang lebih baik (Mohan *et al.* 2008; Amer *et al.* 2010). Pemucatan dengan prinsip adsorpsi selain mampu menjerap sebagian besar pigmen dan komponen minor lain, diharapkan juga mampu menjerap DAG dan klorida yang terkandung dalam CPO. Pemucatan dengan jenis BE terpilih pada konsentrasi tertentu diharapkan mampu mereduksi keberadaan prekursor DAG dan klorida dalam CPO untuk menghasilkan kualitas *bleached palm oil* (BPO) yang lebih baik. Dengan rendahnya kadar DAG dan klorida, peluang pembentukan kontaminan 3-MCPDE dan GE pada tahap pemurnian selanjutnya juga menjadi lebih rendah. Penelitian ini bertujuan mendapatkan jenis BE terpilih dengan konsentrasi yang paling efisien dalam menjerap, menurunkan, dan mencegah kenaikan jumlah DAG dan klorida pada tahap pemucatan CPO, serta memisahkan minyak yang dihasilkan.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada bulan April 2021–September 2022 di Laboratorium Kimia SEAFast Center, Institut Pertanian Bogor, dan Laboratorium Kimia F-*Technopark*, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

### Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah CPO dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) di Banten, lima jenis BE berbahan baku bentonit dengan merk dagang Tonsil. Alat penelitian terdiri atas *gas chromatography-flame ionization detector* (GC-FID), spektrofotometer UV-Vis, spektroskopi serapan atom (*atomic absorption spectroscopy*, AAS), *inductively coupled plasma-optical emission spectrometry* (ICP-OES), dan *microcoulometer*.

### Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap. Tahap pertama ialah persiapan dan pencirian bahan baku yang terdiri atas CPO dan BE, serta pembuatan *degummed palm oil* (DPO) dan penciriannya. Tahap

kedua ialah pemucatan DPO menggunakan lima jenis BE, yaitu BE 1, 2, 3, 4, dan 5 masing-masing sebanyak 1,0% dari bobot DPO. Tahap ini untuk mendapatkan jenis BE yang paling potensial dalam menyerap prekursor DAG dengan mutu *bleached palm oil* (BPO) yang baik. Jenis BE terpilih yang paling potensial selanjutnya digunakan untuk penelitian tahap ketiga. Tahap ketiga dilakukan dengan menerapkan perlakuan taraf konsentrasi BE terpilih, yaitu kontrol (0,0%), 1,0%, 1,5%, 2,0%, dan 2,5% dari bobot DPO untuk mendapatkan konsentrasi BE yang efisien dalam menyerap DAG dan klorida sebagai prekursor 3-MCPDE dan GE.

### Pencirian Bahan Baku

Eksperimen tahap pertama dimulai dengan penyiapan bahan baku disertai dengan pembuatan DPO dari CPO melalui tahapan *degumming*. CPO (1000 mL) dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer, lalu dipanaskan di atas pelat pemanas hingga suhu 90 °C. Setelah suhu tercapai, ditambahkan larutan asam fosfat konsentrasi 85% sebanyak 0,1% dari bobot CPO, dan diaduk menggunakan pengaduk magnetik selama 15 menit dalam kondisi vakum. Setelah proses selesai, dihasilkan DPO yang dimasukkan ke dalam botol dengan menyemprotkan gas nitrogen, lalu botol ditutup dan disimpan.

Bahan baku CPO dan DPO dicirikan dengan mengukur parameter mutu minyak yang mengacu pada metode standar, yakni kadar air (BSN 2006), warna (AOCS Cc 13e-92), kadar asam lemak bebas (ALB) (AOCS Ca 5a-40 2009), komposisi fraksi asilgliserol (AOCS Cd 11b-91 2017, yang dimodifikasi), analisis total karotena, *deterioration of bleachability index* (DOBI) (PORIM 1995), dan total mineral P dan Fe (American National Standard D 5185). Selain analisis bahan baku minyak, dicirikan juga lima jenis BE yang akan digunakan untuk penelitian tahap kedua. Pencirian meliputi sifat fisik dan kimia lima jenis BE, yang mencakup analisis kadar air (BSN 2000), analisis kandungan oksida logam (Eviati & Sulaeman 2009), dan pH (Hew *et al.* 2020).

### Kajian Pengaruh Jenis BE

Pemucatan untuk menerapkan perlakuan jenis BE dilakukan sebanyak dua ulangan dengan memasukkan dan memanaskan 300 mL DPO ke dalam Erlenmeyer pada suhu 90°C menggunakan pelat pemanas. Setelah suhu proses tercapai, pemanasan dimatikan sementara untuk menurunkan suhu 2–3°C. Ke dalam DPO ditambahkan lima jenis BE masing-masing 1,0% dari jumlah DPO sesuai dengan perlakuan, lalu diaduk dengan pengaduk magnetik selama 30 menit. Selanjutnya pelat pemanas dihidupkan kembali dan suhu proses 90°C dijaga agar tetap konstan pada kondisi vakum. Minyak sawit hasil pemucatan kemudian dipisahkan dari BE menggunakan corong Buchner yang telah dilapisi kertas saring Whatman No. 1 pada kondisi vakum. Setelah penyaringan, dihasilkan minyak hasil pemucatan (BPO). Mutu BPO selanjutnya

dianalisis dengan mengacu pada metode standar yang terdiri atas kadar air (BSN 2006), kadar asam lemak bebas (ALB) (AOCS Ca 5a-40 2009), komposisi fraksi asilgliserol (AOCS Cd 11b-91 2017, yang dimodifikasi), analisis total karotena (PORIM 1995), total mineral P, dan total Fe (American National Standard D 5185). Berdasarkan ciri kimia, dari BPO yang dihasilkan dari tahap kedua ini dapat ditentukan jenis BE terpilih, yang selanjutnya digunakan pada penelitian tahap ketiga.

### Kajian Pengaruh Konsentrasi BE

Untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi BE pemucatan dilakukan sebanyak dua ulangan dengan cara yang sama seperti pada tahap kedua. DPO dicampurkan dengan BE terpilih pada lima taraf konsentrasi, yaitu kontrol (0,0%), 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% dari bobot DPO. Selanjutnya mutu BPO yang diperoleh dianalisis menggunakan metode standar yang sama seperti yang diterapkan pada penelitian tahap kedua, tetapi dengan menambahkan analisis total klorida (American National Standard D 4929). Konsentrasi BE terpilih yang menunjukkan kemampuan dan potensi menyerap prekursor tertinggi ditetapkan sebagai hasil terbaik pada penelitian tahap ketiga.

### Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari penelitian tahap kedua dan ketiga diolah menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), dengan dua ulangan. Data dianalisis dengan metode *one way analysis of variances* (ANOVA). Jika terdapat perbedaan yang nyata, dilakukan uji lanjut *Duncan's Multi Range Test* (DMRT) dengan taraf nyata 5% dan nilai simpangan baku (SD) dihitung menggunakan peranti lunak *Microsoft Excel 2016* dan *SPSS 16.0*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Ciri Bahan Baku CPO, DPO, dan BE

Pencirian bahan baku bertujuan menggambarkan mutu CPO, DPO, dan BE sebagai bahan baku yang digunakan pada pemucatan untuk dibandingkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Tabel 1 menunjukkan bahwa kadar air CPO telah memenuhi standar SNI 2901:2021 (BSN 2021), tetapi kadar ALB CPO masih melampaui standar. Nilai DAG, total karotena, P dan Fe yang terkandung dalam CPO dan DPO belum memiliki acuan standar SNI. Jumlah DAG dalam sampel CPO cukup tinggi, yaitu 5,88%. Diketahui DAG inilah yang berperan sebagai prekursor pembentukan senyawa kontaminan 3-MCPDE dan GE dalam minyak sawit (Lanovia *et al.* 2014). Kandungan fraksi asilgliserol belum menjadi persyaratan dalam perdagangan CPO. Dalam rangka meminimumkan terbentuknya kontaminan 3-MCPDE dan GE pada produk pangan yang berbahan baku CPO, diperlukan nilai ambang batas kandungan DAG pada CPO sebagai acuan standar mutu dalam regulasi.

Ciri BE dapat dilihat pada Tabel 2. Lima jenis BE yang digunakan mengandung unsur khas, yaitu silika, aluminium, besi, magnesium, dan kalsium. Kadar silika tertinggi terdapat pada BE-4 (78,39%) yang melebihi standar SNI 13-6336-2000 (BSN 2000). Kadar silika dalam adsorben dapat mencirikan jenis adsorben tersebut; komposisi silika oksida 50% hingga 70% menunjukkan keberadaan kalsium montmorillonit (bentonit) (Foletto *et al.* 2006). Kadar air pada kelima jenis BE telah memenuhi standar SNI 13-6336-2000 (BSN 2000). Jumlah aluminium yang memenuhi persyaratan SNI terdapat pada jenis BE-2, BE-3, dan BE-4. Kelima jenis BE memiliki warna yang berbeda karena sifat alami BE atau perlakuan aktivasi pada BE tersebut. Berdasarkan analisis unsur Cl pada kelima jenis BE, hanya jenis BE-4 dan BE-5 yang mengandung Cl, masing-masing 0,04% dan 0,07%. Kandungan Cl sebagai unsur hara tanah perlu diukur karena BE akan ikut tercampur dengan CPO saat pemucatan dan kemungkinan Cl ikut terakumulasi ke dalam BPO. Hal ini sangat terkait dengan salah satu rekomendasi mitigasi kontaminan 3-MCPDE dan GE, yaitu perlunya menggunakan BE yang bebas Cl.

**Pengaruh Jenis Tanah Pengelantang pada Ciri Kimia BPO**

Penelitian tahap kedua ialah untuk mendapatkan BE yang potensial guna menghilangkan pigmen dan

prekursor pembentuk 3-MCPDE dan GE. Pengaruh jenis BE pada ciri kimia BPO dapat dilihat pada Tabel 3. Sejumlah air, ALB, DAG, karotena, serta P dan Fe dapat diserap oleh semua jenis BE. Hasil sidik ragam menunjukkan tidak ada perbedaan nyata antarperlakuan jenis BE terhadap parameter mutu kadar air, ALB, DAG, total P dan Fe.

Evaluasi parameter kadar air menunjukkan bahwa perlakuan lima jenis BE dapat menurunkan kadar air selama pemucatan. Penggunaan BE-4 menghasilkan kadar air terendah, yaitu 0,03%, dan penurunan kadar air tertinggi (93,8%) jika dibandingkan dengan keempat jenis BE lainnya. BE-4 menghasilkan jumlah ALB paling rendah pada BPO, yaitu 5,09% dibandingkan dengan nilai ALB dari keempat jenis BE lainnya. Menurut Ifa *et al.* (2021), ALB terjerap dalam proses pemucatan meskipun penurunannya relatif rendah. Hal ini disebabkan oleh gugus alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan silika (SiO<sub>2</sub>) pada BE yang diketahui memiliki respons reaktif pada bentonit.

Hasil analisis sidik ragam pada parameter mutu DAG tidak berbeda nyata antarperlakuan. Ini menunjukkan bahwa lima jenis BE yang digunakan pada konsentrasi 1,0% tersebut belum dapat menjerap DAG pada proses pemucatan. Menurut Nandi *et al.* (2009), berbagai faktor seperti pH, suhu, struktur dan konsentrasi adsorbat, serta kekuatan ionik dari suspensi memengaruhi adsorpsi molekul organik

Tabel 1 Ciri kimia CPO dan DPO

Parameter mutu	Hasil analisis		Standar mutu CPO SNI 2021 <sup>(a)</sup>
	CPO	DPO	
Kadar air (%)	0,48 ±0,00	0,32±0,02	maks 0,50
Warna	jingga kemerahan	jingga kemerahan	jingga kemerahan
DAG (%)	5,88±0,01	6,70±0,04	-
ALB (%)	5,48±0,02	5,66±0,08	maks 5,00
Karotena (mg/kg)	510,57±13,57	424,31±1,97	-
DOBI	2,15±0,01	2,11±0,02	min 2,0
Logam P (mg/kg)	7,88±0,34	20,30±3,59	-
Logam Fe (mg/kg)	1,59±0,16	<0,021±0,00	-

Keterangan: CPO = *crude palm oil*; DPO = *degummed palm oil*; DAG = diasilgliserol; Logam P = fosforus; Logam Fe = besi, <sup>(a)</sup>SNI 2901:2021

Tabel 2 Ciri fisik dan kimia tanah pengelantang (BE)

Ciri	BE-1	BE-2	BE-3	BE-4	BE-5	SNI 13-6336-2000
Kadar air (%)	10,67±0,06	9,97±0,01	10,02±0,09	9,39±0,16	10,64±0,03	maks 15,00
pH	5,28±0,08	4,09±0,29	6,05±0,41	3,85±0,03	3,58±0,05	6,5-8,5
Kandungan oksida logam (%)						
CaO	6,55	0,87	0,62	1,04	7,73	-
MgO	2,48	0,86	0,45	0,42	3,22	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,44	2,06	1,39	1,09	2,91	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	td	174,80	147,90	81,54	td	min 15,00
SiO <sub>2</sub>	70,44	71,01	75,91	78,39	67,77	maks 70,00
ClO	td	td	td	0,04	0,07	-



Keterangan: Data merupakan nilai rata-rata ± SD (n = 2), Keterangan: td = tidak terdeteksi. BE = *Bleaching earth*; nomor BE = jenis BE; td = tidak terdeteksi.

Tabel 3 Perubahan mutu kimia *bleached palm oil*

Sampel	Parameter mutu					
	Kadar air (%)	ALB (%)	DAG (%)	Total Karoten (mg/kg)	Total P (mg/kg)	Total Fe (mg/kg)
DPO	0,32±0,02 <sup>b</sup>	5,66±0,08 <sup>b</sup>	6,70±0,04 <sup>a</sup>	424,31±1,97 <sup>d</sup>	20,30±3,59 <sup>b</sup>	<0,021±0,00 <sup>a</sup>
BPO, BE-1	0,05±0,01 <sup>a</sup>	5,34±0,16 <sup>a</sup>	6,24±0,30 <sup>a</sup>	375,21±4,40 <sup>c</sup>	6,55±1,19 <sup>a</sup>	<0,021±0,00 <sup>a</sup>
BPO, BE-2	0,04±0,01 <sup>a</sup>	5,28±0,16 <sup>a</sup>	6,38±0,07 <sup>a</sup>	324,61±3,04 <sup>b</sup>	7,76±2,21 <sup>a</sup>	<0,021±0,00 <sup>a</sup>
BPO, BE-3	0,04±0,01 <sup>a</sup>	5,21±0,08 <sup>a</sup>	6,46±0,23 <sup>a</sup>	390,50±12,17 <sup>cd</sup>	5,95±0,35 <sup>a</sup>	<0,021±0,00 <sup>a</sup>
BPO, BE-4	0,03±0,01 <sup>a</sup>	5,09±0,04 <sup>a</sup>	6,26±0,00 <sup>a</sup>	252,98±5,60 <sup>a</sup>	4,98±1,04 <sup>a</sup>	<0,021±0,00 <sup>a</sup>
BPO, BE-5	0,04±0,00 <sup>a</sup>	5,18±0,07 <sup>a</sup>	6,17±0,33 <sup>a</sup>	288,08±41,95 <sup>ab</sup>	5,08±1,53 <sup>a</sup>	<0,021±0,00 <sup>a</sup>

Keterangan: DPO = *degummed palm oil*; BPO = *bleached palm oil*; BE = tanah pengelantang; ALB = asam lemak bebas; Total P = total fosforus; DAG = diasilgliserol; Total Fe = total besi. Data merupakan nilai rata-rata ± SD ( $n = 2$ ), huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf nyata 5% (uji selang berganda Duncan).

adsorbat ke adsorben. Karotena merupakan senyawa hidrokarbon takjenuh dan zat warna yang pada suhu tinggi bersifat tidak stabil (Ketaren 1986).

Kelima jenis BE terbukti dapat menurunkan jumlah karotena pada proses pemucatan dan hasil sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan lima jenis BE berbeda nyata antarperlakuan; penurunan tertinggi diperlihatkan oleh BE-4 dengan jumlah total karotena pada BPO 252,98 mg/kg. Terjadinya penurunan karotena tertinggi pada BE-4 terjadi karena jenis ini memiliki kadar silika tertinggi, yang akan menghasilkan daya jerap karotena tertinggi (Didi *et al.* 2009). Diketahui bahwa komposisi kimia bahan berpengaruh pada daya jerap adsorben terhadap adsorbatnya dan data pada tahap ketiga ini menunjukkan bahwa efisiensi penyerapan karoten beragam dengan jenis BE yang berbeda.

Kandungan logam pada CPO dapat berasal dari tanah, pupuk, dan peralatan pengolahan yang merupakan kontaminan, dan relatif jarang ditentukan (Bati & Cesur 2002; Chen *et al.* 2003). Kehadiran fosforus (P) dalam CPO dianggap sebagai pengotor yang akan menjadi masalah pada proses pemurnian. Total P dalam CPO relatif lebih rendah dibandingkan minyak nabati lainnya (Goh *et al.* 1984). Hasil pengujian total P pada BPO menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata antarsampel untuk perlakuan jenis BE. Perbedaan nyata terlihat pada sampel DPO yang memiliki total P tertinggi, yaitu 20,30 mg/kg. Tingginya total P pada sampel DPO disebabkan oleh proses *degumming* asam fosfat yang dapat menyumbangkan kandungan P dan terakumulasi dalam DPO yang secara efektif dapat dihilangkan selama pemucatan dengan BE (Rossi *et al.* 2003; Costa *et al.* 2018). Perlakuan lima jenis BE dengan konsentrasi 1,0% terbukti dapat menurunkan jumlah P selama pemucatan. Kheok dan Lim (1982) mengemukakan bahwa mekanisme reduksi P adalah melalui adsorpsi ion P pada struktur kisi lempung atau BE. Kandungan P dalam minyak perlu diminimumkan karena berkaitan dengan efeknya yang secara tidak langsung menurunkan stabilitas minyak melalui asosiasi P dengan logam pro-oksidan dan ALB (Sambanthamurthi *et al.* 2000).

Hasil pengujian total besi (Fe) menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nyata di antara setiap perlakuan jenis BE serta DPO. Total Fe yang rendah pada BPO dan DPO berada di bawah ambang batas deteksi

(<0,021 ppm). Temuan ini sejalan dengan penelitian Rossi *et al.* (2003), bahwa pemucatan dengan perlakuan jenis dan konsentrasi BE sangat menurunkan konsentrasi Fe hingga nilainya di bawah ambang batas deteksi. Berdasarkan uraian ini, dapat diketahui bahwa penurunan kadar air, ALB, total karotena, total P dan Fe pada jenis BE-4 lebih tinggi daripada jenis BE lainnya pada konsentrasi 1,0%. Hasil ini juga dipengaruhi oleh ciri BE-4 yang memiliki sifat *naturally activated bleaching earth* (NABE) dan kandungan silika tertinggi dibandingkan BE jenis lainnya. Parameter total karotena menunjukkan perbedaan nyata antarperlakuan jenis BE, dan menjadi dasar untuk memilih jenis BE-4 sebagai jenis BE yang mampu memucatkan dan potensi adsorpsi tertinggi untuk selanjutnya digunakan dalam penelitian tahap ketiga.

### Pengaruh Konsentrasi Tanah Pengelantang Terpilih pada Prekursor Pembentuk Kontaminan 3-MCPDE dan GE, dan Ciri Kimia BPO

BE-4, sebagai BE terpilih hasil penelitian tahap kedua, digunakan pada tahap ketiga dengan perlakuan taraf konsentrasi 0,0%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% dari bobot DPO. Hasil perubahan ciri kimia BPO setelah perlakuan konsentrasi BE-4 dapat dilihat pada Tabel 4.

Data parameter mutu kadar air menunjukkan bahwa perlakuan lima taraf konsentrasi BE-4 dapat menyerap dan menurunkan kadar air pada DPO selama pemucatan, dan hasil sidik ragam menunjukkan adanya perbedaan nyata antarperlakuan. Konsentrasi BE-4 1,0%, 2,0%, dan 2,5% berbeda nyata dengan konsentrasi BE-4 0,0% dan 1,5%, serta perlakuan 5 taraf konsentrasi BE-4 berbeda nyata dengan DPO. Nilai persen perubahan kadar air pada BPO setelah perlakuan lima taraf konsentrasi BE-4 adalah 68,42–73,68%. Hasil tersebut mendukung penelitian Mansa *et al.* (2021) bahwa penghilangan kandungan air akan semakin tinggi saat perlakuan jumlah BE meningkat hingga jumlah yang optimum.

Pengujian kadar ALB pada sampel BPO menunjukkan perbedaan yang nyata antara perlakuan BE-4 pada konsentrasi 0,0% dan 1,5% dengan konsentrasi 1,0%, 2,0%, dan 2,5%, yang juga menunjukkan perbedaan nyata dalam hal DPO. ALB dapat dijerap oleh BE walaupun menunjukkan persen penurunan yang relatif rendah dan tidak berpengaruh

Tabel 4 Pengaruh konsentrasi BE terpilih pada perubahan mutu kimia *bleached palm oil*

Sampel	Parameter mutu											
	Kadar air (%)	% perubahan	ALB (%)	% perubahan	DAG (%)	% perubahan	Total karotena (mg/kg)	% perubahan	Total P (mg/kg)	% perubahan	Total Fe (mg/kg)	% perubahan
DPO	0,19±0,00 <sup>c</sup>		5,55±0,16 <sub>b</sub>		5,87±0,3 <sub>5<sup>a</sup></sub>		423,19±11,3 <sub>6<sup>e</sup></sub>		17,60±2,8 <sub>5<sup>b</sup></sub>		<0,021±0,00 <sub>a</sub>	
BPO, BE-4, 0,0%	0,06±0,00 <sup>b</sup>	-68,42	5,38±0,04 <sub>ab</sub>	-3,06	6,01±0,1 <sub>3<sup>a</sup></sub>	+2,39	396,90±3,96 <sup>d</sup>	-6,21	28,94±8,2 <sub>1<sup>c</sup></sub>	+64,43	<0,021±0,00 <sub>a</sub>	0,00
BPO, BE-4, 1,0%	0,06±0,01 <sup>ab</sup>	-68,42	5,22±0,03 <sub>a</sub>	-5,95	5,97±0,1 <sub>4<sup>a</sup></sub>	+1,70	265,19±9,43 <sup>c</sup>	-37,34	4,57±2,28 <sup>a</sup>	-74,03	<0,021±0,00 <sub>a</sub>	0,00
BPO, BE-4, 1,5%	0,05±0,01 <sup>a</sup>	-73,68	5,34±0,12 <sub>ab</sub>	-3,78	6,12±0,0 <sub>8<sup>a</sup></sub>	+4,26	215,77±9,06 <sup>b</sup>	-49,01	2,79±2,41 <sup>a</sup>	-84,15	<0,021±0,00 <sub>a</sub>	0,00
BPO, BE-4, 2,0%	0,06±0,01 <sup>ab</sup>	-68,42	5,29±0,12 <sub>a</sub>	-4,68	5,97±0,0 <sub>4<sup>a</sup></sub>	+1,70	157,71±13,5 <sub>6<sup>a</sup></sub>	-62,73	2,30±1,75 <sup>a</sup>	-86,93	<0,021±0,00 <sub>a</sub>	0,00
BPO, BE-4, 2,5%	0,05±0,00 <sup>ab</sup>	-73,68	5,25±0,04 <sub>a</sub>	-5,41	5,88±0,0 <sub>2<sup>a</sup></sub>	+0,17	138,94±4,38 <sup>a</sup>	-67,17	1,69±1,23 <sup>a</sup>	-90,40	<0,021±0,00 <sub>a</sub>	0,00

Keterangan: DPO = *degummed palm oil*; BPO = *bleached palm oil*; BE = tanah pengelantang, ALB = asam lemak bebas; DAG = diasilgliserol; % perubahan = persentase perubahan; (+) = terjadi kenaikan; Total P = total fosforus; Total Fe = total besi; (-) = terjadi penurunan. Data merupakan nilai rata-rata ± SD ( $n = 2$ ). Huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf nyata 5% (uji selang berganda Duncan).

nyata (Ifa *et al.* 2021). Nilai persen perubahan ALB yang dihasilkan pada BPO dari semua perlakuan terletak pada kisaran 3,06%–5,95%. Krisdiarto dan Sutiarso (2016) menyatakan bahwa kadar ALB saat proses pengolahan CPO harus kurang dari 3% untuk dapat menghasilkan CPO dengan kadar ALB yang kurang dari 5%. Penelitian ini belum dapat menghasilkan BPO dengan kadar ALB kurang dari 5%.

Pengujian total DAG menunjukkan tidak ada perbedaan nyata antarperlakuan konsentrasi BE-4 dan DPO. Perlakuan lima taraf konsentrasi BE belum dapat menyerap dan mereduksi DAG yang terkandung dalam BPO pada proses pemucatan. Sampel BPO hasil perlakuan menunjukkan kenaikan jumlah total DAG, meski jumlah ini masih lebih rendah daripada kandungan DAG rata-rata dalam minyak sawit yang sudah dilaporkan sebelumnya. Data Isharyadi (2019) menunjukkan bahwa kandungan DAG di wilayah Sumatra dan non-Sumatra cukup tinggi, antara 3,18% dan 13,64%, dengan rata-rata sekitar 6,73%. Semakin tinggi konsentrasi BE-4 yang digunakan tidak meningkatkan kemampuan penyerapan BE terhadap DAG. Menurut De Greyt (2012), jika diketahui kandungan DAG lebih dari 4%, maka jumlah 3-MCPDE umumnya akan lebih besar dari 5 ppm, yang membuktikan bahwa DAG berkorelasi positif dengan 3-MCPDE sehingga penting untuk dapat mengendalikan jumlah prekursor DAG.

Wei *et al.* (2004) menyatakan bahwa tidak terdapat perubahan komposisi fraksi asilgliserol yang nyata pada pemucatan menggunakan BE yang-diaktivasi dan BE netral pada konsentrasi 1,0%. Bariyah (2016) juga telah mengupayakan reduksi DAG menggunakan adsorben pada minyak sawit yang telah dimurnikan dengan kandungan ALB yang rendah. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak semua jenis adsorben dapat menurunkan komponen polar (seperti DAG) dalam minyak sawit. Pemucatan menggunakan berbagai jenis adsorben hanya dapat menurunkan ALB 70% pada CPO dalam kondisi vakum tapi tidak dapat menurunkan DAG-nya. Setiap kontaminan akan bereaksi atau teradsorpsi pada permukaan atau mungkin tapak aktif BE dengan kinetika adsorpsi yang berbeda-beda dan kemungkinan menyebabkan pemblokiran pada permukaannya dan dapat juga menonaktifkan tapak aktif BE (Zschau 2001).

Tidak dijerapnya DAG oleh BE mungkin karena tapak aktif atau film pori permukaannya telah diisi oleh molekul lain (P, Fe, Cl, dan karotena) yang diduga memiliki bobot molekul yang lebih rendah dibandingkan ukuran pori atau tapak aktif BE. Kondisi tersebut menyebabkan fraksi DAG pada minyak yang dipucatkan tidak dapat menyerap atau berdifusi ke dalam permukaan BE akibat perbedaan permukaan adsorben atau perbedaan molekul yang teradsorpsi. Ada juga kemungkinan bahwa DAG yang terkandung pada CPO memiliki energi adsorpsi yang rendah, sementara BE yang digunakan belum memiliki tapak aktif yang sesuai pada permukaan BE untuk dapat menyerap DAG. Ifa *et al.* (2021) menyebutkan kapasitas adsorpsi BE akan

menurun etika konsentrasi yang digunakan semakin tinggi. Penurunan kapasitas adsorpsi diduga disebabkan oleh keberadaan multilapis di atas adsorbat, yang terbentuk pada permukaan adsorben yang menjenuhkan permukaannya.

Tabel 4 menunjukkan bahwa taraf konsentrasi BE dapat menurunkan jumlah total karotena yang terkandung dalam DPO dengan persen perubahan dalam kisaran 6,21–67,19%. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa perlakuan taraf konsentrasi BE-4 untuk mereduksi karoten berpengaruh nyata antarperlakuan. Perlakuan konsentrasi BE 0,0% menunjukkan persentase perubahan total karotena terendah pada BPO, yaitu 6,21%, karena tidak ada BE yang ditambahkan sehingga tidak terjadi penyerapan. Penurunan karotena diduga hanya akibat rusaknya sebagian karotena akibat oksidasi panas selama pemucatan. Menurut Ifa *et al.* (2021) semakin tinggi konsentrasi BE yang digunakan, semakin tinggi jumlah karotena yang dapat menyerap karena ada peningkatan permukaan adsorpsi yang tersedia untuk interaksi selama pemucatan; dengan demikian, warna CPO menjadi lebih pucat (Abdi *et al.* 2021).

Hasil pengujian total P pada penelitian tahap ketiga menunjukkan perbedaan nyata pada perlakuan taraf konsentrasi BE-4 (Tabel 4). Hasil analisis sidik ragam perlakuan konsentrasi BE-4 0,0% berbeda nyata dengan empat perlakuan konsentrasi BE-4 lainnya karena memiliki total P tertinggi (28,94 mg/kg), dengan peningkatan total P sebesar 64,43% dibandingkan DPO. Menurut Mansa *et al.* (2021), tidak dilakukannya penambahan BE pada pemucatan akan memengaruhi persentase kehilangan P, yang artinya tidak terjadi adsorpsi P ke permukaan BE. Peningkatan jumlah P pada konsentrasi BE 0,0% mungkin disebabkan oleh suhu pemucatan. Pemucatan dengan BE-4 pada konsentrasi 1,0% hingga 2,5% terbukti dapat menurunkan jumlah P pada DPO dengan persen penurunan 74,03–90,40%. Semakin tinggi konsentrasi BE-4 yang digunakan, semakin menurunkan jumlah P pada minyak BPO jika dibandingkan dengan DPO. Penurunan jumlah P tertinggi terjadi pada sampel BPO pada konsentrasi BE-4 (2,5%), yaitu dengan total P 1,69 mg/kg dan persentase penurunan 90,40% dibandingkan dengan DPO. Konsentrasi P yang tinggi akan mengotori pipa dan peralatan seperti penukar panas pada operasi suhu tinggi, menurunkan stabilitas oksidatif minyak sawit, bertindak sebagai pembawa logam kelumit (*trace metals*) dan meningkatkan biaya untuk proses pemurnian Nur (Nur Sulihatimarsyila *et al.* 2020). Keberhasilan pemurnian minyak memiliki persyaratan penting, yaitu berkurangnya kandungan P hingga <10 ppm untuk mencegah terjadinya warna gelap pada minyak olahan (Ghazani & Marangoni 2013). Persentase penurunan P yang cukup tinggi akan berdampak pada kualitas minyak yang lebih baik.

Hasil pengujian total Fe seperti disajikan pada Tabel 4 menunjukkan bahwa analisis sidik ragam pada penerapan taraf konsentrasi BE-4 dan DPO tidak berbeda nyata antarperlakuan. Tidak terdapat

perubahan setelah perlakuan tersebut terjadi karena proses *degumming* telah mampu menurunkan jumlah total Fe pada DPO hingga nilai ambang batas deteksi. Menurut penelitian Lamas *et al.* (2016), semua proses *degumming* dapat mengurangi kandungan besi. Zhang *et al.* (2015) berpendapat bahwa ion Fe terbukti berpengaruh dalam pembentukan 3-MCPD sebagai katalis reaksi. Kehadiran ion Fe dalam minyak berperan sebagai pro-oksidan yang memengaruhi stabilitas oksidatif minyak (Chew & Nyam 2020). Gibon *et al.* (2007) menegaskan bahwa pemucatan harus mampu mengurangi jumlah P dan Fe hingga konsentrasi yang cukup rendah untuk meminimumkan produk oksidasi. Dengan demikian, perlakuan pada penelitian ini telah dapat menurunkan jumlah Fe untuk meminimumkan oksidasi produk.

Hasil pengujian total klorida (Cl) sebagai prekursor 3-MCPDE dapat dilihat pada Tabel 5. Klorida terbagi menjadi 2 jenis, yaitu anorganik dan organik (Nagy *et al.* 2011); kedua jenis klorida terakumulasi dan dihitung sebagai total klorida. Ion klorida dapat berasal dari tanah dan pupuk yang digunakan pada penanaman pohon sawit sehingga terserap pada setiap bagian tanaman (Mohd Zin 2006). Menurut White dan Broadley (2001), klorin alami yang ada di tanah terutama dapat berasal dari air hujan, air laut, debu, dan polusi udara. Selain itu, pengendapan klorida juga dipengaruhi oleh praktik manusia berupa irigasi dan pemupukan yang dapat berkontribusi secara nyata. Adsorben yang memiliki kandungan klorida tidak dapat diabaikan dan kemungkinan dapat berkontribusi pada pembentukan kontaminan (Tivanello *et al.* 2021). Senyawa klorin adalah prekursor yang sangat diperlukan untuk pembentukan 3-MCPDE dan tidak hanya bergantung pada jumlah prekursor saja, tetapi juga dipengaruhi oleh ketersediaan klorida dalam minyak (Wang *et al.* 2020). Analisis sidik ragam pada jenis klorida anorganik menunjukkan tidak terdapat perbedaan nyata antarperlakuan serta DPO. Klorida anorganik tidak bertindak sebagai prekursor utama 3-MCPDE karena memiliki 2–8% nisbah konversi menjadi 3-MCPDE selama proses deodorisasi (Shimizu *et al.* 2013). Nagy *et al.* (2011) menemukan bahwa dalam CPO terdapat senyawa anorganik terklorinasi seperti FeCl<sub>2</sub>, FeCl<sub>3</sub>, CaCl<sub>2</sub>, dan MgCl<sub>2</sub>. Analisis sidik ragam klorida organik menunjukkan perbedaan yang nyata dan menunjukkan penurunan kadarnya seiring bertambahnya taraf konsentrasi BE,

yang membuktikan perlakuan konsentrasi BE dapat menyerap dan menurunkan klorida organik. Klorida organik yang terbanyak ditemukan pada CPO adalah fitosfingosin, yang ditemukan sebagai prekursor klorin paling aktif untuk membentuk 3-MCPDE (Tiong *et al.* 2018). Senyawa klorin organik adalah kontributor utama untuk membentuk 3-MCPDE yang dimediasi oleh radikal bebas saat bereaksi (Wang *et al.* 2020). Jumlah klorida organik setelah perlakuan BE-4 pada konsentrasi 1,0%, 1,5%, dan 2,0% berbeda nyata dengan konsentrasi BE 0,0% dan DPO. Konsentrasi BE-4 2,5% memiliki kadar klorida organik 2,40 mg/kg, yang berbeda nyata dari perlakuan konsentrasi BE-4 lainnya. Analisis sidik ragam atas perlakuan lima taraf konsentrasi BE-4 terhadap parameter mutu total klorida menunjukkan perbedaan yang nyata pada setiap perlakuan, termasuk sampel DPO. Perlakuan konsentrasi BE-4 menunjukkan kemampuannya menyerap dan menurunkan jumlah klorida selama pemucatan, dengan persentase perubahan 10,14–55,80%. Total klorida yang terkandung dalam DPO ialah 6,90 mg/kg. Perlakuan tanpa tambahan BE-4 (0,0%) menunjukkan persen perubahan total klorida terendah karena tidak terdapat BE yang dapat menyerap klorida selama pemucatan. Konsentrasi BE-4 2,5% menghasilkan total klorida pada sampel BPO sebesar 3,05 mg/kg dengan persen penurunan 55,80%, yang merupakan persentase penurunan tertinggi dibandingkan dengan DPO, dan merupakan konsentrasi BE-4 yang memiliki kemampuan terbaik.

## KESIMPULAN

Lima jenis BE yang digunakan untuk mengendalikan keberadaan prekursor 3-MCPDE dan GE memperlihatkan pengaruh berbeda-beda pada ciri kimia BPO yang dihasilkan. Jenis BE-4 terpilih sebagai BE yang potensial untuk menyerap prekursor 3-MCPDE dan GE yang menunjukkan perbedaan nyata dengan penyerapan karotena tertinggi. Penggunaan BE-4 pada konsentrasi 1,0% mampu menghasilkan BPO dengan total karotena 252,98 mg/kg, kadar DAG 6,26%, total P 4,98 mg/kg, dan total Fe <0,021 mg/kg.

Perlakuan BE-4 sebagai BE terpilih pada konsentrasi 1,0%, 1,5%, 2,0%, dan 2,5% mampu menurunkan kadar air, ALB, total karotena, total P dan Fe serta Cl pada BPO. Konsentrasi BE-4 2,5% dapat

Tabel 5 Pengaruh konsentrasi *bleaching earth* (BE) terpilih terhadap total klorida dalam *bleached palm oil* (BPO) sebagai prekursor pembentuk kontaminan 3-MCPDE

Sampel	Klorida (mg/kg)			
	Anorganik	Organik	Total Klorida	% Perubahan
DPO	0,90±1,20 <sup>a</sup>	6,10±1,06 <sup>b</sup>	6,90±0,14 <sup>c</sup>	
BPO, BE-4, 0,0%	0,80±0,42 <sup>a</sup>	5,40±0,42 <sup>b</sup>	6,20±0,00 <sup>bc</sup>	-10,14
BPO, BE-4, 1,0%	0,80±0,49 <sup>a</sup>	4,20±1,34 <sup>ab</sup>	4,90±1,84 <sup>abc</sup>	-28,99
BPO, BE-4, 1,5%	1,20±1,27 <sup>a</sup>	4,20±1,98 <sup>ab</sup>	5,40±0,71 <sup>bc</sup>	-21,74
BPO, BE-4, 2,0%	0,80±0,85 <sup>a</sup>	3,70±0,78 <sup>ab</sup>	4,45±0,07 <sup>ab</sup>	-35,51
BPO, BE-4, 2,5%	0,70±0,14 <sup>a</sup>	2,40±0,21 <sup>a</sup>	3,05±0,35 <sup>a</sup>	-55,80

Keterangan: Data merupakan nilai rata-rata ± SD (n=2), huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf signifikansi 5% (uji selang berganda Duncan).

menurunkan total CI (sebagai prekursor pembentuk kontaminan 3-MCPDE) pada sampel BPO menjadi 3,05 mg/kg, dengan persen penurunan terbesar, yaitu 55,80% jika dibandingkan dengan sampel DPO. Penggunaan BE-4 pada konsentrasi 2,5% tersebut tidak menyebabkan penurunan kadar DAG (sebagai prekursor kontaminan GE), tetapi menunjukkan potensinya dalam mencegah pertambahan DAG selama pemucatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdi E, Gharachorloo M, Ghavami M. 2021. Investigation of using egg shell powder for bleaching of soybean oil. *Lwt-Food Science and Technology* 140: 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110859>
- American National Standard. 2004. Standard test methods for determination of organic chloride content in crude oil. ASTM International. hlm 1–8.
- American National Standard. 2018. Standard test method for multielement determination of used and unused lubricating oils and base oils by ICP-AES. ASTM International. hlm 1–9.
- [AOCS] American Oil Chemists' Society. 2009. *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. Ed ke-5*. Champaign, Illinois (US): AOCS Press.
- [AOCS] American Oil Chemists' Society. 2017. *Official Methods and Recommended Practices of the AOCS. Ed ke-5*. Champaign, Illinois (US): AOCS Press.
- [BPS] Badan Pusat Statistik Indonesia. 2021. Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2021. Jakarta (ID).
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2000. Standar Nasional Indonesia nomor 13-6336-2000 tentang Bentonit untuk Pemucat Minyak Nabati. hlm 1–8.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2006. Standar Nasional Indonesia Nomor 01-2901-2006 tentang Minyak Kelapa Sawit Mentah (*Crude Palm Oil*). hlm 1–11.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2021. Standar Nasional Indonesia Nomor 2901:2021 tentang Minyak Kelapa Sawit Mentah (*Crude Palm Oil*). hlm 1–6.
- Bariyah K. 2016. Evaluasi Kinerja Beberapa Adsorben terhadap Pengurangan Kadar Diasilgliserol dan Asam Lemak Bebas dalam Minyak Sawit Kasar. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor. <https://doi.org/10.22146/agritech.17009>
- Bati B, Cesur H. 2002. Determination of copper in edible oils by atomic absorption spectrometry after lead piperazinedithiocarbamate solid-phase extraction and potassium cyanide back-extraction. *Analytical Sciences*. 18(11): 1273–1274. <https://doi.org/10.2116/analsci.18.1273>
- Chen SS, Cheng CC, Chou SS. 2003. Determination of arsenic in edible oils by direct graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Journal of Food and Drug Analysis*. 11(3): 214–219. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2698>
- Chew SC, Nyam KL. 2020. Refining of edible oils. Di dalam: *Lipids and Edible Oils*. London (UK): Elsevier. hlm. 213–241. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817105-9.00006-9>
- Costa E, Almeida MF, Alvim-Ferraz M da C, Dias JM. 2018. Effect of crambe abyssinica oil degumming in phosphorus concentration of refined oil and derived biodiesel. *Renewable Energy*. 124: 27–33. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.089>
- De Greyt W. 2012. How to minimize 3-MCPD and glycidyl esters during oil processing. AOCS. [internet]. [diunduh 2023 Jan 9]. Tersedia pada: <https://www.aocs.org/documents/Meetings/AM/AM12PROGRAM..pdf>
- Didi MA, Makhoukhi B, Azzouz A, Villemin D. 2009. Colza oil bleaching through optimized acid activation of bentonite. A comparative study. *Applied Clay Science*. 42(3–4): 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2008.03.014>
- European Food Safety Authority. 2016. Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. *European Food Safety Authority Journal*. 14(5): e04426.
- Eviati, Sulaeman. 2009. *Aanalisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Ed ke-2 Prasetyo BH, Santoso D, W LR, editor. Bogor (ID): Balai Penelitian Tanah Bogor.
- Foletto EL, Volzone C, Porto LM. 2006. Clarification of cottonseed oil: how structural properties of treated bentonites by acid affect bleaching efficiency. *Latin American Applied Research*. 36(1): 37–40
- [GAPKI] Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia. 2022. Kinerja Industri Sawit 2021 dan Prospek 2022. Jakarta (ID).
- Ghazani SM, Marangoni AG. 2013. Minor components in canola oil and effects of refining on these constituents: A review. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 90(7): 923–932. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2254-8>
- Gibon V, De Greyt W, Kellens M. 2007. Palm oil refining. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109(4): 315–335. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600307>
- Goh SH, Tong SL, Gee PT. 1984. Total phospholipids in crude palm oil: Quantitative analysis and

- correlations with oil quality parameters. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 61(10): 1597–1600. <https://doi.org/10.1007/BF02541640>
- Hew KS, Asis AJ, Tan TB, Yusoff MM, Lai OM, Nehdi IA, Tan CP. 2020. Revising degumming and bleaching processes of palm oil refining for the mitigation of 3-monochloropropane-1,2-diol esters (3-MCPDE) and glycidyl esters (GE) contents in refined palm oil. *Food Chemistry*. 307: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125545>
- Ifa L, Wiyani L, Nurdjannah N, Ghalib AMT, Ramadhaniar S, Kusuma HS. 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): 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07230>
- Isharyadi F. 2019. Karakterisasi fisikokimia *crude palm oil* (CPO) di daerah Sumatra dan non-Sumatra. [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Ketaren S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. [internet] [diunduh 2022 Nov 2]. Tersedia pada: <https://lib.ui.ac.id>
- Kheok SC, Lim EE. 1982. Mechanism of palm oil bleaching by montmorillonite clay activated at various acid concentrations. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 59(3):129–131. <https://doi.org/10.1007/BF02662259>
- Krisdiarto AW, Sutiarto L. 2016. Study on oil palm fresh fruit bunch bruise in harvesting and transportation to quality. *Makara Journal of Technology*. 20(2): 1–7. <https://doi.org/10.7454/mst.v20i2.3058>
- Lamas DL, Constenla DT, Raab D. 2016. Effect of degumming process on physicochemical properties of sunflower oil. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 6: 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.03.007>
- Lampen A. 2014. Toxicological properties of MCPD fatty acid esters. Di dalam: *Processing Contaminants in Edible Oils: MCPD and Glycidyl Esters*. Berlin (EN): AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-9888565-0-9.50012-9>
- Lanovia T, Andarwulan N, Hariyadi P. 2014. Validasi modifikasi metode WEIßHAAR untuk analisis 3-MCPD ester dalam minyak goreng sawit. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 25(2): 200–208. <https://doi.org/10.6066/jtip.2014.25.2.200>
- Mansa FR, Edwardo E, Osong Patrick A, Kumaresan S. 2021. Optimization of phosphorus content removal in sludge palm oil using response surface methodology. *EasyChair Preprints*
- Mohd Zin R. 2006. Process Design in Degumming and Bleaching of Palm Oil. [Tesis]. Johor Bahru (MY): University of Technology Malaysia.
- Nagy K, Sandoz L, Craft BD, Destailats F. 2011. Mass-defect filtering of isotope signatures to reveal the source of chlorinated palm oil contaminants. *Food Additives and Contaminants-Part A*. 28(11): 1492–1500. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.618467>
- Nandi BK, Goswami A, Purkait MK. 2009. Adsorption characteristics of brilliant green dye on kaolin. *Journal of Hazardous Materials*. 161: 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.110>
- Nur Sulihatimarsyila AW, Lau HLN, Nabilah KM, 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: 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100035>
- [PORIM] Palm Oil Research Institute of Malaysia. 1995. *PORIM Test Methods Malaysia*. Ministry of Primary Industries. Kuala Lumpur (ML).
- Rossi M, Gianazza M, Alamprese C, Stanga F. 2003. The role of bleaching clays and synthetic silica in palm oil physical refining. *Food Chemistry*. 82(2): 291–296. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00551-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00551-4)
- Sambanthamurthi R, Sundram K, Tan YA. 2000. Chemistry and biochemistry of palm oil. Dalam : *Progress in Lipid Research* Volume 39. Kuala Lumpur, Malaysia: Pergamon. hlm. 507-558. [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(00\)00015-1](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(00)00015-1)
- Scholz G, Schilter B. 2014. Toxicological Properties of Glycidyl Esters. Di dalam: *Processing Contaminants in Edible Oils: MCPD and Glycidyl Esters*. Switzerland (SW): AOCS Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-9888565-0-9.50011-7>
- Shimizu M, Weitkamp P, Vosmann K, Matthäus B. 2013. Influence of chloride and glycidyl-ester on the generation of 3-MCPD- and glycidyl-esters. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 115(7): 735–739. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201200310>
- Tiong SH, Saparin N, Teh HF, Ng TLM, Md Zain MZ Bin, Neoh BK, Md Noor A, Tan CP, Lai OM, Appleton DR. 2018. Natural organochlorines as precursors of 3-monochloropropanediol esters in vegetable oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 66(4): 999–1007. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04995>
- Tivanello RG, Capristo MF, Leme FM, Ferrari RA, Sampaio KA, Ariseto AP, Vicente E. 2021. Mitigation studies based on the contribution of chlorides and acids to the formation of 3-MCPD, 2-MCPD, and glycidyl esters in palm oil. *ACS Food Science and Technology*. 1(7): 1190–1197. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00084>

- Vispute P, Dabhade S. 2018. Refining of palm oil: A review on palm oil refining process, 3-MCPD esters in refined palm oil, and possible reduction tactics for 3-MCPD esters. *International Journal of Agricultural Engineering*. 11(Special): 81–85. <https://doi.org/10.15740/HAS/IJAE/11.Sp.Issue/81-85>
- Wang S, Liu G, Cheng W. 2020. Chloride-mediated co-formation of 3-monochloropropanediol esters and glycidyl esters in both model vegetable oils and chemical model systems. *Food Research International*. 140(381): 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109879>
- Wei PC, May CY, Hock CC. 2004. Degumming and bleaching: effect on selected constituents of palm oil. *Journal of Oil Palm Research*. 16(2): 57–63.
- White PJ, Broadley MR. 2001. Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. *Annals of Botany* 88(6): 967–988. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1540>
- Zhang Z, Gao B, Zhang X, Jiang Y, Xu X. 2015. Formation of 3-Monochloro-1,2-propanediol (3-MCPD) di- and monoesters from tristearoylglycerol (TSG) and the potential catalytic effect of Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup>. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63: 1839–1848. <https://doi.org/10.1021/jf5061216>
- Zhang H, Jin P, Zhang M, Cheong LZ, Hu P, Zhao Y, Yu L, Wang Y, Jiang Y, Xu X. 2016. Mitigation of 3-Monochloro-1,2-propanediol ester formation by radical scavengers. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 64(29): 5887–5892. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02016>
- Zschau W. 2001. Bleaching of edible fats and oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 103(8): 505–551. [https://doi.org/10.1002/1438-9312\(200108\)103:8<505::AID-EJLT505>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1438-9312(200108)103:8<505::AID-EJLT505>3.0.CO;2-7)