

PEDOMAN MITIGASI RISIKO

**3-MCPDE (3-MONOCHLOROPROPANE-
1,2-DIOL-ESTERS) & GE (GLYCIDYL ESTER)
PADA MINYAK GORENG SAWIT**



**BADAN PENGAWAS OBAT DAN MAKANAN
2023**

**PEDOMAN MITIGASI RISIKO 3-MCPDE
(3-MONO-CHLOROPROPANE-1,2-DIOL-
ESTERS) DAN GE (GLYCIDYL ESTER) PADA
MINYAK GORENG SAWIT**

**BADAN PENGAWAS OBAT DAN MAKANAN
TAHUN 2023**

PEDOMAN MITIGASI RISIKO 3-MCPDE (3-MONO-CHLOROPROPANE-1,2-DIOL-ESTERS) DAN GE (GLYCIDYL ESTER) PADA MINYAK GORENG SAWIT

PENGARAH

Dr. Penny K. Lukito, MCP

PENANGGUNG JAWAB

Dra. Rita Endang, Apt, M.Kes

KOORDINATOR PELAKSANA TEKNIS

Anisyah, S.Si, Apt, MP

PENYUSUN

Dra. Deksa Presiana, Apt., M.Kes.
Erline Yuniarti, S.Farm, Apt., M.Si.
Desiana Nurwanti, S.Farm, Apt.
Nugroho Indrotristanto, STP, M.Sc
Salma Shofura, STP
Lili Defi Z, S.Pt., M.Si.
Desy Rasta Waty, S.Si., Apt., M.Si
Sentani Chasfila, S.Farm, Apt.
Sekar Indah Maharani, S.T.P.
Nindya Satwika Caesaria, STP
Tiara Rahmania Yunisa, STP
Merin Indarto Putri, S.Si
Retno Harfani, S.Si
Abdul Hamid, S.E.

TIM AHLI

Prof. Dr. Ir. Nuri Andarwulan, M.Si
Prof. Dr. Sugiyono, M.App.Sc

Copyright © Badan POM RI
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku dalam bentuk elektronik, mekanik, fotokopi, rekaman, atau cara apapun tanpa izin tertulis sebelumnya dari Badan POM RI.

Jakarta, Badan POM, 2023
77 hal, 14,8 cm x 21 cm

ISBN: 978-602-415-138-6 (PDF)

PENERBIT:

Badan Pengawas Obat dan Makanan
Republik Indonesia
Jl. Percetakan Negara No. 23
Jakarta Pusat 10560

KATA SAMBUTAN



Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, dengan telah selesainya Pedoman Mitigasi Risiko 3-MCPDE (3-Mono-Chloropropane-1,2-Diol-Esters) dan GE (Glycidyl Ester) pada Minyak Goreng Sawit. Pedoman ini merupakan panduan bagi pelaku usaha pangan termasuk Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) sebagai panduan untuk meminimalkan keberadaan 3-MCPDE dan GE pada Minyak Goreng Sawit (MGS).

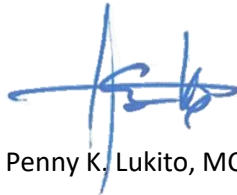
Minyak sawit merupakan salah satu andalan produk Ekspor Indonesia. Namun saat ini komoditas minyak sawit mendapat perhatian dunia terkait dengan kadar kontaminan 3-MCPDE (*3-mono-chloropropane-1,2-diol-esters*) dan GE (*glycidyl ester*) yang dapat terbentuk selama proses pengolahan. Salah satu pangan olahan yang terbuat dari minyak sawit adalah minyak goreng sawit.

Saat ini *Codex Alimentarius Commission* (CAC) belum menetapkan batas maksimal terkait ketentuan 3-MCPDE dan GE dalam MGS namun telah menetapkan *Code of Practice (CoP) for the Reduction of 3-MCPDE and GE in refined oils and food products made with refined oils* sebagai panduan negara anggota. Oleh karena itu perlu dibuatkan pedoman untuk pelaku usaha pangan olahan sebagai panduan untuk meminimalkan kadar 3-MCPDE dan GE pada minyak goreng

sawit sehingga dihasilkan minyak goreng sawit yang aman dan berkualitas serta meningkatkan daya saing produk minyak goreng sawit.

Saya menyambut baik terbitnya pedoman dan menyampaikan penghargaan serta ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan aktif dalam penyusunan pedoman ini.

Jakarta, 31 Oktober 2023
Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Penny K. Lukito', written over a vertical line.

Dr. Penny K. Lukito, MCP

KATA PENGANTAR



Segala Puji bagi Tuhan yang Maha Kuasa yang telah memberikan anugerah sehingga Pedoman Mitigasi Risiko 3-MCPDE (*3-Mono-Chloropropane-1,2-Diol-Esters*) dan GE (*Glycidyl Ester*) pada Minyak Goreng Sawit dapat diselesaikan.

Menurut *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA) bahwa senyawa 3-MCPDE dan GE apabila dikonsumsi dalam tubuh akan dipecah menjadi senyawa 3-MCPD dan Glisidol. *International Agency for Research on Cancer* (IARC) menggolongkan 3-MCPD termasuk karsinogenik kelompok 2B (*possibly carcinogenic to human*) dan glisidol termasuk dalam kelompok 2A (*probable carcinogenic to human*).

Senyawa 3-MCPDE dan GE dapat terbentuk selama proses pengolahan minyak goreng sawit (MSG). Keberadaan 3-MCPDE dan GE pada MGS dapat diminimalisir apabila produsen menerapkan cara yang baik yang sesuai dari hulu sampai ke hilir. Pedoman ini berisi dasar teori serta cara mitigasi yang dapat dilakukan oleh pelaku usaha termasuk Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) untuk meminimalkan keberadaan kontaminan tersebut.

Pedoman ini diharapkan juga dapat dimanfaatkan oleh pengawas pangan, penyuluh keamanan pangan dan fasilitator UMKM dalam melakukan pengawasan maupun pembinaan pelaku usaha pangan olahan.

Kami sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan pedoman ini serta kepada pihak yang telah memberikan saran dan masukan terhadap pedoman ini.

Jakarta, 31 Oktober 2023
Deputi Bidang Pengawasan Pangan Olahan

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Rita Endang', written in a cursive style.

Dra. Rita Endang, Apt, M.Kes

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I - PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan.....	4
1.2.1 Tujuan umum	4
1.2.2 Tujuan Khusus	4
BAB II - KAJIAN KEAMANAN	5
2.1 Identifikasi Bahaya	5
2.1.1 3-MCPD dan 3-MCPDE	5
2.1.2 Glycidyl Esters (GE).....	12
2.1.3 Analisis Kadar 3-MCPDE dan GE pada Matriks Minyak Goreng Sawit	15
2.2 Karakterisasi Bahaya	17
2.2.1 3-MCPD dan 3-MCPDE	17
2.2.2 Glycidyl Esters (GE).....	20
2.2.3 Pendekatan Keamanan 3-MCPDE dan GE.....	24
2.3 Regulasi 3-MCPDE dan GE.....	26

BAB III - MITIGASI RISIKO	28
3.1 Mitigasi pada Penerimaan CPO	28
3.2 Mitigasi Sebelum Pemurnian CPO (<i>Pre-treatment</i>).....	29
3.3 Mitigasi pada Proses Pemurnian CPO.....	32
3.3.1 <i>Degumming</i>	35
3.3.2 Netralisasi.....	37
3.3.3 <i>Bleaching</i>	38
3.3.4 Deodorisasi.....	40
3.4 Perlakuan Paska Proses Pemurnian CPO	42
3.5 Mitigasi pada Penggunaan Minyak Sawit sebagai Ingredien Pangan.....	45
3.5.1 Pemilihan Minyak.....	45
3.5.2 Modifikasi Formula Pangan Olahan	46
3.6 Mitigasi pada Proses Ekspor Minyak Sawit	46
3.7 Faktor Kritis pada Tahapan Mitigasi	47
BAB IV - KESIMPULAN DAN PENUTUP	51
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur molekul dua dimensi 3-MCPD bebas dan 3-MCPD terikat dengan ester.....	6
Gambar 2. Struktur molekul dua dimensi 3-MCPD-1,2-dipalmitat	6
Gambar 3. Senyawa organoklorin pada CPO.....	8
Gambar 4. Dekomposisi senyawa organoklorin dan pembentukan 3-MCPD diester selama pemanasan CPO	9
Gambar 5. Kadar dioleil-MCPD dari pemanasan triolein pada suhu 235°C selama 2 jam dengan 0,01% FeCl ₂	9
Gambar 6. Skema pembentukan 3-MCPDE dari klorin.....	10
Gambar 7. Mekanisme pembentukan 3-MCPDE	12
Gambar 8. Struktur molekul <i>glycidol</i> , <i>glycidyl esters</i> , dan <i>glycidyl palmitate</i>	12
Gambar 9. Pembentukan senyawa GE (<i>glycidyl heptadecanoate</i>) dari TAG, DAG, dan MAG.....	14
Gambar 10. Mekanisme pembentukan GE dari DAG.....	15
Gambar 11. Jalur metabolisme 3-MCPD.....	18
Gambar 12. Jalur metabolisme GE.....	22
Gambar 13. Korelasi kadar klorin terhadap 3-MCPDE (1).....	31
Gambar 14. Korelasi kadar klorin terhadap 3-MCPDE (2).....	31
Gambar 15. Pengaruh proses <i>degumming</i> pada pembentukan 3-MCPDE di BPO dan RBDPO.....	36
Gambar 16. Korelasi antara pH <i>bleaching earth</i> dengan kadar 3-MCPD minyak rafinasi pada <i>degumming</i> asam (0,1% H ₃ PO ₄).....	39

Gambar 17. Korelasi antara pH bleaching earth dengan kadar 3-MCPD minyak rafinasi pada degumming air (2% H ₂ O).....	39
Gambar 18. Pengaruh suhu deodorasi terhadap pembentukan GE dari DAG di <i>refined-bleached</i> (RB) minyak sawit.....	41
Gambar 19. Pengaruh dua kali pemurnian dengan suhu deodorisasi sama (T1) terhadap kadar 3-MCPDE dan GE.....	43
Gambar 20. Pengaruh dua kali pemurnian dengan suhu deodorisasi tinggi-rendah (T2) terhadap kadar 3-MCPDE dan GE.....	44
Gambar 21. Pengaruh dua kali deodorisasi terhadap kadar 3-MCPDE dan GE.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat fisikokimia 3-MCPD bebas.....	6
Tabel 2. Sifat fisikokimia 3-MCPD-1,2-dipalmitat.....	7
Tabel 3. Sifat fisikokimia <i>glycidyl palmitate</i>	13
Tabel 4. Parameter kualitas CPO dengan pencucian.....	30

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak goreng sawit (MGS) merupakan komoditi yang mendapat perhatian dunia terkait kadar kontaminan 3 MCPDE (*3-mono-chloropropane-1,2-diol*) dan GE (*Glycidyl esters*) karena termasuk senyawa karsinogenik. Senyawa 3-MCPDE dan GE merupakan kontaminan pangan yang terbentuk selama proses pembuatan MGS terutama pada tahap deodorisasi saat proses pemurnian minyak sawit (*palm oil refining process*).

Terdapat data penolakan ekspor minyak sawit produk Indonesia. Pada tahun 2020, *Russian Federation* menyampaikan bahwa berdasarkan data survei yang telah dilakukan di Rusia ditemukan 10 dari 12 sampel minyak sawit Indonesia yang diuji mengandung 3 kali kadar GE dari batas maksimal yang telah ditentukan (Russia menetapkan GE sebesar 1,0 mg/kg). Berdasarkan data EURASFF, tahun 2020-2022 terdapat 49 kasus penolakan ekspor pangan sehubungan ketidaksesuaian kandungan 3-MCPD, 3-MCPDE dan GE yang melebihi batas maksimal yang ditetapkan. Lebih spesifik, dari

49 kasus tersebut, terdapat 9 kasus penolakan ekspor minyak sawit, misalnya *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO), dari berbagai negara antara lain Malaysia, Ghana, Indonesia, Jerman, dan Singapura. Saat ini *Codex Alimentarius Commission* (CAC) belum menetapkan batas maksimal terkait ketentuan 3-MCPDE dan GE dalam MGS namun telah menetapkan *Code of Practice (CoP) for the Reduction of 3-MCPDE and GE in refined oils and food products made with refined oils* sebagai panduan negara anggota.

Studi toksikologi menunjukkan bahwa 3-MCPDE dan 3-MCPD memiliki efek pada ginjal, organ reproduksi pria, dan merupakan karsinogen non-genotoksik. GE dan glisidol adalah karsinogen genotoksik. Pertemuan JECFA ke-83 salah satunya mengevaluasi 3-MCPDE dan GE, serta merekomendasikan upaya untuk mengurangi 3-MCPDE dan GE pada minyak makan termasuk MGS.

Tren konsumsi MGS di Indonesia terus meningkat tiap tahunnya. Dari data Index Mundi (2022), konsumsi MGS tersebut ialah sebesar 6,9 juta ton/tahun atau sekitar 25,02 kg/tahun/kapita. Tingkat konsumsi ini merupakan yang tertinggi kedua di dunia setelah India (8,7 juta ton/tahun atau 6,3 kg/tahun/kapita) dan lebih besar dari negara-negara

lainnya seperti Cina (4,5 juta ton/tahun atau 3,19 kg/tahun/kapita).

Berdasarkan laporan kajian dari Indonesian Risk Assessment Center (INARAC) (2019), rata-rata konsumsi produk minyak sawit untuk semua kelompok umur di Indonesia adalah 0,41 g/kgBB/hari.

INARAC juga telah memberikan rekomendasi kepada manajer risiko agar dapat menyusun strategi mitigasi cemaran 3-MCPDE dan GE pada MGS dengan mengacu pada *Code of Practice for the Reduction of 3-MCPDE and GE in refined oils* (CAC, 2019). Mempertimbangkan konsumsi MGS yang tinggi sehingga berdampak pada potensi paparan ke-2 senyawa ini yang tinggi maka diperlukan penyusunan pedoman dengan mengadopsi pedoman yang telah dikeluarkan oleh Codex serta beberapa referensi lainnya. Selain itu pedoman ini juga disusun berdasarkan penerapan di lapangan yang sudah dilakukan oleh pelaku usaha. Penerapan pedoman ini diharapkan dapat meminimalisir potensi 3-MCPDE dan GE yang dapat menimbulkan risiko kesehatan serta dapat menambah daya saing produk Minyak Goreng Sawit yang berkualitas.

1.2 Tujuan

1.2.1 Tujuan umum

Pedoman Mitigasi Risiko ini disusun sebagai panduan untuk meminimalkan kadar 3-MCPDE dan GE pada minyak goreng sawit agar dihasilkan minyak goreng sawit yang aman dan berkualitas sehingga dapat melindungi masyarakat dan meningkatkan daya saing MGS.

1.2.2 Tujuan Khusus

- a) Memberikan informasi kepada pelaku usaha mengenai risiko dan potensi keberadaan 3-MCPDE dan GE dalam MGS dan pangan olahan beserta langkah-langkah praktis untuk mencegah pembentukannya dan/atau meminimalkan kadarnya.
- b) Memberikan informasi kepada pengawas pangan sebagai bahan pertimbangan dalam penyusunan prosedur dan pelaksanaan pemeriksaan sarana produksi MGS.
- c) Sebagai acuan bagi penyuluh keamanan pangan dan fasilitator pendampingan Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) dalam pembinaan kepada pelaku usaha pangan olahan yang menggunakan MGS.

BAB II

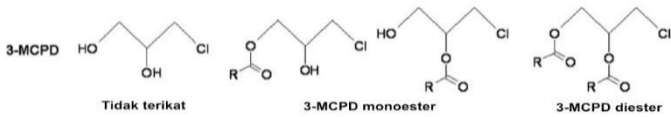
KAJIAN KEAMANAN

2.1 Identifikasi Bahaya

2.1.1 3-MCPD dan 3-MCPDE

Senyawa *3-mono-chloropropane-1,2-diol* (3-MCPD) merupakan kontaminan yang terbentuk saat proses pengolahan pangan menggunakan panas baik dalam bentuk bebas (diol) atau dalam bentuk ester (dengan asam lemak). Struktur molekul kelompok senyawa 3-MCPD dan sifat fisikokimia 3-MCPD bebas dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1.

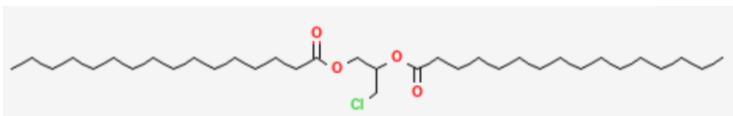
Senyawa 3-MCPD dalam bentuk ester atau yang disebut 3-MCPDE, terutama ditemukan dalam minyak nabati dan lemak olahan, serta terdeteksi dalam produk yang mengandung lemak nabati, termasuk susu formula bayi. Contoh 3-MCPDE adalah 3-MCPD-1,2-dipalmitat (Barocelli et al., 2011), 3-MCPD 1-palmitate-2-linoleate dan 3-MCPD 1-linoleate-2-palmitate (Zhang et al., 2013). Struktur dan sifat fisikokimia salah satu senyawa 3-MCPDE dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 2.



Gambar 1. Struktur molekul dua dimensi 3-MCPD bebas dan 3-MCPD terikat dengan ester (Munawar et al., 2021)

Tabel 1. Sifat fisikokimia 3-MCPD bebas (IARC, 2013)

Sifat fisikokimia	
Massa molar	110,54 g/mol
Massa jenis	1,3218 g/mL (pada 20°C)
Titik lebur	terdekomposisi pada 213 °C
Titik didih	114-120 °C
Indeks refraksi	1,4831 (pada 20°C)
Kelarutan	Larut dalam air, alkohol, dietil eter dan aseton



Gambar 2. Struktur molekul dua dimensi 3-MCPD-1,2-dipalmitat (CAS No. 51930-97-3)

<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/171090>

Tabel 2. Sifat fisikokimia 3-MCPD-1,2-dipalmitat

Sifat fisikokimia	
Deskripsi	Padatan putih atau agak putih (<i>white to off-white solid</i>)
Massa molar	587,36 g/mol
Titik lebur	51-54 °C
Kelarutan	Larut perlahan dalam kloroform , etil asetat, dan metanol

https://www.trc-canada.com/product-detail/?CatNum=B515200&CAS=51930-97-3&Chemical_Name=rac%201,2-Bis-palmitoyl-3chloropropanediol&Mol_Formula=C35H67ClO4

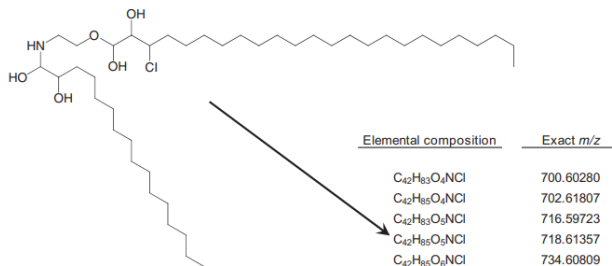
Prekursor 3-MCPDE

Senyawa 3-MCPDE dapat terbentuk pada suhu di atas 160-200°C pada saat pemurnian minyak dari reaksi antara senyawa prekursor. Dan pembentukan 3-MCPDE tidak meningkat pada suhu yang lebih tinggi.

Senyawa prekursor pembentuk 3-MCPDE ialah klorin dan lemak (asilgliserol, fosfolipid, dan glikolipid). Utamanya 3-MCPDE terbentuk dari senyawa klorin dengan asilgliserol (triasilgliserol (TAG), diasilgliserol (DAG), dan monoasilgliserol (MAG)). Pembentukan ester MCPD selama produksi minyak nabati membutuhkan 'donor' klorin. Klorida diambil oleh tanaman melalui tanah (seperti pupuk) dan dimetabolisme menjadi zat klorida hidrofilik yang

nantinya dapat menghasilkan asam klorida pada pemanasan suhu tinggi. Asam klorida dengan asil gliserol dapat membentuk MCPDE pada suhu tinggi (Stadler, 2015).

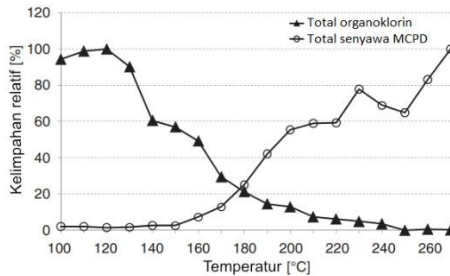
Klorin tersedia secara alamiah di alam dan dapat berasal dari sumber organik maupun anorganik. Studi Nagy *et al.* pada 2011 mengidentifikasi kandungan senyawa monoklorin organik dan klorin anorganik (FeCl_3 , FeCl_2 , MgCl_2 , KCl , NH_4Cl , dan CaCl_2) dalam minyak sawit mentah / *Crude Palm Oil* (CPO). Selain itu ditemukan adanya kelompok spesifik senyawa klorin yang merupakan donor dominan terbentuknya 3-MCPDE (Gambar 3).



Gambar 3. Senyawa organoklorin pada CPO (Nagy et al., 2011)

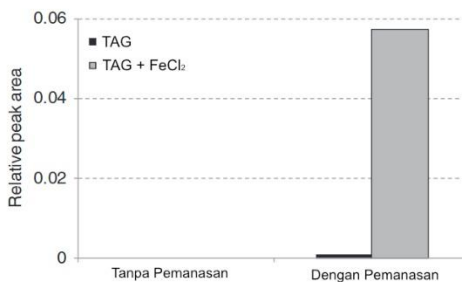
Berdasarkan strukturnya, senyawa tersebut memiliki kemiripan dengan *phytosphingosines* yang merupakan jenis lipid yang secara alami terdapat dalam tumbuhan. Sehingga terdapat hipotesis bahwa donor klorin tersebut berasal dari metabolit endogen. Dekomposisi termal dari senyawa organoklorin juga

berkolerasi dengan formasi 3-MCPD diester selama pemanasan CPO sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.



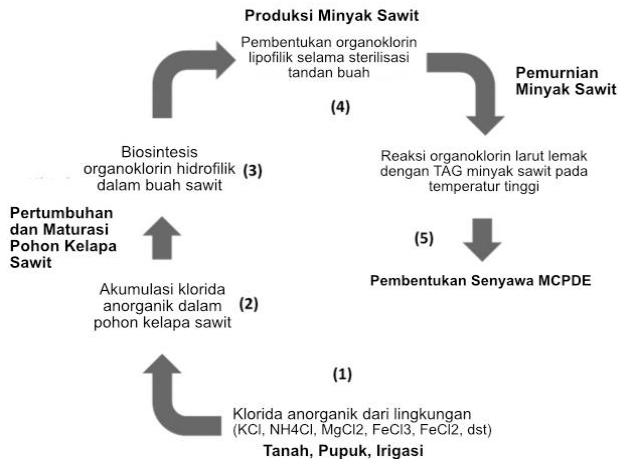
Gambar 4. Dekomposisi senyawa organoklorin dan pembentukan 3-MCPD diester selama pemanasan CPO (Nagy et al., 2011)

Selain organoklorin, klorin anorganik juga dapat membentuk MCPDE sebagaimana percobaan yang dilakukan oleh Destailats et al. (2012) yang menguji kadar *dioleoyl*-MCPD dari pemanasan triolein pada suhu 235°C dengan 0,01% FeCl₂ (Gambar 5).



Gambar 5. Kadar *dioleoyl*-MCPD dari pemanasan triolein pada suhu 235°C selama 2 jam dengan 0,01% FeCl₂ (Destailats et al., 2012)

Klorin dapat bersumber dari lingkungan, seperti dari pupuk dan proses irigasi lalu terakumulasi dan mengalami biosintesis menjadi organoklorin yang kemudian menjadi prekursor pembentukan 3-MCPDE (Gambar 6).



Gambar 6. Skema pembentukan 3-MCPDE dari klorin (Craft et al., 2012)

Terkait prekursor lemak, kandungan diasilgliserol (DAG) seringkali dikaitkan dengan tingginya kadar 3-MCPDE. Hal ini karena minyak yang berasal dari buah seperti sawit memiliki kadar DAG yang tinggi. Namun meskipun DAG bereaksi dengan donor klorin selama pemurnian minyak dan membentuk 3-MCPDE, ia bukanlah prekursor lemak yang utama.

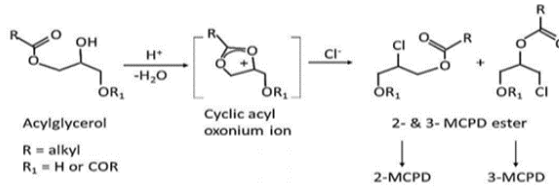
Dari berbagai literatur diketahui bahwa 3-MCPDE terutama terbentuk pada proses deodorisasi

pemurnian minyak. Oleh karena itu tidak semua kelompok lemak akan terlibat dalam pembentukan 3-MCPDE. Lemak seperti monoasilgliserol (MAG), fosfolipid dan glikolipid mayoritas telah dipisahkan selama proses *degumming* sehingga tidak akan terkandung pada proses pemurnian berikutnya.

Triasilgliserol (TAG) merupakan kandungan lemak utama di minyak goreng sawit dengan kandungan 88-96% dari total gliserida. DAG berkisar antara 4-12% dengan rata-rata 6,5%. Secara logis, TAG merupakan prekursor yang paling tersedia untuk pembentukan MCPDE selama proses deodorisasi minyak. Hal ini dibuktikan oleh penelitian yang dilakukan oleh Destailats *et al.* (2012) yang menyimpulkan bahwa TAG merupakan prekursor utama pembentukan 3-MCPDE dalam minyak goreng sawit. Masing-masing DAG dan TAG dapat membentuk MCPDE, namun TAG menghasilkan lebih banyak.

Mekanisme pembentukan 3-MCPDE

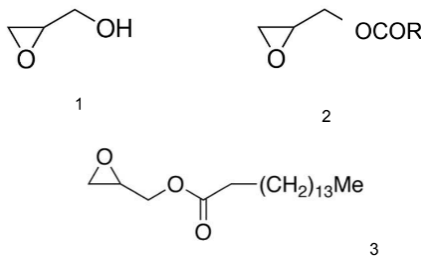
Secara garis besar terdapat dua jalur pembentukan 3-MCPDE. Mekanisme pertama melibatkan reaksi TAG dengan HCl yang terbentuk dari dekomposisi donor klorin, lalu terjadi substitusi nukleofilik pada ion klorida pada rangka gliserol membentuk MCPDE. Mekanisme kedua melibatkan formasi senyawa antara *ion acyloxonium*.



Gambar 7. Mekanisme pembentukan 3-MCPDE

2.1.2 Glycidyl Esters (GE)

Glycidyl esters (GE) merupakan bentuk ester dari *glycidol*. GE dapat berupa *glycidyl stearate*, *glycidyl palmitate*, *glycidol laureate* dan sebagainya yang ditemukan pada minyak nabati serta produk yang mengandung minyak nabati. Struktur molekul kelompok senyawa GE dan sifat fisikokimia *glycidyl palmitate* dapat dilihat pada Gambar 8 dan Tabel 3.



Gambar 8. Struktur molekul: (1) *glycidol*, (2) *glycidyl esters* (GE), (3) *glycidyl palmitate* (contoh GE)

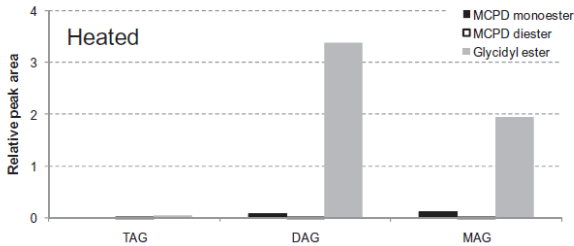
Tabel 3. Sifat fisikokimia *glycidyl palmitate*

Sifat fisikokimia	
CAS No.	7501-44-2
Deskripsi	Padatan putih
Massa molar	312,49 g/mol
Titik lebur	41-42 °C
Kelarutan	Larut perlahan dalam kloroform dan etil asetat

https://www.trc-canada.com/product-detail/?CatNum=G615950&CAS=7501-44-2&Chemical_Name=Glycidyl%20Palmitate&Mol_Formula=C19H36O3

Prekursor GE

Terdapat asumsi bahwa senyawa MCPDE dan GE saling berkaitan sehingga memiliki prekursor yang sama. Namun pada studi oleh Destailats *et al.* (2012) dilaporkan bahwa pembentukan GE berasal dari DAG dan MAG. Pada penelitian tersebut diujikan gliserida TAG, DAG, dan MAG yang diinkubasi di heksadekana pada suhu 235°C selama tiga jam. Berdasarkan hasil pengujian, DAG dan MAG menghasilkan kadar *glycidyl-heptadecanoate* yang tinggi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pembentukan senyawa GE (*glycidyl heptadecanoate*) dari TAG, DAG, dan MAG (Destailats et al., 2012)

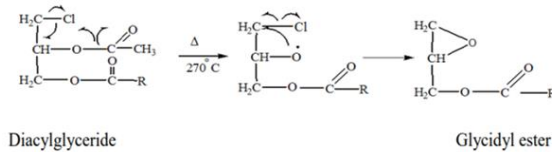
Korelasi yang kuat antara kadar DAG dengan jumlah GE ini sesuai dengan penelitian Masukawa *et al.* (2010) yang menguji sampel minyak makan komersil. Minyak yang mengandung DAG tinggi (87%) memiliki kadar GE sepuluh kali lipat dibandingkan minyak dengan kadar DAG yang rendah (3,9-6,8%). Pada penelitian lainnya diketahui bila formasi GE meningkat secara eksponensial apabila kadar DAG melebihi 3-4% dari total lemak (Craft *et al.*, 2012).

Minyak yang telah dirafinasi dan *bleaching* umumnya memiliki kadar MAG yang rendah (<0,1%), sehingga rute pembentukan GE dari MAG tidak signifikan pada minyak nabati.

Mekanisme pembentukan GE

GE dapat terbentuk saat pengolahan dengan panas pada suhu mulai sekitar 200°C dan kadar GE akan meningkat secara eksopensial dengan meningkatnya suhu. Mekanisme pembentukan GE dari DAG

ditunjukkan pada Gambar 10. Pada mekanisme ini DAG membentuk GE melalui reaksi penataan ulang intermolekular dan melepaskan asam lemak.



Gambar 10. Mekanisme Pembentukan GE dari DAG

2.1.3 Analisis Kadar 3-MCPDE dan GE pada Matriks Minyak Goreng Sawit

Minyak goreng sawit merupakan bahan baku pangan yang umum dikonsumsi di dunia dan digunakan pada produksi pangan olahan lainnya termasuk formula bayi. Oleh karena itu sangat diperlukan adanya metode analisis yang akurat.

Senyawa 3-MCPD memiliki struktur kimia yang relatif sederhana dan tidak memiliki kromofor sehingga tidak dapat dideteksi dengan *high performance liquid chromatography* (HPLC) dengan detektor ultraviolet (UV) maupun fluoresen, selain itu senyawa ini memiliki titik didih tinggi, dan berat molekul rendah. Titik didih yang tinggi serta berat molekul yang rendah dari senyawa 3-MCPD akan mempersulit analisis dengan *Gas Chromatography* (GC) dengan detektor *flame ionization detector* (FID), *electron capture detector* (ECD) atau *mass spectrometry* (MS).

Volatilitas rendah dan polaritas tinggi dari senyawa 3-MCPD menunjukkan bahwa senyawa tersebut perlu diderivatisasi terlebih dahulu, karena apabila langsung dianalisis dengan GC dapat menimbulkan interaksi yang tidak diinginkan dengan komponen dari sistem GC atau dengan zat lain dalam matriks sampel, sehingga dihasilkan bentuk puncak yang tidak sesuai dan sensitivitas yang rendah. Analisis dengan MS akan dipengaruhi oleh berat molekul rendah 3-MCPD, sehingga sulit untuk membedakannya dari *noise*. Akibatnya, analisis 3-MCPD dengan GC memerlukan derivatisasi senyawa terlebih dahulu. Analisis 3-MCPDE pun demikian, karena 3-MCPDE bersifat *non volatile*, bahkan lebih *non volatile* dibandingkan 3-MCPD, sehingga dalam analisisnya memerlukan derivatisasi. Tahapan derivatisasi dapat menggunakan agen derivatisasi seperti *phenylboronic acid* (PBA), *hepta fluoro butyryl imidazole* (HFBI), dan *hepta fluoro butyric anhydride* (HFBA).

Metode analisis untuk penetapan kadar 3-MCPDE dan GE dapat mengacu ke AOCS official method Cd 29a-13, 2017; AOCS official method Cd 29b-13, 2017 dan AOCS official method Cd 29c-13, 2017. Ketiga metode ini telah divalidasi melalui *interlaboratory study* menggunakan 20 laboratorium dari 8 negara untuk matriks minyak dan lemak nabati.

2.2 Karakterisasi Bahaya

2.2.1 3-MCPD dan 3-MCPDE

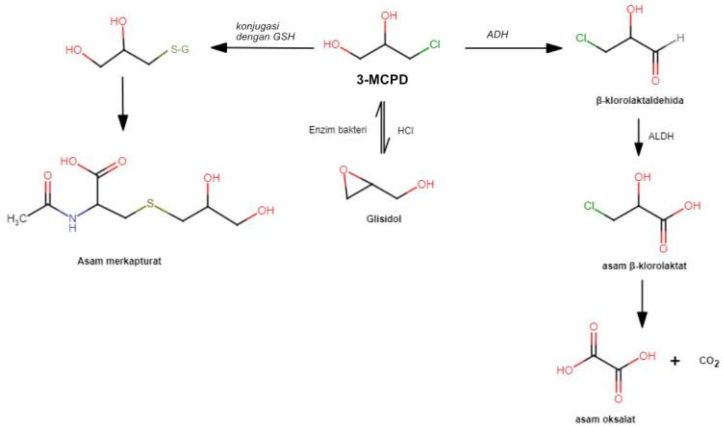
Senyawa 3-MCPDE merupakan kontaminan hasil proses yang sangat umum ditemukan pada minyak nabati serta pada pangan olahan yang menggunakan bahan tersebut, termasuk formula bayi. Kandungan cemaran ini menjadi perhatian karena adanya risiko kesehatan. 3-MCPDE terbentuk dari asilgliserol dengan adanya senyawa terklorinasi selama deodorisasi pada suhu tinggi selama proses pemurnian minyak nabati (JECFA, 2017).

Toksikokinetika

Senyawa 3-MCPDE dapat melepaskan 3-MCPD melalui proses hidrolisis enzimatis di saluran pencernaan yang kemudian terdistribusi ke darah, organ, dan jaringan tubuh (Abraham *et al.*, 2012).

Secara umum terdapat dua rute biotransformasi yang diperkirakan untuk metabolisme 3-MCPD. Rute pertama melalui konjugasi glutathion dan membentuk asam merkapturat. Rute kedua melalui pembentukan asam oksalat. Selain itu ada jalur dehalogenasi menjadi senyawa glisidol dengan bantuan enzim halohydrin dehalogenase yang hanya

terdapat pada beberapa stain bakteri. Metabolisme 3-MCPD dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Jalur metabolisme 3-MCPD
(MacMahon & Beekman, 2022)

Efek Toksikologi

Studi toksikologi menunjukkan bahwa 3-MCPDE dan 3-MCPD memiliki efek pada ginjal, organ reproduksi pria, dan merupakan karsinogen non-genotoksik.

Bukti eksperimental menunjukkan bahwa 3-MCPDE secara substansial dihidrolisis menjadi 3-MCPD di saluran pencernaan dan menimbulkan toksisitas sebagai 3-MCPD bebas (JECFA, 2017). Sehingga dalam pengkajiannya, JECFA menerapkan asumsi konservatif hidrolisis lengkap 3-MCPDE menjadi 3-MCPD. Berdasarkan *International Agency Research for Cancer for Cancer* (IARC), 3-MCPD termasuk kelompok 2B (*Possibly carcinogenic to humans*). Tidak ada potensi

genotoksik yang ditunjukkan secara *in vivo* untuk 3-MCPD. Dua studi karsinogenisitas jangka panjang dengan 3-MCPD pada tikus diidentifikasi sebagai studi penting, dan hiperplasia tubulus ginjal diidentifikasi sebagai titik akhir yang paling sensitif. BMDL₁₀ terendah untuk hiperplasia tubulus ginjal dihitung menjadi 0,87 mg/kg bb per hari untuk tikus jantan. JECFA menetapkan grup PMTDI 4 µg/kgbb untuk 3-MCPDE dan 3-MCPD secara tunggal atau dalam kombinasi (dinyatakan sebagai ekuivalen 3-MCPD), dengan *uncertainty factor* sebesar 200, hal ini karena menggabungkan 2 faktor terkait dengan ketidakcukupan dalam studi toksisitas reproduksi. PMTDI sebelumnya sebesar 2 µg/kg bb untuk 3-MCPD, telah ditarik oleh JECFA. JECFA juga mencatat bahwa perkiraan paparan makanan terhadap 3-MCPD untuk populasi umum, bahkan untuk konsumen tinggi (hingga 3,8 µg/kg bb per hari), tidak melebihi PMTDI yang baru. Namun perkiraan rata-rata paparan makanan terhadap 3-MCPD untuk bayi yang diberi susu formula dapat melebihi PMTDI hingga 2,5 kali lipat untuk negara-negara tertentu (misalnya 10 µg/kg bb per hari pada bulan pertama kehidupan) (JECFA, 2017)

Ginjal merupakan organ utama yang terdampak dari paparan 3-MCPDE. Pada tikus yang diberikan dosis 100 mg/kgBB secara intraperitoneal menunjukkan adanya nefritis glomerular akut disertai proteinuria

dan glukosuria. Senyawa *β-Chlorolactaldehyde* yang diproduksi dari 3-MCPD dengan bantuan enzim alkohol dehidrogenase, dapat menghambat *glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase* dan *triosephosphate isomerase*. Kedua enzim tersebut terlibat dalam proses glikolisis. Selain itu, penumpukan asam oksalat di ginjal dapat berkontribusi pada toksisitas 3-MCPD pada organ tersebut. Senyawa 3-MCPD juga diketahui dapat menghambat fertilitas pria. Pada dosis 1 mg/kgbb/hari telah teramati penurunan motilitas sperma pada tikus. Pada dosis di atas 10-20 mg/kgbb/hari dapat menginduksi perubahan morfologi sperma dan lesi epididimal (MacMahon & Beekman, 2022).

Pada studi karsinogenisitas selama dua tahun dengan pemberian 3-MCPD (1,1 - 35,3 mg/kgbb/hari) pada tikus, menunjukkan adanya hiperplasia tubular pada ginjal. Insidensi tumor pada ginjal dan sel *Leydig* testis meningkat pada dosis yang tinggi (Sunahara et al., 1993).

2.2.2 Glycidyl Esters (GE)

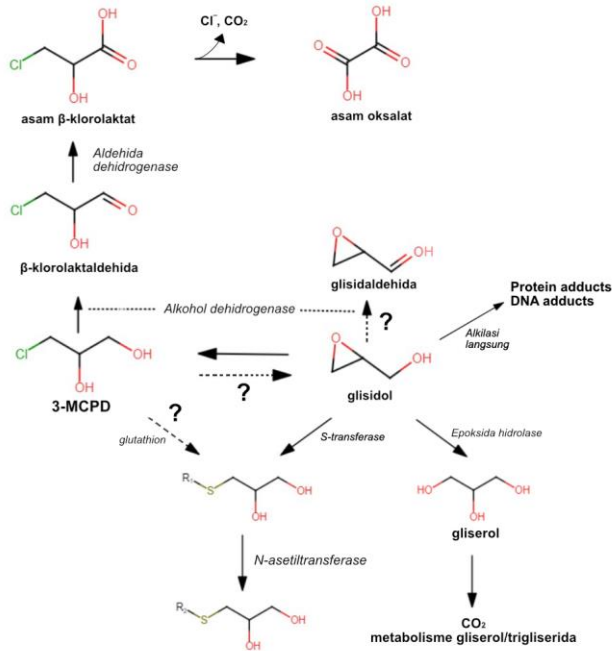
Toksikokinetika

Terdapat asumsi bahwa GE dapat melepaskan glisidol bebas dengan hidrolisis enzimatis seperti halnya 3-MCPDE. Untuk mendukung hipotesis tersebut dilakukan percobaan oleh Frank, *et al.* (2012) melalui

pengujian secara *in vitro* menggunakan model gastrointestinal. Pada studi ini GE relatif stabil selama 2 jam pada larutan asam (pH 1,7; 2,8; dan 4,8) tanpa penambahan enzim lipase. Namun apabila ditambahkan lipase maka terjadi degradasi GE menjadi glisidol yang teramati aktivitas tertingginya pada pH 4,8.

Glisidol merupakan senyawa epoksida reaktif sehingga dengan mudah bereaksi dengan molekul lainnya. Glisidol dapat terhidrolisis menjadi gliserol pada pH asam, dapat membentuk konjugat dengan glutathion pada pH 7-8, serta mampu mengalkilasi makromolekul seperti protein atau DNA.

Pada percobaan toksikokinetika pada tikus dengan pemberian glisidol dengan label radioaktif secara oral, senyawa tersebut dengan cepat terabsorpsi dan terdistribusi dalam tubuh. Konsentrasi tertinggi teramati pada darah, tiroid, hati, ginjal dan limpa. Eksresi derivat glisidol dikeluarkan melalui urin (40-48%), feses (5-12%) serta ekshalasi sebagai CO₂ (26-32%) (Nomeir et al., 1995). Jalur metabolisme senyawa glisidol ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Jalur metabolisme GE
(MacMahon & Beekman, 2022)

Efek Toksikologi

Seperti halnya senyawa epoksida lainnya seperti propilen oksida, epiklorohidrin dan etilen oksida, glisidol dapat mengalkilasi makromolekul selular seperti protein dan DNA. Kemampuan ini seringkali dikaitkan terhadap sifat karsinogenisitas kelompok senyawa tersebut.

Karsinogenisitas glisidol telah dilaporkan oleh US National Toxicology Program (1990) berdasarkan pemberian dosis glisidol sebesar 25 dan 50 mg/kgbb/hari setiap 5 hari per minggu selama dua tahun pada mencit. Glisidol menginduksi tumor pada kelenjar Harderian, lambung, hati, payudara, paru-paru dan kulit.

Glisidol merupakan senyawa genotoksik yang telah teruji secara *in vitro* dan *in vivo*. Glisidol juga terbukti positif pada serangkaian uji mutagenisitas menggunakan *E.coli*, *S.thyphimurium*, *K.pneumonia*, *S.pombe*, dan *N.crassa*. (MacMahon & Beekman, 2022).

Selain dampak memicu kanker, glisidol juga ditemukan memiliki efek terhadap fertilitas dan toksik pada organ. Pada studi jangka pendek yang dilakukan oleh US NTP (1990) dengan pemberian dosis oral glisidol selama 13 minggu menunjukkan adanya toksisitas pada testis, otak, ginjal, serta nekrosis limfoid dari kelenjar timus.

Berdasarkan kajian JECFA, bukti eksperimental menunjukkan bahwa ester glisidil secara substansial dihidrolisis menjadi glisidol di saluran pencernaan dan menimbulkan toksisitas sebagai glisidol. Oleh karena itu, JECFA menerapkan asumsi konservatif hidrolisis lengkap glisidil ester menjadi glisidol seperti halnya 3-MCPDE. JECFA menyimpulkan bahwa glisidol adalah

senyawa genotoksik dengan BMDL₁₀ terendah adalah 2,4 mg/kgbb/hari untuk *mesothelioma* di *tunica vaginalis/peritoneum* pada tikus jantan yang diamati dalam studi karsinogenisitas. Sampai saat ini JECFA belum menetapkan nilai *tolerable Intake* mengingat senyawa ini bersifat genotoksik dan karsinogenik. IARC menetapkan glisidol termasuk dalam kelompok 2A (*Probably carcinogenic to humans*). JECFA merekomendasikan agar rentang batas aman paparan untuk bayi, anak-anak dan orang dewasa untuk senyawa yang bersifat genotoksik dan karsinogenik agar serendah mungkin hal ini karena senyawa tersebut dapat menimbulkan masalah kesehatan (JECFA, 2017).

2.2.3 Pendekatan Keamanan 3-MCPDE dan GE

Pendekatan yang digunakan dalam karakterisasi bahaya kontaminan 3-MCPDE adalah efek ambang batas (*threshold effect* atau *margin of safety*). Efek ambang batas melibatkan penurunan nilai panduan berbasis kesehatan yaitu tingkat paparan pada atau dibawah yang tidak akan menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan jika dikonsumsi setiap hari sepanjang hidup, misalnya nilai ambang batas: *Acceptable Daily Intake* (ADI), *Tolerable Daily Intake* (TDI), *Provisional Maximum Tolerable Daily Intake* (PMTDI), *Provisional Tolerable weekly Intake* (PTWI),

Reference Doses (RfD) atau selama periode satu hari atau sekali makan, *Acute Reference Dose (ARFD)*.

Pada tahun 2016, EFSA menetapkan asupan harian yang dapat di toleransi (TDI) sebesar 0,8 µg/kgbb/hari, sedangkan JECFA menetapkan TDI sebesar 4 µg/kgbb/hari. Perbedaan dalam karakterisasi bahaya ini disebabkan oleh perbedaan analisis dosis-respons yang dilakukan yaitu karena perbedaan metodologi dalam menerapkan pendekatan *Benchmark dose (BMD)*.

EFSA kemudian melakukan kajian risiko 3-MCPD lagi pada tahun 2017 melalui *Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM Panel)* dan mempublikasikan hasil kajian tersebut pada 10 Januari 2018 dengan judul *Update of the risk assessment on 3-monochloropropane diol and its fatty acid esters*. EFSA melakukan pembaharuan terhadap nilai TDI yang semula 0.8 µg/kgbb/hari menjadi 2 µg/kgbb/hari untuk 3-MCPD dan ester asam lemaknya (dinyatakan sebagai ekuivalen MCPD).

Batas ambang untuk GE belum ditetapkan secara konsensus, namun Panel CONTAM mengikuti prosedur rekomendasi dari EFSA (2009) untuk menetapkan margin risiko yang memungkinkan, setelah menimbang prosedur perlakuan yang dilakukan pada studi NTP (contoh: pemberian perlakuan secara sonde perut sebanyak 5 hari per minggu). Rekomendasi EFSA tersebut mengikuti

pendekatan T25 yaitu tingkatan dosis yang menyebabkan 25% peningkatan insiden tumor pada hewan uji yang mendapatkan perlakuan dibanding kelompok kontrol. Dengan demikian T25 untuk GE ditetapkan pada dosis 10,2 mg/kgbb untuk tikus jantan (munculnya tumor mesothelioma pada peritoneal perut) dan 11,7 mg/kgbb/hari untuk tikus betina (tumor fibrinadenoma pada kelenjar susu). (INARAC, 2019).

2.3 Regulasi 3-MCPDE dan GE

Ketentuan terkait cemaran kimia dalam pangan olahan diatur dalam pangan olahan diatur dalam Peraturan Badan POM No. 8 Tahun 2018 tentang Batas Maksimal Cemaran Kimia dalam Pangan Olahan. Pada peraturan tersebut, hanya diatur batas maksimal 3-MCPD pada protein nabati terhidrolisis serta pangan olahannya. Senyawa 3-MCPD dan glisidol dalam bentuk ester tidak diatur dalam peraturan tersebut.

Codex belum mengatur batas maksimal 3-MCPDE dan GE pada CXS 193-1995 *General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed*. Namun Codex telah mengeluarkan *Code of Practice for the Reduction of 3-monochloropropane-1,2-diol esters (3-MCPDEs) and Glycidyl esters (GEs) in Refined Oils and Food Products Made with Refined Oils*.

Uni Eropa telah menetapkan batas maksimal 3-MCPDE dan GE pada *Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006*. Batas maksimal MGS untuk 3-MCPDE diatur sebesar 2500 µg/kg sedangkan batas maksimal untuk GE adalah 1000 µg/kg.

BAB III

MITIGASI RISIKO

Mitigasi 3-MCPDE dan GE pada minyak goreng sawit dapat dilakukan dari hulu sampai hilir. Pada pedoman ini mitigasi MCPDE dan GE dilakukan mulai dari penerimaan CPO.

3.1 Mitigasi pada Penerimaan CPO

Proses awal dari mitigasi didahului dengan pemilihan CPO sebagai bahan baku yang baik. Berdasarkan referensi, CPO yang akan diproses sebaiknya memiliki spesifikasi:

- a. kandungan asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) maksimal 3% (SNI 2901-2021)
- b. kadar diasilgliserol maksimal 4% (Craft *et al.*, 2012)
- c. kadar klorin maksimal 4 mg/kg (Tiong *et al.*, 2018)

CPO tersebut dapat diperoleh melalui seleksi *supplier* diantaranya:

- a. Menyeleksi *supplier* yang telah melakukan penerapan cara pengolahan CPO yang baik di Pabrik Kelapa Sawit (PKS), antara lain menggunakan air bebas klorin saat pengolahan CPO, dan *supplier* juga memastikan bahwa sawit diperoleh dari petani yang telah menerapkan Cara Pertanian yang Baik (*Good Agricultural Practices*), seperti pengurangan pupuk yang mengandung klorin ataupun dapat berasal dari kebun bersertifikat ISPO (*Indonesian Sustainable*

Palm Oil) atau RSPO (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*)

- b. Memastikan CPO yang diterima dari *supplier* memenuhi SNI 2901-2021 dan/atau perubahannya tentang Minyak Kelapa Sawit Mentah (*Crude Palm Oil*) serta kadar klorin diharapkan serendah mungkin agar meminimalkan kandungan prekursor pembentukan senyawa 3-MCPDE.

3.2 Mitigasi Sebelum Pemurnian CPO (*Pre-treatment*)

Senyawa klorin merupakan prekursor yang penting dalam pembentukan 3-MCPDE. Sumber klorin dapat berasal dari penanganan penanaman ataupun proses pengolahan CPO. Oleh karena itu perlu dilakukan mitigasi untuk mengurangi kadar klorin dari CPO sebelum proses pemurnian. Terdapat dua metode yang dapat dilakukan yaitu *wet washing* dan *dry washing*. Pada *wet washing* pencucian dilakukan sebaiknya dengan menggunakan air bebas klorin sedangkan pada *dry washing* menggunakan adsorben.

Efek dari pencucian dengan menggunakan air (*water washing*) telah diuji oleh Ramli *et al.* (2020), dengan hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Pengurangan kadar total klorin pada CPO mencapai 85%. Dengan berkurangnya prekursor klorin, maka kadar 3-MCPDE pada CPO yang dipanaskan sangat jauh berkurang. *Water washing* juga dapat mengurangi keasaman dari minyak yang dapat mempengaruhi pembentukan 3-MCPDE.

Disisi lain *water washing* tidak berperan dalam mitigasi GE. Ramli *et al.* (2020) menyampaikan bahwa selama pencucian dengan air, CPO dapat terhidrolisis sehingga kadar DAG sedikit meningkat meskipun tidak signifikan. Perbandingan kadar GE antara minyak goreng dengan *water washing* ataupun tanpa perlakuan tidak jauh berbeda.

Tabel 4. Parameter kualitas CPO dengan pencucian (Ramli, 2020)

Parameter Kualitas	CPO	Washed CPO	Heated CPO	Heated Washed CPO
Asam lemak bebas (%)	4.65±0.02	4.61±0.01		
DOBI	2.46±0.00	2.45±0.00		
DAG (%)	5.69±0.06	5.65±0.04		
Fosfor (P) (mg/kg)	13.03±0.42	12.73±0.55		
Besi (Fe) (mg/kg)	3.57±0.14	2.80±0.08		
Tembaga (Cu) (mg/kg)	N.D	N.D		
Total klorin (mg/kg)	8.11±0.06	0.93±0.06	5.01±0.11	0.10±0.00
3-MCPDE (mg/kg)	N.D	N.D	5.23±0.48	0.86±0.01
2-MCPDE (mg/kg)	N.D	N.D	1.98±0.24	0.42±0.04
GE (mg/kg)	0.28±0.01	0.31±0.01	0.33±0.06	0.40±0.04

Keterangan:

DOBI = *Deterioration of bleachability index*

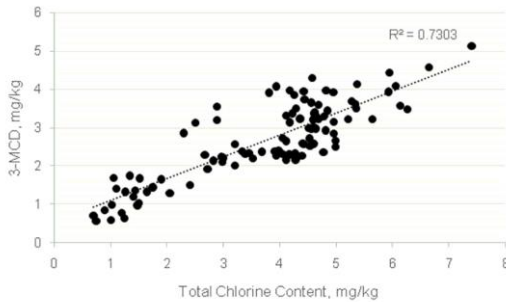
N.D = *Not detected* / Tidak terdeteksi

Limit Deteksi (LOD) 3-MCPDE = 0,02 mg/kg

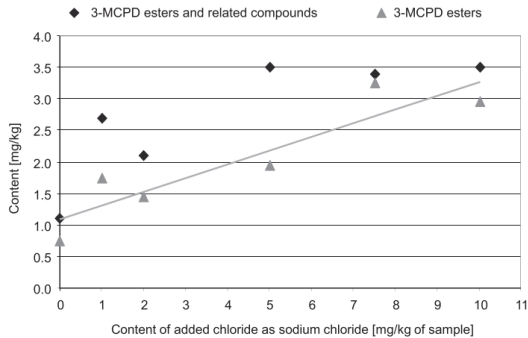
Parameter suhu dan waktu yang digunakan saat *wet washing* berpengaruh pada mitigasi. Pada percobaan, pencucian yang dilakukan pada suhu 60°C selama lima menit tidak ada penurunan pembentukan ester yang berarti, namun bila dilakukan pada suhu 100°C selama 20 menit terdapat penurunan sebesar 38% (MacMahon & Beekman, 2022).

Berdasarkan hasil percobaan yang dilakukan oleh Tiong *et al.* (2018), terdapat korelasi antara kadar klorin dengan 3-MCPDE sebagai ditunjukkan pada Gambar 13. Demikian juga pada percobaan oleh Freudenstein *et al.*

(2013) yang menambahkan klorin (dalam bentuk natrium klorida) pada CPO (Gambar 14).



Gambar 13. Korelasi kadar klorin terhadap 3-MCPDE (Tiong et al. (2018))



Gambar 14. Korelasi kadar klorin terhadap 3-MCPDE (Freudenstein et al. (2013))

Mempertimbangkan regulasi internasional terkait 3-MCPDE saat ini, yaitu di Eropa dengan batas maksimal 2,5 mg/kg pada minyak goreng sawit, maka direkomendasikan kadar klorin maksimal pada CPO

yang akan dimurnikan diupayakan sama atau lebih rendah dari 4,0 mg/kg. Namun demikian, pelaku usaha harus melakukan verifikasi sesuai dengan kondisi pengolahan di masing-masing industri.

3.3 Mitigasi pada Proses Pemurnian CPO

Senyawa 3-MCPDE terbentuk terutama dari reaksi antara senyawa yang mengandung klorin dan asilgliserol seperti triasilgliserol (TAG), diasilgliserol (DAG), dan monoasilgliserol (MAG). GE terbentuk terutama dari DAG atau MAG. Senyawa klorin organik dan klorin anorganik adalah prekursor untuk pembentukan 3-MCPDE. Pohon kelapa sawit menyerap ion klorida selama pertumbuhan dari tanah (termasuk dari pupuk dan pestisida) dan dari air. Kemudian ion klorida ini diubah menjadi senyawa klorin organik yang reaktif dan menjadi prekursor pada pembentukan 3-MCPDE selama pemurnian minyak.

Pembentukan GE dimulai pada suhu sekitar 200°C. Pembentukan GE meningkat secara eksponensial dengan meningkatnya suhu. Ketika DAG melebihi 3-4% dari total lipid, potensi pembentukan GE meningkat. Pembentukan 3-MCPDE terjadi pada suhu paling rendah 160-200°C, dan pembentukan tidak meningkat dengan suhu yang lebih tinggi dari 200°C. Sehingga mitigasi akan sulit karena umumnya proses deodorasi dilakukan pada suhu di atas 200°C. Terdapat beberapa faktor dari hulu ke hilir yang berkontribusi pada pembentukan MCPDE dan GE. Proses

-proses yang dilakukan sebelum tahap deodorisasi dapat menjadi langkah mitigasi untuk meminimalkan terbentuknya kontaminan ini.

Senyawa 3-MCPDE dan GE dibentuk melalui mekanisme yang berbeda sehingga diperlukan strategi mitigasi yang berbeda pula untuk mengendalikan pembentukannya. Karena mekanisme pembentukannya yang berbeda tersebut, maka secara umum tidak ada hubungan antara tingkat relatif 3-MCPDE dan GE dalam sampel minyak.

Senyawa GE umumnya lebih mudah dimitigasi daripada 3-MCPDE karena pembentukannya berkaitan secara langsung dengan suhu tinggi (pembentukan dimulai pada suhu sekitar 200°C dan menjadi lebih signifikan pada suhu > 230°C). GE dibentuk terutama dari DAG dan tidak memerlukan adanya senyawa terklorinasi. Minyak dapat dihilangkan baunya pada suhu di bawah 230°C untuk menghindari pembentukan GE yang signifikan. Namun, menurunkan suhu deodorisasi untuk mencegah pembentukan 3-MCPDE tidak cukup praktis (160-200°C) karena dapat mempengaruhi kualitas dan keamanan minyak.

Ada berbagai macam metode untuk memitigasi 3-MCPDE dan GE. Metode yang digunakan akan bervariasi tergantung pada kondisi yang berbeda termasuk mutu CPO, proses pemurnian, dan jenis peralatan yang digunakan. Selain itu, beberapa metode mungkin perlu digabungkan untuk mengurangi 3-MCPDE dan GE dalam

minyak. Oleh karena itu produsen dapat memilih dan menerapkan teknik yang sesuai dengan proses dan produk.

Bersamaan dengan mitigasi 3-MCPDE dan GE, penting juga untuk mempertimbangkan dampak keseluruhan pada kualitas minyak (yang telah dimurnikan) dan produk berbasis minyak, termasuk sifat produk seperti bau dan rasa, profil asam lemak, stabilitas, kandungan zat gizi, dan penghilangan kontaminan seperti pestisida dan mikotoksin. Selain itu, dampak lingkungan dari praktik mitigasi yang direkomendasikan juga harus dipertimbangkan.

Pemurnian minyak sawit dapat melalui dua cara yaitu pemurnian kimia dan pemurnian fisik. Pemurnian kimia terdiri dari *degumming* (penghilangan fosfolipid); netralisasi (penambahan larutan hidroksida untuk menghilangkan asam lemak bebas melalui pembentukan sabun); *bleaching* (dengan *bleaching earth*) untuk mengurangi warna dan menghilangkan sisa sabun dan getah, sisa logam, dan produk degradasi; dan deodorisasi (yaitu proses destilasi uap yang dilakukan pada tekanan rendah, 1,5-6,0 mbar, dan suhu tinggi 180 - 270°C) untuk menghilangkan asam lemak bebas, warna, dan senyawa volatil, termasuk kontaminan tertentu. Pemurnian fisik melibatkan *degumming*, *bleaching*, dan deodorisasi (yang terjadi pada suhu yang lebih tinggi daripada pemurnian kimia), karena tidak memiliki langkah netralisasi.

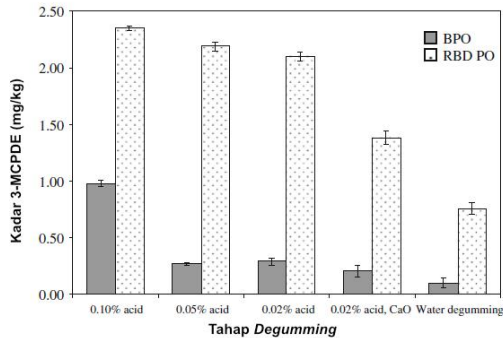
3.3.1 *Degumming*

Degumming merupakan tahap pertama dalam pemurnian minyak nabati yang bertujuan untuk mengurangi kadar fosfolipid. Pada tahapan ini fosfolipid dikonversi menjadi gum yang tidak larut dalam minyak sehingga dapat dipisahkan melalui proses filtrasi, sentrifugasi ataupun pengendapan. Proses *degumming* wajib dilakukan pada pemurnian fisik namun bersifat pilihan pada pemurnian kimia. Terdapat beberapa macam metode *degumming* yaitu *degumming* dengan air (*water degumming*), *degumming* dengan asam (*acid degumming*), *degumming* kering (*dry degumming*) dan terakhir *degumming* enzimatik (*enzymatic degumming*) (Vispute dan Dabhade, 2018).

Secara umum minyak sawit memiliki kadar fosfolipid dan fosfor yang rendah (10-20 mg/kg), oleh karena itu biasanya proses *degumming* dilakukan dengan asam fosfat dan asam sitrat. Sebagai alternatif lainnya, *degumming* dengan air dapat mengurangi prekursor klorin dalam minyak, namun rendemen yang didapatkan akan lebih sedikit dibanding *degumming* kering serta terdapat potensi perubahan warna minyak (Oey et al., 2019).

Berdasarkan referensi Nidzam, et al. (2022), untuk meminimalisir pembentukan GE dan 3-MCPDE pada RBDPO, dilakukan suhu *degumming* optimal dengan kondisi suhu 90°C selama 30 menit dengan kadar asam fosfat 0,06%.

Jumlah penambahan asam fosfat di proses *degumming* bergantung pada kualitas minyak dan bervariasi antara 0,05-0,15%. Pengaruh jumlah asam fosfat pada pembentukan 3-MCPDE ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Pengaruh proses *degumming* pada pembentukan 3-MCPDE di BPO dan RBDPO (Ramli et al., 2011)

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa jumlah 3-MCPDE yang terbentuk dapat berkurang pada penggunaan dosis asam fosfat yang lebih rendah pada proses *degumming*.

Mitigasi yang dapat dilakukan pada tahap *degumming* yaitu:

- a. Proses *degumming* sebaiknya dilakukan pada kondisi asam yang lemah. Asam fosfat atau asam sitrat dengan konsentrasi yang rendah dapat mengurangi kadar 3-MCPDE dalam minyak (CAC, 2019).

- b. Menurunkan suhu proses *degumming*. Proses tersebut dapat mengurangi pembentukan prekursor 3-MCPDE dalam minyak nabati, namun suhu *degumming* bergantung pada berbagai faktor diantaranya jenis minyak nabati (CAC, 2019).

3.3.2 Netralisasi

Tahapan mitigasi berikutnya adalah netralisasi. Netralisasi merupakan salah satu tahap dalam pemurnian kimia untuk menghilangkan asam lemak bebas melalui penambahan senyawa basa sehingga membentuk sabun. Sabun atau *soapstock* merupakan campuran dari asam lemak tersaponifikasi, garam, fosfolipid, serta impuritas. Umumnya senyawa basa yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), natrium bikarbonat (NaHCO₃) dan natrium karbonat (Na₂CO₃).

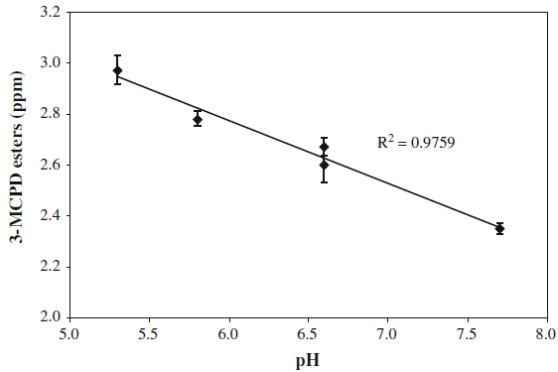
Adanya proses netralisasi dapat membantu menghilangkan prekursor (ion klorida) dan mengurangi asam lemak bebas sehingga dapat menurunkan suhu deodorisasi minyak goreng sawit. Namun pemurnian kimia dapat menyebabkan berkurangnya hasil produksi karena minyak goreng sawit banyak mengandung asam lemak bebas dan pemurnian kimia lebih berdampak pada lingkungan daripada pemurnian fisik.

3.3.3 *Bleaching*

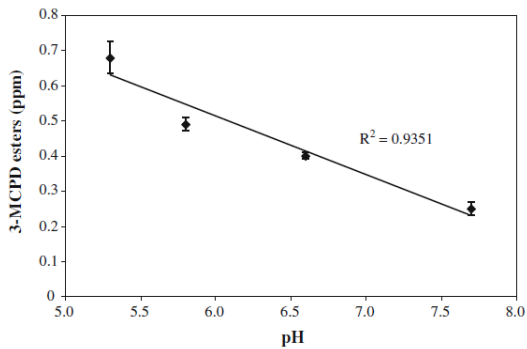
Tahapan mitigasi berikutnya adalah *bleaching*. *Bleaching* merupakan tahap pemurnian yang bertujuan menghilangkan sebagian pigmen karotenoid dan bau yang tidak diinginkan. Pada tahapan ini minyak ditambahkan dengan *bleaching earth* atau *clay*. Umumnya *bleaching earth* diaktifasi dengan asam sulfat atau asam klorida untuk meningkatkan area permukaan adsorpsi. Apabila *bleaching earth* yang diaktifasi asam memiliki area permukaan sebesar 150-350 m²/g, maka *bleaching earth* alami hanya setengahnya atau lebih rendah (MacMahon & Beekman, 2022).

Tipe *bleaching earth* yang digunakan dapat mempengaruhi pH minyak sebelum deodorisasi. Pada percobaan Ramli et al. (2011), terdapat korelasi antara keasaman *bleaching earth* dan pembentukan 3-MCPDE sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 16 dan Gambar 17. Pada keduanya, kenaikan keasaman (pH semakin rendah) dari *bleaching earth* mengakibatkan pembentukan 3-MCPDE yang lebih tinggi. Secara umum tingkat keasaman minyak mempengaruhi kemampuan pembentukan 3-MCPDE. Pada kondisi asam, kemampuan untuk mendonor proton dapat menyebabkan protonasi pada senyawa organik dan mengkatalisis banyak reaksi organik, termasuk protonasi pada asilgliserol dengan klorida hingga menghasilkan 3-MCPDE. Oleh karena itu

direkomendasikan untuk menggunakan *bleaching earth* natural ataupun teraktivasi asam dengan pH netral.



Gambar 16. Korelasi antara pH *bleaching earth* dengan kadar 3-MCPD minyak rafinasi pada degumming asam (0,1% H_3PO_4) (Ramli et al., 2011)



Gambar 17. Korelasi antara pH *bleaching earth* dengan kadar 3-MCPD minyak rafinasi pada degumming air (2% H_2O) (Ramli et al., 2011)

Berdasarkan hal tersebut di atas, tahapan mitigasi yang dapat dilakukan adalah:

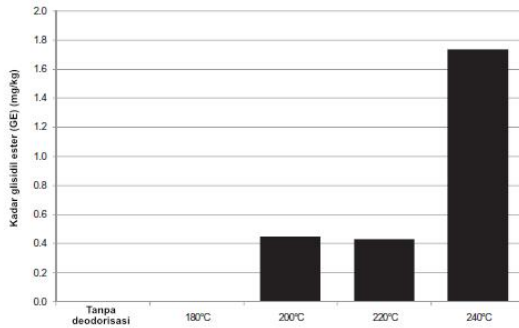
- a. Menggunakan *bleaching earth* dengan pH netral untuk mengurangi kondisi asam dan potensi pembentukan 3-MCPDE dalam minyak goreng sawit (CAC, 2019)
- b. Penggunaan *bleaching earth* dalam jumlah banyak dapat mengurangi pembentukan 3-MCPDE dan GE pada minyak nabati. Jumlah *bleaching earth* dapat berpengaruh pada banyaknya prekursor 3-MCPDE yang dapat diabsorpsi dari minyak sehingga pembentukannya berkurang. Namun penggunaan *bleaching earth* ini dengan mempertimbangkan efektivitas dan efisiensinya.
- c. Hindari penggunaan *bleaching earth* yang memiliki kandungan klorin tinggi karena dapat menambah prekursor pembentukan 3-MCPDE (CAC, 2019)

3.3.4 Deodorisasi

Mitigasi yang dapat dilakukan pada tahap deodorisasi ini adalah:

- a. Deodorisasi minyak sawit sebaiknya dilakukan pada suhu rendah untuk mengurangi pembentukan GE, yaitu pada suhu 190-230 °C. Hal ini karena pembentukan GE dari DAG selama proses deodorisasi minyak sangat signifikan pada

suhu 240°C ke atas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Pengaruh suhu deodorasi terhadap pembentukan GE dari DAG di *refined-bleached* (RB) minyak sawit (Craft et al., 2012)

Namun demikian, suhu yang digunakan dapat bervariasi bergantung dengan waktu tinggal (*residence time*) minyak. Pengolah sebaiknya dapat menentukan kondisi optimal untuk proses ini dengan mempertimbangkan *cost* dan *benefit* bagi industri.

- b. Sebagai alternatif dari metode deodorisasi tradisional, pengolah dapat melakukan dua tahap deodorisasi untuk mengurangi beban termal minyak dan mengurangi pembentukan GE, dengan sedikit reduksi 3-MCPDE. Tahap tersebut dapat berupa deodorisasi yang dilakukan pada periode yang lebih pendek dengan suhu yang lebih tinggi atau deodorisasi yang dilakukan pada periode yang lebih panjang dengan suhu yang

lebih rendah. Beberapa parameter yang harus dipertimbangkan antara lain: suhu, tekanan vakum, waktu, variasi dalam desain dan kapabilitas mesin. Selain itu, proses tambahan dapat dibutuhkan untuk mengurangi kadar GE.

- c. Penggunaan vakum yang kuat dapat membantu evaporasi senyawa volatil dikarenakan meningkatnya volume alir dan laju pemisahan yang berkontribusi pada penurunan suhu deodorisasi dan mengurangi pembentukan GE dan 3-MCPDE dalam minyak goreng sawit.

3.4 Perlakuan Paska Proses Pemurnian CPO

Perlakuan proses *bleaching* dan *deodorisasi* tambahan setelah pemurnian awal dapat menurunkan kadar GE pada minyak goreng sawit. Berikut praktik yang dapat digunakan:

- a. Gunakan *activated bleaching earth* yang bersifat asam setelah pemurnian agar dapat mengurangi GE pada minyak goreng sawit.

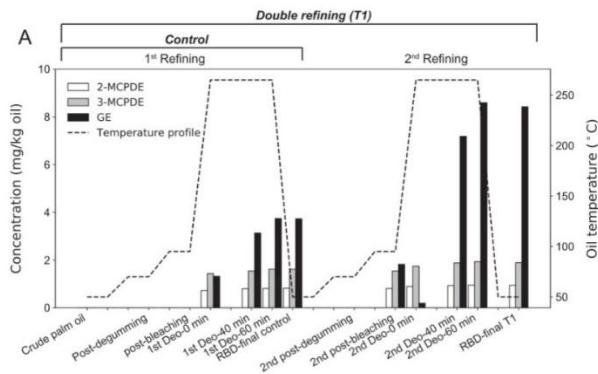
Kondisi asam pada BE merupakan kunci dalam menginisiasi reaksi interesterifikasi dari pembukaan cincin untuk mengkonversi GE menjadi asilgliserol. Berdasarkan hasil penelitian oleh Shimizu *et al.* (2012), glisidil palmitat terkonversi menjadi monopalmitat dan gliserol dioleat dengan *recovery* sebesar $99,1 \pm 1,3\%$. Hal yang sama diperoleh oleh Ramli *et al.* (2020) dengan penurunan kadar GE

sebesar 86% setelah dilakukan *bleaching* dengan BE asam pada minyak hasil rafinasi.

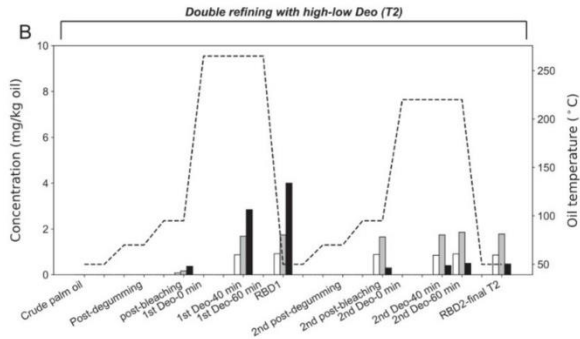
- b. Lakukan deodorisasi pada suhu yang lebih rendah dari deodorisasi pertama

Pemurnian dua kali dengan suhu deodorisasi kedua lebih rendah dari deodorisasi pertama lebih efektif dalam mitigasi GE. Setelah proses degumming dan bleaching kedua, kadar GE akan menurun. GE terbentuk pada suhu yang lebih tinggi daripada 3-MCPDE, sehingga suhu deodorisasi pada 220°C dapat mencegah penambahan kadar GE.

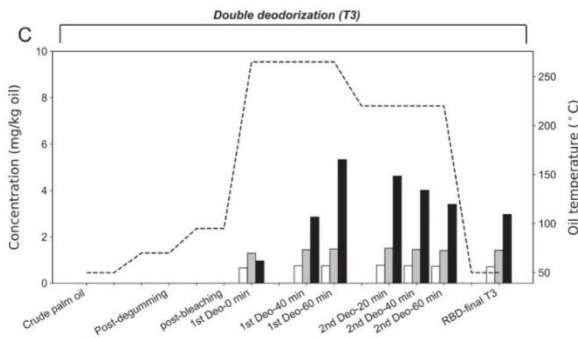
Oey, et al. (2020) membandingkan tiga macam proses yaitu: dua kali pemurnian dengan suhu deodorisasi sama (T1), dua kali pemurnian dengan suhu deodorisasi tinggi-rendah (T2), dan dua kali deodorisasi (T3).



Gambar 19. Pengaruh dua kali pemurnian dengan suhu deodorisasi sama (T1) terhadap kadar 3-MCPDE dan GE (Oey et al., 2020)



Gambar 20. Pengaruh dua kali pemurnian dengan suhu deodorisasi tinggi-rendah (T2) terhadap kadar 3-MCPDE dan GE (Oey et al., 2020)



Gambar 21. Pengaruh dua kali deodorisasi terhadap kadar 3-MCPDE dan GE (Oey et al., 2020)

Diantara ketiga proses di atas, proses T2 lebih efektif dalam mitigasi GE sebagaimana dapat diamati di Gambar 20. Di sisi lain, proses-proses ini tidak mampu untuk mengurangi kadar 3-MCPDE yang telah terbentuk. Pada percobaan ini, kadar 3-MCPDE

tidak teramati adanya perubahan kadar selama kondisi proses selanjutnya. Oleh karena itu pembentukan 3-MCPDE harus dicegah sejak awal. Selain itu, untuk kehati-hatian pelaku usaha diharapkan tetap melakukan kontrol terhadap kandungan 3-MCPDE selama proses paska pemurnian.

3.5 Mitigasi pada Penggunaan Minyak Sawit sebagai Ingredien Pangan

3.5.1 Pemilihan Minyak

Dalam pemilihan minyak dapat dilakukan mitigasi yaitu memilih minyak goreng sawit yang mengandung kadar 3-MCPDE dan GE yang rendah agar menghasilkan produk akhir yang mengandung 3-MCPDE dan GE yang rendah pula. Sebagai contoh, variasi kadar 3-MCPDE dan GE pada formula bayi disebabkan karena penggunaan minyak dengan kadar 3-MCPDE dan GE yang beragam. Namun demikian, industri harus mempertimbangkan faktor kualitas atau komposisi produk, contohnya pemilihan minyak untuk memenuhi kriteria komposisi pada peraturan atau standar, misalnya *Standard for Infant Formula and Formulas for Special Medical Purposes Intended for Infants* (CXS 72-1981).

3.5.2 Modifikasi Formula Pangan Olahan

Mengurangi jumlah minyak goreng sawit yang digunakan pada produksi pangan dapat menjadi alternatif untuk mengurangi kadar 3-MCPDE dan GE. Tetapi cara ini dapat mempengaruhi sifat sensori atau kualitas zat gizi dari produk.

Penggunaan minyak goreng sawit selama penggorengan tidak berkontribusi pada pembentukan senyawa 3-MCPDE dan GE tambahan, tetapi pembentukan 3-MCPDE tambahan selama penggorengan dapat bersumber dari jenis makanan yang digoreng (misalnya daging dan ikan).

3.6 Mitigasi pada Proses Ekspor Minyak Sawit

Sebelum melakukan ekspor, industri harus memastikan bahwa produk yang akan dikirimkan telah memenuhi ketentuan negara tujuan, termasuk persyaratan 3-MCPDE dan GE.

Untuk mempermudah penelusuran bila terjadi kasus, hendaknya pelaku usaha menyimpan sampel tertinggal (retain sample). Lama penyimpanan sampel bergantung pada kebijakan perusahaan dan umumnya mempertimbangkan masa kedaluwarsa produk.

Penarikan oleh pelaku usaha pangan dapat mengacu pada Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Penarikan

Pangan dari Peredaran. Pelaku Usaha Pangan harus melakukan simulasi penarikan Pangan sekurang-kurangnya 1 (satu) kali dalam setahun, dan mendokumentasikan hasil simulasi penarikan tersebut. Tujuan simulasi penarikan Pangan adalah mengukur keefektifan sistem penarikan Pangan yang telah dibuat.

Untuk produk ekspor yang sedang bermasalah di negara tujuan akan dilakukan penarikan sementara produk tersebut yang beredar di negara Indonesia.

3.7 Faktor Kritis pada Tahapan Mitigasi

Tahapan produksi	Faktor kritis	Langkah mitigasi
Penerimaan CPO	<ul style="list-style-type: none"> • Kandungan asam lemak bebas (<i>Free Fatty Acid/FFA</i>) maksimal 3% • Berdasarkan referensi kadar diasilgliserol (DAG) maksimal 4% • Berdasarkan referensi kadar klorin maksimal 4 mg/kg. 	<ul style="list-style-type: none"> • Seleksi <i>supplier</i> yang telah melakukan penerapan cara pengolahan CPO yang baik di Pabrik Kelapa Sawit (PKS) • CPO yang diterima berasal dari Tandan Buah Segar (TBS) kebun yang menerapkan GAP, misalnya dapat berasal dari kebun bersertifikat ISPO (<i>Indonesian Sustainable Palm Oil</i>) atau RSPO (<i>Roundtable on Sustainable Palm Oil</i>). • Pastikan bahwa CPO dari <i>supplier</i>

		memenuhi SNI 2901-2021 dan kadar klorin diharapkan serendah mungkin
Perlakuan Sebelum Pemurnian CPO (<i>Pre-treatment</i>)	Kadar klorin maksimal pada CPO yang akan dimurnikan diupayakan sama atau lebih rendah dari 4,0 mg/kg.	<ul style="list-style-type: none"> • Kurangi kadar klorin dari CPO dengan metode <i>wet washing</i> atau <i>dry washing</i> • Jika melakukan <i>wet washing</i>, sebaiknya gunakan air bebas klorin.
Proses Pemurnian CPO - <i>Degumming</i>	<ul style="list-style-type: none"> • pH • Suhu • Waktu 	<ul style="list-style-type: none"> • Lakukan pada kondisi asam lemah. Gunakan asam fosfat atau asam sitrat dengan konsentrasi serendah mungkin • Lakukan proses <i>degumming</i> dengan suhu serendah mungkin. Berdasarkan referensi untuk meminimalisir pembentukan GE dan 3-MCPDE pada RBDPO, proses <i>degumming</i> yang optimal dapat dilakukan pada suhu 90°C selama 30 menit dengan kadar asam fosfat 0,06%.
Proses Pemurnian CPO - Netralisasi	Kadar FFA	Jika melakukan pemurnian secara kimia (sebagai alternatif pemurnian secara fisik),

		<p>melalui proses netralisasi dengan penambahan senyawa basa (antara lain: NaOH, KOH, NaHCO₃, Na₂CO₃) maka dapat mengurangi kadar FFA sehingga deodorisasi dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah dibandingkan pemurnian secara fisik</p>
<p>Proses Pemurnian CPO - <i>Bleaching</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kadar klorin • pH 	<ul style="list-style-type: none"> • Gunakan <i>bleaching earth</i> dengan pH netral untuk mencegah pembentukan 3-MCPDE • Gunakan <i>bleaching earth</i> dalam jumlah yang lebih banyak, dengan mempertimbangkan efektivitas dan efisiensinya. • Hindari penggunaan <i>bleaching earth</i> yang memiliki kandungan klorin tinggi
<p>Proses Pemurnian CPO - Deodorisasi</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Suhu • Tekanan vakum 	<ul style="list-style-type: none"> • Lakukan deodorisasi pada suhu 190-230 °C • Gunakan deodorisasi dua tahap • Lakukan proses deodorisasi pada tekanan vakum yang kuat

<p>Perlakuan Paska Proses Pemurnian CPO</p>	<p>Bergantung pada perlakuan yang digunakan:</p> <p>a. Bleaching: pH b. Deodorisasi: suhu</p>	<p>a. Gunakan <i>activated bleaching earth</i> yang bersifat asam untuk mengubah GE menjadi asilgliserol b. Lakukan deodorisasi pada suhu yang lebih rendah dari deodorisasi pertama</p>
<p>Penggunaan Minyak sawit sebagai ingredien pangan</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Kadar 3-MCPDE dan GE • Jumlah MGS sebagai ingredien produk 	<p>Pilih MGS dengan kadar 3-MCPDE dan GE yang rendah atau kurangi jumlah MGS dalam komposisi produk pangan olahan</p>
<p>Proses Ekspor</p>	<p>Kadar 3-MCPDE dan GE</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pastikan kadar 3-MCPDE dan GE memenuhi persyaratan negara tujuan • Simpan sampel pertinggal untuk mempermudah penelusuran apabila terjadi kasus • Lakukan simulasi penarikan pangan (<i>mock recall</i>)

BAB IV

KESIMPULAN DAN PENUTUP

a. Kesimpulan

Senyawa kontaminan 3-MCPDE dan GE pada MGS memang tidak dikehendaki keberadaannya dalam pangan olahan, mengingat kedua senyawa tersebut memiliki batas aman tertentu. Untuk mencegah keberadaan senyawa tersebut terdapat berbagai upaya mitigasi yang dapat dilakukan agar keberadaan senyawa tersebut seminimal mungkin terdapat dalam MGS.

Tidak ada paska proses pemurnian yang dapat mereduksi 3-MCPDE yang sudah terbentuk, namun hanya bisa dicegah pembentukannya saat proses pengolahan dengan meminimalisir keberadaan prekursor (klorin, asilgliserol (TAG, DAG, MAG) dan kondisi pengolahan (suhu tinggi dan pH asam). GE terbentuk karena prekursor (asilgliserol (DAG dan MAG)) dan kondisi pengolahan (suhu tinggi). GE yang terbentuk dapat direduksi dengan penambahan *bleaching earth* asam sehingga dapat memecah GE menjadi asilgliserol kembali.

b. Penutup

Tindakan mitigasi untuk meminimalkan keberadaan 3-MCPDE dan GE pada MGS yang dicantumkan pada Bab III pedoman ini tidak menunjukkan urutan prioritas. Produsen MGS direkomendasikan untuk mencoba semua tindakan mitigasi yang secara teknis dapat dilakukan.

Pengujian terhadap setiap tindakan mitigasi perlu dilakukan untuk menentukan tindakan mitigasi mana yang efektif menurunkan kadar 3-MCPDE dan GE pada MGS yang dihasilkan. Di samping itu, kondisi setiap tindakan mitigasi hendaknya dioptimasi untuk mendapatkan kadar 3-MCPDE dan GE seminimum mungkin yang bisa dicapai. Konsekuensi biaya dari semua tindakan mitigasi tentu saja juga perlu dipertimbangkan dalam menentukan tindakan mitigasi yang akan diimplementasikan dalam proses produksi MGS. Pelaku usaha juga perlu melakukan optimasi untuk konsekuensi biaya dari semua tindakan mitigasi sehingga diperoleh tindakan mitigasi yang efektif dan dapat diimplementasikan dalam industri MGS.

DAFTAR PUSTAKA

1. Abraham, K., Appel, KE., Berger-Preiss, E., Apel, E., Gerling, S., Mielke, H., Lampen, A. 2012. Relative oral bioavailability of 3-MCPD from 3-MCPD fatty acid esters in rats. *Archives of Toxicology*, 87(4): p.649–659. <https://doi.org/10.1007/s00204-012-0970-8>
2. Barocelli E, Corradi A, Mutti A, Petronini PG. 2011. Comparison between 3-MCPD and its palmitic esters in a 90-day toxicology study. *EFSA Supporting Publications*.8(9): p.1–131.
3. Codex Alimentarius Commission (CAC). 2019 Code of Practice for The Reduction of 3-Monochloropropane-1,2- Diol Esters (3-MCPDEs) And Glycidyl Esters (GEs) In Refined Oils and Food Products Made With Refined Oils (CXC 79-2019).
4. Craft, BD., Nagy, K., Sandoz, L., Destailats, F. 2012. Factors impacting the formation of Monochloropropanediol (MCPD) fatty acid diesters during palm (*Elaeis guineensis*) oil production. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 29(3): p.354-361. <http://dx.doi.org/10.1080/19440049.2011.639034>
5. Craft, BD., Nagy, K, Seefelder, W., Dubois, M., Destailats, F. 2012. Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part II: Practical recommendations for effective mitigation. *Food Chemistry* 133 (2012): p.73-79. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.034>

6. Destailats, F., Craft, BD., Sandoz, L., Nagy, K. 2012. Formation mechanisms of monochloropropanediol (MCPD) fatty acid diesters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment* 29(1): p. 29-37. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.633493>
7. Destailats, F., Craft, BD., Dubois, M., Nagy, K. 2012. Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part I: Formation mechanism. *Food Chemistry* 131 (2012): p. 1391.1398. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.006>
8. EFSA. 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. *EFSA Journal*. 14(5). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4426>
9. EFSA. 2017. Update of Risk Assessment on 3-monochloropropanediol and its fatty acid esters. *EFSA Journal*. 16(1). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5083>
10. FEDIOL. 2015. Review of Mitigation Measures MCPD Esters and Glycidyl Esters. <https://www.fediol.eu/data/FEDIOL%20Review%20of%20Mitigation%20Measures%20MCPD%20Esters%20and%20Glycidyl%20Esters%20-%2024%20June%202015.pdf>
11. Frank, N., Dubois, M., Scholz, G., Seefelder, W., Chuat, JY; Schilter, B. 2012. Application of gastrointestinal modelling to the study of the digestion and transformation of dietary glycidyl esters. *Food Additives and Contaminants - Part A Chemistry, Analysis, Control,*

- Exposure and Risk Assessment, 30(1): p. 69-79.
<https://doi.org/10.1080/19440049.2012.732245>
12. Freudenstein, A., Weking, J., Matthaus, B. 2013. European Journal of Lipid Science and Technology. 115(3): p. 286-294.
<https://doi.org/10.1002/ejlt.201200226>
 13. IARC. 2013. IARC Monographs on The Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. 101. 349-374.
 14. Index Mundi. 2023. Palm Oil Food Use Domestic Consumption by Year.
<https://www.indexmundi.com/agriculture/?country=id&commodity=palm-oil&graph=food-use-domestic-consumption>
 15. Indonesia Risk Assessment Center (INARAC). 2019. Kajian Risiko 3-MCPDE dan GE pada Produk Minyak Sawit.
 16. JECFA. 2017. Evaluation of certain contaminants in food, Prepared by the Eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). In WHO Technical Report Series (Issue 1002).
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29144071>
 17. MacMahon, S. & Beekman, JK. (Eds). 2022. Processing Contaminants in Edible Oils: MCPD and Glycidyl Esters 2nd edition. AOCS Press.
 18. Masukawa, Y., Shiro, H., Nakamura, S., Kondo, N., Jin, N., Suzuki, N., Ooi, N., Kudo, N. 2010. A New Analytical Method for the Quantification of Glycidol Fatty Acid Esters in Edible Oils. 2010. Journal of Oleo Science 59(2): P.81-88. <https://doi.org/10.5650/jos.59.81>
 19. Munawar, H., Luna, P., Kresnawaty, I., Widiastuti, H. 2021. Recent studies of synthetic antibody-based 3-MCPD determination technology. *E-Journal Menara*

Perkebunan, 89(1).

<https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v89i1.402>

20. 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* 28:11: p. 1492-1500. <http://dx.doi.org/10.1080/19440049.2011.618467>
21. Nidzam, MS., Hossain, MS., Ismail, N., Latip, RA., Ilias, MKM., Siddiquie, MBM., Zulkifli, M. 2022. Influence of the Degumming Process Parameters on the Formation of Glyceryl Esters and 3-MCPDE in Refined Palm Oil: Optimization and Palm Oil Quality Analyses. *Foods*. 11(1): p. 124. <https://doi.org/10.3390/foods11010124>
22. Nomeir, AA., Silveira, DM., Ferrala, NF., Markham, PM. McComish, MF., Ghanayem, BI., Chadwick, M. 1995. Comparative disposition of 2,3-epoxy-1-propanol (glycidol) in rats following oral and intravenous administration. *Journal of toxicology and environmental health* 44(2):203-17. <https://doi.org/10.1080/15287399509531955>
23. Oey, SB., van der Fels-Klerx, HJ., Fogliano, V., van Leeuwen, SPJ. 2019. Mitigation Strategies for the Reduction of 3-MCPD Esters and Glycidyl Esters in the Vegetable Oil Processing Industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12415>
24. Oey, SB., van der Fels-Klerx, HJ., Fogliano, V., van Leeuwen, SPJ. 2020. Effective physical refining for the mitigation of processing contaminants in palm oil at pilot scale. *Food Research International*. 138(2020). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109748>
25. Ramli, MR., Siew, WL., Ibrahim, NA., Hussein, R., Kuntom, A., Razak, RAA., Nesaretnam, K. 2011. Effects

- of Degumming and Bleaching on 3-MCPD Esters Formation During Physical Refining. *Journal of American Oil Chemists' Society*. 88:1839-1844. <https://doi.org/10.1007/s11746-011-1858-0>
26. Ramli, MR., Tarmizi, AHA., Hammid, ANA., Abd., RA., Kuntom, A., Lin, SW., Radzian, R. 2020. Preliminary Large Scale Mitigation of 3-Monochloropropane-1, 2-diol (3-MCPD) Esters and Glycidyl Esters in Palm Oil. *Journal of Oleo Science*. 69(8): p.815-824, <https://doi.org/10.5650/jos.ess20021>
 27. Shimizu, M., Moriwako, J., Shiiba, D., Nohara, H., Kudo, N., Katsuragi, Y. 2012. Elimination of Glycidyl Palmitate in Diolein by Treatment with Activated Bleaching Earth. *Journal of Oleo Science*. 61(1): p.23-28. <https://doi.org/10.5650/jos.61.23>
 28. Stadler, R. H. 2015. Monochloropropane-1,2-diol esters (MCPDEs) and glycidyl esters (GEs): An update. *Current Opinion in Food Science*, 6, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.008>
 29. Sunahara, G., Perrin, I., Marchesini, M. Carcinogenicity study on 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) administered in drinking water to fischer 344 rats. 1993. Unpublished report No. RE-SR93003 submitted to WHO by Switzerland: Nestle Ltd, Research & Development.
 30. Tiong, SH., Saporin, N., Teh, HF., Ng, LM., Zain, MZ., Neoh, BK., Noor, AM., 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): p. 997-1007. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04995>
 31. US National Toxicology Program. NTP Technical Report Series No. 374. Toxicology and carcinogenesis studies of

glycidol in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage studies).

32. 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: p. 81-85. <http://dx.doi.org/10.15740/HAS/IJAE/11.Sp.Issue/81-85>
33. Zhang, X., Liu, M., Shi, H., Gao, B., & Yu, L. L. 2013. 3-MCPD 1-palmitate-2-linoleate and 3-MCPD 1-linoleate-2-palmitate: Acute Oral Toxicity in Swiss mice and cytotoxicity in NRK-52E rat kidney cells. Conference paper: 104th AOCS.

LAMPIRAN

Mitigasi risiko 3-MCPDE dan GE pada minyak goreng sawit (CXC 79-2019, *Code of Practice for The Reduction of 3-Monochloropropane-1,2- Diol Esters (3-MCPDEs) and Glycidyl Esters (GEs) In Refined Oils and Food Products Made with Refined Oils*)

TAHAPAN PRODUKSI	LANGKAH-LANGKAH MITIGASI
PRODUKSI DAN PEMURNIAN MINYAK GORENG SAWIT	<p>Produksi dan Perlakuan CPO</p> <ul style="list-style-type: none">• Cuci CPO menggunakan air bebas klorin.• Hindari menggunakan sisa minyak nabati yang diperoleh dari pelarut atau ekstraksi.• Memeriksa kandungan prekursor (contohnya DAG, asam lemak bebas dan senyawa klorin) dalam bets minyak sawit dan menyesuaikan parameter proses pemurnian• Sebaiknya pada tahapan pemurnian menggunakan CPO dengan konsentrasi prekursor yang rendah
	<p><i>Degumming</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Gunakan kondisi yang sedikit asam (misalnya <i>degumming</i> dengan konsentrasi asam yang rendah atau <i>degumming</i> air) pada minyak sawit• Turunkan suhu <i>degumming</i> pada minyak sawit
	<p>Netralisasi</p> <ul style="list-style-type: none">• Gunakan pemurnian kimia (netralisasi) sebagai alternatif pemurnian fisik dalam minyak sawit
	<p><i>Bleaching</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Gunakan lebih banyak <i>bleaching clay</i> pada minyak sawit• Gunakan <i>bleaching clay</i> yang memiliki pH netral untuk mengurangi keasaman dalam minyak sawit

TAHAPAN PRODUKSI	LANGKAH-LANGKAH MITIGASI
PRODUKSI DAN PEMURNIAN MINYAK GORENG SAWIT	<p>Deodorisasi</p> <ul style="list-style-type: none"> • Melakukan deodorisasi minyak sawit pada suhu yang lebih rendah. Suhu yang digunakan dapat bervariasi tergantung pada waktu tinggal minyak. • Melakukan deodorisasi ganda pada minyak sawit (deodorisasi dua tahap) sebagai alternatif dari deodorisasi tradisional. • Gunakan vakum yang lebih kuat untuk menguapkan senyawa volatil dan berkontribusi untuk menurunkan suhu deodorisasi pada minyak sawit
PERLAKUAN PASKA PROSES PEMURNIAN	<ul style="list-style-type: none"> • Lakukan proses <i>bleaching</i> dan deodorisasi tambahan setelah <i>bleaching</i> dan deodorisasi awal pada minyak sawit • Gunakan <i>activated bleaching clay</i> ke minyak sawit yang telah dimurnikan
PEMILIHAN DAN PENGGUNAAN MINYAK GORENG SAWIT	<p>Pemilihan Minyak</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pilih minyak goreng sawit dengan kadar 3- MCPDE dan GE yang rendah <p>Modifikasi proses</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kurangi jumlah minyak goreng sawit dalam produk akhir

Pedoman Mitigasi Risiko

3-MCPDE (3-Mono-Chloropropane-1,2-Diol-Esters) dan GE (Glycidyl Ester) pada Minyak Goreng Sawit



Latar Belakang

Senyawa 3-MCPDE dan GE merupakan kontaminan pangan yang terbentuk selama proses pembuatan minyak goreng sawit (MGS). Keberadaan 3-MCPDE dan GE dalam pangan diupayakan seminimal mungkin supaya tidak berisiko terhadap kesehatan. Pedoman Mitigasi risiko ini disusun sebagai panduan untuk meminimalkan kadar 3-MCPDE dan GE pada MGS agar dihasilkan MGS yang aman dan berkualitas sehingga dapat melindungi masyarakat dan meningkatkan daya saing MGS

Pembentukan 3-MCPDE

- Senyawa 3-MCPDE terbentuk dari reaksi antara asilgliserol (triasilgliserol (TAG), diasilgliserol (DAG), monoasilgliserol (MAG)) dengan klorin
- Mulai terbentuk pada suhu 160-200°C
- Pembentukannya meningkat pada kondisi asam

Pembentukan GE

- Senyawa GE terbentuk dari DAG dan MAG
- Mulai terbentuk pada suhu 200°C dan kadar meningkat signifikan pada suhu 240°C keatas

Mitigasi Risiko

Mitigasi 3-MCPDE dan GE pada MGS dapat dilakukan dari hulu sampai hilir. Pada pedoman ini mitigasi MCPDE dan GE dilakukan mulai dari penerimaan *Crude Palm Oil* (CPO)

Penerimaan CPO

- ▶ Seleksi suplier yang telah melakukan penerapan cara pengolahan CPO yang baik di Pabrik Kelapa Sawit (PKS)
- ▶ CPO yang diterima berasal dari Tandan Buah Segar (TBS) kebun yang menerapkan *Good agricultural practice* (GAP), misalnya dapat berasal dari kebun bersertifikat ISPO (*Indonesian Sustainable Palm Oil*) atau RSPO (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*).
- ▶ Pastikan bahwa CPO dari *supplier* memenuhi SNI 2901-2021 dan kadar klorin diharapkan serendah mungkin

Faktor kritis:



- Kandungan asam lemak bebas (*Free Fatty Acid/FFA*) maksimal 3%
- Berdasarkan referensi kadar diasilgliserol (DAG) maksimal 4%
- Berdasarkan referensi kadar klorin maksimal 4 mg/kg.

Perlakuan sebelum pemurnian CPO (*Pre-treatment*)

- ▶ Kurangi kadar klorin dari CPO dengan metode *wet washing* atau *dry washing*
- ▶ Jika melakukan *wet washing*, sebaiknya gunakan air bebas klorin

Faktor kritis:



kadar klorin maksimal pada CPO yang akan dimurnikan diupayakan sama atau lebih rendah dari 4,0 mg/kg

Mitigasi Risiko pada Proses Pemurnian CPO



Degumming

- ▶ Lakukan pada kondisi asam lemah. Gunakan asam fosfat atau asam sitrat dengan konsentrasi serendah mungkin
- ▶ Lakukan proses *degumming* dengan suhu serendah mungkin. Berdasarkan referensi untuk meminimalisir pembentukan GE dan 3-MCPDE pada *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO), proses *degumming* yang optimal dapat dilakukan pada suhu 90°C selama 30 menit dengan kadar asam fosfat 0,06%



Faktor kritis:

pH, suhu, dan waktu



Netralisasi

Jika melakukan pemurnian secara kimia (sebagai alternatif pemurnian secara fisik), melalui proses netralisasi dengan penambahan senyawa basa (antara lain: NaOH, KOH, NaHCO₃, Na₂CO₃) maka dapat mengurangi kadar FFA sehingga deodorisasi dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah dibandingkan pemurnian secara fisik



Faktor kritis:

Kadar FFA

Bleaching

- ▶ Gunakan *bleaching earth* dengan pH netral untuk mencegah pembentukan 3-MCPDE
- ▶ Gunakan *bleaching earth* dalam jumlah yang lebih banyak, dengan mempertimbangkan efektivitas dan efisiensinya
- ▶ Hindari penggunaan *bleaching earth* yang memiliki kandungan klorin tinggi

! **Faktor kritis:**
Kadar klorin, pH

Deodorisasi

- ▶ Lakukan deodorisasi pada suhu 190-230 °C
- ▶ Gunakan deodorisasi dua tahap
- ▶ Lakukan proses deodorisasi pada tekanan vakum yang kuat

! **Faktor kritis:**
Suhu, tekanan vakum

Perlakuan paska proses pemurnian CPO

- Gunakan *activated bleaching earth* yang bersifat asam untuk mengubah GE menjadi asilgliserol
- Lakukan deodorisasi pada suhu yang lebih rendah dari deodorisasi pertama

! **Faktor kritis:**
Bergantung pada perlakuan yang digunakan:
a. *bleaching*: pH
b. deodorisasi: suhu



Penggunaan minyak sawit sebagai ingredien pangan

Pilih MGS dengan kadar 3-MCPDE dan GE yang rendah atau kurangi jumlah MGS dalam komposisi produk pangan olahan



Faktor kritis:

- Kadar 3-MCPDE dan GE
- Jumlah MGS sebagai ingredien produk

Proses ekspor



Pastikan kadar 3-MCPDE dan GE memenuhi persyaratan negara tujuan



Simpan sampel pertinggal untuk mempermudah penelusuran apabila terjadi kasus



Lakukan simulasi penarikan pangan (*mock recall*)



Faktor kritis:

- Kadar 3-MCPDE dan GE



BADAN PENGAWAS OBAT DAN MAKANAN

Jl. Percetakan Negara No. 23, Jakarta Pusat 10560
2023

ISBN 978-602-415-138-6 (PDF)

