

## KAJIAN TEKNOLOGI KRISTALISASI FRAKSIONAL PADA PRODUKSI MINYAK SAWIT MERAH TINGGI OLEAT-RENDAH PALMITAT

Manda Edy Mulyono

**Abstrak** - Saat ini, kebutuhan pangan bernutrisi meningkat signifikan seiring dengan perubahan gaya hidup masyarakat yang lebih sehat. Hal ini memicu berbagai penelitian pada rekomposisi dan fungsionalisasi minyak nabati serta teknologi yang berkaitan dengannya. Minyak sawit merah (RPO) dengan komposisi uniknya, selain komposisi asam lemak jenuh dan tidak jenuh pada rasio berimbang juga mengandung fitonutrien yang tinggi, menarik untuk diteliti lebih lanjut guna menjawab kebutuhan pangan fungsional. Tulisan ini mengkaji teknologi kristalisasi fraksional yang dibutuhkan untuk menghasilkan minyak sawit merah dengan karakter tinggi oleat-rendah palmitat serta kaya nutrisi. Penggunaan pendekatan matematis dengan persamaan Hildebrand dalam teknologi kristalisasi juga disajikan dalam tulisan ini.

**Kata kunci:** kristalisasi fraksional, minyak sawit merah, oleat tinggi, palmitat rendah, persamaan Hildebrand

### PENDAHULUAN

Minyak sawit merah atau disebut *red palm oil* (RPO) merupakan salah satu produk turunan kelapa sawit yang belum populer di pasar konsumen pangan Indonesia. RPO memiliki karakteristik warna merah bening yang menunjukkan kandungan karoten yang tinggi ( $> 600 \text{ ppm}$ ). Selain karoten, RPO juga mengandung vitamin E, skualena, dan fitosterol yang baik untuk kesehatan (Loganathan, Subramaniam, Radhakrishnan, Choo, & Teng, 2017). Saat ini penggunaan RPO masih terbatas sebagai *food dressing, stir frying*, dan pangan dengan minimum kontak panas.

Terdapat beberapa keunggulan RPO pada kesehatan manusia. Komposisi asam lemak asam tak jenuh oleat pada RPO lebih tinggi (43,79%) dibandingkan asam lemak jenuh palmitat (40,29%) (PPKS, 2020). Sebagian besar asam lemak tak jenuh RPO berada pada posisi sn-2 triasilgliserol (TAG) sehingga mudah diserap oleh tubuh. Berdasarkan penelitian, asam oleat dan asam lemak tak jenuh

lainnya berfungsi dalam memperbaiki lipida darah. Hal ini ditandai dengan penurunan kolesterol total, kolesterol LDL (*low density lipoprotein*) dan kadar TAG, serta meningkatnya kolesterol HDL (*high density lipoprotein*) dalam darah (Arsic, Stojanovic, & Mikic, 2017). Peran asam oleat dan PUFA (*polyunsaturated fatty acid*) dalam memperbaiki lipida darah dapat diamati di berbagai rentang usia. Selain itu, dampak positif juga terlihat pada pasien diabetes dan resisten insulin (Rehman, Haider, Jabeen, & Akash, 2020). Oleh karena itu, RPO dinilai memiliki peran penting bagi kesehatan.

Asam palmitat dan SFA (*saturated fatty acid*) lainnya dapat meningkatkan kolesterol total dan kolesterol LDL dalam darah sehingga asupan harianya perlu dikurangi (Fattore & Fanelli, 2013). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa asam palmitat pada posisi sn-2 TAG dapat mempengaruhi metabolisme postprandial lipida, sehingga berpotensi sebagai penyebab masalah kardiovaskular (Yilmaz & Aagündüz, 2020). Oleh karena itu, penurunan kadar SFA termasuk asam palmitat dan modifikasi komposisi asam lemak dalam makanan berpotensi dapat mengurangi resiko penyakit kardiovaskular hingga 14% (Hooper et al., 2011; Yu, Malik, & Hu, 2018).

Asam lemak pada minyak kelapa sawit dapat direkomposisi dan difungsionalisasi sehingga diperoleh minyak yang sesuai dengan kebutuhan pangan bernutrisi dan sehat. Salah satu metode yang dapat diaplikasikan adalah kristalisasi fraksional

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Manda Edy Mulyono (✉)  
Pusat Penelitian Kelapa Sawit  
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia  
Email: mandaarifsetiawan@gmail.com

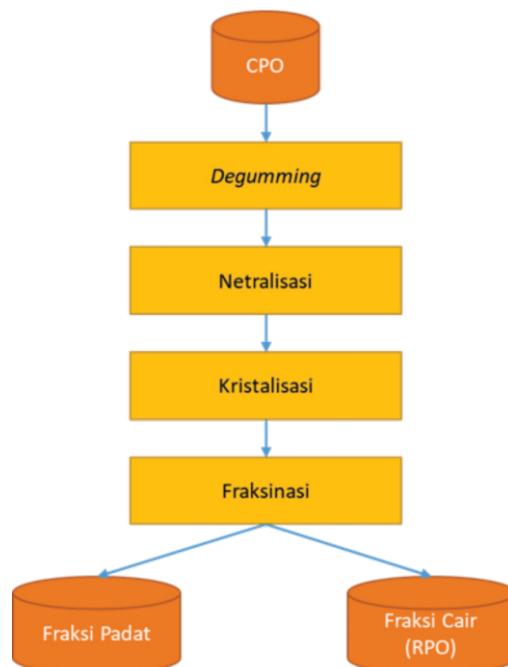
dengan mengoptimalkan kondisi proses. Kristalisasi fraksional merupakan salah satu metode pemisahan yang dilakukan berdasarkan perbedaan titik leleh dari komponen-komponen penyusun suatu campuran. Metode ini dinilai lebih ramah lingkungan, sederhana, dan hemat biaya produksi. Metode ini diharapkan mampu mempertahankan kandungan fitonutrien pada RPO, seperti karoten, vitamin E dan squalene yang cenderung hilang pada proses rafinasi konvensional.

RPO diproduksi pada suhu sedang (maksimal 70°C) dan tanpa melalui proses *bleaching*, sehingga kandungan fitonutrien dapat dipertahankan (Nainggolan & Sinaga, 2021). Proses rafinasi yang tergolong 'soft' menjadikan RPO masih mengandung asam lemak bebas (ALB), monoasilgliserol (MAG), dan diasilgliserol (DAG) yang lebih tinggi dibandingkan minyak nabati terafinasi (Purnama, Setyaningsih, Hambali, & Taniwiryo, 2020). Selain itu, sedikit fosfatida masih terkandung dalam RPO (Chompo, Damrongwattanakool, & Raviyan, 2019). Kandungan fitonutrien, ALB, MAG, DAG dan fosfatida ini diperkirakan dapat mempengaruhi kristalisasi fraksional RPO (Akoh, Wagh, & Martini, 2017; Huang, Wang, Bi, & Hao, 2018; Omar et al., 2015).

Oleh karena itu, tulisan ini bertujuan untuk mengulas kristalisasi fraksional RPO dan kondisi proses yang dibutuhkan, serta membandingkan kristalisasi fraksional pada minyak nabati terafinasi untuk dapat diaplikasikan pada RPO. Selain itu, pendekatan matematis menggunakan persamaan Hildebrand turut dibahas guna mengoptimalkan titik pisah pada kristalisasi fraksional RPO. Dengan demikian, penelitian lanjutan dapat diidentifikasi untuk menghasilkan RPO tinggi oleat, rendah palmitat serta kaya nutrisi.

#### KARAKTER FISIKOKIMIA MINYAK SAWIT MERAH

Berbeda dari RBDPO (*refined bleached deodorized palm oil*), produksi RPO tidak melalui proses *bleaching*. Minyak hanya melalui proses *degumming*, netralisasi, kristalisasi dan fraksinasi. Fosfatida, asam lemak bebas (ALB), dan kotoran dihilangkan pada proses *degumming* dan netralisasi. Selanjutnya minyak dikristalkan pada suhu ruang sehingga terbentuk fraksi padat (stearin) dan fraksi cair (olein). Fraksi padat lalu dipisahkan melalui filtrasi sehingga diperoleh fraksi cair yang disebut dengan RPO.



Gambar 1. Diagram alur pembuatan RPO

Keunggulan RPO dalam mempertahankan kandungan fitonutrien didukung pula dengan komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuh yang berimbang. Hal ini bertolak belakang dengan komposisi asam lemak pada minyak zaitun yang didominasi oleh asam oleat, namun sangat rendah asam palmitat. Lain halnya dengan minyak kedelai yang didominasi oleh asam linoleat, namun asam oleatnya tidak melampaui RPO. Perbandingan

komposisi asam lemak pada RPO, CPO (*crude palm oil*), zaitun, dan kedelai, serta minyak goreng komersil dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan perlakuan yang sesuai, komposisi asam lemak pada RPO dapat disesuaikan dengan kebutuhan pasar sebagai bentuk pemenuhan *specialty food*. Dengan begitu, memungkinkan diproduksinya RPO dengan berbagai keunggulan, baik dalam aspek kesehatan maupun ekonomi.

Tabel 1. Komposisi asam lemak dan fitonutrien pada CPO, RPO, minyak goreng komersil, minyak zaitun, dan kedelai

Parameter	CPO <sup>a</sup>	RPO <sup>a</sup>	Minyak goreng <sup>a</sup>	Minyak zaitun <sup>b</sup>	Minyak kedelai <sup>c</sup>
C12:0, %	0,19	0,03	0,22	NA	NA
C14:0, %	0,79	0,92	0,93	NA	0,04
C16:0, %	42,62	40,29	37,80	12,1	10,57
C16:1, %	0,12	0,16	0,17	0,7	0,02
C17:0, %	NA	NA	NA	0,2	NA
C17:1, %	NA	NA	NA	0,2	NA
C18:0, %	3,86	3,54	3,48	3,1	4,09
C18:1, %	41,37	43,79	46,11	71,3	22,98
C18:2, %	10,45	10,55	10,62	10,6	54,51
C18:3, %	0,23	0,26	0,20	0,7	7,23
C20:0, %	0,29	0,33	0,33	0,4	0,33
C20:1, %	0,08	0,13	0,14	0,3	0,18
C22:0, %	NA	NA	NA	0,2	0,25
C24:0, %	NA	NA	NA	0,2	0,1
Karoten, ppm	602,6	850	15-20	1,4-8,9 <sup>d</sup>	NA
Vitamin E, ppm	693	1080	323	23,2-370,6 <sup>d</sup>	1230
Squalene, ppm	148	272	128	NA	NA

Ket: CPO *Crude Palm Oil*, RPO *Red Palm Oil*, NA data tidak tersedia. Sumber: <sup>a</sup>PPKS, 2020 (data tidak dipublikasikan), <sup>b</sup>Firestone 2005, <sup>c</sup>Gerde et al., 2020, <sup>d</sup>Lanza & Ninfali, 2020

Pada Tabel 1 terlihat bahwa karoten dan skualena minyak kelapa sawit lebih unggul dibandingkan minyak zaitun dan kedelai. Vitamin E juga dapat

terkonsentrasi pada RPO sehingga mendekati minyak kedelai. Selain itu, dapat disimpulkan pula bahwa proses rafinasi yang meliputi *bleaching* dan

deodorisasi pada produksi minyak goreng komersil saat ini dapat mengurangi jumlah vitamin E hingga 53% dan menghilangkan hampir seluruh karoten pada minyak kelapa sawit. Padahal, fitonutrien tersebut memiliki banyak manfaat bagi kesehatan (Loganathan et al., 2017). Selain itu, sifat antioksidan yang dimiliki oleh vitamin E dan karoten yang terkandung dalam minyak kelapa sawit mampu meningkatkan stabilitas oksidatif sehingga memperlambat laju oksidasi pada minyak yang pada akhirnya memperpanjang umur

simpan (*shelf life*) minyak (Ping, Idris, & Maurad, 2020).

Asam oleat dan asam palmitat pada RPO berkonfigurasi dengan asam lemak lainnya membentuk berbagai kombinasi TAG, dengan POP dan POO sebagai TAG dominan. Tabel 2 menunjukkan komposisi TAG dalam CPO dan RPO yang diperoleh dengan kristalisasi fraksional. Data menunjukkan penurunan signifikan pada komposisi TAG jenuh, khususnya PPP.

Tabel 2. Komposisi triasilglicerol pada CPO dan RPO.

Jumlah asam lemak tak jenuh	Jenis TAG	Komposisi TAG (%)		Jenis TAG	Komposisi TAG (%)		
		CPO	RPO				
0	MPP	1,3	0,1	2	MOL	2,0	2,7
	PPP	20,8	1,6		POL	6,7	9,9
	PPSt	4,8	0,3		POO	14,0	20,6
	PStSt	0,6	0,0		StOO	2,0	3,2
	Σ SSS	27,5	2,1		Σ SUU	24,7	36,3
1	MLP/MOM	0,4	0,6	3	OOO	2,3	3,6
	PLP/MOP	7,8	8,5		OOL	1,2	2,2
	POP	25,5	25,4		Σ UUU	3,5	5,8
	StOP	4,7	6,2	Lain-lain		0,5	2,3
	StOSt	0,8	8,3				
	Σ SSU	39,2	49,0				

Ket: M Miristat, P Palmitat, St Stearat, O Oleat, L Linoleat, S asam lemak jenuh, U asam lemak tak jenuh. Sumber: Kumar & Krishna, 2014

Sementara itu, karakter *solid fat content* (SFC) RPO tidak berbeda jauh dari RBDPO terutama pada suhu di atas 15°C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *soft refined* dan *refined oil* memiliki karakter kristal

yang dekat. Dengan begitu, adaptasi metode kristalisasi fraksional *refined oil* kepada *soft refined oil* mungkin untuk dilakukan. Tabel 3 menyajikan data SFC CPO, RPO, dan RBDPO.



Tabel 2. Komposisi triasilglicerol pada CPO dan RPO.

Suhu (°C)	SFC (%)		
	CPO	RPO	RBDPO
10	48,0	35,6	40,9
15	31,6	20,3	20,0
20	21,7	9,5	8,2
25	10,0	0,7	0,9

Sumber: PPKS, 2021 (data tidak dipublikasikan)

## TEKNOLOGI KRISTALISASI FRAKSIONAL DAN KONDISI PROSES

Kristalisasi merupakan salah satu metode pemisahan yang dilakukan berdasarkan perbedaan titik leleh dari komponen-komponen penyusun suatu campuran. Proses kristalisasi melalui 4 tahapan yaitu: (1) pencapaian kondisi termodinamika yang dibutuhkan untuk kristalisasi, (2) nukleasi, (3) pertumbuhan kristal, dan (4) rekristalisasi untuk mencapai kestabilan. Ketika kondisi termodinamika yang dibutuhkan terpenuhi, molekul-molekul sejenis akan berkumpul membentuk nukleus yang selanjutnya tumbuh menjadi kristal  $\alpha$  yang kurang stabil. Kemudian seiring berjalanannya waktu, molekul pada kristal  $\alpha$  akan menata ulang susunannya sehingga mencapai polimorf yang lebih stabil yaitu  $\beta'$ . Jika terdapat cukup energi, kristal  $\beta'$  dapat tumbuh menjadi kristal  $\beta$  yang paling stabil. Seluruh tahapan ini dipengaruhi oleh berbagai kondisi dan perlakuan, diantaranya adalah agitasi, penggunaan zat aditif dan laju pendinginan (Akoh et al., 2017; Domingues et al., 2015; Omar et al., 2015).

Secara garis besar, terdapat 3 metode kristalisasi fraksional yang diaplikasikan di industri minyak: (1) fraksinasi deterjen, (2) fraksinasi solvent, dan (3) fraksinasi kering. Prinsip dasar dari fraksinasi deterjen adalah penambahan surfaktan dan larutan elektrolit ke dalam minyak, sehingga kristal lipid dapat tersuspensikan di dalam air dan dilanjutkan dengan pemisahan sentrifugal. Sementara itu, pada fraksinasi solvent minyak dilarutkan ke dalam pelarut seperti heksana, aseton atau isopropanol, lalu didinginkan hingga TAG dengan titik leleh tertinggi mengkristal. Pemisahan dilakukan dengan filtrasi dan dilanjutkan dengan evaporasi pelarut. Namun kedua metode ini

tergolong mahal dengan konsumsi bahan kimia (surfaktan dan pelarut) serta energi yang tinggi (Temkov & Mureşan, 2021).

Berbeda dari fraksinasi deterjen dan solvent, fraksinasi kering tergolong murah dan sederhana dengan pengaturan suhu sebagai metode utamanya. Selain itu, fraksinasi kering juga merupakan metode yang paling tepat untuk produksi RPO yang kaya akan fitonutrien (Kumar & Krishna, 2014; Mayamol, Balachandran, Samuel, Sundaresan, & Arumughan, 2007). Walaupun fraksinasi kering lebih ramah lingkungan dan hemat, diperlukan kontrol yang baik terhadap kondisi proses pada fraksinasi kering. Kondisi proses tersebut antara lain: suhu kristalisasi yang disesuaikan dengan TAG sasaran, laju pendinginan, agitasi, penambahan aditif, serta sonifikasi menggunakan *high-intensity ultrasound* (HIU) (Akoh et al., 2017; Gibon, 2012; Hashem, Abd-ellh, Abd-eltawab, & Abdel-razek, 2018; Kumar & Krishna, 2014).

### Laju pendinginan

Laju pendinginan dapat mempengaruhi karakter kristal yang dihasilkan. Ketika kristalisasi dilakukan dengan pendinginan perlahan, perubahan energi kinetik berlangsung lambat sehingga TAG-TAG yang serupa berkesempatan untuk membentuk kisi kristal  $\beta$  yang stabil. Kristal  $\beta$  yang terbentuk memiliki titik leleh dan densitas yang tinggi, yang menunjukkan keseragaman TAG pembentuk kristal tersebut. Selain itu, kristal  $\beta$  yang terbentuk dari pendinginan perlahan berukuran lebih besar sehingga mempermudah pemisahan. Sebaliknya, energi kinetik berubah drastis pada pendinginan cepat, sehingga TAG-TAG hanya

berkesempatan untuk membentuk kristal  $\alpha$  yang kurang stabil (Ab Latip et al., 2013; Akoh et al., 2017; Hashem et al., 2018; Mayamol et al., 2007; Nguyen, Rimaux, Truong, Dewettinck, & Van Bockstaele, 2021; Omar et al., 2015).

### Agitasi

Setelah nukleasi terjadi, TAG akan berpindah dari campuran menuju permukaan inti kristal. Seiring pertumbuhan kristal, viskositas minyak akan meningkat. Hal ini justru memperlambat perpindahan TAG dari campuran menuju permukaan kristal. Oleh karena itu, agitasi yang kontinu dan tidak destruktif dibutuhkan untuk menjaga homogenitas campuran sehingga pertumbuhan kristal tetap terjadi. Selain itu, agitasi yang lambat akan memantik pertumbuhan kristal yang lebih besar (Akoh et al., 2017; da Silva, Danhine, & Martini, 2021).

### HIU (High-Intensity Ultrasound)

HIU (*high-intensity ultrasound*) merupakan salah satu kondisi proses yang turut mempengaruhi kristalisasi lipid, namun penggunaannya masih terbatas pada skala laboratorium. HIU dapat menginduksi kristalisasi dalam bentuk polimorf yang paling stabil (Akoh et al., 2017). Chen et al., (2013) menyatakan bahwa HIU dengan waktu radiasi yang tepat dapat mempercepat laju kristalisasi serta berperan dalam homogenisasi kristal. Penelitian (Ye & Martini (2015) juga menunjukkan bahwa pengaplikasian HIU rendah daya dapat menginisiasi pembentukan kristal yang bersifat lebih elastis serta memiliki profil leleh yang lebih tajam. Efisiensi sonifikasi juga dipengaruhi oleh suhu kristalisasi, pada umumnya efek HIU terlihat lebih maksimal pada suhu kristalisasi tinggi (Akoh et al., 2017).

### Penambahan aditif (*seeding effect*)

Penambahan aditif dapat menginisiasi pembentukan kristal, sehingga memberikan efek *seeding*. Oleh karena itu, sangat penting menentukan zat aditif yang akan digunakan dengan memperhatikan karakter TAG yang akan dikristalkan. Apabila karakter aditif yang ditambahkan sangat mirip dengan TAG, aditif akan turut bergabung dengan kisi kristal

sehingga menghambat nukleasi dan pertumbuhan kristal. Namun apabila karakter aditif terlalu berbeda dari TAG, aditif dapat mengkristal terlebih dahulu sebelum TAG mulai nukleasi (Akoh et al., 2017). Salah satu aditif yang umum digunakan adalah *emulsifier* karena kemampuannya menginisiasi dan mempercepat kristalisasi (Domingues et al., 2015). Selain itu, lipid juga dapat digunakan secara langsung sebagai aditif. Contohnya, monopalmitin dan PPP yang digunakan pada kristalisasi RBDPO (Verstringe, Danhine, Blecker, Depypere, & Dewettinck, 2013).

### PERSAMAAN HILDEBRAND: PENDEKATAN MATEMATIS UNTUK MENENTUKAN TITIK PISAH PADA KRISTALISASI FRAKSIONAL

Pada campuran minyak, TAG mengalami pergeseran titik leleh. Hal ini disebabkan oleh interaksi antar TAG yang titik lelehnya berbeda-beda. Oleh karena itu, penentuan titik pisah yang akurat menjadi tantangan pada kristalisasi minyak. Faktor penting yang mempengaruhi titik ini adalah komposisi komponen dalam campuran. Salah satu pendekatan metode yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan persamaan Hildebrand yang bertitik tumpu pada pemisahan fraksi padat yang kaya asam palmitat. Persamaan ini dapat digunakan dengan mengasumsikan campuran TAG pada minyak sebagai larutan ideal (Stewart, Chong, & Stapley, 2017).

Secara matematis, persamaan Hildebrand dapat ditunjukkan sebagai:

$$\ln X = \frac{\Delta H_m}{R} \left( \frac{1}{T_m} - \frac{1}{T} \right)$$

dengan X adalah fraksi mol komponen bertitik leleh tinggi,  $\Delta H_m$  entalpi leleh dari komponen bertitik leleh tinggi ( $J \text{ mol}^{-1}$ ), R konstanta gas ( $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ),  $T_m$  titik leleh komponen bertitik leleh tinggi dalam keadaan murni (K), dan  $T$  titik leleh komponen bertitik leleh tinggi dalam campuran (K).

Sebagai contoh, perhitungan berikut dilakukan terhadap POP yang dominan palmitat sebagai sasaran pisah. Berdasarkan Tabel 2, komposisi POP pada RPO adalah sebesar 25,4% (w/w), kemudian komposisi ini dapat dikonversi ke fraksi mol ( $X_{\text{POP}}$ ) menjadi 0,2796. Selanjutnya, data entalpi leleh dan titik leleh POP murni diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh Minato et al. (1997), yaitu  $\Delta H_m$  130 kJ

$\text{mol}^{-1}$  dan  $T_m$   $36,5^\circ\text{C}$ . Kemudian dengan substitusi data tersebut ke persamaan Hildebrand dapat diperoleh titik leleh POP dalam campuran ( $T$ ) sebesar  $28,9^\circ\text{C}$ . Dengan demikian, titik pisah POP dari campuran berkisar pada suhu  $28,9^\circ\text{C}$ .

Penelitian yang dilakukan Stewart et al. (2017) terhadap campuran PPP-OOO menunjukkan kesesuaian antara prediksi persamaan Hildebrand dan data sebenarnya yang diamati. Sementara itu, komposisi TAG yang kompleks pada minyak sawit dapat mempengaruhi akurasi prediksi. Kendati demikian, persamaan Hildebrand dapat digunakan sebagai gambaran untuk menentukan titik pisah TAG tertentu, terutama TAG dengan asam lemak jenuh.

#### PERKEMBANGAN METODE KRISTALISASI FRAKSIONAL PADA PENGOLAHAN MINYAK SAWIT

Berbagai penelitian tentang kristalisasi fraksional pada pengolahan minyak sawit terangkum pada Tabel 4. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan

pada kondisi proses beragam dengan bahan baku turunan sawit yang berbeda-beda.

Berdasarkan Tabel 4, perubahan komposisi asam oleat dan palmitat berkisar antara 4 hingga 7%. Hasil ini dipengaruhi oleh kondisi proses, yang mencakup suhu kristalisasi, agitasi, laju pendinginan, penambahan aditif hingga penggunaan solvent. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pendekatan untuk mengoptimalkan metode kristalisasi fraksional yang lebih sederhana, ramah lingkungan, hemat biaya produksi, serta tidak merusak nutrisi.

Berdasarkan pertimbangan diatas, dapat disusun sebuah skema rekomposisi TAG pada RPO melalui metode fraksinasi kering yang berfokus pada penurunan kadar palmitat serta peningkatan kadar oleat (Gambar 2). Skema tersebut disusun dengan mengadaptasi kondisi proses kristalisasi yang diterapkan pada minyak sawit, baik yang terrefinasi maupun tidak. Hipotesis ini berlandaskan pada profil SFC RPO yang mendekati RBDPO pada rentang suhu  $15-25^\circ\text{C}$  (Tabel 3).

Tabel 4. Kristalisasi fraksional minyak sawit pada berbagai penelitian

No	Bahan baku	Metode & Kondisi Proses	Hasil			Sumber
			O (%)	P (%)	IV	
1	CPO (ALB <3%)	<b>Fraksinasi kering</b> $T_0$ $70^\circ\text{C}$ , laju pendinginan $17^\circ\text{C}/\text{jam}$ , agitasi tipe <i>sweeping surface</i> , $T_c$ $25^\circ\text{C}$	40,2 menjadi 44,8	45 menjadi 40,1	57	(Mayamol et al., 2007)
			450 ppm karoten, 739 ppm vitamin E, dan 429 ppm sterol			
2	Interesterified -RBDPO	<b>Fraksinasi kering</b> $T_0$ $70^\circ\text{C}$ (2 jam), pendinginan perlahan, agitasi 10-30 rpm, $T_c$ $8^\circ\text{C}$	57 menjadi 61	20 menjadi 17	81	(Ramli, Siew, & Cheah, 2009)
3	PO + MO	<b>Fraksinasi solvent (aseton)</b> PO:MO 80:20, $T_0$ $60^\circ\text{C}$ , agitasi 30 rpm, pendinginan perlahan, $T_c$ $15^\circ\text{C}$ dan $10^\circ\text{C}$	44,43 menjadi 48,33-49,57	37,92 menjadi 35,2-33,43 33,43	59-60	(Marikkar & Ghazali, 2011)

(continued)

No	Bahan baku	Metode & Kondisi Proses	Hasil			Sumber
			O (%)	P (%)	IV	
4	PO + MO	<b>Fraksinasi kering (seeding)</b> PO:MO 80:20, $T_0$ 60°C, agitasi 30 rpm, laju pendinginan 2°C/mnt, $T_c$ 21°C dan 18 °C	44,43 menjadi 48,55- 48,76	37,92 menjadi 34,47- 34,77	59-62	(Marikkar & Ghazali, 2011)
5	CPO (ALB 7%)	<b>Fraksinasi kering</b> $T_0$ 60°C $T_c$ 25°C (24 jam)	37,4 menjadi 42,3	41,8 menjadi 40,9	53,4	(Kumar & Krishna, 2014)
			569,4 ppm karoten, 587,1 ppm vitamin E, 1996,8 ppm fitosterol dan 360,5 ppm squalene			
6	RBDPO	<b>Fraksinasi kering</b> Skala industri, $T_0$ 45°C, agitasi, $T_c$ 16,6°C	42,24 menjadi 47,63	39,60 menjadi 32,95	61,6	(Hashem et al., 2018)
7	RBDPO + PO	<b>Fraksinasi kering (seeding)</b> Skala industri, RBDPO:PO 95:5, $T_0$ 45°C, agitasi, $T_c$ 16,6°C	42,21 menjadi 48,19	39,62 menjadi 32,64	64,8	
8	CPO	<b>Fraksinasi kering</b> Perlakuan awal: degumming & neutralisasi, $T_0$ 60°C, $T_c$ 20-23°C, 8 jam, pemisahan gravitasional	41,59	42,24	NA	(Nainggolan & Sinaga, 2021)
			422,35 ppm karoten, 902,14 ppm vitamin E, dan 213 ppm squalene			

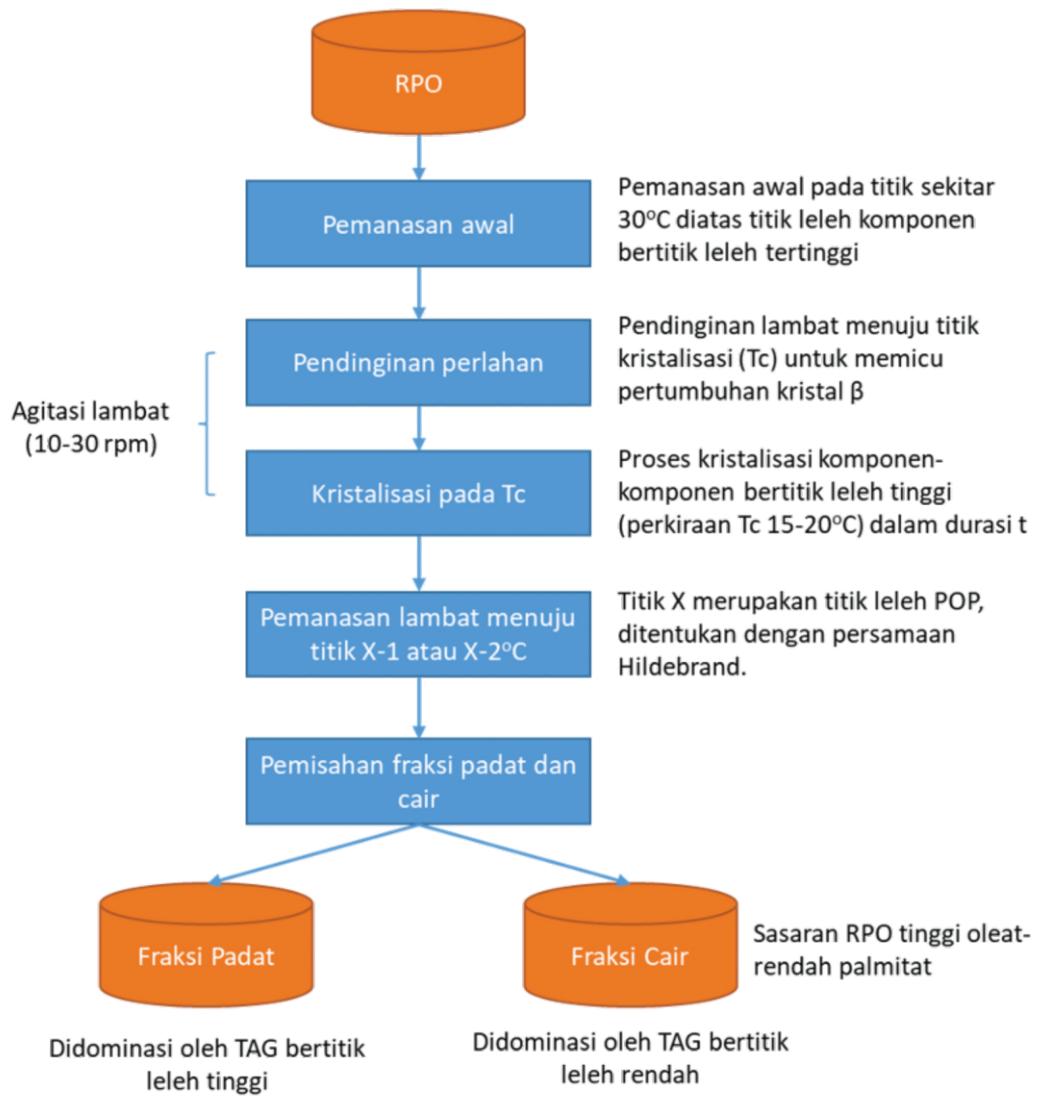
Ket:  $T_0$  suhu pemanasan awal untuk menghilangkan memori kristal,  $T_c$  suhu kristalisasi, O asam oleat, P asam palmitat, MO minyak biji *Moringa oleifera*, PO *unrefined palm oil*

Pemanasan awal dilakukan agar memori kristal hilang dan diperoleh campuran homogen. Selanjutnya dilakukan pendinginan perlahan disertai agitasi lambat menuju titik kristalisasi. Hal ini berkaitan dengan penelitian Stewart et al. (2017) yang menunjukkan kesesuaian kristalisasi nonisotermal dengan prediksi persamaan Hildebrand. Barbosa et al. (2018) menyatakan bahwa minyak sawit menunjukkan puncak kristalisasi pada 19,8°C dan 6,2°C, yang mengindikasikan kristalisasi POP dan POO. Oleh karena itu, 15-20°C cukup layak untuk dijadikan

rentang pengamatan titik kristalisasi. Selanjutnya dilakukan pemanasan lambat menuju beberapa derajat dibawah titik prediksi persamaan Hildebrand. Pemanasan ini dilakukan untuk melelehkan TAG dominan oleat yang mungkin menempel pada permukaan kristal TAG dominan palmitat. Sebagai contoh, POO cenderung menempel pada permukaan kristal POP akibat kemiripan asam lemak penyusun TAG tersebut (Barbosa et al., 2018). Meski demikian, dibutuhkan penelitian lebih lanjut perihal laju pendinginan dan pemanasan kembali, titik kristalisasi serta durasi kristalisasi.

Melalui tahapan tersebut, TAG bertitik leleh rendah yang kaya asam oleat akan terpisahkan sebagai

fraksi cair. Sementara fraksi padat akan didominasi oleh TAG dengan asam lemak jenuh.



Gambar 2. Skema rekomposisi TAG untuk menghasilkan minyak sawit merah tinggi oleat-rendah palmitat

## KESIMPULAN

Kristalisasi fraksional minyak sawit, khususnya RPO, dapat menjadi alternatif dalam pemenuhan kebutuhan minyak nabati yang lebih sehat. Berbagai penelitian terus berkembang dalam lingkup ini dengan mengadaptasi metode fraksinasi pada minyak terafinasi. Pengembangan metode ini berfokus pada optimasi kondisi proses

yang mempengaruhi pembentukan kristal, meliputi suhu kristalisasi, laju pendinginan, agitasi, penambahan aditif hingga sonikasi. Selain itu, pengaruh fitonutrien terhadap pembentukan dan profil kristal juga perlu diteliti lebih lanjut, sehingga fitonutrien yang terkandung dalam RPO tetap dapat dipertahankan. Pada akhirnya, pengembangan berkelanjutan diperlukan agar

metode ini dapat diaplikasikan pada skala yang lebih besar untuk menghasilkan RPO tinggi oleat-rendah palmitat serta kaya nutrisi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ab Latip, R., Lee, Y. Y., Tang, T. K., Phuah, E. T., Lee, C. M., Tan, C. P., & Lai, O. M. (2013). Palm-based diacylglycerol fat dry fractionation: Effect of crystallisation temperature, cooling rate and agitation speed on physical and chemical properties of fractions. *PeerJ*, 2013(1), 1–15. <https://doi.org/10.7717/peerj.72>
- Akoh, C. C., Wagh, A., & Martini, S. (2017). 11 Crystallization Behavior of Fats. In *Food Lipids* (pp. 327 – 348). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315151854-12>
- Arsic, A., Stojanovic, A., & Mikic, M. (2017). Oleic Acid - Health Benefits and Status in Plasma Phospholipids in The Serbian Population. *Serbian Journal of Experimental and Clinical Research*, 1–6. <https://doi.org/10.1515/SJECR>
- Barbosa, K. M., Cardoso, L. P., Ribeiro, A. P. B., Kieckbusch, T. G., & Buscato, M. H. M. (2018). Crystallization of low saturated lipid blends of palm and canola oils with sorbitan monostearate and fully hydrogenated palm oil. *Journal of Food Science and Technology*, 55(3), 1104–1115. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-3026-5>
- Chen, F., Zhang, H., Sun, X., Wang, X., & Xu, X. (2013). Effects of ultrasonic parameters on the crystallization behavior of palm oil. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90 (7), 941 – 949. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2243-y>
- Chompoon, M., Damrongwattanakool, N., & Raviyan, P. (2019). Effect of chemical degumming process on physicochemical properties of red palm oil. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 41 (3), 513 – 521. <https://doi.org/10.14456/sjst-psu.2019.70>
- da Silva, T. L. T., Danthine, S., & Martini, S. (2021). Influence of sonication, temperature, and agitation, on the physical properties of a palm-based fat crystallized in a continuous system. *Ultrasonics Sonochemistry*, 74, 105550. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2021.105550>
- Domingues, M. A. F., Ribeiro, A. P. B., Kieckbusch, T. G., Gioielli, L. A., Grimaldi, R., Cardoso, L. P., & Gonçalves, L. A. G. (2015). Advances in Lipids Crystallization Technology. In *Advanced Topics in Crystallization*. In Tech. <https://doi.org/10.5772/59767>
- Fattore, E., & Fanelli, R. (2013). Palm oil and palmitic acid: A review on cardiovascular effects and carcinogenicity. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(5), 648–659. <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.768213>
- Firestone, D. (2005). Olive Oil. In *Bailey's Industrial Oil and Fat Products* (sixth). Wiley. <https://doi.org/10.1002/047167849X.bio029>
- Gerde, J. A., Hammond, E. G., Johnson, L. A., Su, C., Wang, T., & White, P. J. (2020). Soybean Oil. In *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. <https://doi.org/10.1002/047167849x.bio041.pu> b2
- Gibon, V. (2012). Palm Oil and Palm Kernel Oil Refining and Fractionation Technology. In *Palm Oil: Production, Processing, Characterization, and Uses*. A O C S Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-9818936-9-3.50015-0>
- Hashem, H. A., Abd-ellh, N. E., Abd-eltawab, G. A., & Abdel-razek, A. G. (2018). Industrial Scale Production of Palm Super Olein using Modified and Innovative Dry Fractionation Technique. *Egyptian Journal of Chemistry*, 61(January), 1–11. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2018.2293.1186>
- Hooper, L., Summerbell, C. D., Thompson, R., Sills, D., Roberts, F. G., Moore, H., & Davey Smith, G. (2011). Reduced or modified dietary fat for preventing cardiovascular disease. In *Cochrane Database of Systematic Reviews*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd002137.pub2>
- Huang, X., Wang, J., Bi, J., & Hao, H. (2018). Influence of Diacylglycerol on Physicochemical Properties and Crystallization Behavior of Palm Oil. *Chemical Engineering & Technology*, (00),

- 1–8. <https://doi.org/10.1002/ceat.201700550>
- Kumar, P. K. P., & Krishna, A. G. G. (2014). Physico-chemical characteristics and nutraceutical distribution of crude palm oil and its fractions. *Grasas y Aceites*, 65(2). <https://doi.org/10.3989/gya.097413>
- Lanza, B., & Ninfali, P. (2020). Antioxidants in Extra Virgin Olive Oil and Table Olives: Connections between Agriculture and Processing for Health Choices. *Antioxidants* 2020, Vol. 9, Page 41, 9(1), 41. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9010041>
- Loganathan, R., Subramaniam, K. M., Radhakrishnan, A. K., Choo, Y. M., & Teng, K. T. (2017). Health-promoting effects of red palm oil: Evidence from animal and human studies. *Nutrition Reviews*, 75(2), 98–113. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuw054>
- Marikkar, J. M. N., & Ghazali, H. M. (2011). Effect of *Moringa oleifera* oil blending on fractional crystallization behavior of palm oil. *International Journal of Food Properties*, 14(5), 1049–1059. <https://doi.org/10.1080/10942910903580892>
- Mayamol, P. N., Balachandran, C., Samuel, T., Sundaresan, A., & Arumughan, C. (2007). Process technology for the production of micronutrient rich red palm olein. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 84(6), 587–596. <https://doi.org/10.1007/s11746-007-1078-9>
- Minato, a, Ueno, S., Yano, J., Smith, K., Seto, H., Amemiya, Y., & Sato, K. (1997). Thermal and Structural Properties of sn-1, 3-Dipalmitoyl-Binary Mixtures Examined with Synchrotron Radiation X-Ray Diffraction. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 74(10), 1213 – 1220 . Retrieved from <http://link.springer.com.proxy.lib.ohio-state.edu/article/10.1007/s11746-997-0047-7>
- Nainggolan, M., & Sinaga, A. G. S. (2021). Characteristics of fatty acid composition and minor constituents of red palm olein and palm kernel oil combination. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research*, 12(1), 22 – 26 . [https://doi.org/10.4103/japtr.JAPTR\\_91\\_20](https://doi.org/10.4103/japtr.JAPTR_91_20)
- Nguyen, V., Rimaux, T., Truong, V., Dewettinck, K., & Van Bockstaele, F. (2021). The effect of cooling on crystallization and physico-chemical properties of puff pastry shortening made of palm oil and anhydrous milk fat blends. *Journal of Food Engineering*, 291(May 2020), 110245. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110245>
- Omar, Z., Hishamuddin, E., Mat Sahri, M., Fauzi, S. H. M., Mat Dian, N. L. H., Ramli, M. R., & Rashid, N. A. (2015). PALM OIL CRYSTALLISATION: A REVIEW. *Journal of Oil Palm Research*, 27(June), 97–106.
- Ping, B. T. Y., Idris, C. A. C., & Maurad, Z. A. (2020). Oxidative stability of refined red palm olein under two Malaysian storage conditions. *Journal of Oleo Science*, 69(10), 1209–1218. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20045>
- Purnama, K. O., Setyaningsih, D., Hambali, E., & Taniwiryo, D. (2020). Processing, Characteristics, and Potential Application of Red Palm Oil - A review. *International Journal of Oil Palm*, 3 (2), 40 – 55 . <https://doi.org/10.35876/ijop.v3i2.47>
- Ramli, M. R., Siew, W. L., & Cheah, K. Y. (2009). Production of high oleic palm oils on a pilot scale. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(6), 587–594. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1394-3>
- Rehman, K., Haider, K., Jabeen, K., & Akash, M. S. H. (2020). Current perspectives of oleic acid: Regulation of molecular pathways in mitochondrial and endothelial functioning against insulin resistance and diabetes. *Reviews in Endocrine & Metabolic Disorders*, 21(4), 631–643. <https://doi.org/10.1007/S11154-020-09549-6>
- Stewart, D. I., Chong, P. S., & Stapley, A. G. F. (2017). Investigation of the Crystallization and Melting of the Tripalmitin/Triolein System via Hot Stage Microscopy, Differential Scanning Calorimetry, and Pulsed NMR. *Crystal Growth and Design*, 17(6), 3005–3016. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.6b01621>
- Temkov, M., & Mureşan, V. (2021). Tailoring the Structure of Lipids, Oleogels and Fat Replacers by Different Approaches for Solving the Trans-Fat Issue—A Review. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 1376 , 10 (6) , 1376 . <https://doi.org/10.3390/FOODS10061376>
- Verstringe, S., Danthine, S., Blecker, C., Depypere, F.,

- & Dewettinck, K. (2013). Influence of monopalmitin on the isothermal crystallization mechanism of palm oil. *Food Research International*, 51(1), 344–353. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.034>
- Ye, Y., & Martini, S. (2015). Application of high-intensity ultrasound to palm oil in a continuous system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(1), 319–327. <https://doi.org/10.1021/jf505041s>
- Yılmaz, B., & AĞAGÜNDÜZ, D. (2020). Fractionated palm oils: emerging roles in the food industry and possible cardiovascular effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1869694>
- Yu, E., Malik, V. S., & Hu, F. B. (2018). Cardiovascular Disease Prevention by Diet Modification: JACC Health Promotion Series. *Journal of the American College of Cardiology*, 72(8), 914–926. <https://doi.org/10.1016/J.JACC.2018.02.085>