

Kinetika Perubahan Mutu Minyak Buah Merah (*Pandanus conoideus*) Selama Penyimpanan

Kinetics of Quality Deterioration of Red Fruit (*Pandanus conoideus*) Oil during Storage

Zita Letviany Sarungallo, Budi Santoso*, Eduard Fransisco Tethool, Risma Uli Situngkir, Jandri Tupamahu

Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua,
Jl. Gunung Salju Amban Manokwari 98314, Papua Barat, Indonesia
Email: budsandida@yahoo.com

Submisi: 22 Mei 2017; Penerimaan: 30 November 2017

ABSTRAK

Minyak buah merah (*Pandanus conoideus*) mengandung asam lemak tidak jenuh tinggi sehingga mudah teroksidasi dan mempengaruhi mutunya selama penyimpanan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan stabilitas oksidasi minyak buah merah dan mendapatkan model kinetika kerusakan oksidatif mutu minyak buah merah selama penyimpanan pada suhu kritis. Minyak buah merah yang akan diuji stabilitas mutunya dikemas dalam botol gelap pada suhu 60 °C, 75 °C, dan 90 °C, kemudian dilakukan pengamatan terhadap kadar air, kadar asam lemak bebas (ALB), bilangan peroksida dan total karotenoid selama ±15 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mutu minyak buah merah menurun dengan meningkatnya suhu dan lama penyimpanan. Peningkatan kadar ALB dan bilangan peroksida minyak buah merah mengikuti orde nol, dengan nilai E_a berturut-turut 37.709 J/mol °K dan 29.437 J/mol °K; sedangkan penurunan kadar karotenoid mengikuti orde 1 dengan nilai E_a 78.113 J/mol °K. Bilangan peroksida minyak buah merah paling sensitif terhadap kerusakan oksidatif selama penyimpanan karena memiliki nilai E_a terendah. Pendugaan umur simpan minyak buah merah berdasarkan kenaikan nilai ALB dan peroksida mengikuti persamaan $A=A_0-(t.\text{eksp}^{[5,6-4.536(\frac{1}{T})]})$ dan $A=A_0-(t.\text{eksp}^{[4,7-3.541(\frac{1}{T})]})$. Sementara umur simpan berdasarkan penurunan kadar karotenoid mengikuti persamaan $\ln A=\ln A_0-(t^{[20,8-9.395(\frac{1}{T})]})$ dimana A = kadar akhir; A_0 = kadar awal; t = lama penyimpanan (jam); dan T = suhu penyimpanan (°K).

Kata kunci: Kinetika; mutu minyak; buah merah (*Pandanus conoideus*); penyimpanan

ABSTRACT

Red fruit (*Pandanus conoideus*) oil contains high unsaturated fatty acids that are readily oxidized during storage, consequently, this affects its quality. Kinetic model can be used to describe the rate of change in quality attributes as a function of time at a certain temperature. This study was aimed to gain kinetic model of quality deterioration of the red fruit oil during storage. Red fruit oil was packaged in dark bottles at a temperature of 60 °C, 75 °C and 90 °C to test their quality stabilities. The water content, free fatty acid (FFA), peroxide value and total carotenoids were observed for ±15 days. The results showed that the quality of the red fruit oil decreases along with the increase of temperature and storage time. The increased levels of free fatty acids and peroxide value of red fruit oil follows the zero order, with E_a value of 43318 J/mol °K and 29437 J/mol °K, respectively. Red fruit oil peroxide value with the lowest E_a showed the most sensitive to oxidative damage during storage. Shelf life estimation of red fruit oil based on the increasing of FFA and peroxide value are following equation of $A=A_0-(t.\text{exp}^{[5,6-4.536(\frac{1}{T})]})$ and $A=A_0-(t.\text{exp}^{[4,7-3.541(\frac{1}{T})]})$, respectively. Whereas decrease of carotenoids content follows first order with E_a value was 78,113 J/mol °K. The shelf life estimation for carotenoids content using equation $\ln A=\ln A_0-(t^{[20,8-9.395(\frac{1}{T})]})$; where A : content of the end; A_0 : initial levels; t : storage time (hours); and T : storage temperature (°K).

Keywords: Kinetics; oil quality; red fruit (*Pandanus conoideus*); storage

PENDAHULUAN

Minyak buah merah (*Pandanus conoideus*) sangat berpotensi sebagai pangan fungsional karena mengandung berbagai komponen aktif yang meliputi α -karoten, β -karoten, β -kriptosantin, dan α -tokoferol, serta asam lemak tidak jenuh, terutama asam oleat, linoleat, linolenat, dan palmitoleat (Rohman dkk., 2012; Sarungallo dkk., 2015a; Sarungallo dkk., 2015b). Ditambahkan pula bahwa minyak buah merah mengandung asam lemak tidak jenuh lebih dari 40% (Rohman dkk., 2012; Sarungallo dkk., 2015b), sehingga sangat mudah bereaksi dengan oksigen. Dengan demikian selama proses penyimpanan, mutu minyak buah merah akan mengalami perubahan seiring dengan waktu, yang dapat dipercepat dan sangat dipengaruhi oleh komponen internal (seperti kadar air, asam lemak, enzim lipase, dan pigmen) dan lingkungan eksternalnya (seperti suhu, oksigen, dan cahaya). Ditambahkan pula bahwa degradasi mutu minyak buah merah terutama disebabkan oksidasi dan hidrolisis lemak (Sarungallo dkk., 2014; Tarmizi, 2016).

Oksidasi lemak akan menghasilkan produk-produk oksidasi yang menyebabkan peningkatan perkembangan *off flavor* (ketengikan) dan hilangnya vitamin larut lemak dan komponen bioaktif lainnya. Disamping itu produk oksidasi lemak sangat berpotensi sebagai komponen toksik (Shahidi & Zhong, 2005). Sedangkan pada reaksi hidrolisis minyak, ikatan ester pada lemak menjadi gliserol dan asam lemak bebas (ALB) yang dapat terjadi oleh aktivitas enzim (lipase) yang juga dipicu oleh panas dan tersedianya air (Ngando dkk., 2006; Tarmizi, 2016). Ditambahkan pula bahwa serangan hidrolitik dapat menyebabkan masalah selama penyimpanan dan transportasi minyak, karena pada kondisi yang buruk mikroorganisme dan enzim menjadi aktif dan asam-asam lemak sangat mudah terurai menjadi rantai pendek, serta menghasilkan *off flavor* dan menurunkan mutu minyak (Ngando dkk., 2006; Zeb, 2011).

Perubahan mutu minyak tersebut dapat menyebabkan kerusakan dan mengurangi masa simpannya. Perubahan tersebut dapat dikendalikan berdasarkan mekanisme dan laju reaksi kimianya menggunakan model kinetika reaksinya. Penggunaan model Arrhenius dapat digunakan untuk menjelaskan laju perubahan mutu sebagai fungsi waktu pada suhu tertentu (Sathivel dkk., 2008). Dalam hal ini metode kinetika dapat digunakan untuk menentukan perubahan kualitas minyak akibat reaksi hidrolisis dan oksidasi selama penyimpanan yang dipengaruhi oleh suhu dan waktu penyimpanan. Sathivel dkk., (2008) melaporkan bahwa persamaan Arrhenius dapat digunakan untuk mengevaluasi laju oksidasi lipid dari minyak ikan (*unrefined pollock oil*) yang sangat dipengaruhi oleh suhu antara 40 dan 90 °C. Lebih lanjut

(Ayustaningwarno, 2010) melaporkan bahwa kinetika reaksi oksidasi pada *neutralized deodorized red palm oil* (NDRPO) dipengaruhi oleh suhu, dengan parameter yang berpengaruh yaitu β -karoten, ALB, serta komposisi asam lemaknya, dimana reaksi peningkatan ALB-nya mengikuti ordo 0, sedangkan degradasi β -karoten dan asam lemaknya mengikuti ordo 1.

Perilaku kinetika oksidasi minyak buah merah selama penyimpanan sangat diperlukan agar kestabilan mutunya dapat dikendalikan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan stabilitas oksidasi minyak buah merah dan mendapatkan model kinetika kerusakan oksidatif mutu minyak buah merah selama penyimpanan pada suhu kritis.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak buah merah produksi Usaha Kecil Menengah (UKM) HESTA, yang berproduksi di Kota Manokwari (Propinsi Papua Barat) dan diekstrak dengan cara basah (*wet rendering*). Bahan kimia yang digunakan adalah berbagai bahan kimia dengan *analytical grade* untuk analisa kadar asam lemak bebas (ALB), bilangan peroksida, dan total karotenoid.

Alat

Peralatan yang digunakan untuk analisis minyak buah merah antara lain timbangan analitik, oven, *hot plate*, *water bath*, alat titrasi, spektrofotometer (Shimadzu UV-2450, Kyoto, Jepang), serta peralatan gelas lainnya.

Perubahan mutu minyak buah merah selama penyimpanan

Minyak buah merah yang akan diamati perubahan mutunya dikemas dalam botol berwarna gelap dan disimpan selama \pm 15 hari pada suhu 60, 75, dan 90 °C. Periode pengamatan dilakukan pada setiap suhu penyimpanan seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perlakuan suhu dan lama penyimpanan minyak buah merah

Suhu (°C)	Lama penyimpanan (jam)						
60	0	12	36	72	132	216	336
75	0	10	34	72	120	192	240
90	0	6	24	48	84	144	192

Analisa mutu minyak dilakukan terhadap kadar air, ALB, bilangan peroksida, total karotenoid dan total tokoferol. Pelaksanaan tahapan penelitian menggunakan RAL dengan 2 ulangan.

Analisis mutu kimia minyak

Analisis mutu kimia minyak buah merah terhadap kadar air (AOCS, 2009), kadar ALB ditentukan berdasarkan metode titrasi (AOCS, 2009) dan bilangan peroksida menggunakan metode asam asetat-chloroform (AOCS, 2009); sedangkan pengukuran total karotenoid menggunakan metode (Knockaert dkk., 2012) dengan sedikit modifikasi. Sebanyak 0,01 g minyak buah merah ditambahkan 0,1% *butylated hydroxytoluene* (BHT) dan heksan dalam labu ukur 10 mL sampai tanda tera dan divortek. Selanjutnya absorbansi diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 470 nm dengan menggunakan heksan yang ditambahkan 0,1% BHT sebagai blanko. Total karotenoid dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Konsentrasi karotenoid} \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{A \times \text{volume} (\text{ml} \times 10^4)}{E_{1\text{cm}}^1 \% \times \text{berat sampel} (\text{g})} \quad (1)$$

A adalah absorbansi pada λ 470 nm, volume adalah total volume larutan sampel, $E_{1\text{cm}}^1$ adalah *extinction coefficient* yaitu 2560 untuk β -karoten dalam heksan.

Analisis Data

Analisis data perubahan mutu minyak buah merah selama penyimpanan untuk menghasilkan model kinetika dilakukan menggunakan persamaan Arrhenius dengan *software* Microsoft Excell 2007. Perubahan mutu minyak buah merah selama penyimpanan pada suhu konstan tertentu dapat dijelaskan dengan Persamaan 2 dan Persamaan 3 yang merupakan persamaan untuk reaksi ordo 0 dan ordo 1, berturut-turut; dimana A = konsentrasi (ppm), k = konstanta laju reaksi (1/hari), t = waktu reaksi (hari) (Toledo, 2007). Dari Persamaan 2 diperoleh nilai konstanta laju reaksi (k) sebagai fungsi suhu (T). Representasi reaksi perubahan fisikokimia minyak dipilih berdasarkan koefisien determinasi (R^2) yang tertinggi dari persamaan regresinya.

$$A = A_0 + kt \quad (2)$$

$$\ln A = \ln A_0 + kt \quad (3)$$

Pengaruh suhu terhadap kecepatan reaksi perubahan mutu minyak selama penyimpanan menggunakan persamaan Arrhenius (Persamaan 4), dimana k = konstanta laju reaksi, A = faktor pre-eksponensial (mol/L det), E_a = energi aktivasi (kJ/mol), R = konstanta gas ideal (8,315 kJ/mol K), dan T = suhu ($^{\circ}\text{K}$) (Toledo, 2007).

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (4)$$

Energi aktivasi (E_a) dan faktor pre-eksponensial atau faktor frekuensi (A), masing-masing ditentukan dari slope dan intersep, dari garis yang dihasilkan oleh regresi linier antara $\ln k$ dan $1/T$.

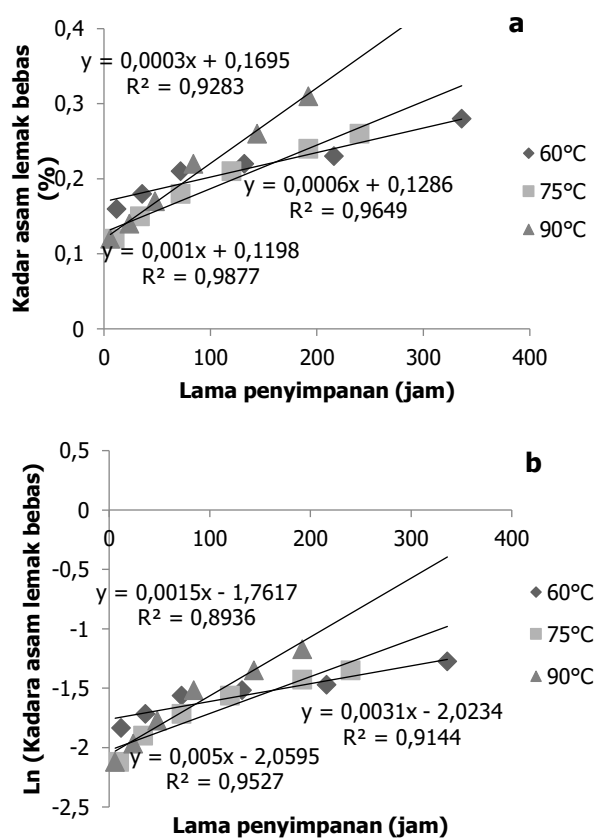
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Mutu Minyak Buah Merah Selama Penyimpanan

Asam lemak bebas (ALB)

Kandungan ALB sangat menentukan tingkat kualitas minyak nabati karena sangat mudah teroksidasi menyebabkan ketengikan selama penyimpanan. Minyak buah merah yang digunakan dalam kajian ini memiliki kadar ALB awal yaitu 0,1%, yang masih di bawah standar kadar ALB untuk minyak goreng sawit sebesar 0,3% (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

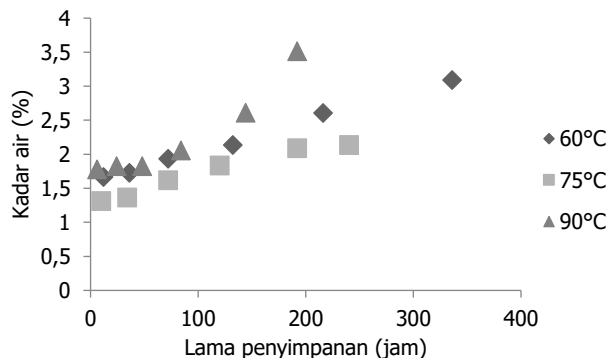
Selama penyimpanan pada suhu tinggi (60, 75, dan 95 $^{\circ}\text{C}$), ALB dalam minyak buah merah cenderung meningkat seperti disajikan pada Gambar 1a. (Tarmizi & Lin, 2008) juga melaporkan bahwa kadar ALB minyak sawit meningkat secara moderate selama proses pemanasan yang dilakukan selama 10 hari. Dijelaskan pula bahwa pembentukan ALB merupakan hasil reaksi hidrolisis dari triasilgliserol dan dekomposisi hidroperoksida dalam minyak selama proses penggorengan minyak menggunakan suhu tinggi dengan adanya air dan udara (Tarmizi, 2016).



Gambar 1. Orde reaksi perubahan kadar asam lemak bebas minyak buah merah; (a) reaksi ordo 0; (b) reaksi ordo 1

Peningkatan kadar ALB minyak buah merah ini juga dapat dipicu akibat terjadinya peningkatan kadar air minyak buah merah selama penyimpanan dan semakin

meningkat dengan meningkatnya suhu penyimpanan (Gambar 2). Pada suhu penyimpanan 90 °C, kadar air mengalami peningkatan dari 0,85% (kadar air awal) menjadi 4,34% (setelah penyimpanan 192 jam). Hal ini diduga karena selama penyimpanan minyak mengalami reaksi oksidasi yaitu pada tahap propagasi, dimana terjadi reaksi bimolekuler dari senyawa hidroperoksida yang akan melepaskan air sehingga meningkatkan kadar air minyak (Shahidi & Zhong, 2005). Fenomena ini juga dilaporkan Budilarto & Kamal (2015) bahwa kadar air minyak bunga matahari dan minyak canola meningkat selama penyimpanan.



Gambar 2. Kadar air minyak buah merah pada suhu 60, 75, dan 90 °C selama penyimpanan.

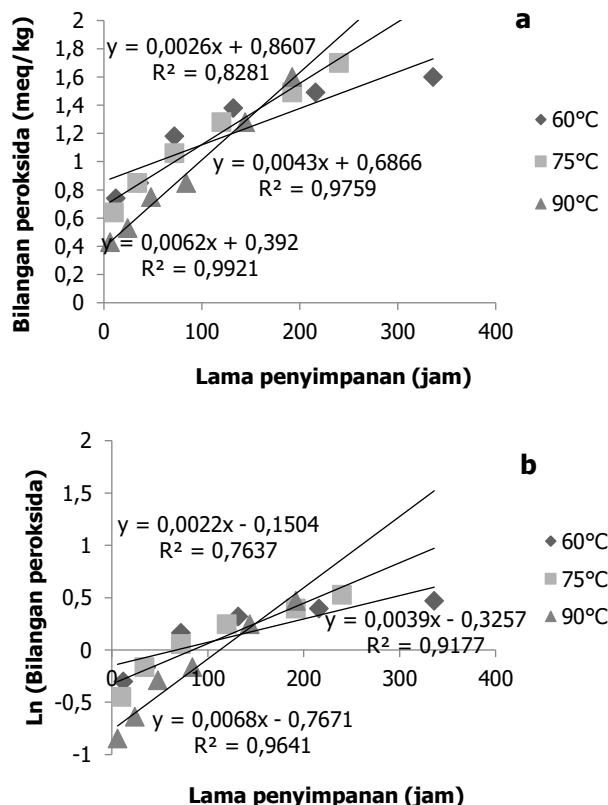
Lebih lanjut dijelaskan bahwa hidrolisis ikatan ester pada lemak menjadi gliserol dan asam lemak bebas dapat dikatalisis oleh keberadaan enzim lipolitik, air bahan, serta adanya panas, asam dan basa (Tarmizi, 2016). Ayustaningwarno (2010) juga melaporkan bahwa keberadaan ALB sangat mempengaruhi oksidasi pada minyak sawit merah yang dinetralisasi (NDRPO), yang terjadi pada awal oksidasi dan prosesnya dipengaruhi oleh keberadaan air dan suhu tinggi. Ditambahkan pula bahwa serangan hidrolitik dapat menyebabkan masalah selama penyimpanan dan transportasi minyak, karena pada kondisi yang buruk mikroorganisme dan enzim menjadi aktif dan asam-asam lemak sangat mudah terurai menjadi rantai pendek yang menghasilkan flavor dan bau tengik, dan menurunkan mutu minyak (Tarmizi, 2016).

Bilangan peroksida

Oksidasi lemak, yang diindikasikan dengan bilangan peroksida, pada minyak buah merah meningkat dengan meningkatnya suhu dan lama waktu penyimpanan (Gambar 3a). Bilangan peroksida sebelum penyimpanan minyak buah merah adalah 0,53 meq/kg, lebih rendah dari SNI bilangan peroksida untuk minyak goreng sawit yaitu 10 meq/kg (Badan Standardisasi Nasional, 2012).

Selanjutnya kadar bilangan peroksida meningkat dengan meningkatnya suhu dan lama waktu penyimpanan mengindikasikan bahwa terjadinya reaksi oksidasi minyak buah merah, yang komposisi asam lemaknya didominasi oleh asam lemak tidak jenuh (Rohman dkk., 2012; Sarungallo dkk., 2015b). Menurut Tarmizi (2016), asam lemak tidak jenuh lebih mudah

mengalami oksidasi dibandingkan asam lemak jenuh; dimana jumlah, posisi dan geometri ikatan rangkap asam lemak mempengaruhi laju oksidasi. Ghazali dkk., (2006) melaporkan bahwa pada perlakuan pemanasan (135 °C) minyak sawit dan kondisi gelap pada 100 jam pertama terjadi pembentukan hidroperoksida dari asam lemak tidak jenuh sebagai hasil oksidasi lemak, sehingga bilangan peroksida meningkat, kemudian menurun karena terdekomposisi menghasilkan produk sekunder dan seterusnya kadarnya berfluktuasi. Menurut Tarmizi (2016), asam lemak tidak jenuh lebih mudah mengalami oksidasi dibandingkan asam lemak jenuh; dimana jumlah, posisi dan geometri ikatan rangkap asam lemak mempengaruhi laju oksidasi. Ghazali dkk., (2006) melaporkan bahwa pada perlakuan pemanasan (135 °C) minyak sawit dan kondisi gelap pada 100 jam pertama terjadi pembentukan hidroperoksida dari asam lemak tidak jenuh sebagai hasil oksidasi lemak, sehingga bilangan peroksida meningkat, kemudian menurun karena terdekomposisi menghasilkan produk sekunder dan seterusnya kadarnya berfluktuasi.



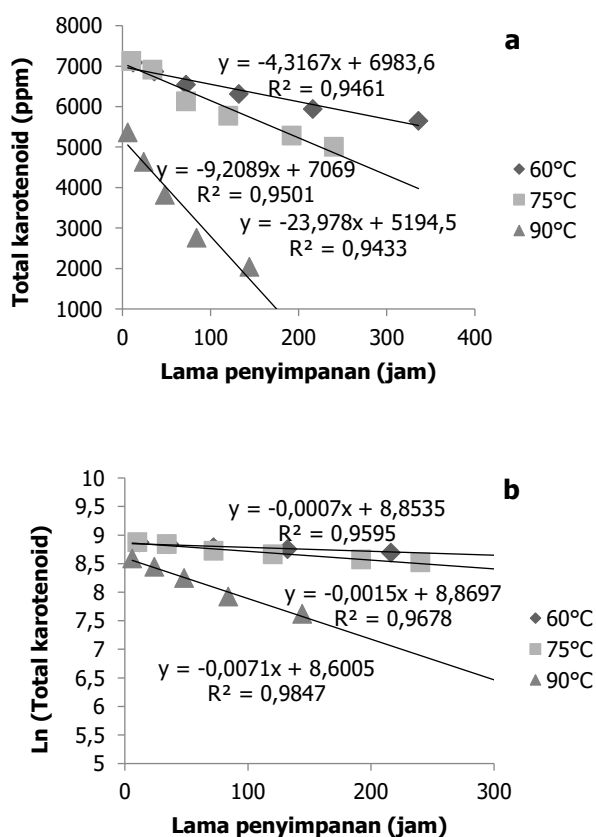
Gambar 3. Orde reaksi perubahan bilangan peroksida minyak buah merah; (a) reaksi ordo 0; (b) reaksi ordo 1

Total karotenoid

Minyak buah merah dikenal karena kandungan karotenoidnya yang sangat tinggi (Surono dkk., 2008; Sarungallo dkk., 2015a). Kandungan total karotenoid minyak buah merah diawal penyimpanan adalah 7.857 ppm. Hasil pengujian perubahan kadar karotenoid

minyak buah merah selama penyimpanan pada suhu 60, 75, dan 95 °C disajikan pada Gambar 4, yang cenderung mengalami penurunan.

Penurunan kadar karotenoid minyak buah merah sangat dipengaruhi oleh sifatnya yang sangat sensitif terhadap oksigen, cahaya, suhu dan keasaman karena memiliki struktur dengan sistem ikatan rangkap terkonyugasi sehingga mengandung banyak elektron reaktif dan mudah teroksidasi. Knockaert dkk., (2012) membuktikan bahwa sistem ikatan rangkap konyugasi membuat karotenoid sangat mudah terisomerisasi dan teroksidasi oleh panas, tekanan tinggi dan proses mekanik seperti pengadukan atau homogenisasi selama pengolahan pangan. Ditambahkan pula bahwa ikatan rangkap pada rantai hidrokarbon sebagian besar karotenoid seluruhnya berada dalam bentuk *trans*, yang dapat berubah menjadi *cis* antara lain karena panas ataupun sinar sehingga menurunkan aktivitas provitamin A dan merubah aktivitas antioksidannya (Knockaert dkk., 2012).



Gambar 4. Orde reaksi perubahan total karotenoid minyak buah merah selama penyimpanan; (a) reaksi ordo 0; (b) reaksi ordo 1

Adanya β-karoten dilaporkan dapat memberikan perlindungan terhadap oksidasi thermal. Zeb & Murkovic (2013) menyatakan bahwa sebagian β-karoten dalam minyak jagung terdegradasi selama 3 jam pada oksidasi termal (110 °C) dalam *rancimat*, dan setelah 12 jam pemanasan maka semua β-karoten terdegradasi atau

hilang; disamping itu β-karoten minyak jagung tersebut mulai terdegradasi sebelum oksidasi triasilgliserida tampak.

Kinetika Perubahan Mutu Minyak Buah Merah Selama Penyimpanan

Bagian penting dalam kinetika adalah penentuan ordo reaksi yang merupakan jumlah eksponen dari konsentrasi reaktan dalam persamaan laju reaksi untuk mengetahui pola kinetika kemunduran mutu minyak tersebut linier atau logaritmik (Toledo, 2007). Penentuan ordo reaksi perubahan kadar ALB, bilangan peroksida dan total karotenoid minyak buah merah didasarkan pada nilai R² dari persamaan regresinya (Gambar 1, Gambar 3, dan Gambar 4). Semakin tinggi nilai R² menunjukkan bahwa model matematika tersebut akan lebih akurat untuk memprediksi nilai mutu yang sebenarnya.

Ordo reaksi peningkatan kadar ALB dan bilangan peroksida minyak adalah Ordo 0 (Gambar 1 dan Gambar 3). Ayustaningwarno (2010) melaporkan bahwa ordo reaksi perubahan kadar ALB minyak sawit merah yang dinetralisasi (NDRPO) selama penyimpanan adalah ordo 0, yang menunjukkan bahwa laju reaksi tidak terganggu pada konsentrasi, dan kecepatan perubahan mutu terjadi secara konstan (Toledo, 2007). Sementara model reaksi penurunan kadar karotenoid minyak buah merah adalah Ordo 1 (Gambar 4b), yang mengindikasikan bahwa perubahan kadar karotenoid terhadap waktu terjadi secara eksponensial.

Hasil ini serupa laporan Ayustaningwarno (2010) tentang kajian model kinetika degradasi karoten pada NDRPO selama penyimpanan. Dijelaskan pula bahwa Ordo 1 banyak digunakan untuk menggambarkan degradasi β-karoten (yang dapat digunakan pada reaksi auto-katalitik pada tingkat propagasi) dibanding model lengkap auto-katalitik. Hal ini disebabkan oleh kualitas pangan pada umumnya sudah ada pada tingkat yang tidak dapat diterima lagi apabila level terminasi tercapai (Ayustaningwarno, 2010).

Data kinetika perubahan mutu minyak buah merah dinyatakan dengan nilai konstanta penurunan mutu (nilai *k*) pada masing-masing suhu penyimpanan di setiap parameter disajikan pada Tabel 2. Data pada Tabel 2 tersebut menunjukkan bahwa nilai *k* terbesar diperlihatkan oleh bilangan peroksida (0,0026–0,0062), sedangkan yang terendah pada kadar total karotenoid (0,0007–0,005). Dengan demikian, kecepatan reaksi oksidasi pada ekstrak minyak buah merah (*unrefined*) ini lebih tinggi dibandingkan reaksi hidrolisis maupun degradasi karotenoid selama penyimpanan pada suhu tinggi. Sathivel dkk. (2008) juga melaporkan bahwa baik suhu maupun lama waktu penyimpanan mempengaruhi kecepatan reaksi oksidasi lemak dari *unrefined pollock oil* (minyak ikan) menjadi lebih tinggi.

Tabel 2. Hasil regresi nilai k dan $\ln k$ dari reaksi perubahan kadar asam lemak bebas (ALB), bilangan peroksida dan total karotenoid minyak buah merah pada suhu 60, 75, dan 90 °C selama penyimpanan

Perubahan kadar asam lemak bebas (ALB)					
Suhu, T (°C)	Suhu, T (K)	$1/T$	nilai k	$\ln k$	Regresi $\ln k$ dan $1/T$
					Persamaan linier ^a
60	333,15	0,003002	0,0003	-8,026	$y = -4535,6x + 5,6$ 37.709 J/mol K
75	348,15	0,002872	0,0006	-7,459	
90	363,15	0,002754	0,0010	-6,901	
Perubahan bilangan peroksida					
Suhu, T (°C)	Suhu, T (K)	$1/T$	nilai k	$\ln k$	Regresi $\ln k$ dan $1/T$
					Persamaan linier ^c
60	333,15	0,003002	0,0026	-5,959	$y = -3540,6x + 4,7$ 29.437 J/mol K
75	348,15	0,002872	0,0043	-5,439	
90	363,15	0,002754	0,0062	-5,083	
Perubahan karotenoid					
Suhu, T (°C)	Suhu, T (K)	$1/T$	nilai k	$\ln k$	Regresi $\ln k$ dan $1/T$
					Persamaan linier ^e
60	333,15	0,003002	0,0007	-7,287	$y = -9395,3x + 20,8$ 78.113 J/mol K
75	348,15	0,002872	0,0015	-6,477	
90	363,15	0,002754	0,0071	-4,945	

^a Intersep merupakan nilai A yaitu 5,6 maka perubahan ALB, nilai $A_0 = \text{eksp } 5,6$

^b Kemiringan grafik (*slope*) merupakan nilai $-Ea/R$ yaitu 4535,6, jika R : konstanta gas (8,314 J/mol K), maka untuk perubahan ALB, nilai $Ea = 4535,6 \times 8,314 \text{ J/mol K} = 37.709 \text{ J/mol K}$

^c Perubahan bilangan peroksida, nilai $A_0 = \text{eksp } 4,7$

^d Perubahan bilangan peroksida, nilai $-Ea/R$ yaitu 3540,6, maka nilai $Ea = 29.437 \text{ J/mol K}$

^e Perubahan karotenoid, nilai $A_0 = \text{eksp } 20,8$

^f Perubahan karotenoid, nilai $-Ea/R$ yaitu 9.395, maka Nilai $Ea = 78.113 \text{ J/mol K}$

Nilai Ea menunjukkan energi yang diperlukan untuk perubahan atribut mutu, sehingga semakin besar nilai Ea maka energi yang dibutuhkan untuk bereaksi makin besar atau perubahan mutu terjadi lebih lambat, dan sebaliknya. Dari data pada Tabel 2 terlihat bahwa nilai Ea dari bilangan peroksida adalah paling rendah dari ketiga parameter mutu minyak buah merah yang diuji. Rendahnya nilai Ea tersebut mengindikasikan bahwa minyak buah merah sangat mudah teroksidasi dari pada terhidrolisis. Sedangkan karotenoid minyak buah merah sebagai komponen antioksidan relatif membutuhkan waktu yang lebih lama untuk terdegradasi.

Nilai Ea untuk oksidasi minyak buah merah adalah 29,4 kJ/mol (Tabel 2), yang sesuai dengan laporan nilai Ea sebelumnya untuk minyak ikan (Sathivel dkk., 2008) dan minyak nabati (Tan dkk., 2001) yang berkisar 24–240 kJ/mol. Lebih lanjut (Tan dkk., 2001) menjelaskan bahwa nilai Ea minyak nabati tidak jenuh lebih tinggi dari minyak yang rendah asam lemak tidak jenuhnya, sehingga pada nilai Ea yang lebih tinggi dibutuhkan perubahan suhu yang lebih kecil untuk menginduksi laju oksidasi. Sementara itu, (Ayustaningwarno, 2010) melaporkan bahwa oksidasi NDRPO pada suhu 60–90 °C menyebabkan degradasi asam lemak berdasarkan reaksi ordo 1, dimana C_{18} pada tingkat ketidakjenuhan tinggi memiliki nilai Ea yang lebih rendah.

Berdasarkan data pada Tabel 2, dengan menggunakan persamaan 3, maka dihasilkan persamaan pendugaan umur simpan berdasarkan parameter mutunya yaitu peningkatan kadar ALB minyak buah merah: $A=A_0-(t.\text{eksp}^{[5,6-4.536 (\frac{1}{T})]})$; peningkatan bilangan

peroksida: $A=A_0-(t.\text{eksp}^{[4,7-3.541 (\frac{1}{T})]})$; sedangkan untuk penurunan kadar karotenoid: $\ln A=\ln A_0-(t^{[20,8-9.395 (\frac{1}{T})]})$, dimana A : kadar akhir; A_0 : kadar awal; t : lama penyimpanan (jam); dan T : suhu penyimpanan (°K).

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mutu minyak buah merah menurun dengan meningkatnya suhu dan lama penyimpanan, yang diindikasikan dengan meningkatnya kadar asam ALB dan peroksida, serta menurunnya kadar karoten minyak buah merah. Peningkatan kadar ALB dan bilangan peroksida minyak buah merah mengikuti ordo nol, dengan nilai Ea berturut-turut 37.709 J/mol °K dan 29.437 J/mol °K; sedangkan penurunan kadar karotenoid mengikuti ordo 1 dengan nilai Ea 78.113 J/mol °K. Bilangan peroksida minyak buah merah paling sensitif terhadap kerusakan oksidatif selama penyimpanan karena memiliki nilai k terbesar dan nilai Ea terendah. Pendugaan umur simpan minyak buah merah berdasarkan kenaikan nilai ALB dan peroksida mengikuti persamaan $A=A_0-(t.\text{eksp}^{[5,6-4.536 (\frac{1}{T})]})$ dan $A=A_0-(t.\text{eksp}^{[4,7-3.541 (\frac{1}{T})]})$. Sementara penurunan kadar karotenoid persamaan umur simpannya: $\ln A = \ln A_0-t^{[20,8-9.395 (\frac{1}{T})]})$; dimana A : kadar akhir; A_0 : kadar awal; t : lama penyimpanan (jam); dan T : suhu penyimpanan (°K).

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas dana yang diberikan melalui Hibah Penelitian Strategi Nasional Institusi, dengan Kontrak Nomor: 059/SP2H/DRPM/II/2016.

DAFTAR PUSTAKA

- AOCS. (2009). *Official Methods and Recommended Practices of American Oil Chemists' Society (AOCS)*. 6th ed. Champaign, USA.
- Ayustaningwarno, F. (2010). Kinetika Parameter Stabilitas Oksidasi Minyak Sawit Merah. Tesis-Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2–44.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). Minyak goreng sawit, SNI 7709:2012.
- Budilarto, E.S., & Kamal, E.A. (2015). Water content and micelle size change during oxidation of sun flower and canola oil. *European Journal Lipid Science and Technology*, 117, 1971–1977.
- Ghazali, Z., Nik, W. B. W., Bulat, K. H. K., Ani, F. N., & Xian, L. F. (2006). The Effect of Light on the Oxidative Stability of Palm Olein. Proceedings of the 1st International Conference on Natural Resources Engineering and Technology, 24–25th July 2006, Putrajaya, Malaysia. 631–637.
- Knockaert, G., Lemmens, L., Van Buggenhout, S., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2012). Changes in β -carotene bioaccessibility and concentration during processing of carrot puree. *Food Chemistry*, 133(1): 60–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.12.066>.
- Ngando, E. G. F., Dhoub, R., Carrière, F., Amvam Zollo, P. H., & Arondel, V. (2006). Assaying lipase activity from oil palm fruit (*Elaeis guineensis* Jacq.) mesocarp. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44(10): 611–617. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2006.09.006>.
- Rohman, A., Sugeng, R., & Che Man, Y. B. (2012). Characterization of red fruit (*Pandanus conoideus* Lam) oil. *International Food Research Journal*, 19(2): 563–567.
- Sarungallo, Z. L., Purwiyatno, H., Andarwulan, N., & Purnomo, E. H. (2014). Pengaruh metode ekstraksi terhadap mutu kimia dan komposisi asam lemak minyak buah merah (*Pandanus conoideus*). *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 24(3): 209–217.
- Sarungallo, Z. L., Hariyadi, P., Andarwulan, N., & Purnomo, E. H. (2015b). Characterization of chemical properties, lipid profile, total phenol and tocopherol content of oils extracted from nine clones of red fruit (*Pandanus conoideus*). *Kasetsart Journal - Natural Science*, 49(2): 237–250.
- Sarungallo, Z. L., Hariyadi, P., Andarwulan, N., Purnomo, E. H., & Wada, M. (2015a). Analysis of α -Cryptoxanthin, β -Cryptoxanthin, α -Carotene, and β -Carotene of *Pandanus Conoideus* Oil by High-performance Liquid Chromatography (HPLC). *Procedia Food Science*, 3: 231–243. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2015.01.026>.
- Sathivel, S., Huang, J., & Prinyawiwatkul, W. (2008). Thermal properties and applications of the Arrhenius equation for evaluating viscosity and oxidation rates of unrefined pollock oil. *Journal of Food Engineering*, 84(2): 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.027>.
- Shahidi, F., & Zhong, Y. (2005). Lipid Oxidation: Measurement Methods. Dalam: Shahidi, F. (ed.). *Edible Oil and Fat Products: Chemistry, Properties, and Health Effects*. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 6th ed., Volume 1. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Surono, I.S., Ingrid, S., Nishigaki, T., Endaryanto, A., & Waspodo, P. (2008). Indonesian Biodiversities, from Microbes to Herbal Plants as Potential Functional Foods. *Journal of the Faculty of Agriculture*, 44(1): 23–27.
- Tan, C. P., Che Man, Y. B., Selamat, J., & Yusoff, M. S. A. (2001). Application of Arrhenius kinetics to evaluate oxidative stability in vegetable oils by isothermal differential scanning calorimetry. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78(11): 1133–1138. <https://doi.org/10.1007/s11746-001-0401-1>.
- Tarmizi, A. H. A., & Lin, S. W. (2008). Quality assessment of palm products upon prolonged heat treatment. *Journal of Oleo Science*, 57(12):639–648. <https://doi.org/10.5650/jos.57.639>.
- Tarmizi, A. H. A. (2016). Effect of frying on the palm oil quality attributes – Review Article. *Journal of Palm Oil Research* 28(2): 143–153. <https://doi.org/10.21894/jopr.2016.2802.01>.
- Toledo, R. T. (2007). *Fundamentals of Food Process Engineering*. Springer, New York.
- Zeb, A. (2011). Effects of β -carotene on the thermal oxidation of fatty acids. *African Journal of Biotechnology*, 10(68): 15346–15352. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1013>.
- Zeb, A., & Murkovic, M. (2013). Determination of thermal oxidation and oxidation products of β -carotene in corn oil triacylglycerols. *Food Research International* 50(2): 534–544.