

PERUBAHAN KOMPONEN MINOR, KARAKTERISTIK KIMIA, DAN KOMPOSISI ASAM LEMAK SELAMA PERMUNIAN MINYAK SAWIT MERAH

*(Changes of minor compounds, chemical characteristic, and fatty acids composition
during refining of red palm oil)*

Dewi Fortuna Ayu

Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12.5, 28293 Pekanbaru
E-mail : Fortuna_ayu2004@yahoo.com

ABSTRACT

Red palm oil (RPO) is a refined palm oil without bleaching process in order to maintain minor compounds, especially β -carotene. However, the refining process was not only able to maintain the β -carotene, but also other minor compounds, and influence chemical characteristics and fatty acids composition in RPO. The objective of this research was to study the changes of minor compounds, chemical characteristics, and fatty acids composition in RPO which is produced without bleaching process in Pilot Plant of Oil and Fat Laboratory, SEAFAST Center, Bogor, Indonesia. The refining process was conducted following previous research, including degumming, deacidification, deodorisation, and fractionation. The results showed that refining process was able to maintain the content of carotene, tocol and chlorophyll which were lower than crude palm oil (CPO). RPO contains total carotene 558.61 ± 8.65 mg/kg, chlorophyll 3.81 ± 0.11 mg/kg, and tocol compounds 698.76 ± 3.56 mg/kg which consist of α -tocopherol 190.82 ± 10.02 mg/kg, α -tocotrienol 115.09 ± 2.52 mg/kg, γ -tocotrienol 290.28 ± 5.32 mg/kg, and δ -tocotrienol 102.01 ± 2.82 mg/kg. The refining process also reduced the damage of hydrolytic and oxidation, and compositions of saturated fatty acids in RPO which were lower than CPO. RPO has free fatty acid $0.14 \pm 0.00\%$, peroxide 0.84 ± 0.06 mek O₂/kg, *p*-anisidine 8.74 ± 0.10 , Totox 10.35 ± 0.12 , and TBARS values 0.03 ± 0.00 mg/kg. Fatty acids composition of RPO were palmitic 35.82%, stearic 3.90%, oleic 40.33%, linoleic 11%, and linolenic acids 0.30% with saturated:unsaturated fatty acids ratio of 45:55. Minor compounds, chemical characteristics, and fatty acids composition have an important role in oxidative stability of RPO.

Keywords : chemical characteristics, minor compounds, composition of fatty acids, red palm oil

Pendahuluan

Minyak sawit merah (MSM) merupakan minyak hasil ekstraksi mesokarp buah kelapa sawit yang dimurnikan tanpa proses pemucatan untuk mempertahankan kandungan karotenoidnya. Kandungan karoten MSM berkisar 524–542 mg/kg (Yie *et al.* 2012; Dauqan *et al.* 2011), didominasi β -karoten yang secara *in vivo* dapat dikonversi menjadi dua molekul vitamin A (Fernández-García *et al.* 2011). Beberapa penelitian membuktikan bahwa konsumsi

minyak sawit merah dapat memperbaiki status vitamin A pada populasi yang beresiko kekurangan vitamin ini (Rice dan Burn 2010). Konsumsi MSM mampu meningkatkan kadar serum retinol pada anak usia 7–12 tahun (Zeba *et al.* 2006), pasangan ibu dan balita usia 1–3 tahun (Zagrè *et al.* 2003), wanita hamil dan menyusui (Lietz *et al.* 2001; 2006), serta bayi (Canfield *et al.* 2001). Beberapa penelitian lain membuktikan bahwa konsumsi karoten dapat mencegah gangguan penyakit jantung, kanker,

katarak (Man dan Tan 2003), meningkatkan fungsi kekebalan tubuh, dan menurunkan kejadian kanker (Chew dan Park 2004).

Mengingat efek fungsional β -karoten bagi kesehatan, beberapa teknologi proses produksi MSM skala *pilot plant* telah dikembangkan. Mayamol *et al.* (2007) telah mengembangkan neutralisasi CPO diikuti kristalisasi dengan kecepatan pendinginan dan tekanan vakum terkontrol. Mas'ud (2007), Widarta (2008), dan Widarta *et al.* (2012) telah mengoptimalkan deasidifikasi dengan larutan NaOH 11.1% dan *excess* 17.5%, serta Riyadi (2009) mengontrol proses deodorisasi sistem *batch* pada suhu 140 °C dan tekanan 20 mmHg selama 1 jam dengan laju alir gas N₂ 20 L/jam. Proses pemurnian ini tidak hanya mampu mempertahankan kandungan β -karoten, tetapi juga komponen minor lain seperti vitamin E dan klorofil. Kandungan vitamin E MSM sebesar 953-955 mg/kg dalam bentuk α -tokoferol (171-242 mg/kg), α -tokotrienol (266-294 mg/kg), γ -tokotrienol (367 mg/kg), dan δ -tokotrienol (80-126 mg/kg) (Yie *et al.* 2012; Dauqan *et al.* 2011). Vitamin E minyak sawit berpotensi sebagai antioksidan biologis, melindungi terhadap stress oksidatif, proses penyempitan pembuluh darah (Mukherjee dan Mitra 2009), dan melawan perkembangan penyakit aterosklerosis (Idris *et al.* 2014). Menurut Sambanthamurthi *et al.* (2000), kandungan klorofil CPO 0.897-4.000 mg/kg, minyak sawit murni hasil proses pemucatan masih mengandung klorofil 0.579-0.583 mg/kg, tertinggi diikuti minyak biji kapas, rami, safflower atau bunga matahari, jagung, dan kedelai (Usuki *et al.* 1984). Klorofil merupakan *sensitizer* pemicu foto-oksidasi, pada kisaran 0.070-1.200 mg/kg dalam minyak nabati dapat menginisiasi dan mempercepat reaksi foto-oksidasi (Belitz *et al.* 2009; Choe dan Min 2006).

Di samping berpengaruh terhadap keberadaan komponen minor, proses pemurnian MSM juga menyebabkan

perubahan karakteristik kimia dan komposisi asam lemak MSM yang ketiganya saling berkaitan. Keberadaan komponen minor (β -karoten, vitamin E, dan klorofil), karakteristik kimia, dan komposisi asam lemak dalam MSM berperan terhadap stabilitas oksidasi MSM. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan komponen minor, karakteristik kimia, dan komposisi asam lemak selama proses pemurnian MSM.

Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Minyak sawit mentah (*crude palm oil*, CPO) diperoleh dari PT. Salim Ivomas Pratama, Indonesia. Standar α -tokoferol dari Sigma Aldrich Chemical Co. (St Louis, MO, USA), sedangkan standar α -, γ -, dan δ -tokotrienol dari Santa Cruz Biotechnology Inc. (Dallas, TX, USA). Bahan kimia untuk analisis diperoleh dari J.T. Baker (Phillipsburg, NJ, Amerika Serikat).

Proses Pemurnian Minyak Sawit Merah

Proses pemurnian MSM dilakukan di SEAFAST Center IPB, meliputi *degumming*, deasidifikasi, deodorisasi, dan fraksinasi CPO. *Degumming* dan deasidifikasi MSM mengikuti metode Mas'ud (2007), Widarta (2008) dan Widarta *et al.* (2012). Sebanyak 60 kg CPO dimasukkan dalam reaktor, dipanaskan hingga 80 °C dan ditambahkan larutan asam fosfat 85% sebanyak 0.15% berat CPO sambil diaduk perlahan (56 rpm) selama 15 menit. Setelah *degumming*, proses deasidifikasi dilakukan menggunakan larutan NaOH (110 g NaOH dalam 1 L air destilasi). Kondisi suhu dan waktu deasidifikasi 61±2 °C dan 26 menit dengan konsentrasi NaOH dan *excess* 17.5%. Larutan NaOH ditambahkan secepatnya sambil diagitasi. Sabun yang terbentuk selanjutnya dipisahkan dengan sentrifugasi *spinner* kecepatan tinggi, dicuci dengan air panas (rasio berat air dan minyak adalah 7:1) dan disentrifugasi

kembali. Suhu air yang digunakan 5-8 °C lebih hangat daripada suhu minyak.

Proses selanjutnya adalah deodorisasi sistem *batch* menggunakan *deodorizer* skala 100 L berdasarkan hasil penelitian Riyadi (2009). *Neutralized degummed red palm oil* (NDRPO) dihomogenkan dalam tangki *deodorizer* selama 10 menit pada suhu 46 ± 2 °C dengan cara mensirkulasi bahan baku melalui pompa produk. Setelah homogen, RPO dipanaskan pada kondisi vakum (0.5-4 cmHg) sampai suhu deodorisasi 140 °C tercapai. Laju gas N₂ 20 L/jam dan tekanan 2 cmHg dijaga konstan selama 1 jam.

Selanjutnya fraksinasi kering menggunakan *fraksinator* dilakukan mengikuti prosedur Mursalin *et al.* (2013). Sebanyak 100 kg *deodorized neutralized degummed red palm oil* (DNDRPO) dipanaskan hingga 70 °C selama 10 menit, didinginkan perlahan hingga mencapai suhu 20 °C. *Red palm oil* (RPO) fraksi olein dipisahkan menggunakan filter press (PT. Fadhel Teknik Bogor, Indonesia).

Analisis Minyak Sawit Merah

Kandungan karoten MSM diukur menggunakan metode PORIM (PORIM 2005). Sebanyak 0,1 g MSM dilarutkan heksan dalam labu takar 25 mL sampai tanda tera, lalu dikocok hingga homogen. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 446 nm menggunakan heksan sebagai blanko. Perhitungan total karoten menggunakan persamaan berikut.

Kandungan komponen tokol MSM diukur menggunakan metode Wong *et al.* (1988), sedangkan komposisi tokol menggunakan HPLC (AOAC 2005). Sebanyak 0.04 gram minyak dilarutkan dalam 1 ml metanol, divorteks dan disaring menggunakan syringe filter nilon Sartorius (0.45 µm) dan diinjeksikan sebanyak 20 µL ke dalam HPLC. HPLC

dilengkapi dengan pompa Shimadzu LC-20 AD, detektor UV-Vis Shimadzu SPD-20A, dan kolom Develosil Combi RP-5 (50×4.6 mm, id 5 µm, Nomura Chemical, Tokyo). Fase gerak yang digunakan metanol:air (95% b/b) dengan laju alir 1.0 mL/menit. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 292 nm (AOAC 2005). Fraksi tokoferol dan tokotrienol diidentifikasi berdasarkan waktu retensi standar, sedangkan perhitungan dilakukan berdasarkan kurva standar α -tokoferol (2.5-200 ppm), α -tokotrienol (25-1000 ppm), γ - tokotrienol (4-1000 ppm), dan δ -tokotrienol (2-250 ppm).

Kandungan klorofil MSM diukur menggunakan metode AOCS Cc 13i-96 (AOCS 2003). MSM dimasukkan ke dalam kuvet, kemudian absorbansinya diukur pada panjang gelombang 670, 630 dan 710 nm menggunakan metilen klorida sebagai blanko. Perhitungan total klorofil menggunakan persamaan berikut.

dimana $A = \text{absorbansi pada masing-masing panjang gelombang}$ dan $L = \text{ketebalan sel (mm)}$.

Karakteristik kimia MSM yang meliputi kadar asam lemak bebas, bilangan peroksida, bilangan *p*-anisidin, dan bilangan TBARS dianalisis mengikuti metode AOCS Ca 5a-40, Cd 8-53, Cd 18-90, dan Cd 18-90 (AOCS 2003). Bilangan Totox dihitung menggunakan persamaan $Totox=2PV+AV$. Kadar Fe dan Cu dianalisis dengan metode AOCS Ca 18-79 (AOCS 2003).

Analisis komposisi asam lemak mengikuti metode AOCS Ce 1-62 (AOCS 2003) dengan mentrans-esterifikasi trigliserida (TAG) menjadi *fatty acid methyl ester* (FAME) terlebih dahulu. Sebanyak 25 mg MSM ditambahkan 1 mg larutan standar asam margarat dalam 10 mL heksan dan 2 mL NaOH dalam metanol 0.5 N, selanjutnya gas N₂

dihembuskan, dan sampel dipanaskan selama 15 menit pada suhu 80 °C. Setelah dingin 22 mL BF₃-metanol 14% ditambahkan, gas N₂ dihembuskan dan sampel dipanaskan kembali selama 15 menit pada suhu 50 °C. Selanjutnya sampel ditambahkan 1 mL heksan, dihembuskan gas N₂ dan divorteks. Setelah dingin sampel ditambahkan 3 mL NaCl jenuh, divorteks, dan lapisan atas (FAME) dikumpulkan. *Fatty acid methyl ester* siap disuntikkan pada kromatografi gas yang dilengkapi dengan detektor *flame ionization* dan kolom DB-23 (30 m×0.25 mm, ketebalan 0.25 µm). Suhu injektor diatur pada 225 °C, suhu detektor 225 °C, dan suhu kolom 100 °C dengan tekanan gas helium 1 kg/cm². Detektor dinyalakan dengan tekanan udara dan tekanan hidrogen masing-masing 0.5 kg/cm². Suhu diprogram 120 °C selama 6 menit kemudian dinaikkan secara gradien linier dengan kecepatan 3 °C/menit hingga mencapai 230 °C dan ditahan selama 20 menit. Sebanyak 1 µL sampel disuntikkan dengan teknik *split* pada rasio 1:30. Puncak setiap FAME diidentifikasi dengan membandingkan waktu retensi dengan standar FAME Mix C8-C22.

Analisis Statistik

Program SPSS versi 16.0 (SPSS Inc, Chicago, IL, USA) digunakan untuk menganalisis data secara statistik. Data komponen minor, karakteristik kimia, dan komposisi asam lemak dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) dan dilanjutkan dengan *Duncan's Multiple Range Tests* pada taraf beda nyata 5%.

Perubahan Komponen Minor dan Karakteristik Kimia

Proses pemurnian yang dilakukan menghasilkan MSM dengan nilai rendeman 87.26% dan *recovery* 88.91%. Proses pemurnian ini mampu mempertahankan kandungan karoten, komponen tokol, dan klorofil MSM seperti diperlihatkan Tabel 1. Data Tabel 1

menunjukkan bahwa kandungan karoten mengalami penurunan tidak nyata ($p>0.05$) selama pemurnian MSM. Kandungan karoten MSM pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Mas'ud (2007) dan Riyadi (2009) masing-masing 390 dan 375.33 mg/kg, tetapi hampir sama dengan hasil penelitian Widarta (2008) sebesar 564.07 mg/kg. Proses pemurnian yang dilakukan merupakan kombinasi terbaik dari hasil penelitian Mas'ud (2007), Riyadi (2009), dan Widarta (2008; 2012). Jika dibandingkan dengan minyak nabati murni lainnya, MSM memiliki kandungan karoten tertinggi diantara minyak kelapa murni (Rukmini dan Rahardjo 2010), zaitun murni (Psomiadou dan Tsimalidou 2002; Rahmani dan Csallany 1998), dan campuran minyak zaitun dan perilla (Kim dan Choe, 2013). Menurut Ayu *et al* (2016a), keberadaan komponen minor terutama tokol dan klorofil mempengaruhi laju foto-degradasi karoten MSM yang paling rendah diantara minyak nabati murni tersebut.

Walaupun proses pemurnian mampu mempertahankan tokol dan klorofil dalam MSM, namun kandungan kedua komponen tersebut lebih rendah secara nyata ($p<0.05$) dibandingkan CPO. Jika dibandingkan dengan minyak nabati murni lainnya, MSM memiliki kandungan tokol yang lebih tinggi dibandingkan minyak zaitun murni (Psomiadon dan Tsimalidou 2002) dan campuran minyak zaitun dan perilla (Kim dan Choe 2012; 2013), tetapi lebih rendah dibandingkan dengan minyak bunga matahari (Choe 2013). Ayu *et al.* (2016a) menyatakan bahwa komponen tokol MSM memperlihatkan laju foto-degradasi lebih rendah dibandingkan dalam minyak bunga matahari, zaitun murni, dan campuran minyak zaitun dan perilla.

Berbeda dengan karoten dan tokoferol, kandungan klorofil MSM lebih tinggi dibandingkan minyak kelapa murni (Rukmini dan Rahardjo 2010), tetapi lebih rendah dibandingkan minyak zaitun murni

(VOO) (Psomiadou dan Tsimidou 2002; Rahmani dan Scallany 1998) dan campuran minyak zaitun dan periila (Kim dan Choe 2013). Namun demikian, klorofil MSM memperlihatkan laju foto

degradasi paling lambat diantara minyak-minyak nabati tersebut, berkaitan dengan antivitas antioksidan karoten dan tokol dalam MSM (Ayu *et al.* 2016a; 2016b; Choe dan Min 2006; 2009).

Tabel 1. Komponen minor dan karakteristik kimia minyak sawit mentah dan merah

Karakteristik	Minyak sawit mentah ^a	Minyak sawit merah ^a
Karoten (mg/kg)	578.90 ± 8.04	558.61 ± 8.65
Tokoferol (mg/kg)*	1174.20 ± 29.58	698.76 ± 3.56
α-tokoferol	245.75 ± 6.25	190.82 ± 10.02
α-tokotrienol	365.05 ± 7.22	115.09 ± 2.52
γ-tokotrienol	415.65 ± 4.27	290.28 ± 5.32
δ-tokotrienol	147.75 ± 1.95	102.01 ± 2.82
Klorofil (mg/kg)*	10.01 ± 0.05	3.81 ± 0.11
Kadar Fe (mg/L)	3.23 ± 0.02	2.93 ± 0.17
Kadar Cu (mg/L)	0.51 ± 0.01	0.25 ± 0.01
Kadar asam lemak bebas*	3.61 ± 0.07	0.14 ± 0.00
Bilangan peroksida (mek O ₂ /kg)*	1.21 ± 0.12	0.84 ± 0.06
Bilangan <i>p</i> -anisidin	7.46 ± 0.10	8.74 ± 0.10
Bilangan Totox	9.88 ± 0.10	10.35 ± 0.12
Bilangan TBARS (mg malonaldehid/kg)*	1.02 ± 0.01	0.03 ± 0.00

^aRata-rata ± SD (n=3)

*Berbeda nyata pada taraf 5% (p<0.05).

Proses pemurnian mampu mengurangi kerusakan hidrolisis dan oksidasi pada MSM, terlihat pada kadar asam lemak bebas, bilangan peroksida, dan TBARS yang lebih rendah (p<0.05) dibandingkan CPO (Tabel 1). Akan tetapi, proses ini tidak mampu menghambat pembentukan senyawa aldehida yang merupakan produk sekunder hasil dekomposisi peroksida. Hal ini terlihat pada bilangan *p*-anisidin dan Totox yang mengalami peningkatan tidak signifikan (p>0.05). Peningkatan bilangan *p*-anisidin yang tidak signifikan juga dapat disebabkan karena bilangan *p*-anisidin hanya mengukur senyawa 2-alkenal dan 2,4-dienal yang tidak berkorelasi dengan nonanal (AOCS 2003; Tompkins dan Perkin 1999). Nonanal merupakan aldehida utama yang terbentuk dari hasil penguraian asam oleat (Tompkins dan Perkin 1999). Perubahan bilangan *p*-anisidin tidak signifikan juga dilaporkan pada oksidasi minyak kedelai dan minyak kedelai kaya asam lemak linoleat terkonjugasi (Yettela *et al.* 2012).

Komposisi Asam Lemak MSM

Perubahan komposisi asam lemak utama selama pemurnian MSM dibandingkan CPO diperlihatkan Tabel 2. Data Tabel 2 menunjukkan bahwa komposisi asam lemak tidak jenuh (oleat dan linoleat) MSM mengalami perubahan tidak nyata (p>0.05), sedangkan asam lemak jenuh (palmitat dan stearat) mengalami penurunan yang berbeda nyata (p<0.05) dibandingkan CPO. Komposisi asam lemak MSM terdiri dari asam palmitat (35.8%), stearat (3.9%), oleat (40.3%), dan linoleat (11.0%) dengan rasio asam lemak jenuh:tak jenuh 45:55. Komposisi asam lemak CPO juga terdiri dari asam palmitat, stearat, oleat, dan linoleat masing-masing sebesar 43.08%, 3.2%, 40.3%, dan 9.6% dengan rasio asam lemak jenuh:tak jenuh 48:52. Proses pemurnian yang diikuti dengan fraksinasi kering pada penelitian ini mampu mengurangi komposisi asam lemak jenuh sekaligus meningkatkan asam lemak tidak

jenuh dalam MSM. Namun demikian, rasio asam lemak tidak jenuh yang lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak jenuh memungkinkan MSM dapat mengalami kerusakan oksidasi. Jika dibandingkan dengan minyak nabati lainnya, MSM memiliki stabilitas foto-oksidasi yang lebih tinggi dibandingkan minyak zaitun murni (Psomiadou dan Tsimidou 2002; Rahmani dan Scallany 1998), campuran zaitun dan perilla (Kim

dan Choe 2012; 2013) serta bunga matahari (Choe 2013). Komposisi asam lemak tidak jenuh yang lebih rendah dan kandungan komponen minor terutama karoten dan tokol yang lebih tinggi berkaitan dengan stabilitas foto-oksidasi MSM yang lebih tinggi dibandingkan dengan minyak-minyak nabati tersebut (Ayu *et al.* 2016a; 2016b).

Tabel 2. Komposisi Asam Lemak Minyak Sawit Mentah dan Minyak Sawit Merah

Asam lemak	Minyak sawit mentah ^a	Minyak sawit merah ^a
Asam laurat 12:0	0.5±0.001	0.10±0.001
Asam miristat 14:0	1.1±0.11	0.05±0.001
Asam palmitat 16:0*	43.0±0.22	35.82±0.12
Asam stearat 18:0*	3.2±0.06	3.90±0.02
Asam oleat 18:1	40.2±0.09	40.33±0.1
Asam linoleat 18:2	10.6±0.05	11.00±0.05
Lainnya	0.3±0.03	8.85 ±0.01

^aRata-rata ± SD (n=3)

*Berbeda nyata pada taraf 5% (p<0.05).

Kesimpulan dan Saran

Proses pemurnian tanpa pemucatan yang dilakukan menghasilkan MSM dengan rendeman 87.26% dan nilai *recovery* 88.91%. Proses pemurnian ini mampu mempertahankan kandungan karoten, dan komponen tokol serta klorofil yang lebih rendah dibandingkan CPO. Proses pemurnian ini juga mampu mengurangi kerusakan hidrolisis dan oksidasi MSM serta komposisi asam lemak jenuh (palmitat dan stearat) yang lebih rendah dibandingkan CPO. Keberadaan komponen minor, karakteristik kimia, dan komposisi asam lemak MSM merupakan faktor penting yang berperan dalam stabilitas oksidasi MSM.

Daftar Pustaka

- [AOAC] Association of Analytical Chemist. 2005. *Official Methods of Analysis of AOAC*. 18th ed. Washington DC (US): AOAC.
 [AOCS] American Oil Chemists' Society. 2003. *Official Methods and*

Recommended Practices of AOCS. 5th ed. Champaign

Ayustaningworo F. 2010. Kinetika parameter stabilitas oksidasi minyak sawit merah [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

Ayu DF, Andarwulan N, Hariyadi P, Purnomo EH. 2016a. Kinetika fotodegradasi klorofil, tokoferol, dan karoten dalam minyak sawit merah. *AGRITECH*. 36: 117-127.

Ayu DF, Andarwulan N, Hariyadi P. dan Purnomo EH. 2016b. Effect of tocopherols, tocotrienols, β-carotene, and chlorophyll on the photo-oxidative stability of red palm oil. *Food Sci. Biotechnol.* 25: 401-407.

Belitz HD, Grosch W, Scieberle P. 2009. *Food Chemistry* 4th Revised and Extended Edition. Berlin Heidelberg (DE): Springer

Canfield LM, Kaminsky RG, Taren DL, Shaw E, Sander JK. 2001. Red palm oil in the maternal diet increases provitamin A carotenoids in breast milk

- and serum of the mother-infant dyad. *Eur. J.Nutr.* 40: 30-38.
- Chew BP, Park JS. 2004. Carotenoid action on the immune response. *J. Nutr.* 134: 257S-61S.
- Choe. 2013. Interaction of light and temperature on tocopherols during oxidation of sunflower oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 90: 1851-857.
- Choe E, Min DB. 2006. Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comp. Rev. Food Sci. Food Saf.* 5: 169-86.
- Choe E, Min DB. 2009. Mechanisms of antioxidants in the oxidation of foods. *Comp. Rev. Food Sci. Food Saf.* 8: 345-358.
- Dauqan E, Sani HA, Abdullah A, Muhammad H, Top AGM. 2011. Vitamin E and β-carotene composition in four different vegetable oils. *Am. J. Applied Sci.* 8: 407-412.
- Fernández-García E, Carvajal-Lérida I, Jarén-Galán M, Garrido-Fernández, Pérez-Gálvez A, Hornero-Méndez D. 2011. Review: Carotenoids bioavailability from foods: From plant pigments to efficient biological activities. *Food Research International.* 46: 438-450.
- Idris CAC, Karupaiah T, Sundram K, Tan YA, Balasundram N, Leow SS, Nasruddin NS, Sambanthamurthi R. 2014. Oil palm phenolics and vitamin E reduce atherosclerosis in rabbits. *J. Funct. Foods.* 7: 541-550.
- Kim N, Choe E. 2012. Singlet oxygen-related photooxidative stability and antioxidant changes of diacylglycerol-rich oil derived from mixture of olive and perilla oil. *J. Food Sci.* 77: C1185-C1191.
- Kim N, Choe E. 2013. Contribution of minor compound to the singlet oxygen-related photo-oxidation of olive and perilla oil blend. *Food Sci. Biotechnol.* 22: 315-321.
- Lee KH, Jung MY, Kim SY. 1997. Quenching mechanism and kinetics of ascorbil palmitate for the reduction of the photosensitized oxidation of oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 74: 1053-1057.
- Lietz G, Henry CJK, Mulokozi G, Mugyabuso JKL, Ballart A, Ndosi GD, Lorri W, Tomkins A. 2001. Comparison of the effects of supplemental red palm oil and sunflower oil in maternal vitamin A status. *Am. J. Clin. Nut.* 74: 502-509.
- Lietz G, Mulokozi G, Henry JC, Tomkin AM. 2006. Xanthophyll and hydrocarbon carotenoid pattern differ in plasma and breast milk of women and lactation. *J. Nutr.* 136: 1821-1827.
- Man CYB, Tan CP. 2003. Carotenoids. Di dalam: Gunstone FD, editor. *Lipids for Functional Foods and Nutraceuticals*. Bridgwater (US): Oily Press. hlm 25-52.
- Mas'ud F. 2007. Optimasi proses deasidifikasi untuk meminimalkan kerusakan karotenoid dalam pemurnian minyak sawit (*Elaeis quineensis*, Jacq) [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Mayamol PN, Balachandran C, Samuel T, Sundaresan E, Arumughan, C. 2007. Process technology for the production of micronutrient rich red palm TAG. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 84: 587-596.
- Min DB, Boff J. 2002. Chemistry and reaction of singlet oxygen in foods. *Comp. Rev. Food Sci .Food Saf.* 1: 58-72.
- Mukherjee S, Mitra A. 2009. Health effects of palm oil. *J. Hum. Ecol.* 26: 197-203.
- Mursalin, Hariyadi P, Purnomo EH, Andarwulan N, Fardiaz D. 2013. Fraksinasi kering minyak kelapa menggunakan kristalisator skala 120 kg untuk menghasilkan fraksi minyak kaya triasilgliserol rantai menengah. *Jurnal Littri.* 19: 41-49.
- PORIM. 2005. Carotene content : methods of test for palm oil and palm oil products. *PORIM Methods, Palm Oil Research Institute of Malaysia*. hlm 43-44.

- Psomiadou E, Tsimidou M. 2002. Stability of virgin olive oil. 2. Photooxidation studies. *J. Agric. Food Chem.* 50: 722-727.
- Rahmani M, Scallany AS. 1998. Role of minor constituents in the photooxidation of virgin olive oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 75: 837-843.
- Rice L, Burns JB. 2010. Review: Moving from efficacy to effectiveness : Red palm oil's role in preventing vitamin A deficiency. *JACN*. 29: 302S-313S.
- Riyadi AH. 2009. Kendali proses deodorisasi dalam permurnian minyak sawit merah skala pilot plant [tesis]. Bogor (ID) : Institut Pertanian
- Rukmini A, Raharjo S. 2010. Pattern of peroxide value changes in virgin coconut oil (VCO) due to photo-oxidation sensitized by chlorophyll. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 87: 1407-1412.
- Sambanthamurthi R, Sundram K, Tan YA. 2000. Chemistry and biochemistry of palm oil. *Prog. Lipid Res.* 39: 507-558.
- Tompkins C, Perkin EG. 1999. The evaluation of frying oils with the *p*-anisidine value. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 76: 945-441.
- Usuki R, Usuki T, Endo Y, Kande T. 1984. Residual amounts of chlorophylls and pheophytins in refined edible oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* S61: 785-788.
- Widarta IWR. 2008. Kendali proses deasidifikasi dalam permurnian minyak sawit merah skala pilot plant [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Widarta IWR, Andarwulan N, Haryati T. 2012. Optimasi proses deasidifikasi dalam pemurnian minyak sawit merah skala pilot plant. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan.* 23: 41-46.
- Wong WL, Timms RE, Goh EM. 1988. Colorimetric determination of total tocopherols in palm oil, TAG, and stearin. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 65: 258-2
- Yettela RR, Castrodale C, Proctor A. 2012. Oxidative stability of conjugated linoleic acid rich soy oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 89: 685-693.
- Yi J, Andersen ML, Skibsted LH. 2011. Interactions between tocopherols, tocotrienol, and carotenoids during autoxidation of mixed palm TAG and fish oil. *Food Chem.* 127: 1792-1797.
- Zagrè NM, Delpeuch F, Traissac P, Delisle H. 2003. Red palm oil as a source of vitamin A for mothers and children: impact of a pilot project in Burkina Faso. *Public Health Nutr.* 6: 733-42.
- Zeba AN, Prèvel YM, Somè IT, Delisle HF. 2006. The positive impact of red palm oil in school meals on vitamin A status: study in Burkina Faso. *J. Nutr.* 5: 17-27.