

PROSES RAFINASI MINYAK INTI SAWIT MENTAH TERHIDROGENASI DALAM PRODUKSI COCOA BUTTER SUBSTITUTE

Hasrul Abdi Hasibuan dan Donald Siahaan

Abstrak Umumnya, *Cocoa Butter Substitute* (CBS) dibuat dari minyak inti sawit (MIS) terafinasi dengan cara hidrogenasi dan produknya dirafinasi kembali sehingga biaya produksi tinggi. Biaya produksi CBS dapat diminimalisasi dengan menggunakan bahan baku MIS mentah (CPKO) namun mengandung fosfolipid yang dapat mempengaruhi hidrogenasi. Penggunaan katalis dalam jumlah lebih besar dapat membantu proses hidrogenasi CPKO. Permasalahannya adalah produk CPKO terhidrogenasi mengandung asam lemak bebas, bau, dan residu nikel yang tinggi. Sehingga proses rafinasi dari CPKO terhidrogenasi perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas dari produk CBS. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan faktor teknologi optimum yaitu konsentrasi *bleaching earth* dan waktu proses (*proses bleaching*) serta suhu deodorisasi dan waktu proses (*proses deodorisasi*). Proses *bleaching* dilakukan menggunakan variasi *bleaching earth* 0,25%-1% pada suhu 95°C selama 15-60 menit. Sedangkan, proses deodorisasi dirancang menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan variasi suhu 180-260°C selama 1-5 jam. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses rafinasi mampu menghasilkan CBS dengan kualitas baik secara fisik maupun kimia. Semakin tinggi konsentrasi *bleaching earth* cenderung menurunkan kadar nikel dan memucatkan warna sebaliknya semakin tinggi waktu *bleaching* menyebabkan warna semakin gelap. Semakin tinggi suhu dan waktu deodorisasi cenderung meningkatkan warna akan tetapi menurunkan kadar asam lemak bebas dan air. Konsentrasi *bleaching earth* yang optimum adalah 1% dengan waktu proses 45 menit.

Suhu deodorisasi yang optimum adalah 240°C dengan waktu proses 4 jam. Pada kondisi optimum, mutu produk yang dihasilkan selain memiliki bau yang netral adalah warna 0,8 (*red*)/3 (*yellow*), asam lemak bebas 0,14%, air 0,02%, tidak mengandung nikel dan bebas asam lemak trans.

Kata kunci : *cocoa butter substitute, minyak inti sawit, hidrogenasi, rafinasi*

Abstract Generally, *Cocoa Butter Substitute* (CBS) made from refined palm kernel oil (RBDPKO) with hydrogenation and its product refined again, its due to high production costs. Production costs of CBS can be minimized using crude palm kernel oil (CPKO) but it is contain phospholipids that affect hydrogenation. High concentration of catalyst can help the hydrogenation process. The problem is hydrogenated CPKO contains high free fatty acid, odour and residue nickle. So, the refinement process of hydrogenated CPKO was conducted to increase the quality of product. The propose of this research is determine optimum technology factor i.e. *bleaching earth* consentration and time of process (*bleaching process*) and temperature and time of deodorization (*deodorization process*). *Bleaching process* was conducted using variation of *bleaching earth* 0.25 to 1 % at 95°C for 15 to 60 minutes. Deodorization was designed using *Response Surface Methodology* (RSM) at 180 to 260°C for 1 to 5 hours. The result of analysis shown that the refinement process obtaining high quality physicochemical of CBS. The highest of *bleaching earth* concentration decrease nickle content and bleached the color and the highest time of process cause dark colour. The highest of temperature and time of deodorization increase color and decrease free fatty acid and moisture. The optimum of *bleaching earth* concentration is 1% at time of process of 45 minutes. The optimum of temperature deodorization is 240°C at time of process of 4 hours. At the optimum condition,

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

Hasrul Abdi Hasibuan (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit,
Jl. Brigjen Katamso 51, Medan, Indonesia.
email: hasibuan_abdi@yahoo.com



quality of product obtained netral flavour, color 0.8 (red)/3 (yellow), free fatty acid 0.14%, moisture 0.02%, zero nickel and trans fat free.

Keywords: cocoa butter substitute, palm kernel oil, hydrogenation, refinery

PENDAHULUAN

Minyak inti sawit (MIS) mengandung asam laurat dan miristat yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan lemak konfeksioneri. MIS telah dimodifikasi menjadi *cocoa butter substitute* (CBS) dan sangat ideal sebagai bahan baku coklat *compound* (Calliau et al., 2005; Zaidul et al., 2007).

Teknologi pembuatan CBS dari MIS telah dikembangkan ke skala industri diantaranya adalah fraksinasi dan hidrogenasi serta kombinasinya (Calliau et al., 2005). Hidrogenasi masih tetap digunakan jika asam lemak trans dapat diminimalisir selama proses (Jang et al., 2005). Produk bebas lemak trans dapat diperoleh dengan cara hidrogenasi total (Teledyne, 2008; O'brien, 2004; Hasibuan et al., 2009).

Umumnya, MIS yang digunakan sebagai bahan baku adalah terafinasi dan produk terhidrogenasinya harus dirafinasi kembali karena mengandung bau dan residu nikel (Warner et al., 2000; Timms, 2003). Proses rafinasi dua kali menimbulkan biaya produksi relatif lebih tinggi. Minimalisasi biaya produksi dapat dilakukan menggunakan bahan baku MIS mentah (CPKO) karena proses rafinasi hanya dilakukan sekali pada produk CPKO terhidrogenasi.

Hasman (1979), menyatakan bahwa minyak nabati mentah dapat dihidrogenasi menggunakan katalis dengan konsentrasi lebih besar dari 0,2%. Kendala dari penggunaan CPKO adalah relatif tingginya kadar asam lemak bebas setelah mengalami proses hidrogenasi. Selain itu, penggunaan katalis dalam jumlah besar menimbulkan bau khas dan residu nikel relatif tinggi. Sehingga diperlukan proses rafinasi untuk menurunkan atau menghilangkan asam lemak bebas, bau dan residu nikel.

Proses rafinasi dilakukan dengan tiga tahapan yaitu *degumming*, *bleaching* dan deodorisasi. Umumnya, proses *bleaching* CPKO dilakukan pada suhu 90-105°C dengan *bleaching earth* lebih kecil dari 1% (karena mengandung rendah karoten) dan suhu

deodorisasi dilakukan pada 240-245°C (Basiron et al., 2000). Tingginya residu nikel, bau khas dan relatif tingginya asam lemak bebas pada CPKO terhidrogenasi dibandingkan CPKO, maka kondisi proses rafinasi akan berbeda.

Kondisi optimum proses rafinasi dari CPKO terhidrogenasi perlu dikaji untuk menghasilkan CBS dengan kualitas yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan faktor teknologi optimum meliputi konsentrasi *bleaching earth* dan waktu proses (*bleaching*), suhu deodorisasi dan waktu proses (deodorisasi) pada rafinasi CPKO terhidrogenasi dalam pembuatan CBS.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan adalah minyak inti sawit mentah diperoleh dari PT. Wilmar Internasional, katalis Nikel Nysosel 222 dari Engelhard De Meen dan gas hidrogen dari PT. Tri Gases. Bahan-bahan analisis seperti larutan wijs p.a, heksan p.a, isooktan p.a kalium hidroksida p.a diperoleh dari E. Merck.

Proses Hidrogenasi CPKO

Hidrogenasi CPKO dilakukan dalam bejana bertekanan kapasitas 4 L menggunakan katalis nikel sebanyak 0,5% dari bahan baku, kecepatan pengadukan pada 500 rpm, tekanan 150 psi, suhu hidrogenasi 160°C dengan waktu proses 3 jam. Produk terhidrogenasi disaring pada suhu 60 - 65°C menggunakan kertas saring Whatman No. 42. Sifat fisiko kimia dari bahan baku dan produk terhidrogenasi ditentukan diantaranya kadar warna, asam lemak bebas, komposisi asam lemak, bilangan iod, titik leleh dan kandungan lemak padat.

Optimasi Proses *Bleaching*

Tahap awal proses rafinasi adalah *degumming*, CPKO terhidrogenasi ditambahkan asam fosfat *food grade* 0,05% kemudian campuran dipanaskan pada suhu 95°C selama 15 menit. Setelah itu, proses *bleaching* dilakukan dengan menambahkan *bleaching earth* pada variasi 0,25; 0,5; 0,75 dan 1% pada suhu 95°C dengan waktu 15, 30, 45 dan 60 menit. Parameter analisis pada produk yang ditentukan adalah kadar warna dan nikel.

Optimasi Proses Deodorisasi

Proses deodorisasi dilakukan pada tekanan 20 mbar. Bahan baku yang digunakan adalah CPKO terhidrogenasi yang telah dipucatkan pada kondisi optimum yang diperoleh pada bagian 2.3. Rancangan proses deodorisasi mengikuti bentuk Rancangan Susunan Terpusat (*Central Composite Design, CCD*) (Montgomery, 1997). Sebanyak lima level/tingkat dan dua variabel penelitian ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Response Surface Methodology (RSM) digunakan untuk mengamati pengaruh individu maupun interaksi,

dan mengoptimisasikan kedua variabel untuk memperoleh produk berkualitas baik. Indikator untuk menentukan kondisi optimum adalah rendahnya asam lemak bebas, air dan warna pada produk CBS.

Metode Analisis

Metode analisis komposisi asam lemak, titik leleh, bilangan iod, warna, kadar air, asam lemak bebas dan nikel mengacu kepada *AOCS Official Method*. 1989 (AOCS, 1989) dan *MPOB Test Method*. 2004 (MPOB, 2004).

Tabel 1. Variabel dan level untuk desain eksperimen 2 variabel pada proses dedorisasi CPKO terhidrogenasi.

Variabel	Level terkode variable				
	-1,414	-1	0	1	1,414
Suhu dedorisasi (°C)	180	200	220	240	260
Waktu proses (jam)	1	2	3	4	5

Tabel 2. Kombinasi level terkode untuk lima level, dua variabel.

Temperatur, °C	Waktu, jam	FFA, %	Air, %	Warna		
				Red	Yellow	Total Warna
-1	-1	1,47	0,04	0,8	2,7	10,7
1	-1	0,34	0,03	0,8	3,0	11,0
-1	1	0,84	0,05	0,8	2,8	10,8
1	1	0,14	0,02	0,8	3,0	11,0
-1,414	0	2,00	0,05	0,8	2,6	10,6
1,414	0	0,23	0,03	1,2	4,6	16,6
0	-1,682	1,27	0,10	0,8	3,5	11,5
0	1,682	0,49	0,02	0,8	4,0	12,0
0	0	0,45	0,02	0,8	2,7	10,7
0	0	0,57	0,03	0,8	2,7	10,7
0	0	0,65	0,04	0,8	2,7	10,7
0	0	0,58	0,04	0,8	2,8	10,8
0	0	0,61	0,03	0,8	2,8	10,8
0	0	0,65	0,02	0,8	2,7	10,7

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses hidrogenasi minyak inti sawit mentah

Hidrogenasi adalah proses pemasukan molekul hidrogen ke dalam molekul diena yang dikandung dalam asam lemak tidak jenuh (O'Brien, 2004; Ojeh *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2009). Asam lemak tidak jenuh yang dikandung bahan baku pada penelitian ini adalah asam oleat dan linoleat masing-masing sebesar 14,98% dan 2,52% (Tabel 3). Asam oleat dan linoleat terhidrogenasi menjadi asam stearat (kandungan awal sebesar 2,32% menjadi 19,8%). Bilangan iod bahan baku (17,5) mengalami penurunan selama proses hidrogenasi menjadi 0,07 sedangkan titik leleh meningkat dari 27°C menjadi 38,8°C.

Asam lemak trans tidak dikandung pada CPKO terhidrogenasi yang disebabkan oleh penggunaan tekanan yang tinggi (150 psi). Tingginya tekanan akan

mempercepat tumbukan antara molekul hidrogen dengan diena meskipun peningkatan tekanan tidak berpengaruh secara signifikan karena kelarutan hidrogen diasumsikan tidak berubah selama reaksi (Edvardsson *et al.*, 2001). Asam lemak trans terjadi bila suhu yang digunakan tinggi dan waktu proses cepat (Jang *et al.*, 2005; List *et al.*, 2000).

Asam lemak bebas pada CPKO terhidrogenasi meningkat dari bahan bakunya (2,92% menjadi 3,79%). Kenaikan ini disebabkan oleh molekul air dalam CPKO dan suhu tinggi sehingga menimbulkan terjadinya proses hidrolisis molekul trigliserida (Basiron *et al.*, 2000). Penurunan warna juga terjadi dari 5,0(*red*)/50(*yellow*) menjadi 1,2(*red*)/4,0(*yellow*) yang disebabkan oleh suhu tinggi sehingga zat warna mengalami pemucatan. Selain itu, disebabkan juga oleh katalis nikel mengandung *diatomae earth* yang dapat berfungsi sebagai adsorben (Mat and Othmann, 1999).

Tabel 3. Karakteristik CPKO dan produk terhidrogenasi CPKO.

Parameter	CPKO	HCPKO
Warna, 51/4 inchi	5,0/50	1,2/4,0
Asam lemak Bebas, %	2,92	3,79
Titik leleh, °C	27,0	38,8
Bilangan Iodin, Wijs	17,6	0,07
Komposisi Asam Lemak, %		
C6:0	0,21	0,13
C8:0	3,65	3,75
C10:0	3,43	3,67
C12:0	48,48	48,23
C14:0	15,67	16,02
C16:0	8,97	8,39
C18:0	2,32	19,8
C18:1 trans	0	0
C18:1 cis	14,98	0
C18:2 trans	0	0
C18:2 cis	2,52	0
Kandungan lemak Padat, %		
10°C	62,31	92,57
20°C	36,82	75,46
25°C	15,01	53,45
30°C	0,1	26,45
35°C	0,03	10,03
40°C	0	4,43

Keterangan : CPKO = *crude palm kernel oil*, HCPKO = *hydrogenated crude palm kernel oil*

Kandungan lemak padat CPKO terhidrogenasi meningkat pada setiap kenaikan temperatur yang disebabkan oleh semakin jenuhnya komposisi asam lemak. Kandungan lemak padat pada suhu 35°C sebesar 10,03% yang menunjukkan bahwa produk tersebut dapat diaplikasikan sebagai CBS karena nilainya mendekati *cocoa butter* sebesar 2-10 % (Zaidul *et al.*, 2007; Zaidul, 2003).

Proses Rafinasi

Proses rafinasi dilakukan untuk menghasilkan produk yang memiliki mutu dan performa yang baik. Pada proses ini dilakukan penghilangan logam, warna, bau, air dan asam lemak bebas.

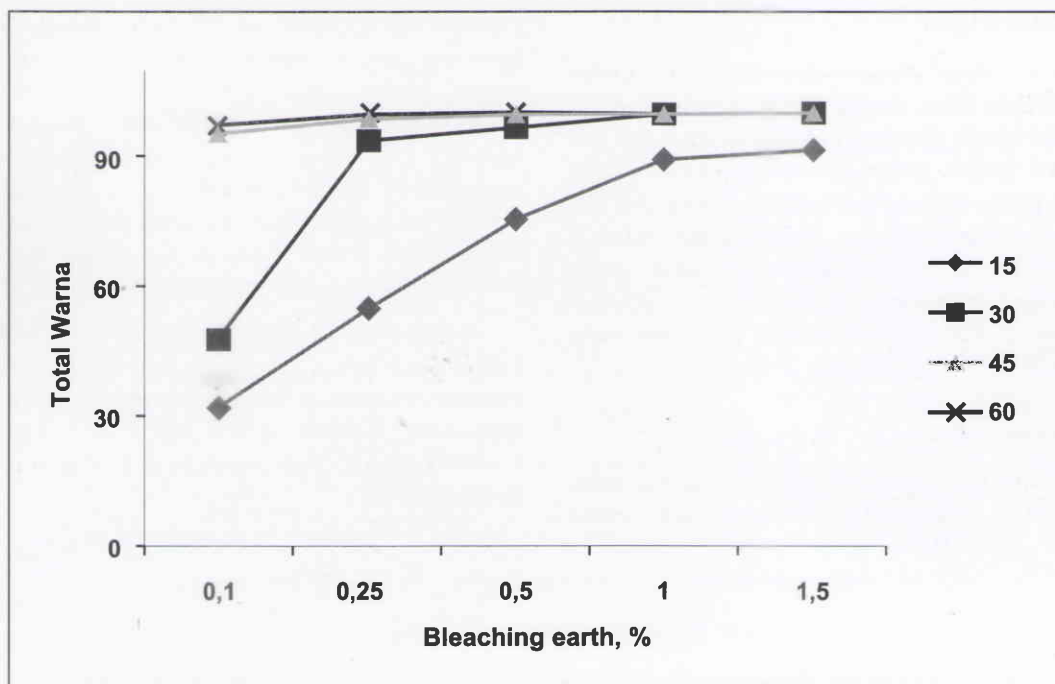
Proses Bleaching

Proses *bleaching* CPKO terhidrogenasi dimaksudkan untuk memucatkan warna dan menghilangkan residu nikel. Adanya nikel pada produk merupakan residu dari katalis yang digunakan (Liu *et al.*, 2009). Kadar air CPKO terhidrogenasi setelah *bleaching* menurun dari 0,45% menjadi 0,25% yang disebabkan oleh

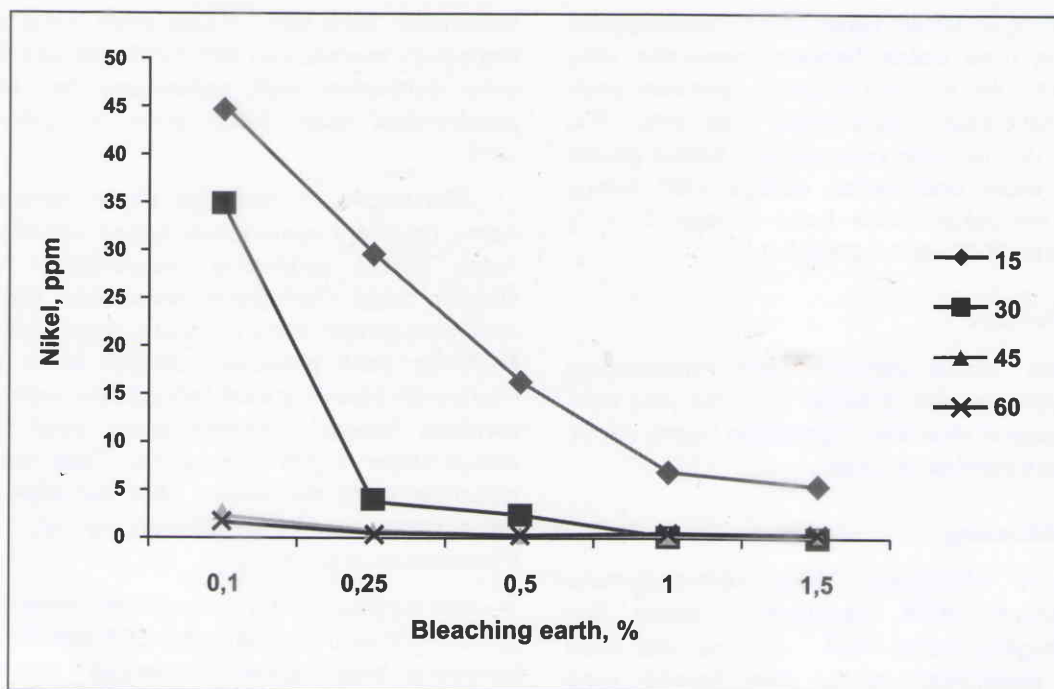
pemanasan pada 95°C. Kadar asam lemak bebas mengalami peningkatan dari 3,79% menjadi 3,89% yang disebabkan oleh pemanasan dan adanya penambahan asam fosfat untuk menghilangkan gum.

Bleaching earth berfungsi untuk memucatkan warna. Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses cenderung menyebabkan warna semakin tinggi. Peningkatan konsentrasi *bleaching earth* menurunkan warna dan kadar nikel (Gambar 2). *Bleaching earth* bercampur dengan asam posfat membentuk *bleaching earth* termodifikasi posfat yang berfungsi sebagai *chelating agent* yang mudah mengadsorpsi logam dan warna. Daya penjerap *bleaching earth* disebabkan oleh ion Al^{3+} pada permukaan adsorben (Basiron *et al.*, 2000; Pannerselvan *et al.*, 2009).

Dari Gambar 1 dan 2 menunjukkan bahwa kondisi optimum proses *bleaching* produk CBS diperoleh pada konsentrasi *bleaching earth* 1% dengan waktu proses 45 menit. Pada kondisi optimum diperoleh produk dengan warna 0,8 (red)/ 2,2 (yellow) (total warna 10,2) dan tidak mengandung residu nikel.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi *bleaching earth* dan waktu proses terhadap total warna CBS.



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi *bleaching earth* dan waktu proses terhadap kadar nikel pada CBS.

Proses Deodorisasi

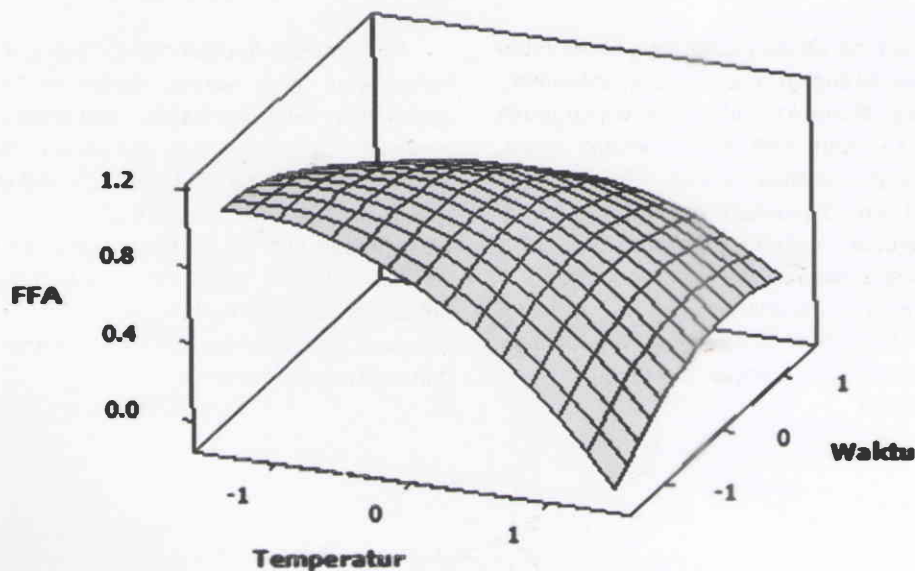
Proses deodorisasi dimaksudkan untuk menghilangkan bau, asam lemak bebas dan air sedangkan warna diharapkan tidak berubah menjadi gelap. Nilai prediksi dari kadar asam lemak bebas, air dan total warna dihitung menggunakan model regresi. Model yang diperoleh dari desain pada Tabel 2 diplotkan sebagai permukaan tiga dimensi untuk mendeskripsikan respon ketiga parameter sebagai fungsi dari 2 faktor untuk kisaran perlakuan yang diberikan.

Asam Lemak Bebas

Gambar 3 menunjukkan plot respon kontur pada pengamatan pengaruh temperatur dan waktu

deodorisasi terhadap kadar asam lemak bebas. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kadar asam lemak bebas akan menurun seiring dengan peningkatan temperatur dan waktu hingga level tertentu. Plot kontur ini juga menunjukkan bahwa peningkatan temperatur lebih kuat dibandingkan dengan meningkatnya waktu pada penurunan kadar asam lemak bebas. Peningkatan temperatur akan menyebabkan asam lemak bebas menguap.

Permukaan kontur menunjukkan bahwa kadar asam lemak bebas yang paling minimum diperoleh apabila temperatur berada pada level 1 (240°C) dan waktu proses pada level 1 (4 jam). Pada kondisi tersebut dapat diperoleh kadar asam lemak bebas 0,14%.

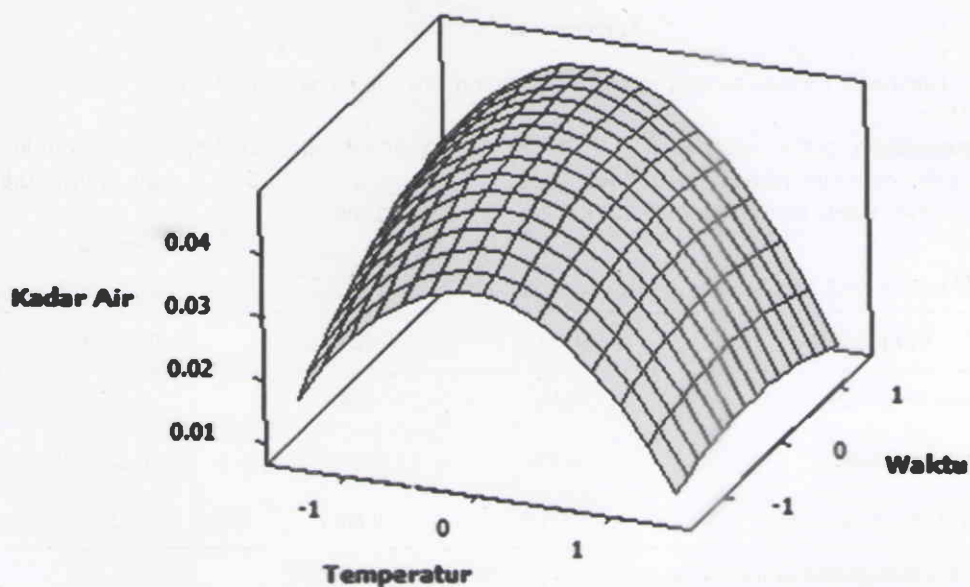


Gambar 3. Respon kontur dari plot temperatur dan waktu terhadap FFA.

Kadar Air

Pengamatan pengaruh temperatur dan waktu deodorisasi terhadap kadar air ditunjukkan pada Gambar 4. Kadar air menurun seiring dengan peningkatan temperatur dan waktu. Plot kontur ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur

hampir sama kuatnya dengan peningkatan waktu. Kadar air yang paling minimum diperoleh pada temperatur berada pada level 1 (240°C), sedangkan waktu pada level 1 (4 jam) menghasilkan kadar air mencapai 0,02%.



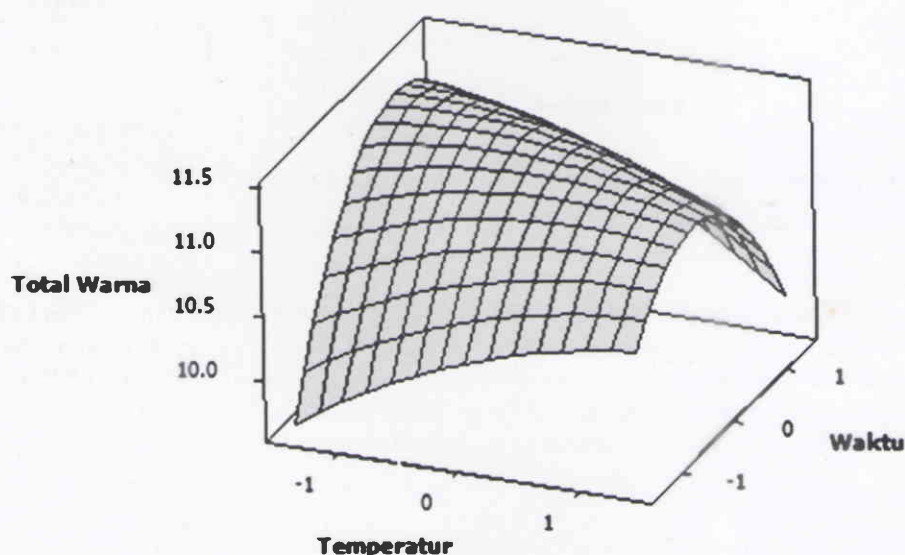
Gambar 4. Respon kontur dari plot temperatur dan waktu terhadap kadar air.



Warna

Warna produk merupakan salah satu faktor mutu yang mempengaruhi tingkat kesukaan dari konsumen. Warna CBS yang diharapkan adalah berwarna jernih pada keadaan cair dan putih pada keadaan padat. Proses deodorisasi merubah warna CBS. Apabila suhu dan waktu yang digunakan rendah maka warna tidak begitu berubah sedangkan apabila keduanya terlalu tinggi maka warna akan berubah menjadi kecoklatan (gelap). Perubahan warna tersebut disebabkan oleh terbentuknya senyawa polimer sehingga menyebabkan minyak menjadi gosong (Basiron *et al.*, 2000).

Pengamatan kondisi deodorisasi pada pengaruh temperatur dan waktu terhadap total warna ditunjukkan pada Gambar 5. Total warna yang paling minimum diperoleh pada temperatur berada pada level -1,414 hingga 0 (180 – 220°C), sedangkan waktu proses pada level -1 hingga 0 (2 - 3 jam) dengan nilai lebih rendah dari 11. Sementara itu, jika ditinjau dari kondisi optimum untuk memperoleh asam lemak bebas dan air yang rendah (suhu 240°C dengan waktu proses 4 jam) menunjukkan total warna sebesar 11 dan masih kelihatan jernih.



Gambar 5. Respon kontur dari plot temperatur dan waktu terhadap total warna.

Dari pengamatan pada Gambar 5, 6 dan 7 diperoleh kondisi optimum proses deodorisasi yaitu suhu 240°C dengan waktu proses 4 jam. Pada kondisi

ini diperoleh mutu CBS berkadar asam lemak bebas 0,14%, kadar air 0,02% dan warna 0,8 (red)/3,0 (yellow) (Tabel 5).

Tabel 5. Mutu produk CBS sebelum dan sesudah deodorisasi.

Parameter	HCPKO	BHCPKO	RHPKO/CBS
Asam lemak bebas, %	3,79	3,89	0,14
Kadar air, %	0,45	0,25	0,02
Warna (red/yellow)	1,2/4,0	0,8/2,2	0,8/3,0

Keterangan: HPKO: hydrogenated palm kernel oil

BHPKO: bleached hydrogenated Palm Kernel Oil

RHPKO: refined bleached deodorized palm kernel oil

KESIMPULAN

- CPKO dapat dihidrogenasi menggunakan katalis dalam jumlah relatif lebih tinggi dibandingkan dengan MIS terafinasi. Hal ini disebabkan oleh CPKO mengandung senyawa fosfatida.
- CPKO terhidrogenasi mengandung asam lemak bebas, bau yang khas dan residu nikel yang relatif tinggi. Bahan pengotor tersebut dapat dihilangkan secara rafinasi.
- Kondisi optimum proses bleaching diperoleh pada konsentrasi *bleaching earth* 1% dengan waktu proses 45 menit dan diperoleh CBS yang tidak mengandung residu nikel.
- Kondisi optimum proses deodorisasi CPKO terhidrogenasi adalah suhu 240°C dengan waktu proses 4 jam. CBS yang dihasilkan memiliki bau yang netral dan mutu diantaranya asam lemak bebas, air dan warna masing-masing adalah 0,14%; 0,02% dan 0,8 (*red*)/3,0 (*yellow*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada teknisi Kelompok Peneliti Pengolahan Hasil dan Mutu diantaranya Warnoto, Ijah, Alida dan Magindrin yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- AOCS. 1989. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society", 4th ed. American Oil Chemists' Society. Champaign. IL.
- Basiron, Y., B.S. Jalani, and C.K. Weng. 2000. Advances oil palm research. Volume II. Malaysian Palm Oil Board. Malaysia. pp. 815-820.
- Calliau, G., I. Foubert, W.D. Greyt, and P. Dijckmans. 2005. Production of cocoa butter substitute via two-stage fractionation of palm kernel oil. JAOCS. Vol. 82. 11: 783-790.
- Edvardsson, J., P. Rautanen, A. Littorina, and M. Larssona. 2001. Deactivation and coke formation on palladium and platinum catalysts in vegetable oil hydrogenation. JAOCS. Vol. 78. No. 3: 319-327.

Hasibuan, A.H., D. Siahaan, M. Rivani, dan F.R. Panjaitan. 2009. Minyak sawit dan minyak inti sawit sebagai bahan baku formulasi plastic fat dan specialty fat. Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit. Jakarta

Hasman, J.M. 1979. Hydrogenation of unrefined glyceride oils. United States Patent. No. 4,169,844

Jang, E.S., M.Y. Jung, and D.B. Min. 2005. Hydrogenation for low trans and high conjugated fatty acids. Comprehensive Review Food Science and Food Safety. Vol.1. 22-31

List, G. R., W. E. Nest, R. L. Holliday, J. W. King, and R. Holser. 2000. Hydrogenation of soybean oil triglycerides: Effect of pressure selectivity. JAOCS. 77: 311-314

Liu, J., G. Zhang, and Z. Meng. 2009. Determination of trace nickel in hydrogenated cottonseed oil by pressurized bomb acid digestion and graphite furnace atomic absorption spectrometry detection. J. Am. Oil Chem. Soc. 86: 967-970

Mat, H.B. and N. Othman. 1999. Selective nickel recovery from spent catalyst. Paper Presented at World Engineering Congress and Exhibition, 1999 (WEC'99). Kuala Lumpur. July 19-22

Montgomery, D.C. 1997. Design and analysis of experiments. 5-ed, John Wiley and Son Inc.

MPOB. 2004. MPOB test method: A compendium of test on palm oil products, palm kernel products, fatty acids, food related products and others. Malaysia.

O'Brien, R.D. 2004. Fats and oils, formulating and processing for application. Technomic Publishing Co. Inc. Lancaster. pp. 437-458

Ojeh, G.C., G.O. Idokpesi, G.O. Eidangbe, K. Omage, and O.M. Oluba. 2009. Hydrogenation impairs the hypolipidemic and antioxidant effects of palm oil in rats. International Journal of Physical Sciences. Vol. 4(7): 407-411

Pannerselvam, P., V.S.S. Bala, K.V. Thiruvengadaravi, J. Nandagopal, M. Palanichamy, and S. Sivanessan. 2009. The removal of copper ions from aqueous solution using phosphoric acid modified zeolites. Indian Journal of Science and Technology. Vol. 2. No. 2: 63 - 67.

- Singh, D., M.E. Rezac, and P.H. Pfromm. 2009. Partial hydrogenation of soybean oil with minimal trans fat production using a Pt-decorated polymeric membrane reactor. *JAOCS*. 86:93-101.
- Teledyne, I. 2008. Catalytic hydrogenation using teledyne isco syringe pumps. A Teledyne Technologies Company.
- Timms, R.E. 2003. Production and characteristic properties, in confectionery fats handbook. Edited by R.E. Timms. The Oily Press. Bridgewater. Pp. 191-254.
- Warner, K., W.E. Neffa, G.R. List, and P. Pintauro. 2000. Electrochemical hydrogenation of edible oils in a solid polymer electrolyte reactor: sensory and compositional characteristics of low trans soybean oils. *JAOCS*. Vol 77. 10: 1113-1118.
- Zaidul, I. S. M. 2003. Supercritical carbon dioxide as a process fractionation technology of palm kernel oil for cocoa butter quality fats. Doctoral Thesis. University Sains Malaysia.
- Zaidul, I.S.M., N.A.N. Norulaini, A.K.M. Omar, and R.L. Smith. 2007. Blending of supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) extracted palm kernel oil fractions and palm oil to obtain cocoa butter replacers. *Journal of Food Engineering*. 78: 1397-1409.