

OPTIMASI KONDISI HIDROGENASI MINYAK INTI SAWIT TERAFINASI DALAM PEMBUATAN *COCOA BUTTER SUBSTITUTE* BEBAS LEMAK TRANS

OPTIMIZATION CONDITION OF HYDROGENATION OF PALM KERNEL OIL IN TRANS FAT FREE *COCOA BUTTER SUBSTITUTE* PRODUCTION

Hasrul Abdi Hasibuan

Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Jln. Brigjend Katamso No. 51 Medan, Telp: 061- 7862477, Fax: 061-7862488

e-mail: hasibuan_abdi@yahoo.com

ABSTRACT

Production of trans fat free cocoa butter substitute by hydrogenation of palm kernel oil has been concluded. This research was undertaken by reaction of palm kernel oil and hydrogen using variation of pressure, catalyst and reaction time were 100 to 200 Psi, 0.05 to 0.25% and 1 to 5 hrs, respectively. The characteristic of CBS was determined i.e. content of trans fatty acid, stearic acid, melting point, iodine value and solid fat content. The result of analysis showed that increasing of pressure, catalyst and reaction time were simultaneously increase stearic acid composition, melting point, solid fat content and it was decrease iodine value and trans fatty acid content. The optimum condition was achieved at pressure 150 Psi, catalyst 0.1% and reaction time 3 hr.

Keywords: *Cocoa butter substitute, Hydrogenation, Palm kernel oil, Fatty acids*

ABSTRAK

Pembuatan cocoa butter substitute (CBS) bebas asam lemak trans dari minyak inti sawit melalui proses hidrogenasi telah dilakukan. Perlakuannya adalah mereaksikan minyak inti sawit dan hidrogen dengan memvariasikan tekanan, persentasi katalis, dan waktu reaksi masing-masing 100–200 Psi, 0,05–0,25%, dan 1–5 jam. Karakteristik CBS ditentukan dengan mengukur kandungan asam lemak trans, asam stearat, titik leleh, bilangan iodin, dan kandungan lemak padat. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan tekanan, katalis, dan waktu reaksi secara simultan meningkatkan asam stearat, kandungan lemak padat, titik leleh dan menurunkan bilangan iodin serta asam lemak trans. Kondisi optimum untuk menghasilkan CBS diperoleh pada tekanan 150 psi, katalis 0,1%, dan waktu reaksi 3 jam.

Kata kunci: *Cocoa butter substitute, Hidrogenasi, Minyak inti sawit, Asam lemak*

PENDAHULUAN

Nilai tambah (*added value*) industri minyak sawit di Indonesia dapat ditingkatkan dari pengolahan inti (*kernel*). Saat ini, *kernel* telah diolah menjadi minyak inti sawit, namun sayangnya masih diekspor dalam jumlah yang cukup besar. Total produksi minyak inti sawit dari tahun 2004–2008 sebesar 1,281–2,065 juta ton dan rata-rata ekspor

sebesar 72,9%.¹ Adapun minyak inti sawit untuk kebutuhan domestik masih digunakan sebagai minyak goreng dan *shortening*.

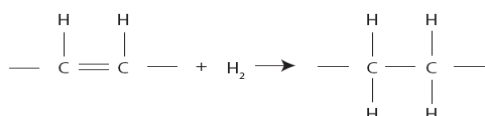
Minyak inti sawit mengandung asam laurat sekitar 44% dan baik digunakan sebagai bahan baku lemak konfeksioneri yang disebut sebagai *cocoa butter substitute* (CBS).² CBS dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan

cokelat *compound* karena memiliki karakteristik yang mirip dengan *cocoa butter*, tetapi berbeda secara kimia. Tahun 2006, *Food and Drug Administration* telah menetapkan pelabelan makanan di Amerika Serikat. Pada pelabelan tersebut harus mencantumkan kandungan lemak trans. Hal ini menyebabkan peningkatan kesadaran konsumen atas bahaya lemak trans.³

Pembuatan CBS dari minyak inti sawit dapat dilakukan dengan cara fraksinasi dan hidrogenasi. Calliauw⁴ melakukan fraksinasi dengan dua tahapan menghasilkan fraksi stearin dengan rendemen berkisar 29%. Proses hidrogenasi umumnya menggunakan katalis nikel karena lebih aktif, dapat digunakan berulang-ulang, selektif, lebih mudah dipisahkan dengan cara filtrasi dan konsisten dari *batch* ke *batch*.^{5,6} Selain itu, rendemen CBS yang dihasilkan relatif lebih tinggi dibandingkan fraksinasi.

Hidrogenasi bertujuan untuk meningkatkan plastisitas, stabilitas oksidasi, dan merubah warna dari minyak.⁷ Produk yang dihasilkan akan mengandung asam lemak jenuh namun menimbulkan asam lemak trans, bau, dan *flavour*.⁸ Hal ini disebabkan oleh proses hidrogenasi menggunakan suhu tinggi dari 140°–230°C. Bau dan rasa dapat dihilangkan dengan proses rafinasi, namun lemak trans sangat sulit dihilangkan bahkan dapat menimbulkan penyakit kardiovaskuler.^{9,10}

Peningkatan jumlah katalis menyebabkan permukaan nikel menangkap molekul hidrogen relatif lebih banyak begitu juga dengan tekanan. Peningkatan ini menyebabkan proses menjadi lebih selektif dan laju reaksi semakin cepat. Pada proses tersebut ikatan rangkap dua akan bermigrasi ke atom karbon dalam waktu yang cepat. Mekanisme reaksi hidrogenasi pada molekul diena ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Reaksi Hidrogenasi¹¹

Pembentukan lemak trans pada proses hidrogenasi dipengaruhi oleh suhu, tekanan hidrogen, tipe dan jenis katalis, desain reaktor dan jenis serta mutu minyak yang digunakan.¹² Hidrogenasi elektrolitik pada suhu rendah

merupakan cara alternatif untuk menghasilkan produk rendah lemak trans.¹³

Cousins¹⁴ menyatakan bahwa peningkatan suhu akan mempercepat laju reaksi hidrogenasi. Adapun dalam penelitian ini suhu merupakan variabel tetap sementara tekanan, katalis, dan waktu adalah variabel bebas. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kondisi optimum hidrogenasi minyak inti sawit dalam pembuatan CBS bebas asam lemak trans.

METODOLOGI

Minyak inti sawit terafinasi (bilangan iodin 17,8) diperoleh dari PT Wilmar Internasional, katalis Nikel Nysosel 222 dari Engelhard De Meen, dan gas hidrogen dari PT Tri Gases.

Hidrogenasi dilakukan dalam bejana bertekanan kapasitas 4 L yang didesain oleh Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Pada setiap perlakuan, minyak inti sawit yang digunakan sebanyak 1.500 g dan dicampurkan dengan katalis nikel. Suhu yang digunakan adalah 160°C dan kecepatan stirer pada 500 rpm.

Udara dan air dihilangkan dengan cara memasukkan gas hidrogen dan membuangnya melalui *safety valve* dan dilakukan dua hingga tiga kali sebelum hidrogenasi. Tekanan yang digunakan adalah 100, 150, dan 200 Psi, katalis yang digunakan 0,05%, 0,1%, dan 0,25% serta sampel diambil setiap 1, 2, 3, 4, dan 5 jam. Sampel disaring pada suhu 60–65°C menggunakan kertas saring Whatman No. 42 dan digunakan untuk penentuan karakteristiknya.

Parameter analisis bahan baku dan CBS adalah kandungan asam lemak trans, asam stearat, bilangan iodin, titik leleh, dan kandungan lemak padat. Metode analisis yang digunakan mengacu kepada *AOCS Official Method*,¹⁵ dan *MPOB Test Method*,¹⁶ Komposisi asam lemak dianalisis menggunakan kromatografi gas (GC). Kondisi GC adalah suhu detektor 260°C, suhu injektor 260°C, suhu kolom 70°C–220°C pada kecepatan 20°C/menit. Kolom yang digunakan adalah *DB 23 J&W Scientific*.

Desain yang digunakan adalah Rancangan Acak Kelompok. Pengaruh tekanan, katalis, dan waktu reaksi ditentukan dengan ANOVA menggunakan *software* SPSS 17.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses hidrogenasi merubah sifat plastis minyak ditandai dengan meningkatnya asam lemak jenuh.^{17,18} Hal yang sama ditunjukkan pada Gambar 3, 4, 5, dan 6 dalam penelitian ini yaitu meningkatnya asam stearat, titik leleh, kandungan lemak padat, dan menurunnya bilangan iodin.

Tabel 1 menunjukkan uji *Least Significant Difference* (LSD) pada variasi perlakuan terhadap kandungan asam lemak trans, asam stearat, titik leleh, bilangan iodin, dan kandungan lemak padat pada suhu 40°C. Faktor yang memengaruhi secara nyata pada proses hidrogenasi dalam penelitian ini adalah katalis dan waktu, sedangkan tekanan berpengaruh namun tidak nyata.

Jonas¹⁹ menyatakan bahwa pengaruh konsentrasi hidrogen tidak termasuk dalam model kinetika hidrogenasi walaupun dijaga konstan. Kelarutan hidrogen diasumsikan tidak berubah selama reaksi terjadi sehingga tekanan hidrogen yang divariasikan tidak memberikan pengaruh terhadap karakteristik CBS.

Tabel 1 juga menunjukkan persentase katalis 0,05% berbeda nyata terhadap 0,1% dan 0,25%. Namun, perbandingan antara konsentrasi 0,1% dengan 0,25% atau sebaliknya memiliki pengaruh yang sama. Dari data juga menunjukkan bahwa waktu 1 jam berbeda nyata pada 2, 3, 4, dan 5 jam. Sementara itu, perbandingan waktu 2, 3, 4, dan 5 tidak berbeda nyata.

Komposisi Asam Lemak Trans dan Stearat

Pembentukan asam lemak trans terjadi karena masuknya molekul hidrogen ke dalam molekul diena (ikatan rangkap dua) pada posisi yang berseberangan.^{7,10,20} Sumber diena dalam minyak inti sawit adalah asam oleat dan linoleat masing-masing sebesar 13,36% dan 2,02% (Tabel 2).

Gambar 3 menunjukkan komposisi asam lemak trans dan asam stearat pada tekanan 100–150 Psi dan katalis 0,05–0,25%. Peningkatan tekanan, jumlah katalis, dan waktu reaksi akan meningkatkan kandungan asam stearat dan menurunkan asam lemak trans bahkan nol (0). Hal ini disebabkan oleh seluruh molekul diena yang dikandung oleh C18:1 trans terkonversi menjadi asam stearat.

Gambar 3 menunjukkan kondisi 150 Psi; 0,25% dan 200 Psi; 0,25% memiliki asam lemak trans dan asam stearat yang hampir sama. Artinya, kedua perlakuan tersebut tidak berbeda nyata. Asam lemak trans meningkat pada kondisi 100 Psi; 0,05%; 2 jam dan 150 Psi; 0,05%; 3 jam. Hal ini disebabkan pada waktu reaksi tersebut, minyak inti sawit mengandung asam oleat (C18:1) dalam bentuk cis terkonversi menjadi C18:1 trans, namun setelah peningkatan waktu C18:1 trans tersebut terkonversi menjadi asam stearat. Pada tekanan 150 Psi; katalis 0,1% pada waktu 3 jam memberikan kandungan lemak trans dan asam stearat masing-masing 0 (nol) dan 16,36% (lihat tanda panah).

Bilangan Iodin

Penurunan bilangan iodin terjadi apabila molekul hidrogen termigrasi ke dalam karbon sehingga menyebabkan asam lemak menjadi jenuh. Gambar 4 menunjukkan bilangan iodin menurun hingga 0,21 pada suhu 160°C sementara minyak inti sawit memiliki bilangan iodin 17,8 (Tabel 2).

Penurunan bilangan iodin pada setiap tekanan dipengaruhi oleh jumlah katalis yang digunakan. Peningkatan tekanan dari 100 ke 150 Psi pada katalis 0,05% dan 0,25% tidak memberikan pengaruh pada perubahan bilangan iodin. Namun, pada penggunaan katalis 0,1% memberikan bilangan iodin lebih rendah.

Perubahan bilangan iodin dipengaruhi oleh waktu. Pada waktu 1 jam dan 2 jam bilangan iodin masih dapat diturunkan dengan memperpanjang waktu hingga 3 jam. Pada waktu tersebut bilangan iodin tidak lagi mengalami penurunan (konstan) sebesar 0,21. Hal ini disebabkan oleh molekul diena sudah mengikat atom hidrogen yang dibuktikan dengan nilai asam lemak trans adalah nol (0) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Titik Leleh

Peningkatan titik leleh terjadi dengan meningkatnya tekanan dan jumlah katalis serta waktu reaksi. Gambar 5 menunjukkan tren peningkatan titik leleh. Pada kondisi 150 Psi; 0,1%, 150 Psi; 0,25%, dan 200 Psi; 0,25% peningkatan titik leleh tidak signifikan. Hal ini disebabkan pada waktu 1 jam titik leleh CBS sudah tinggi berkisar

Tabel 1. Pengaruh Tekanan, Persentase Katalis dan Waktu Reaksi terhadap Asam Lemak Trans, Asam Stearat, Titik Leleh, Bilangan Iodin, Kandungan Lemak Padat CBS

Tekanan, Psi		Mean (A-B)					Waktu, jam		Mean (A-B)					
		ALT	AS	TL	BI	SFC (N40)			ALT	AS	TL	BI	SFC (N40)	
A	B													
100	150	-0,082	-0,773	-0,760	0,265	-0,527	1	2	0,910*	-2,780*	-2,400*	2,730*	-0,894*	
	200	0,031	-1,073	-0,693	0,641	-1,739*		3	1,274*	-4,363*	-0,482*	3,581*	-1,900*	
150	100	0,082	0,773	0,760	-0,265	0,527		4	1,673*	-5,284*	-5,444*	4,106*	-2,161*	
	200	0,113	-0,301	0,067	0,377	-1,213*		5	1,950*	-5,524*	-6,889*	4,387*	-2,547*	
200	10	-0,031	1,073	0,693	-0,641	1,739*		2	1	-0,910*	2,780*	2,400*	-2,730*	0,894*
	150	-0,113	0,301	-0,067	0,377	1,213*			3	0,364	-1,583*	-2,422*	0,851	-1,006*
Katalis, %														
0,05	0,1	2,066*	-3,705*	-3,693*	3,421*	-2,171*	4		0,763	-2,504*	-3,044*	1,376	-1,267*	
	0,25	2,381*	-5,519*	-5,680*	3,855*	-3,778*	5		1,044*	-2,744*	-4,489*	1,657*	-1,652*	
0,1	0,05	-2,066*	3,705*	3,693*	-3,421*	2,171*	3		1	-1,274*	4,363*	4,822*	-3,581*	1,900*
	0,25	0,315	-1,815*	-0,987*	0,435*	-1,607*		2	-0,364	1,583*	2,422*	-0,851	1,006*	
0,25	0,05	-2,381*	5,519*	5,680*	-3,855*	3,778*		4	0,399	-0,921	-0,622	0,524	-0,261*	
	0,1	-0,315	1,815*	1,987*	-0,435	1,607*		5	0,766	-1,161	-2,067	0,806	-0,647*	
4	1	-1,673*	5,284*	5,444*	-4,106*	2,161*		4	1	-1,673*	5,284*	5,444*	-4,106*	2,161*
	2	-0,763	2,504*	3,044*	-1,376	1,267*			2	-0,763	2,504*	3,044*	-1,376	1,267*
	3	-0,399	0,921	0,622	-0,524	0,261	3		-0,399	0,921	0,622	-0,524	0,261	
	5	0,277	-0,240	-1,444	0,281	-0,386	5		0,277	-0,240	-1,444	0,281	-0,386	
5	1	-1,950*	5,524*	6,889*	-4,387*	2,545*	5	1	-1,950*	5,524*	6,889*	-4,387*	2,545*	
	2	-1,040*	2,744*	4,449*	-1,257*	1,652*		2	-1,040*	2,744*	4,449*	-1,257*	1,652*	
	3	-0,676	1,161	2,067	-0,806	0,647		3	-0,676	1,161	2,067	-0,806	0,647	
	4	-0,277	0,240	1,444	-2,811	0,386		4	-0,277	0,240	1,444	-2,811	0,386	

Keterangan : ALT = asam lemak trans, AS = asam stearat, TL = titik leleh, BI = bilangan iodin, SFC = kandungan lemak padat pada suhu 40°C, * berbeda nyata pada taraf 5% pada uji LSD

36–38°C sehingga peningkatan waktu titik leleh hanya sedikit.

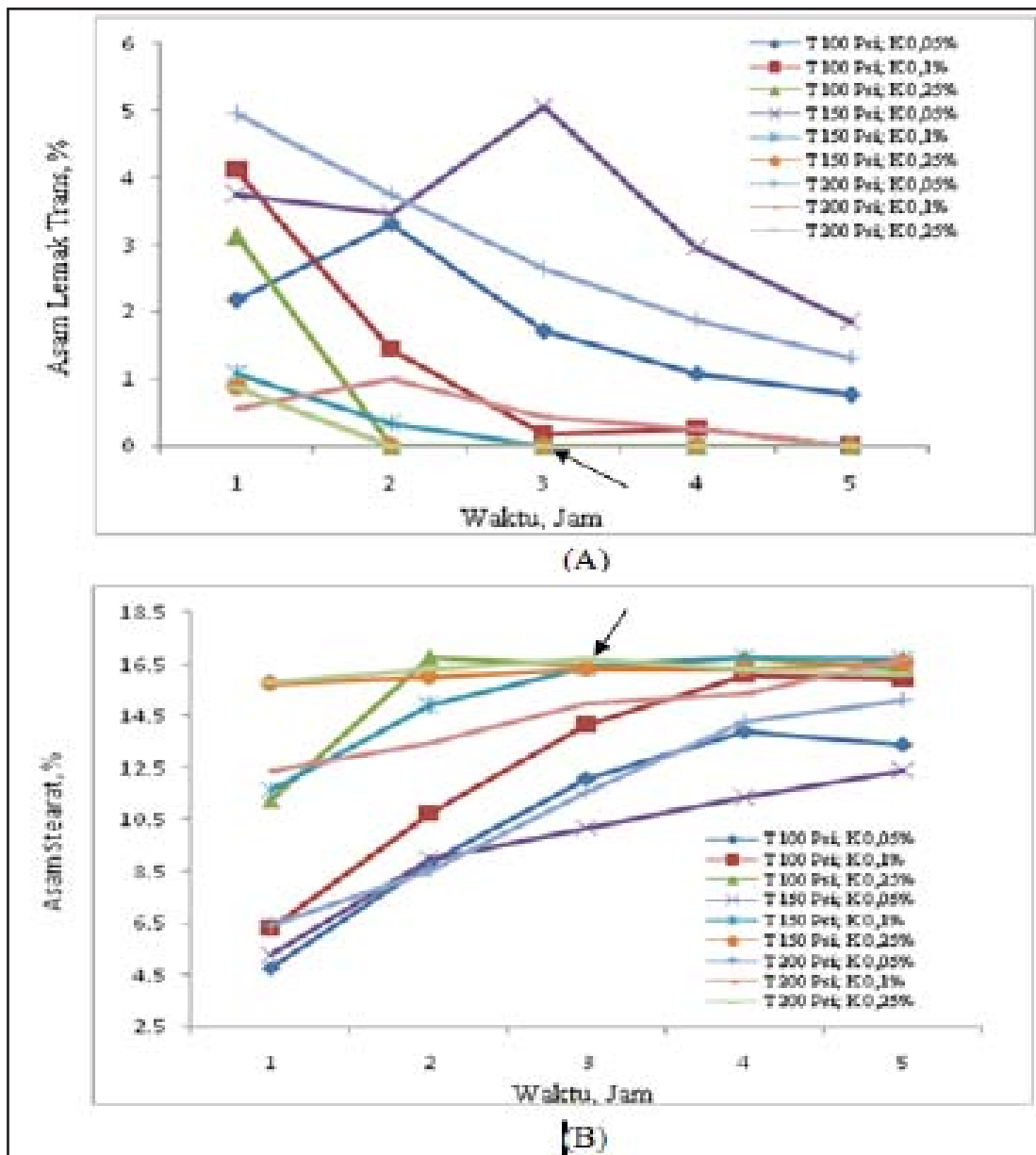
Kandungan lemak padat

Kandungan lemak padat atau *solid fat content* (SFC) merupakan banyaknya lemak padat di dalam minyak dan lemak pada suhu tertentu. Kandungan lemak padat pada suhu 40°C dari proses hidrogenasi ditunjukkan pada Gambar 6.

Gambar 6 memperlihatkan seluruh kondisi proses menghasilkan CBS dengan kandungan lemak padat yang meningkat. Peningkatan

kandungan lemak padat disebabkan oleh meningkatnya asam lemak jenuh dalam hal ini adalah asam stearat. Kandungan lemak padat memiliki korelasi dengan bilangan iodin dan titik leleh. Semakin rendah bilangan iodin dan semakin tinggi titik leleh maka kandungan lemak padat akan semakin tinggi pula.

Gambar 6 menunjukkan semakin tinggi tekanan dan jumlah katalis menghasilkan CBS dengan kandungan lemak padat pada suhu 40°C yang lebih tinggi. Profil peningkatan kandungan lemak padat hampir sama pada kondisi 150 Psi;



Gambar 3. Pengaruh waktu reaksi terhadap komposisi asam lemak trans (A) dan asam stearat (B) pada hidrogenasi minyak inti sawit pada suhu 160°C dan agitasi 500 rpm.

0,25% dan 200 Psi; 0,1%, sehingga disimpulkan pada kondisi tersebut hidrogen yang masuk ke dalam atom karbon dalam jumlah yang sama. Pada kondisi 150 Psi; 0,1% dan 3 jam dihasilkan CBS dengan kandungan lemak padat pada suhu 40°C sebesar 3,08%.

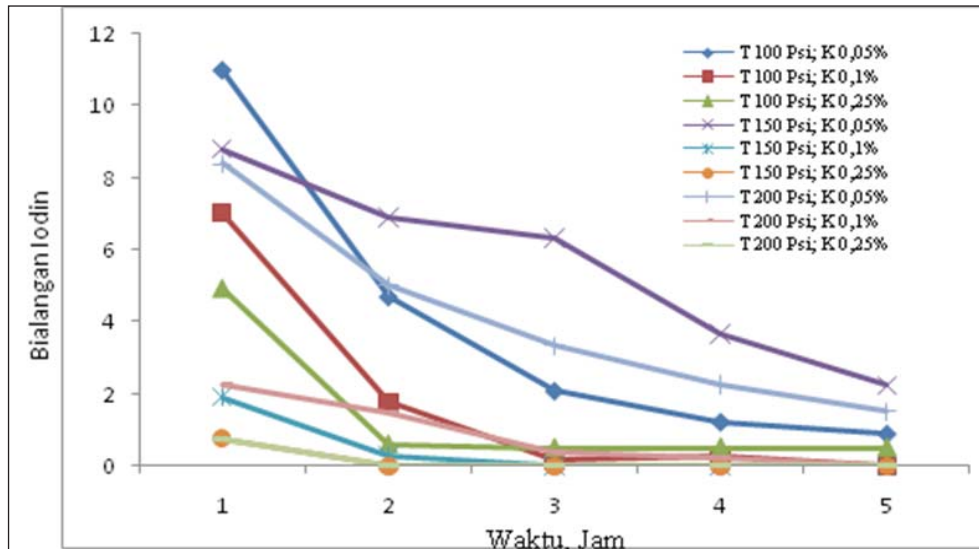
Karakteristik *Cocoa Butter Substitute*

Kondisi yang terbaik untuk menghasilkan CBS bebas asam lemak trans yaitu tekanan 150 Psi, katalis 0,1% dan waktu 3 jam. Pada kondisi tersebut CBS yang dihasilkan memiliki karak-

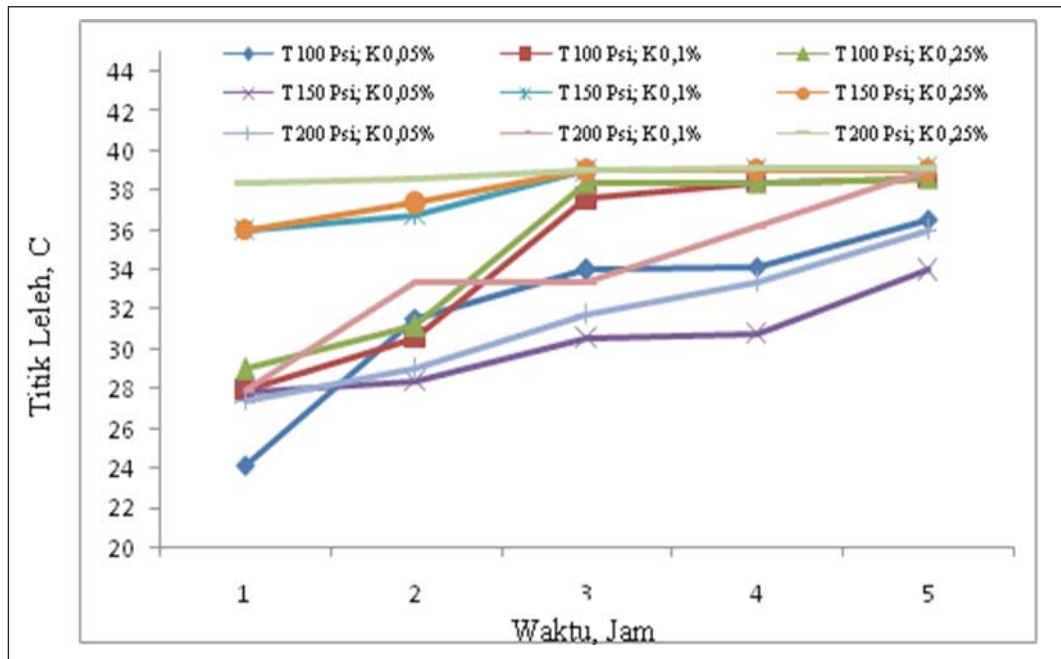
teristik yang ditunjukkan pada Tabel 2. CBS yang dihasilkan tidak mengandung asam lemak trans. Asam linoleat dan oleat terkonversi sempurna membentuk asam stearat. Proses hidrogenasi yang dilakukan dengan kondisi di atas merupakan hidrogenasi total atau sempurna.^{2,7,11}

KESIMPULAN

Proses hidrogenasi minyak inti sawit dapat digunakan untuk menghasilkan CBS. Proses hidrogenasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah tekanan, katalis, suhu, dan



Gambar 4. Pengaruh waktu reaksi terhadap bilangan iodin pada hidrogenasi minyak inti sawit terafinasi pada suhu 160°C dan agitasi 500 rpm.

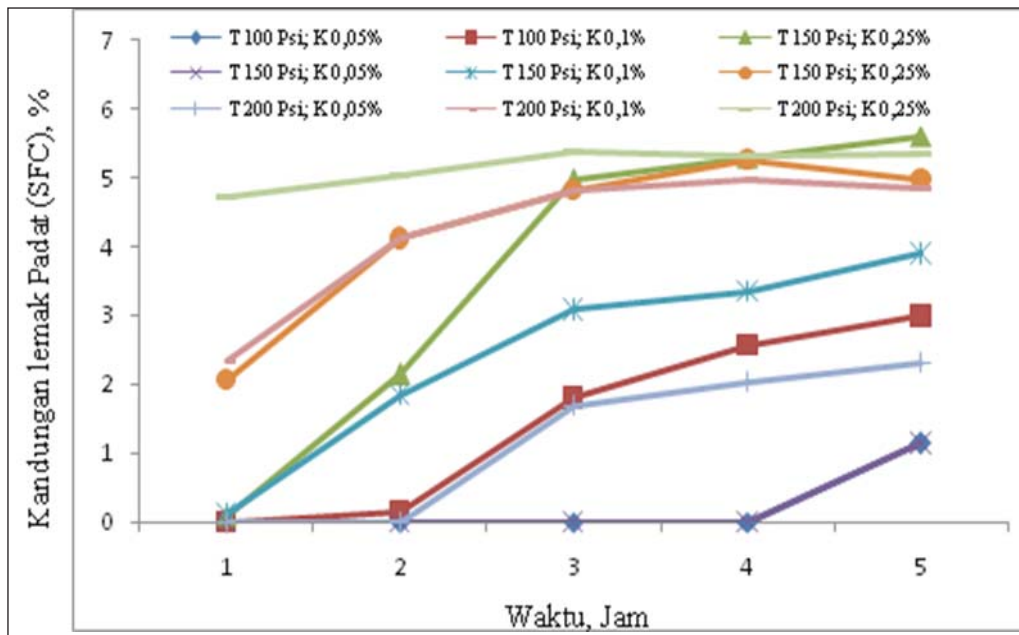


Gambar 5. Pengaruh waktu reaksi terhadap titik leleh pada hidrogenasi minyak inti sawit terafinasi pada suhu 160°C dan agitasi 500 rpm.

waktu reaksi. Kondisi optimum pembuatan CBS bebas lemak trans dari minyak inti sawit adalah tekanan 150 Psi, katalis 0,1%, waktu reaksi 3 jam, dan suhu 160°C. CBS dapat dimanfaatkan sebagai bahan untuk menggantikan lemak coklat (*cocoa butter*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Pusat Penelitian Kelapa Sawit yang telah membiayai penelitian ini melalui anggaran rutin tahun 2010. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada teknisi Kelompok Peneliti Pengolahan Hasil dan Mutu, di antaranya Warnoto, Ijah, Alida, dan Magindrin.



Gambar 6. Pengaruh waktu reaksi terhadap kandungian lemak padat (SFC) pada 40°C pada hidrogenasi minyak inti sawit terafinasi pada suhu 160°C dan agitasi 500 rpm.

Tabel 2. Karakteristik Minyak Inti Sawit dan Produk CBS

Parameter	MIS	CBS	Parameter	MIS	CBS
Titik Leleh, C	26,0	39,0	Kandungian lemak Padat, %		
Bilangan Iodin	17,8	0,21	10	62,6	86,47
Komposisi Asam Lemak, %			20	35,96	66,86
C6:0	0,28	0,38	25	7,49	41,99
C8:0	5,12	5,74	30	0,14	16,72
C10:0	4,48	4,69	35	0	7,54
C12:0	47,4	47,78	40	0	3,08
C14:0	15,96	15,77			
C16:0	9,4	9,21			
C18:0	1,58	16,36			
C18:1 trans	0	0			
C18:1 cis	13,36	0			
C18:2 trans	0	0			
C18:2 cis	2,02	0			

Keterangan : MIS = minyak inti sawit, CBS = *cocoa butter substitute*

DAFTAR PUSTAKA

- ¹ Anonim. 2009. *Oil World 2008*. ISTA Mielke GmbH. (<http://www.oilworld.biz/>, diakses 12 Januari 2009)
- ² Hasibuan, A.H., D. Siahaan, M. Rivani, dan F. Panjaitan. 2008. Minyak Sawit dan Minyak Inti Sawit Sebagai Bahan Baku Formulasi Plastic Fat dan Specialty Fat. *Prosiding Pertemuan Teknis Kelapa Sawit*. Jakarta
- ³ Anonim. 2004. ADM Chooses a Trouble Free Process for trans free fats. *Oil Mill Gazetteer*, 109.

- ⁴ Calliauw, G., I. Foubert, W.D. Greyt, and P. Dijckmans. 2005. Production of Cocoa Butter Substitute via Two-Stage Fractionation of Palm Kernel Oil. *JAOCs*, 82 (11): 783–790
- ⁵ Allen, R.R. 1978. Principles and Catalyst for Hydrogenation of Fats and Oils. *JAOCs*, 792–796
- ⁶ Mukherjee, K.D., I. Kiewitt, and M. Kiewitt. 1975. Stationery Catalyst for the Continuous Hydrogenation of Fats. *JAOCs*, 52: 282–289
- ⁷ O'Brien, R.D. 2004. *Fats and Oils, Formulating and Processing for Application*. Lancaster: Technomic Publishing Co. Inc. pp. 437–458
- ⁸ 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*, 77 (10): 1113–1118
- ⁹ Zock, P.L., R.A.M.T. Blijlevens, J.H.M. de Vries, and M.B. Katan. 1993. Effects of stearic acid and trans fatty acid versus linoleic acid on blood pressure in normotensive women and men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 47: 437–444
- ¹⁰ Ojieh, G.C., G.O. Idokpesi, G.O. Eidangbe, K. Omege, and O.M. Oluba. 2009. Hydrogenation impairs the hypolipidemic and antioxidant effects of palm oil in rats. *International Journal of Physical Sciences*, 4(7): 407–411
- ¹¹ Teledyne Isco. 2008. *Catalytic Hydrogenation Using Teledyne Isco Syringe Pumps*. A Teledyne Technologies Company
- ¹² Grothues, B.G.M. 1985. Hydrogenation of Palm and Lauric Oils. *JAOCs*, 62 (2): 390–395
- ¹³ 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*, 1: 22–31
- ¹⁴ Cousins, E.R. 1962. Hydrogenation of Fats and Oils during Hydrogenation I Isomerization. *JAOCs*, 40: 206–211
- ¹⁵ AOCS. 1989. *Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society*, 4th ed. Champaign, IL: American Oil Chemists' Society.
- ¹⁶ MPOB. 2005. *MPOB Test Method: A Compendium of Test on Palm Oil Products, Palm Kernel Products, Fatty Acids, Food Related Products and Others*. Malaysia
- ¹⁷ Hasman, J.M. 1979a. Hydrogenation of Glycerides Oils. *United States Patent*. No. 4,158,665
- ¹⁸ Hasman, J.M. 1979b. Hydrogenation of Unrefined Glyceride Oils. *United States Patent*. No. 4,169,844
- ¹⁹ Edvardsson, J., P. Rautanen, A. Littorina, and M. Larssona. 2001. Deactivation and Coke Formation on Palladium and Platinum Catalysts in Vegetable Oil Hydrogenation. *JAOCs*, 78 (3): 319–327
- ²⁰ 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