

SIFAT FISIK MINYAK SAWIT KASAR DAN KORELASINYA DENGAN ATRIBUT MUTU

[Physical Properties of Crude Palm Oil and Their Correlations to the Quality Attributes]

Nur Wulandari^{1,2)*}, Tien R. Muchtadi¹⁾, Slamet Budijanto¹⁾, dan Sugiyono¹⁾

¹⁾Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

²⁾South East Asian Food and Agricultural Science and Technology (SEAFAST) Center, LPPM, Institut Pertanian Bogor

Diterima 12 Agustus 2011 / Disetujui 29 November 2011

ABSTRACT

Indonesia is the largest producer and exporter of crude palm oil (CPO) in the world. Process engineering applications of CPO during handling, transporting, and processing, need baseline data related to CPO's physical properties. This research was aimed to obtain baseline data about physical properties of CPO and to study the correlation between CPO's quality attributes to their physical property parameters. Study on physical property and quality of CPO was conducted to five CPO samples from different CPO's producers. Those samples had variations on physical property parameters and quality attributes. Some physical property parameters of CPO were depended on the temperature of measurements. CPO samples showed non-Newtonian pseudoplastic behaviour at 25°C with various flow behaviour index (n) and consistency index (K), other wise at 55°C all CPO samples showed Newtonian behaviour. There were good correlations between quality attributes of CPO to their physical property parameters at 25°C, including correlations between free fatty acid contents of CPO and the temperatures of crystallization, as well as between iodine values and the rheological properties of CPO.

Key words: palm oil, quality, physical property, rheology

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen minyak sawit terbesar di dunia. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan, Departemen Pertanian RI (2010), produksi minyak sawit kasar (*crude palm oil* atau CPO) Indonesia tahun 2010 sekitar 19,76 juta ton, yang sebagian besar di antaranya diekspor ke luar negeri. Dengan sedemikian besarnya volume produksi dan ekspor CPO Indonesia, maka upaya peningkatan efisiensi produksi serta penanganannya perlu terus dilakukan, antara lain melalui penerapan prinsip-prinsip rekayasa proses (*process engineering*) yang harus ditunjang dengan data dasar yang lengkap terkait dengan parameter sifat fisik dan mutunya.

Beberapa parameter sifat fisik yang mendasari rekayasa proses penanganan dan pengolahan CPO antara lain densitas, kandungan lemak padat (*solid fat content* atau SFC), sifat reologi, serta titik kristalisasi dan titik leleh CPO. Khususnya untuk sifat reologi dan kristalisasi, sangat penting artinya di dalam desain sistem pengaliran dan pemompaan CPO melalui pipa, serta pada sistem penyimpanan dan tahap proses fraksinasi. Penelitian yang terkait dengan sifat fisik minyak sawit khususnya sifat reologi dan kristalisasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain Graef *et al.* (2008, 2009); Braipson-Danthine dan Gibon (2007); Calliaw *et al.* (2007); serta Tarabukina *et al.* (2009) terhadap sampel minyak sawit yang telah mengalami pemurnian (*refined bleached deodorized palm oil* atau RBDPO). Saat ini belum ada penelitian yang secara khusus mempelajari sifat reologi dan kristalisasi CPO, sehingga

kajian yang fokus pada sampel CPO untuk menemukan karakter reologi dan kristalisasinya perlu dilakukan.

CPO memiliki karakteristik kimia yang istimewa bila dibandingkan dengan jenis lemak nabati lainnya. Menurut Basiron (2005), CPO mengandung *triacyl glycerol* (TAG) yang memiliki titik leleh yang bervariasi, dengan komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuh yang hampir seimbang. Pada suhu tertentu, akan terjadi pemisahan fraksi pada minyak sawit akibat perbedaan titik leleh komponen asam-asam lemak penyusunnya. CPO dapat terpisah menjadi fraksi yang tetap cair karena memiliki titik leleh yang tinggi (disebut fraksi olein) dan fraksi yang memadat (membeku) karena memiliki titik leleh yang rendah (disebut fraksi stearin).

Karakteristik kimia CPO tersebut diduga berkaitan erat dengan sifat fisik yang dimilikinya, sehingga akan berpengaruh pula terhadap teknik penanganan dan pengolahan CPO selanjutnya. Selama ini, pengujian sifat fisik CPO di lapangan masih menghadapi beberapa kendala teknis antara lain ketersediaan dan keterbatasan instrumen analisis, serta waktu pelaksanaan analisis sifat fisik yang cukup panjang. Dalam penelitian ini diajukan hipotesis bahwa terdapat korelasi antara parameter sifat fisik dengan atribut mutu CPO, sehingga diharapkan dapat dihasilkan persamaan yang dapat digunakan untuk memprediksi parameter sifat fisik CPO berdasarkan atribut mutu yang dimilikinya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengumpulkan data dasar sifat fisik CPO yang berguna untuk menjadi dasar dalam pengembangan rekayasa proses selama penanganan, transportasi, dan pengolahan CPO. Melalui penelitian ini ingin diketahui pula korelasi antara parameter sifat fisik CPO dengan atribut mutunya.

*Korespondensi Penulis :
Email : wulandari_safardan@yahoo.com

METODOLOGI

Bahan dan alat

Bahan utama yang digunakan adalah sampel minyak sawit kasar (*crude palm oil* atau CPO) yang diproduksi oleh lima pabrik pengolah kelapa sawit di Indonesia yaitu PT Perkebunan Nusantara (PTPN) VIII, Banten; PTPN XIII, Kalimantan Barat; PT Wilmar International, Riau; PT Sinar Meadow International Indonesia, Jakarta; dan PT SMART, Jakarta. Lima sampel CPO tersebut dipergunakan untuk memberikan gambaran sifat fisik dan mutu CPO yang dihasilkan produsen CPO di Indonesia. Dalam penelitian ini juga digunakan bahan pendukung berupa bahan-bahan kimia *pro analyses* (p.a.) untuk analisis mutu CPO.

Peralatan utama yang digunakan adalah *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) *Analyzer* Bruker Minispec PC 100 untuk mengukur kandungan lemak padat (*solid fat content* atau SFC); Haake *Viscometer Rotovisco* RV20 (Karlsruhe, Jerman) untuk mengukur karakteristik reologi CPO; serta *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) tipe DSC-60 (Shimadzu Corp. Jepang) yang dikendalikan dengan *software Thermal Analysis System* TA-60WS untuk memperoleh *thermogram* dinamik pelelehan dan kristalisasi CPO. Selain itu digunakan piknometer, pompa vakum, penyaring *buchner*, oven pengering, dan peralatan gelas untuk analisis mutu CPO.

Metode

Pengumpulan data sifat fisik sampel CPO dilakukan pada dua suhu pengukuran yaitu suhu 25°C dan 55°C. Suhu 25°C merupakan suhu sesuai standar metode pengukuran yang juga menggambarkan kondisi suhu kamar, sedangkan suhu 55°C merupakan suhu proses pengisian tangki dan pengaliran CPO dalam pipa sesuai rekomendasi Codex Alimentarius Commission CAC/RCP 36 (CAC, 2005). Sifat fisik yang diukur pada dua suhu tersebut adalah SFC, densitas, dan sifat reologi CPO. Selain itu dilakukan pula penentuan titik kristalisasi (*crystallization temperature*, T_c) dan titik leleh (*melting temperature*, T_m) melalui analisis terhadap *thermogram* DSC dinamik pada kisaran suhu pengukuran sesuai prosedur standar. Analisis sifat fisik CPO tersebut masing-masing dilakukan dengan 2 ulangan. Densitas atau berat jenis CPO (g/cm^3) pada suhu pengukuran tertentu diukur mengikuti metode AOCS Cc 10a-25 (AOCS 2005) dengan mengukur massa sampel dalam piknometer bervolume 100 cm^3 yang telah dikalibrasi. Suhu sampel dipertahankan pada suhu pengukuran selama 30-35 menit untuk meyakinkan suhu yang seragam.

Nilai SFC CPO diukur berdasarkan metode IUPAC 2,150 ex 2,323 (IUPAC 1987) menggunakan instrumen NMR resolusi rendah (*low resolution nuclear magnetic resonance*). Sampel CPO diisi ke dalam tabung NMR setinggi $\pm 2,5\text{cm}$, kemudian dipanaskan pada suhu 80°C selama 30 menit agar meleleh sempurna untuk meyakinkan homogenitasnya. Sampel yang telah meleleh kemudian dipertahankan pada suhu 60°C selama 5 menit, dan selanjutnya sampel disimpan pada suhu 0°C selama 60 menit. Sebelum dilakukan pengukuran SFC, sampel dipertahankan dulu pada masing-masing suhu pengukurannya selama 30-35 menit.

Pengukuran sifat reologi CPO dilakukan menggunakan Haake *Viscometer Rotovisco* RV20 dengan sistem pengukuran M5 dan sistem sensor NV yang terdiri atas sebuah silinder koaksial dengan dua celah/*gap* (celah dalam=0,35 mm; celah luar=0,4 mm). Sebelumnya, dilakukan penyetimbangan suhu CPO pada suhu pengukuran selama 30-35 menit dengan *waterbath*. Suhu instrumen dikontrol oleh *thermocontroller* yang diatur melalui program *Rotoviscometer*. Setelah suhu tercapai, sampel CPO selanjutnya dikenai laju geser (*shear rate*) pada kisaran 0-400 s^{-1} , sehingga diperoleh data gaya geser (*shear stress*) pada suhu tersebut. Berdasarkan data hubungan *shear rate* dan *shear stress*, dapat ditentukan model fluida sampel CPO yang paling sesuai dengan parameter model fluida n (indeks tingkah laku aliran atau *flow behaviour index*) dan K (indeks konsistensi atau *consistency index*) tertentu. Berdasarkan model fluida yang diperoleh dapat ditentukan pula viskositas terukur sampel CPO pada *shear rate* 400 s^{-1} .

Thermogram entalpi CPO diukur dengan analisis kalorimetri dinamik menggunakan instrumen DSC sesuai prosedur Saberi *et al.* (2011). Sampel CPO dimasukkan sekitar 10 mg ke dalam *pan* aluminium yang ditutup hermetik. DSC dikalibrasi dengan Indium *proanalyses* (p.a.) bertitik leleh 156°C, dan digunakan pembanding berupa *pan* aluminium yang kosong. Pengukuran DSC dimulai pada sampel CPO bersuhu 25°C. Kurva eksotermik diperoleh dengan menahan sampel pada suhu 80°C selama 10 menit, yang dilanjutkan dengan pendinginan ke suhu -50°C pada laju pendinginan 5°C/menit. Untuk memperoleh kurva endotermik, sampel ditahan pada suhu -50°C selama 10 menit dan kemudian dipanaskan ke suhu 80°C pada laju pemanasan 5°C/menit. T_m ditentukan dari kurva pelelehan CPO (saat CPO dipanaskan) berdasarkan suhu ketika proses penyerapan entalpi pelelehan telah selesai, sedangkan T_c ditentukan dari kurva kristalisasi CPO (saat CPO didinginkan) berdasarkan suhu ketika proses pelepasan entalpi kristalisasi mulai terjadi.

Mutu lima sampel CPO dipelajari berdasarkan atribut mutu CPO menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-2901-2006 mengenai Minyak Kelapa Sawit Mentah. Atribut mutu yang dianalisis mencakup warna visual hingga kemerah-merahan, kadar air dan kotoran, kadar asam lemak bebas, dan bilangan iod. Kadar air ditentukan dengan metode oven, sedangkan kadar kotoran diukur dengan melakukan pencucian contoh uji hasil pengukuran kadar air menggunakan n-heksana. Data kadar air dan kotoran digabungkan menjadi atribut mutu kadar air dan kotoran, dengan prosedur analisis mutu CPO secara lengkap terdapat dalam dokumen SNI 01-2901-2006 (BSN 2006). Data mutu CPO sesuai SNI dan data sifat fisiknya selanjutnya ditentukan korelasinya dengan uji korelasi Pearson (*two tailed*) dan dilanjutkan dengan analisis regresi untuk parameter yang memiliki koefisien korelasi yang nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat fisik CPO

Sebagai dasar pengembangan rekayasa proses dalam sistem penanganan dan pengolahan CPO, data sifat fisik CPO beserta variasi parameter sifat fisik tersebut antar sampel perlu

diketahui. Data sifat fisik lima sampel CPO yang dikumpulkan dalam penelitian ini terutama yang terkait dengan parameter proses yang dialami CPO selama penanganan dan pengolahan, mencakup densitas, SFC, sifat reologi, serta titik kristalisasi dan titik leleh CPO yang diukur pada suhu 25°C (Tabel 1) dan 55°C (Tabel 2). Pembahasan lebih mendalam mengenai hasil pengujian sifat fisik disajikan pada bagian berikut ini.

Densitas CPO

Densitas CPO pada suhu 25°C (Tabel 1) berkisar antara 0,909-0,917 g/mL, sedangkan pada suhu 55°C (Tabel 2), nilai densitasnya menurun menjadi berkisar antara 0,888-0,892 g/mL. Bila dibandingkan dengan data densitas RBDPO pada suhu 50°C seperti yang disajikan oleh Ong *et al.* (1995) yaitu sebesar 0,891 g/mL, maka nilai densitas CPO yang dihasilkan dalam penelitian ini hampir sama. Ong *et al.* (1995) juga mengemukakan bahwa suhu berpengaruh pada densitas minyak sawit, dimana suhu yang semakin tinggi akan menurunkan nilai densitasnya.

Hasil pengujian ANOVA pada taraf uji 95% menunjukkan bahwa densitas kelima sampel CPO baik pada suhu 25°C maupun 55°C, tidak berbeda nyata antar sampel. Dengan demikian, walaupun pada beberapa parameter mutu dan sifat fisik CPO terdapat perbedaan yang nyata secara statistik (seperti dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2), hal tersebut ternyata tidak menyebabkan perbedaan yang nyata pada densitas CPO.

Kandungan lemak padat CPO

Kandungan lemak padat (SFC) ditentukan oleh jumlah asam lemak yang berada dalam fase padat pada suhu tertentu setelah melalui *tempering* suhu tertentu pula. Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa pada suhu pengukuran standar 25°C, SFC sampel CPO berkisar antara 14,55-20,16%. Pada suhu 55°C (Tabel 2), SFC sampel CPO menurun dibandingkan saat diukur pada suhu 25°C, dengan kisaran SFC 2,09-7,01%.

Hasil pengujian tersebut agak berbeda dengan data yang dikemukakan oleh Basiron (2005) untuk sampel RBDPO, dimana pada suhu 25°C, kisaran SFC adalah sebesar 6,5-18,5%, dan pada suhu di atas 45°C nilai SFC sudah sangat rendah yaitu rata-rata 0,7%. Diduga, proses pemurnian yang dialami oleh sampel RBDPO mempengaruhi nilai SFC-nya.

Penurunan SFC yang terjadi saat SFC diukur pada suhu 25°C dan 55°C terjadi karena pada suhu 55°C telah terjadi pelelehan pada hampir seluruh lemak yang semula merupakan fase padat menjadi fase cair. Hal ini sangat terkait dengan titik leleh (T_M) sampel CPO yang berdasarkan Tabel 1 bernilai rata-rata 39,2°C. Berdasarkan ANOVA pada taraf uji 95%, SFC kelima sampel CPO baik pada suhu 25°C maupun suhu 55°C nilainya berbeda nyata antar sampel. Khususnya untuk sampel CPO C, nilai SFC-nya pada suhu 25°C dan 55°C paling tinggi dibandingkan sampel CPO lain, yang diperkirakan disebabkan oleh tingginya kadar kotoran dalam sampel CPO C. Perbedaan nilai SFC pada lima sampel CPO tersebut menurut Basiron (2005) dipengaruhi oleh proses kristalisasi yang terjadi pada sampel yang ditentukan oleh komposisi kimianya yang berbeda.

Sifat reologi CPO

Sifat reologi suatu fluida dapat ditentukan melalui percobaan pengukuran pengaruh *shear rate* (laju geser) terhadap *shear stress* (gaya geser) sampel, dan menghasilkan kurva *rheogram* seperti dapat dilihat pada Gambar 1, seperti yang dijelaskan oleh Steffe dan Daubert (2006). Pada suhu standar 25°C, bentuk *rheogram* kelima sampel CPO adalah *concave upwards* (cekung ke atas) yang merupakan ciri dari fluida yang bersifat *non-newtonian pseudoplastic*. Pada *shear rate* yang meningkat, nilainya tidak berbanding lurus dengan kenaikan *shear stress*, dan menghasilkan viskositas terukur (μ) yang semakin rendah.

Tabel 1. Hasil analisis sifat fisik lima sampel CPO pada suhu 25°C

Sampel CPO	Parameter sifat fisik*						
	Densitas (ρ , g/mL)	Kandungan lemak padat (SFC, %)	Indeks tingkah laku aliran (n)	Indeks konsistensi aliran (K , Pa.s ⁿ)	Viskositas terukur pada 400 s ⁻¹ (μ , mPa.s)	Titik kristalisasi/ T_C (°C)	Titik leleh/ T_M (°C)
CPO A	0,909 ^a	16,64 ^b	0,534 ^b	2,519 ^b	153,3 ^c	23,55 ^a	38,52 ^a
CPO B	0,912 ^a	18,34 ^c	0,781 ^d	0,369 ^a	98,9 ^b	23,17 ^a	39,16 ^a
CPO C	0,917 ^a	20,16 ^d	0,457 ^a	4,530 ^c	174,5 ^c	22,47 ^a	39,78 ^a
CPO D	0,917 ^a	14,55 ^a	0,545 ^b	2,452 ^b	159,3 ^c	21,12 ^a	39,53 ^a
CPO E	0,916 ^a	17,23 ^{b,c}	0,673 ^c	0,380 ^a	53,6 ^a	23,28 ^a	39,19 ^a

Keterangan :

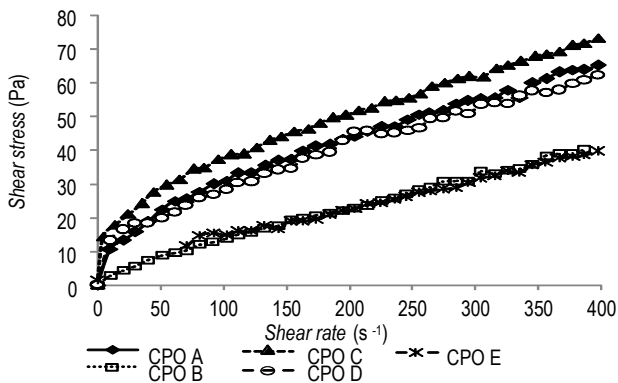
* Huruf yang berbeda di belakang angka pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji 95%

Tabel 2. Hasil analisis sifat fisik lima sampel CPO pada suhu 55°C

Sampel CPO	Parameter sifat fisik*					
	Densitas (ρ , g/mL)	Kandungan lemak padat (SFC, %)	Indeks tingkah laku aliran (n)	Indeks konsistensi aliran (K , Pa.s ⁿ)	Viskositas terukur pada 400 s ⁻¹ (μ , mPa.s)	
CPO A	0,891 ^a	4,66 ^b	0,987 ^a	0,027 ^a	25,0 ^a	
CPO B	0,888 ^a	4,37 ^b	0,968 ^a	0,027 ^a	22,2 ^a	
CPO C	0,892 ^a	7,01 ^c	0,936 ^a	0,031 ^a	21,1 ^a	
CPO D	0,890 ^a	4,06 ^b	1,004 ^a	0,026 ^a	25,7 ^a	
CPO E	0,891 ^a	2,09 ^a	0,948 ^a	0,030 ^a	22,0 ^a	

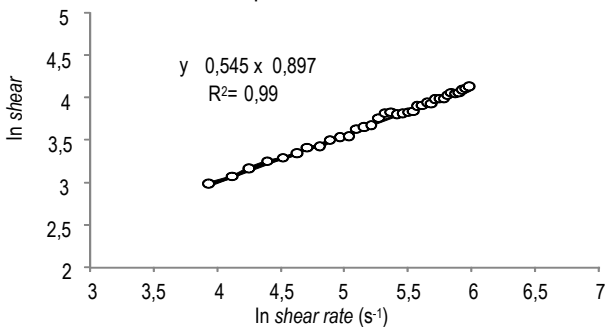
Keterangan :

* Huruf yang berbeda di belakang angka pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji 95%



Gambar 1. Hubungan shear rate dan shear stress atau kurva rheogram lima sampel CPO pada suhu 25°C

Bentuk rheogram antar sampel CPO berbeda dan dapat dikuantifikasi perbedaannya dengan menggunakan model fluida Power Law. Model Power Law menggunakan penyederhanaan model matematika dengan linierisasi hubungan antara shear rate dengan shear stress. Hubungan antara nilai ln shear rate dan ln shear stress berbentuk kurva yang linier yang dapat ditentukan slope serta intercept-nya, menghasilkan parameter model fluida Power Law berupa nilai n atau indeks tingkah laku aliran (flow behaviour index) dan nilai K atau indeks konsistensi (consistency index). Pada Gambar 2 dapat dilihat contoh penentuan nilai n dan K berdasarkan linierisasi hubungan shear rate dan shear stress sampel CPO.



Gambar 2. Hubungan ln shear rate dan ln shear stress sampel CPO dan penepatan model fluidanya

Hasil penentuan nilai n dan K pada suhu 25°C (Tabel 1) menunjukkan bahwa nilai n sampel CPO berkisar antara 0,457-0,781 sedangkan nilai K berada pada kisaran 0,369-4,530 Pa.sⁿ. Nilai $n < 1$ mengindikasikan CPO merupakan fluida yang bersifat non-newtonian pseudoplastic pada suhu 25°C. Berdasarkan Tabel 1 juga dapat diketahui bahwa nilai μ CPO pada suhu 25°C berkisar antara 53,6-174,5 mPa.s dimana variasi nilai μ tersebut sangat ditentukan oleh sifat fluida pseudoplastic sampel CPO yang memiliki kisaran nilai n dan K yang cukup lebar.

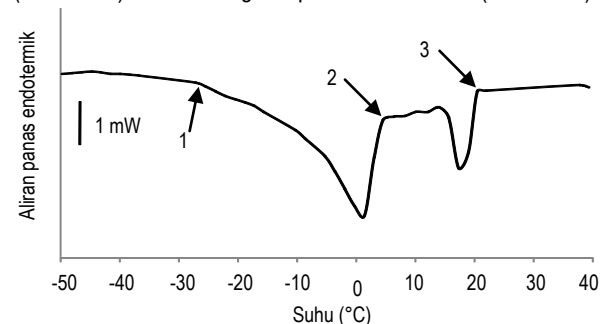
Bila dibandingkan dengan data pada suhu 25°C, pengukuran pada suhu 55°C (Tabel 2) menghasilkan nilai n sampel CPO yang meningkat menjadi 0,936-0,994, sedangkan nilai K menurun pada kisaran 0,027-0,031 Pa.sⁿ. Perubahan nilai n yang mendekati 1 dan nilai K yang mendekati 0 pada sampel CPO bersuhu 55°C, menunjukkan sifat fluida yang mendekati

sifat fluida newtonian, dimana terjadi hubungan linier antara shear stress dengan shear rate yang dihasilkan, dengan nilai μ yang relatif tetap. Pada suhu 55°C tersebut, nilai μ sampel CPO relatif tetap berkisar antara 21,1-26,1 mPa.s, jauh lebih rendah dibandingkan μ pada suhu 25°C. Sifat fluida non-newtonian pseudoplastic pada sampel CPO bersuhu 25°C diduga disebabkan adanya kandungan fraksi stearin berbentuk padat dalam CPO. Saat mengalami peningkatan suhu menjadi 55°C, fraksi stearin mengalami pelelehan sehingga CPO berada dalam fase cair sempurna, tidak mengalami hambatan pengaliran, dan menghasilkan sifat fluida newtonian. Menurut Ong et al. (1995), minyak menunjukkan sifat aliran fluida newtonian, namun terdapat indikasi sifat aliran turbulen non-newtonian pada RBDPO yang bersuhu di bawah 35°C.

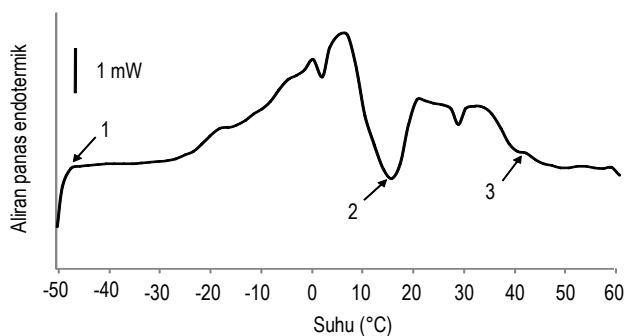
Berdasarkan pengujian ANOVA pada taraf uji 95%, nilai n , K , dan μ pada suhu 25°C dan shear rate 400 s⁻¹ berbeda nyata antar sampel CPO. Perbedaan sifat reologi kelima sampel CPO pada suhu 25°C tersebut, secara umum dapat menunjukkan adanya variasi sifat reologi dalam produk CPO yang dihasilkan produsen CPO di Indonesia. Hal tersebut akan berakibat pula pada perbedaan perhitungan teknik rekayasa proses dan penanganan CPO pada suhu tersebut. Hal yang berbeda dapat diamati pada suhu 55°C, dimana besaran parameter sifat reologinya menghasilkan kisaran nilai yang relatif sempit. Hasil pengujian ANOVA pada taraf uji 95% menunjukkan bahwa sampel CPO pada suhu 55°C, akan memiliki sifat fluida mendekati fluida newtonian, dengan nilai n , K , dan μ yang tidak berbeda nyata antar sampel. Timms (1985) mengemukakan bahwa viskositas minyak menurun sekitar 30% untuk setiap peningkatan suhu sebesar 10°C. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemanasan CPO ke suhu 55°C akan menghasilkan sifat fluida yang sama yaitu menjadi bersifat newtonian dengan nilai μ yang lebih rendah.

Titik kristalisasi dan titik leleh CPO

Salah satu sifat fisik empiris minyak dan lemak adalah titik kristalisasi dan titik leleh yang ditentukan berdasarkan profil entalpi selama kristalisasi dan pelelehan, yang digambarkan dengan thermogram hasil pengujian dengan Differential Scanning Calorimetry (DSC). Profil entalpi tipikal selama kristalisasi dan pelelehan sampel CPO (menampilkan data thermogram sampel CPO D) sebagai hasil pengujian DSC dinamik digambarkan dalam thermogram kristalisasi dinamik (Gambar 3) dan thermogram pelelehan dinamik (Gambar 4).



Gambar 3. Thermogram kristalisasi dinamik tipikal sampel CPO yang diperoleh dengan instrumen Differential Scanning Calorimetry



Gambar 4. *Thermogram* pelelehan dinamik tipikal sampel CPO yang diperoleh dengan instrumen *Differential Scanning Calorimetry*

Secara umum, *thermogram* kristalisasi yang mengalami pelepasan panas (proses eksotermik) memiliki bentuk yang lebih sederhana dibandingkan *thermogram* pelelehan yang mengalami penyerapan panas (proses endotermik). *Thermogram* kristalisasi hanya dipengaruhi oleh komposisi kimia minyak dan bukan oleh status kristalisasi, sehingga *thermogram* kristalisasi bentuknya lebih sederhana dibandingkan *thermogram* pelelehan (Tan dan Che Man, 2000).

Pada *thermogram* kristalisasi dan pelelehan tersebut, titik 1 sampai 2 merupakan *peak* kristalisasi dan pelelehan olein, sedangkan titik 2 sampai 3 menunjukkan *peak* kristalisasi dan pelelehan stearin. Menurut Chong *et al.* (2007), pada proses kristalisasi CPO dengan laju pendinginan lambat, terdapat dua *peak* eksotermik akibat kristalisasi fraksi bertitik leleh tinggi (stearin) dan fraksi bertitik leleh rendah (olein). Demikian juga yang diperoleh Saberi *et al.* (2011) pada *thermogram* kristalisasi RBDPO yang memiliki dua *peak* yang mewakili fraksi dengan titik leleh tinggi dan fraksi dengan titik leleh rendah. *Thermogram* kristalisasi kelima sampel CPO memiliki bentuk tipikal yang sesuai dengan *thermogram* sampel RBDPO hasil penelitian Tarabukina *et al.* (2009). Komposisi TAG CPO dan RBDPO secara umum tidak berbeda, karena pada kedua sampel tersebut belum dilakukan tahapan khusus untuk memisahkan fraksi-fraksi TAG dari sampel CPO maupun RBDPO. Suhu kristalisasi (*crystallization temperature, T_c*) adalah suhu saat mulai terjadinya pelepasan panas saat suhu diturunkan. Pada kelima sampel CPO yang dianalisis, nilai *T_c* berkisar pada suhu 21,08-24,86°C. Hasil yang hampir sama diperoleh Saberi *et al.* (2011) dengan sampel RBDPO yang memiliki *T_c* 21,16°C. Pada laju penurunan suhu 5°C seperti yang diterapkan dalam penelitian ini dan penelitian Tarabukina *et al.* (2009), kristalisasi tahap pertama dimulai pada suhu 22°C dan berakhir pada suhu 3°C, dengan *peak* maksimal pada suhu 18°C.

Titik leleh (*melting temperature, T_m*) CPO ditentukan dari suhu saat akhir kurva endotermik pelelehan. Berdasarkan *thermogram* DSC pelelehan dinamik diketahui bahwa *T_m* sampel CPO yang digunakan berkisar pada suhu 39,12-40,68°C. Pada suhu tersebut, sampel CPO telah mengalami pelelehan sempurna. Hasil pengujian Saberi *et al.* (2011) pada sampel RBDPO diperoleh *T_m* sebesar 42,5°C. Nilai *T_m* pada sampel RBDPO yang lebih tinggi dibandingkan CPO diduga terkait dengan proses pemurnian yang telah dialami RBDPO.

Kecenderungan terjadinya peningkatan titik leleh pada sampel RBDPO dibandingkan sampel CPO juga terjadi pada pengukuran *slip melting point* (SMP). Ong *et al.* (1995) mengemukakan suatu survei di Malaysia yang mendapatkan kisaran nilai SMP CPO antara 30,8-37,6°C, sedangkan nilai SMP RBDPO sedikit mengalami peningkatan menjadi 34,0-39,0°C.

Mutu CPO

Sampel CPO yang digunakan merupakan sampel yang baru dihasilkan pabrik pengolah CPO, serta belum mengalami proses transportasi dan penyimpanan dalam waktu yang lama. Sampel CPO dianalisis mutunya berdasarkan Standar Nasional Indonesia 01-2901-2006 tentang Minyak Kelapa Sawit Mentah (*Crude Palm Oil*), dengan data yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis mutu lima sampel CPO

Sampel CPO	Atribut mutu*			
	Warna	Kadar air dan kotoran (%)	Asam lemak bebas (%)	Bilangan iod (g iod/100 g sampel)
CPO A	Jingga kemerah-merahan	0,68 ^c	3,88 ^b	51,30 ^{a,b}
CPO B	Jingga kemerah-merahan	0,67 ^c	4,58 ^c	54,15 ^c
CPO C	Jingga kemerah-merahan	5,39 ^d	4,60 ^c	50,80 ^a
CPO D	Jingga kemerah-merahan	0,33 ^a	5,80 ^d	50,38 ^a
CPO E	Jingga kemerah-merahan	0,49 ^b	3,34 ^a	52,55 ^b

Keterangan :

*Huruf yang berbeda di belakang angka pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji 95%.

**Berdasarkan SNI 01-2901-2006 (BSN 2006), atribut mutu CPO: warna jingga kemerah-merahan, kadar air dan kotoran maksimal 0,5%, asam lemak bebas maksimal 0,5%, dan bilangan iod 50-55 g iod/100 g sampel.

Berdasarkan data tersebut dapat diketahui secara umum bahwa dari lima sampel CPO yang diuji, atribut mutu warna dan bilangan iod dapat dipenuhi. Pengujian dengan ANOVA pada taraf uji 95% menunjukkan perbedaan yang nyata antar sampel CPO pada atribut mutu kadar air dan kotoran, kadar asam lemak bebas (ALB), dan bilangan iod (BI). Warna sampel CPO adalah jingga kemerah-merahan, yang disebabkan oleh kandungan komponen pigmen karotenoid di dalamnya, yang menurut Basiron (2005) konsentrasinya berkisar antara 500-700 ppm. Secara visual intensitas warna jingga kemerah-merahan yang dimiliki setiap sampel CPO berbeda-beda, namun atribut mutu warna yang digunakan dalam SNI tidak membedakan intensitas warna jingga kemerah-merahan tersebut.

Pada atribut mutu kadar air dan kadar kotoran, hanya sampel CPO D dan E yang memenuhi persyaratan SNI dengan kadar total di bawah 0,5%. Kadar air yang rendah sangat penting untuk meminimalkan terjadinya reaksi hidrolisis lemak pada CPO saat penyimpanan dan transportasi (Hilder, 1997). Sampel CPO A dan CPO B mengandung kadar air dan kotoran sedikit lebih tinggi dibandingkan persyaratan SNI, akan tetapi untuk sampel CPO C, kadar air dan kotoran totalnya sangat tinggi, yaitu mencapai 5,39%. Bila ditelusuri lebih lanjut pada sampel CPO C, diperoleh data kadar air sebesar 0,55% dan

kadar kotoran sebesar 4,84%. Kadar kotoran sampel CPO C yang sangat tinggi dapat terlihat secara visual berupa partikel-partikel kotoran pasir dan kerak berwarna hitam. Tingginya kadar kotoran dapat disebabkan oleh kurang terjaganya kebersihan peralatan dan wadah yang kontak dengan sampel selama pengolahan dan penanganan CPO, seperti kotoran yang berasal dari pipa dan tangki truk pengangkut CPO.

Untuk atribut mutu kadar asam lemak bebas (ALB), tidak ada sampel CPO yang memenuhi persyaratan SNI 01-2901-2006 sebesar maksimal 0,5%. Bila dibandingkan dengan standar spesifikasi PORAM (*The Palm Oil Refiners Association of Malaysia*), standar kadar ALB maksimal untuk CPO dan produk turunannya yang belum dimurnikan adalah 5% (PORAM 2011). Selain itu, pada standar yang direvisi oleh SNI 01-2901-2006, yaitu SNI 01-2901-1992, dipersyaratkan kadar ALB maksimal dalam CPO sebesar 5%. Dengan demikian, khusus untuk atribut mutu ALB ini, perlu ditinjau kembali standar yang ditetapkan dalam SNI 01-2901-2006, karena selain tidak harmonis dengan standar negara lain, kelima sampel CPO yang dianalisis dalam penelitian ini juga tidak mampu memenuhi standar mutu ALB maksimal 0,5% tersebut. Bila menggunakan persyaratan maksimal ALB sebesar 5%, maka hampir seluruh sampel CPO dapat memenuhi persyaratan tersebut, kecuali sampel CPO D yang mengandung ALB sebesar 5,8%. Tingginya kandungan ALB dalam sampel CPO dapat dipengaruhi oleh kandungan ALB awal dalam sampel, kadar air, dan suhu selama penanganan dan transportasi (Hilder, 1997). Menurut Basiron (2005), bilangan iod (BI) CPO sekitar 53 mg/100g sampel yang ditentukan oleh kesetimbangan antara kandungan asam lemak jenuh dan tak jenuh di dalamnya. Diduga atribut mutu ini berkorelasi dengan sifat reologi CPO karena terkait langsung dengan fraksi asam lemak yang jenuh dan tak jenuh di dalam sampel CPO. Standar bilangan iod CPO menurut SNI 01-2901-1992 berada pada kisaran 50-55 g/100 g sampel, dan kelima sampel CPO yang diujikan memenuhi persyaratan tersebut.

Korelasi antara atribut mutu dengan parameter sifat fisik CPO

Basiron (2005) menyatakan bahwa struktur TAG dan posisi asam lemak di dalam minyak sawit sangat menentukan karakteristik fisik minyak sawit tersebut, yang menurut Chong *et al.* (2007) juga berpengaruh pada tahapan kristalisasinya. Pada aplikasinya di lapangan, pengujian sifat fisik CPO menghadapi beberapa kendala teknis, antara lain keterbatasan instrumen analisis, serta waktu pelaksanaan analisis sifat fisik yang cukup panjang. Dengan melakukan uji korelasi antara atribut mutu CPO sesuai SNI dengan sifat fisiknya, diharapkan dapat diperoleh persamaan untuk memprediksi parameter sifat fisik CPO berdasarkan atribut mutunya.

Berdasarkan pengujian korelasi Pearson (*two tailed*) antara atribut mutu dengan sifat fisik CPO (Tabel 4), terdapat korelasi yang nyata antara BI sampel CPO dengan *n* pada suhu 25°C (*n*₂₅), dan antara kadar ALB CPO dengan *T*_c. Antara parameter sifat reologi (*n*, *K* dan *μ*) juga terdapat korelasi yang nyata baik pada suhu 25°C maupun 55°C karena merepresentasikan sifat fisik yang sama. Tidak terdapat korelasi yang nyata antara atribut mutu CPO (kadar air dan kotoran, ALB, dan BI) terhadap

parameter sifat fisik CPO pada suhu 55°C. Hal itu terjadi karena sampel yang mengalami pemanasan ke suhu 55°C, akan mengalami pelelehan fraksi stearinnya sehingga menghasilkan parameter sifat fisik sampel CPO yang tidak berbeda nyata.

Berdasarkan hasil uji korelasi yang nyata pada taraf uji 95%, dilakukan penentuan persamaan regresi linier antara atribut mutu dengan sifat fisik CPO. Persamaan regresi linier yang dihasilkan dengan *R*² yang tinggi dapat dipergunakan untuk memprediksi parameter sifat fisik CPO dengan cukup baik melalui penggunaan data atribut mutu CPO. Terdapat dua persamaan regresi linier dengan nilai *R*² yang tinggi (*R*² ≥ 0,750), yaitu persamaan regresi linier yang menghubungkan antara ALB dengan *T*_c, serta persamaan regresi linier antara BI dan *n*₂₅.

Tabel 4. Korelasi dan persamaan regresi linier antara atribut mutu dengan parameter sifat fisik CPO

Atribut mutu	Parameter sifat fisik	Koefisien korelasi Pearson	Persamaan regresi linier	<i>R</i> ²
Asam lemak bebas (ALB)	Titik kristalisasi (<i>T</i> _c)	0,894*	<i>T</i> _c = -0,946 (ALB) + 26,91	0,799
Bilangan iod (BI)	Indeks tingkah laku aliran suhu 25°C (<i>n</i> ₂₅)	0,936*	<i>n</i> ₂₅ = 0,078 (BI) - 3,476	0,876

Keterangan :

* korelasi Pearson (*two-tailed*) nyata pada taraf uji 95%

Persamaan regresi linier pertama yang menghubungkan antara ALB dengan *T*_c adalah *T*_c - 0,946 (ALB) + 26,91 (*R*² = 0,799). Pada ALB yang semakin tinggi, *T*_c akan semakin rendah, dan hal itu sesuai dengan penelitian Siew dan Eng (1996) yang menyatakan bahwa adanya gliserida parsial lain seperti DAG (*di acyl glycerol*) dan MAG (*mono acyl glycerol*) dalam CPO, yang juga mengindikasikan kadar ALB yang lebih tinggi, akan mempengaruhi proses kristalisasi sampel CPO tersebut. Persamaan regresi linier yang menghubungkan antara BI dengan *n*₂₅, yaitu *n*₂₅ = 0,078 (BI) - 3,476 (*R*² = 0,876). BI berkorelasi dengan sifat reologi CPO karena menurut Basiron (2005), BI mengindikasikan derajat ketidakterjenuhan asam lemak yang terkandung dalam sampel CPO, dan terkait langsung dengan keberadaan fraksi padat dan cair di dalam sampel pada suhu 25°C, sehingga mempengaruhi sifat reologi CPO, khususnya pada indeks tingkah laku alirannya. Melalui penggunaan persamaan regresi linier yang dihasilkan dan data atribut mutunya, dapat diprediksi parameter sifat fisik CPO yang akan menentukan pula parameter rekayasa proses yang akan diterapkan pada sampel CPO tersebut. Parameter *T*_c (yang menentukan suhu saat kristalisasi CPO mulai berlangsung) dapat diprediksi berdasarkan kandungan ALB-nya, sedangkan parameter sifat fisik *n* (sebagai indeks penentu sifat reologi CPO) dapat diprediksi berdasarkan bilangan iodnya.

KESIMPULAN

Sifat fisik CPO kelima sampel yang diuji dipengaruhi oleh suhu pengukuran. Pada suhu 25°C, densitas CPO berkisar antara 0,909-0,917 g/mL, sedangkan kandungan lemak padat (*solid fat content* atau SFC) CPO berkisar antara 14,55-20,16%. CPO bersifat sebagai fluida *non-Newtonian pseudoplastic*,

dengan indeks tingkah laku aliran (n) 0,457-0,781, dan indeks konsistensi (K) 0,369-2,519 Pa.sⁿ.

Nilai parameter sifat fisik CPO pada suhu 25°C tersebut berbeda nyata antar sampel, kecuali untuk parameter densitas. Titik kristalisasi CPO berkisar antara 21,12-23,55°C, sedangkan titik leleh sampel CPO berkisar antara 38,52-39,78°C, yang keduanya memiliki nilai yang tidak berbeda nyata antar sampel. Pada suhu 55°C, terjadi perubahan sifat fisik CPO dibandingkan sifat fisiknya pada suhu 25°C, dimana densitas dan SFC CPO menurun berturut-turut menjadi berkisar antara 0,888-0,892 g/mL dan 2,09-7,01%. Sifat fluida CPO juga mengalami perubahan dengan nilai n sampel CPO meningkat menjadi 0,936-0,994, sedangkan nilai K menurun pada kisaran 0,027-0,031 Pa.sⁿ, yang menunjukkan sifat fluida mendekati fluida *Newtonian*. Nilai parameter sifat fisik CPO pada suhu 55°C tidak berbeda nyata antar sampel, kecuali untuk parameter SFC. Proses pemanasan dan peningkatan suhu sampel CPO ke 55°C menyebabkan sifat fisik CPO menjadi tidak berbeda nyata antar sampel. Diperoleh korelasi yang nyata antara beberapa atribut mutu CPO dengan parameter sifat fisiknya, dan terdapat dua persamaan regresi linier yang cukup baik untuk memprediksi parameter sifat fisik CPO melalui penggunaan data atribut mutunya. Persamaan regresi linear antara kadar asam lemak bebas (ALB) dengan suhu kristalisasi (T_c) adalah $T_c = -0,946 (ALB) + 26,91 (R^2 = 0,799)$; sedangkan persamaan regresi linear antara bilangan iod (BI) dengan indeks tingkah laku aliran pada suhu 25°C (n_{25}) adalah $n_{25} = 0,078 (BI) - 3,476 (R^2 = 0,876)$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Hibah Doktor dengan Nomor Kontrak 23/I.3.24.4/SPK/PDD/2011. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada Desir Detak Insani, Hanna Mery Aulia, Renny Permatasari, dan Ricky A. Sinaga atas bantuan teknis yang diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- AOCS [American Oil Chemists' Society]. 2005. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. AOCS Champaign. Illinois.
- BSN [Badan Standardisasi Nasional]. 2006. Standar Nasional Indonesia Minyak Kelapa Sawit. SNI 01-2901-2006. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Basiron Y. 2005. Palm oil. Dalam Shahidi F (Ed). Bailey's Industrial Oil and Fat Product. P. 333-429. John Wiley & Sons Inc. Hoboken.
- Braipson-Danthine S, Gibon V. 2007. Comparative analysis of triacylglycerol composition, melting properties and polymorphic behaviour of palm oil and fractions. Eur J Lipid Sci Technol 109: 359-372.
- Calliaw G, Gibon V, Greyt W De, Plees L, Foubert I, Dewettinck K. 2007. Phase composition during palm olein fractionation and its effect on soft PMF and superolein quality. J Am Oil Chem Soc 84: 885-981.
- Chong CL, Kamarudin Z, Lesieur P, Marangoni A, Bourgaux C, Ollivon M. 2007. Thermal and structural behaviour of crude palm oil: crystallisation at very slow cooling rate. Eur J Lipid Sci Technol 109: 410-421.
- CAC [CODEX Alimentarius Commission]. 2005. Recommended International Code of Practice for the Storage and Transport of Edible Fats and Oils in Bulk. CAC/RCP 36 – 1987 (Rev.1-1999, Rev. 2-2001, Rev.3-2005). <http://www.codexalimentarius.net/download/standards/101/CXP036e.pdf>. [23 Mei 2011].
- Ditjenbun [Direktorat Jenderal Perkebunan]. 2011. Luas Areal dan Produksi Perkebunan Seluruh Indonesia Menurut Pengusahaan. http://www.ditjenbun.deptan.go.id/cigraph/ind_ex.php/viewstat/komoditiutama/8-Kelapa%20Sawit.html. [4 Juni 2011].
- Graef V de, Goderis B, Puyvelde P van, Foubert I, Dewettinck K. 2008. Development of a rheological method to characterize palm oil crystallizing under shear. Eur J Lipid Sci Technol 110: 521-529.
- Graef V de, Puyvelde P van, Goderis B, Dewettinck K. 2009. Influence of shear flow on polymorphic behavior and microstructural development during palm oil crystallization. Eur J Lipid Sci Technol 111: 290-302.
- Hilder MH. 1997. Oil storage and transportation. Dalam Gunstone FD, Padley FB (Eds). Lipid Technologies and Applications. P. 199-222. Marcel Dekker Inc. New York.
- IUPAC [International Union of Pure and Applied Chemistry]. 1987. Standard Methods for the Analysis of Oils, Fats and Derivatives. Blackwell Sci Publ. Oxford.
- Ong ASH, Choo YM, Ooi CK. 1995. Developments in palm oil. Dalam Hamilton RJ (Ed). Developments in Oils and Fats. P. 153-191. Blackie Academic & Profesional. London.
- PORAM [Palm Oil Refiners Association of Malaysia]. 2011. PORAM Standard Specifications for Processed Palm Oil. http://www.poram.org.my/v1/index.php?option=com_context&view=article&id=75&Itemid=55.html. [5 Juli 2011].
- Saberi AH, Lai OM, Toro-Vasquez JF. 2011. Crystallization kinetics of palm oil in blends with palm-based diacylglycerol. Food Res Int. 44: 425-435.
- Siew WL, Ng WL. 1996. Effect of diglycerides on the crystallization of palm oleins. J Sci Agric 71: 496-500.
- Steffe JF, Daubert CR. 2006. Bioprocessing Pipelines: Rheology and Analyses. Freeman Press. East Lansing.
- Tan CP, Che Man YB. 2000. Differential scanning calorimetric analysis of edible oils: Comparison of thermal properties and chemical composition. J Am Oil Chem Soc 77: 143-155.
- Tarabukina E, Jago F, Haudin M, Navard P, Peuvrel-Disdier E. 2009. Effect of shear on the rheology and crystallization of palm oil. J Food Sci 74: E405-E416.
- Timms RE. 1985. Physical properties of oils and mixtures of oils. J Am Oil Chem Soc 62: 241-248.