

SIFAT REOLOGI DAN STABILITAS FISIK MINUMAN EMULSI MINYAK SAWIT

[*Rheological Properties and Physical Stability of Palm Oil Emulsion Drink*]

Nurlita Dianingsih¹⁾, Eko Hari Purnomo^{2)*}, dan Tien R. Muchtadi²⁾

¹⁾ Program Studi Ilmu Pangan, Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor

²⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Diterima 05 Oktober 2016 / Disetujui 15 Desember 2016

ABSTRACT

Palm oil emulsion drink is one of the food diversification product, containing high provitamin-A. The dispersed phase of the emulsion is palm olein, while the rest was water as the dispersion medium (ratio 7:3). The low content of dispersion medium in the emulsion caused the rheological properties, droplet size and distribution, as well as its level of stability to be different from other commercial product of beverage emulsion. This research investigated the effect of storage time on the rheological properties, droplet size distributions and stability of the emulsion. The emulsion morphology was observed by polarized light microscopy, while its size and distribution were analyzed by dynamic light scattering technique using Zetasizer. The rheological analysis, including the determination of the flow behavior and consistency index, were measured using a rotational dial reading viscometer. The results showed that increasing of storage time led to increased droplet size and distribution ($d_{4,3}$ value from 4.83 to 6.12 μm , value of flow behavior index from 0.9782 to 0.9873, and consistency index from 3.473 to 5.047 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$). However, this condition also caused a decrease in emulsion stability (from 0.880 to 0.823). According to Pearson's correlation coefficients, the droplet size was negatively correlated with emulsion stability ($R = -0.907$; $\alpha = 0.01$). However, the droplet size were positively correlated with the flow behavior index ($R = 0.778$; $\alpha = 0.01$) and consistency index ($R = 0.939$; $\alpha = 0.01$). These results may help formulate palm oil emulsion drink with improved stability and shelf-life.

Keywords: droplet size distribution, emulsion stability, palm oil emulsion drink, rheological properties

ABSTRAK

Minuman emulsi minyak sawit merupakan salah satu diversifikasi produk pangan dengan kandungan provitamin-A yang tinggi. Fase terdispersi emulsi ialah olein minyak sawit, sedangkan sisanya adalah air sebagai medium pendispersi (perbandingan 7:3). Rendahnya kandungan medium pendispersi dalam emulsi menyebabkan sifat reologi, ukuran dan distribusi droplet, serta tingkat stabilitasnya berbeda dengan produk minuman emulsi komersial lainnya. Penelitian ini mengkaji mengenai pengaruh waktu penyimpanan terhadap sifat reologi, distribusi ukuran droplet, dan stabilitas emulsi. Morfologi emulsi diamati dengan mikroskop polarisasi cahaya, sedangkan ukuran dan distribusinya dianalisis dengan teknik hamburan cahaya dinamis menggunakan Zetasizer. Analisis reologi, termasuk penentuan indeks perilaku aliran dan konsistensi, diukur menggunakan viskometer rotasional *dial reading*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu penyimpanan menyebabkan meningkatnya ukuran dan distribusi droplet (nilai $d_{4,3}$ dari 4,83 menjadi 6,12 μm), nilai indeks perilaku aliran (dari 0,978 menjadi 0,987), dan indeks konsistensi (dari 3,473 menjadi 5,047 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$). Namun, kondisi ini juga menyebabkan penurunan stabilitas emulsi (dari 0,880 menjadi 0,823). Menurut koefisien korelasi Pearson, ukuran droplet berkorelasi negatif dengan stabilitas emulsi ($R = -0,907$; $\alpha = 0,01$). Sebaliknya, ukuran droplet berkorelasi positif dengan indeks perilaku aliran ($R = 0,778$; $\alpha = 0,01$) dan indeks konsistensi ($R = 0,939$; $\alpha = 0,01$). Hasil penelitian ini dapat membantu memformulasi minuman emulsi minyak sawit dengan peningkatan stabilitas dan umur simpan.

Kata kunci: distribusi ukuran droplet, minuman emulsi minyak sawit, sifat reologi, stabilitas emulsi

PENDAHULUAN

Minyak sawit merupakan minyak nabati dengan perbandingan kandungan asam lemak jenuh dan tak

jenuh yang seimbang, yaitu 40% asam oleat, 10% asam linoleat, 45% asam palmitat, dan 5% asam stearat. Komposisi ini menjadikan minyak sawit sebagai *edible oil* yang cocok diaplikasikan dalam berbagai produk pangan. Selain itu, minyak sawit mengandung komponen aktif, seperti karotenoid

*Penulis Korespondensi:
Email: ekohari_p@yahoo.com

pro-vitamin A (β -karoten), karotenoid nonpro-vitamin A, tokoferol, tokotrienol, dan fito-sterol (Khomsan dan Anwar, 2008). Di dalam tubuh, β -karoten akan diubah menjadi vitamin A yang berperan terhadap proses penglihatan seperti mencegah kebutaan dan katarak. Namun, β -karoten bersifat tidak stabil terhadap oksidasi dan pengolahan pada suhu tinggi (Roohinejad *et al.*, 2015). Aktivitasnya sebagai vitamin A dapat berkurang selama pengolahan dan penyimpanan, serta penggunaan dalam produk pangan tertentu misalnya sebagai *cooking oil*. Selain itu, sifat lipofilik β -karoten menyebabkannya tidak dapat didispersikan ke dalam fase larut air secara langsung namun harus didispersikan dalam fase larut lemak. Salah satu upaya konversi minyak sawit dalam mempertahankan kandungan β -karoten ialah dengan pembuatan minuman emulsi minyak sawit.

Bahan-bahan pembuatan minuman emulsi minyak sawit adalah air, olein minyak sawit, pengemulsi, serta bahan tambahan pangan lainnya seperti pemanis, pengawet, dan perisa (Surfiana, 2002). Fraksi olein sebagai bahan baku pembuatan minuman emulsi dihasilkan tanpa melalui proses *bleaching* dengan tujuan mempertahankan kandungan β -karotennya. Produk ini diharapkan menjadi salah satu olahan minyak sawit yang dapat mempertahankan kandungan β -karoten karena tidak mengalami proses pemanasan berlebih selama pengolahan, sehingga berpotensi digunakan dalam mengatasi defisiensi vitamin A di Indonesia.

Permasalahan yang sering terjadi pada produk emulsi ialah proses destabilisasi, seperti pemisahan akibat gravitasi (kriming dan sedimentasi), agregasi droplet (flokulasi dan koalesens), maupun pertumbuhan droplet (*Ostwald ripening*). Proses tersebut diakibatkan adanya perbedaan sifat fisiko-kimia dari setiap komponen dalam produk, di antaranya polaritas, kelarutan, densitas, dan viskositas (Piorkowski dan McClements, 2014). Pemisahan akibat gravitasi umumnya disebabkan oleh perbedaan antara densitas droplet minyak dengan medium pendispersi disekitarnya (McClements, 2011). Proses agregasi droplet bergantung pada keseimbangan gaya tarik dan gaya tolak antara droplet-droplet yang berdekatan, sedangkan pertumbuhan droplet diakibatkan oleh adanya molekul trigliserida rantai pendek dan atau miselilasi surfaktan (McClements, 2016).

Minuman emulsi minyak sawit merupakan tipe emulsi o/w konsentrat karena mengandung lebih banyak minyak di dalam medium pendispersinya. Rendahnya kandungan medium pendispersi menyebabkan droplet saling berdesakan sehingga interaksi yang terjadi di antara droplet-droplet tersebut menjadikan sifat reologi, ukuran dan distribusi droplet, serta stabilitas sistem emulsinya berbeda dengan produk minuman emulsi komersial yang umumnya memiliki lebih sedikit fase terdispersi (<1%)

(Piorkowski dan McClements, 2014). Informasi ilmiah mengenai perubahan ukuran droplet dan distribusinya, karakteristik reologi, dan stabilitas emulsi minuman emulsi minyak sawit selama penyimpanan masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan informasi-informasi tersebut, serta korelasi antar ketiganya. Disamping itu, hasil penelitian ini diharapkan mampu menerangkan proses destabilisasi dalam sistem emulsi minuman emulsi minyak sawit. Dengan demikian, diharapkan dapat membantu formulasi produk sehingga dihasilkan produk dengan umur simpan dan stabilitas yang lebih baik.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan pembuatan minuman emulsi minyak sawit ialah fraksi olein dari CPO (*crude palm oil*) yang diperoleh dari PT Salim Ivomas Pratama (Jakarta, Indonesia) dan kemudian mengalami proses *degumming*, netralisasi (*Neutralizer SM 100-Ne*), deodorisasi (*Deodorizer SM 100-Be*) dan fraksinasi, tanpa mengalami *bleaching*. Perisa melon dan sirup fruktosa diperoleh dari toko bahan makanan Yoek's, Bogor. Seluruh proses homogenisasi dilakukan pada kecepatan 8000 rpm.

Pembuatan minuman emulsi minyak sawit (Modifikasi Surfiana, 2002)

Olein dicampurkan dengan 200 ppm BHT (Merck, Germany) dan 200 ppm EDTA (Merck, Germany) dan dihomogenisasi (Ultra Turrax X520, Germany) selama 1 menit. Sementara itu, di wadah terpisah dilakukan pencampuran air dengan 0,2% kalium sorbat (Merck, Germany) dan 1% Tween 80 (Merck, Germany) lalu dihomogenisasi selama 1 menit. Kedua campuran tersebut dihomogenisasi selama 3 menit, kemudian ditambahkan 1,5% perisa melon (Pilarose, Indonesia) serta 15% sirup fruktosa dan dihomogenisasi lagi selama 4 menit. Setelah itu dilakukan pasteurisasi pada suhu 70°C selama 10 menit. Perbandingan minyak dan air yang digunakan adalah 7:3.

Analisis distribusi ukuran droplet

Distribusi ukuran droplet dianalisis dengan metode *dynamic light scattering* menggunakan Zetasizer Ver.7.03 (Malvern Instrument Ltd, UK). Sebanyak 5 mL sampel didispersikan ke dalam 20 mL air distilasi. Software Malvern menggunakan indeks relatif sampel (1,47) dan indeks relatif pendispersi (1,33) untuk menghitung indeks dispersi (span). Faktor span merupakan parameter yang mengindikasikan keseragaman distribusi ukuran droplet yang ditetapkan dengan:

$$\text{Span} = \frac{D_{v90} - D_{v10}}{D_{v50}}$$

D_{v10} , D_{v50} , dan D_{v90} merupakan diameter yang mewakili 10, 50, dan 90% ukuran droplet dalam seluruh volume emulsi dengan diameter lebih kecil atau sama dengan nilai-nilai tersebut. Ukuran rata-rata droplet dipresentasikan dalam *volume-weighted mean diameter* (d_v atau $d_{4.3}$). Nilai $d_{4.3}$ atau diameter rata-rata de Brouckere (*de Brouckere mean diameter*) merupakan nilai diameter rata-rata partikel bola yang memiliki nilai perbandingan massa/volume partikel yang sama. Setiap pengukuran diulang sebanyak 3 kali.

Pengamatan mikroskopik emulsi

Mikrograf dari emulsi diamati dengan mikroskop polarisasi Olympus model BH-2 (Olympus Co, Japan). Sampel minuman emulsi tanpa pengenceran ditempatkan pada kaca objek kemudian perlahan ditutup menggunakan kaca penutup. Gambar mikrostruktur emulsi o/w diambil menggunakan kamera digital pada perbesaran 200x.

Analisis sifat reologi

Pengukuran sifat reologi dilakukan menggunakan viskometer rotasional *dial reading* (Brookfield Engineering Labs Inc, USA) dengan spindel silindris. Sebanyak 300 mL minuman emulsi dimasukkan ke dalam wadah sampel. Spindel diputar dengan kecepatan putaran 3, 6, 12, 30, dan 60 rpm, sehingga didapatkan nilai torsi pada kisaran 3-97%. Data kemudian dimasukkan pada persamaan (1) dan (2) untuk memperoleh nilai laju geser ($\dot{\gamma}$) dan gaya geser (τ). Setelah itu data diplotkan pada kurva $\ln \tau$ versus $\ln \dot{\gamma}$ dan dipaskan dengan persamaan Power law (Persamaan 3) dan dihitung nilai indeks perilaku aliran (n) dan indeks konsistensi (K). Setiap pengukuran diulang sebanyak 3 kali.

$$\text{Laju geser (sec}^{-1}\text{)} : \dot{\gamma} = \frac{2 \omega R_c^2 R_b^2}{x^2 (R_c^2 - R_b^2)} \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{Gaya geser (dynes/cm}^2\text{)} : \tau = \frac{M}{2\pi R_b^2 L} \dots \dots \dots (2)$$

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

ω = kecepatan putaran spindel (rad/det)

$$\left[= \left(\frac{2\pi}{60} \right) N \right], N = \text{RPM}$$

R_c = jari-jari kontainer (2,75 cm)

R_b = jari-jari spindel (0,5128 cm)

x = jari-jari dimana laju geser dihitung (0,5128 cm)

M = torsi (dyne-cm)

$$\left[= \frac{KP}{T} \right], KP = \text{konstanta pegas (673,7 dyne-cm);}$$

$$T = \text{Torsi (\%)}$$

L = tinggi spindel (6,121 cm)

K = indeks konsistensi (Pa.s^n)

n = indeks perilaku aliran

Analisis stabilitas emulsi

Pengukuran stabilitas emulsi ditentukan pada kemampuan pembentukan emulsi setelah dilakukan pemanasan dan sentrifugasi. Prosedur penentuannya adalah memanaskan sampel dalam penangas air bersuhu 80°C selama 30 menit, kemudian disentrifugasi (Eppendorf 5810 R) pada kecepatan 1300 rpm selama 10 menit. Setiap pengukuran diulang sebanyak 3 kali. Volume campuran yang masih membentuk emulsi diukur dan stabilitas emulsi ditetapkan dengan persamaan berikut:

Stabilitas Emulsi (%) =

$$\frac{\text{volume campuran yang teremulsi (mL)}}{\text{volume total campuran (mL)}} \times 100$$

Analisis statistik

Parameter statistik seperti rata-rata dan *standard error of the mean* (SEM) diolah menggunakan Microsoft Excel 2013 (Microsoft Office Co. Inc.). Sedangkan data lain seperti ukuran dan distribusi droplet diolah menggunakan *software* Zetasizer Ver.7.03 (Malvern Instruments Ltd.), dan koefisien korelasi Pearson dengan *software* SPSS Ver.22 (IBM Corp.). Hasil analisis koefisien korelasi *Pearson* menunjukkan nilai korelasi *Pearson* yang positif dan negatif. Koefisien korelasi *Pearson* negatif menunjukkan bahwa variabel X dan Y memiliki hubungan terbalik, artinya jika nilai variabel X meningkat, maka variabel Y akan menurun dan berlaku sebaliknya. Koefisien korelasi *Pearson* positif, artinya jika nilai variabel X meningkat, maka nilai variabel Y meningkat pula.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh lama penyimpanan terhadap distribusi ukuran droplet

Perubahan dalam distribusi ukuran droplet minuman emulsi minyak sawit selama penyimpanan disajikan pada Gambar 1. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa sampel membentuk pola distribusi relatif tidak seragam dan monomodal, dimana kurva yang dihasilkan cenderung membentuk satu puncak (terkecuali pada hari ke-20), dan lama penyimpanan mengakibatkan terjadinya perubahan ukuran droplet. Pada awal penyimpanan, distribusi ukuran droplet didominasi oleh droplet berukuran kecil dan terkonsentrasi pada bagian kiri kurva.

Namun pola distribusi sedikit bergeser ke arah kanan di hari ke-4, begitu pula pada hari ke-12, 16, dan 20. Dengan demikian peningkatan umur simpan menyebabkan terjadinya pergeseran pola distribusi menuju ukuran droplet yang lebih besar, dengan puncak yang lebih tinggi.

Hasil analisis sampel pada hari ke-20 memperlihatkan adanya droplet berukuran $< 2 \mu\text{m}$ yang tidak ada pada hari-hari sebelumnya (Gambar 1). Menurut McClements (2016) hal ini mengindikasikan terjadinya proses Ostwald *ripening* selama penyimpanan. Ostwald *ripening* merupakan proses pertumbuhan droplet karena adanya transportasi massa fase terdispersi dari satu droplet ke droplet lainnya melalui intervensi fase pendispersi, sehingga droplet-droplet dengan ukuran lebih besar tumbuh sedangkan droplet-droplet dengan ukuran lebih kecil menyusut.

Perubahan diameter rata-rata, indeks span dan ukuran droplet minyak minuman emulsi minyak sawit selama penyimpanan disajikan pada Tabel 1. Hasil analisis menunjukkan ukuran rata-rata droplet di awal penyimpanan yang cukup rendah yaitu $4,83 \mu\text{m}$. Beberapa penelitian sebelumnya menyatakan bahwa penggunaan molekul surfaktan sebagai pengemulsi efektif menghasilkan droplet berukuran kecil selama proses homogenisasi, karena mobilitas dan kemampuannya dalam menurunkan tegangan antarmuka secara efisien (Kralova dan Sjöblom, 2009; Rao dan McClements, 2010). Semakin lama waktu penyimpanan menyebabkan terjadinya peningkatan ukuran droplet. Hal ini dapat dilihat melalui peningkatan nilai $d_{4,3}$ pada hari ke 4, 12, 16 dan 20. Pichot (2010), menyatakan bahwa peningkatan $d_{4,3}$ selama penyimpanan cenderung mengindikasikan adanya proses destabilisasi dalam sistem emulsi, terutama koalesens dan Ostwald *ripening*.

Peningkatan ukuran droplet umumnya disebabkan oleh proses agregasi (koalesens) dan atau pertumbuhan droplet (Ostwald *ripening*) (McClements, 2016). Pada minuman emulsi minyak sawit, koalesens diakibatkan oleh dehidrasi rantai samping oksietilen Tween 80 saat proses pasteurisasi (Mahmood dan Al-Koofee, 2013). Sedangkan Ostwald *ripening* disebabkan karena terbentuknya misel surfaktan (McClements, 2016). Pengemulsi Tween 80 merupakan surfaktan non-ionik dengan sifat geometri molekuler yang rentan terhadap pemanasan. Saat terjadi peningkatan suhu di atas *cloud point*-nya (60°C) maka rantai samping oksietilen Tween 80 akan semakin terdehidrasi dan menurunkan kemampuannya mengikat air (Mohajeri dan Noudeh, 2012; Prieto dan Calvo, 2013). Peristiwa ini mengakibatkan pengemulsi kehilangan kemam-

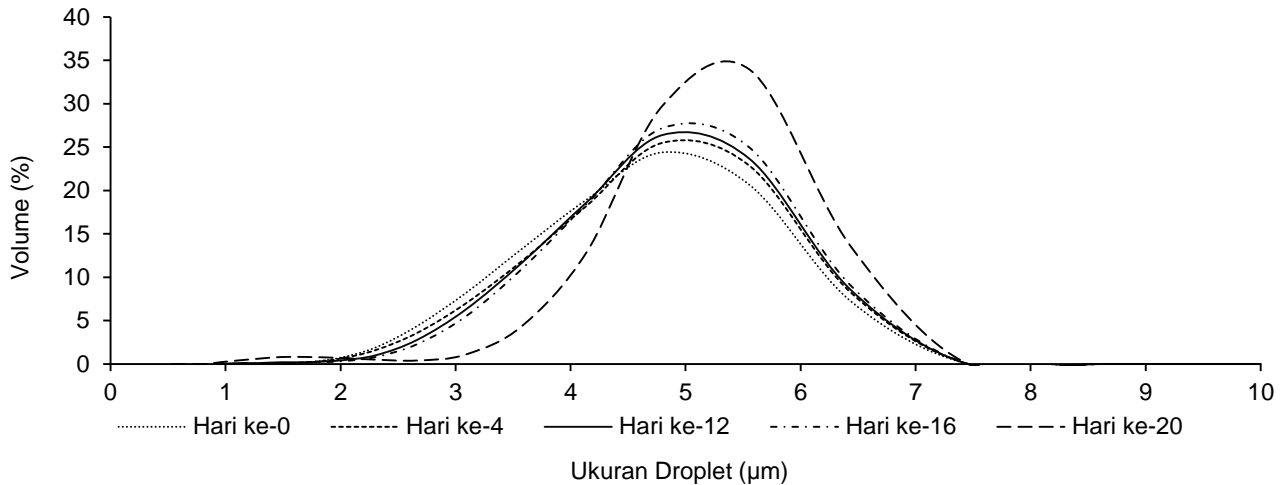
puannya dalam mempertahankan lapisan mono-molekuler yang memisahkan satu droplet dengan droplet lainnya. Dengan demikian, droplet emulsi menjadi rentan terhadap koalesens dan akhirnya membuat ukuran droplet semakin besar (Joshi *et al.*, 2012; McClements, 2016).

Tabel 1 juga memperlihatkan adanya peningkatan nilai D_{v10} , D_{v50} , dan D_{v90} . Peningkatan nilai-nilai ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Ng *et al.* (2014) pada *mayonnaise* dan Ruttarattanamongkol *et al.* (2015) pada emulsi o/w dengan penambahan minyak jagung atau *butter*. Distribusi ukuran droplet juga memberikan informasi mengenai wilayah antarmuka fase terdispersi. Peningkatan nilai D_{v90} dari $6,03 \mu\text{m}$ menjadi $6,37 \mu\text{m}$ di akhir penyimpanan menunjukkan bahwa peningkatan umur simpan menyebabkan terjadinya penurunan wilayah antarmuka.

Tabel 1. Distribusi diameter rata-rata (D_v), indeks span, dan ukuran droplet ($d_{4,3}$) minuman emulsi minyak sawit selama penyimpanan

Lama Penyimpanan (Hari)	D_{v10} (μm)	D_{v50} (μm)	D_{v90} (μm)	Span	$d_{4,3}$ (μm)
0	$3,00 \pm 0,06$	$4,50 \pm 0,04$	$6,03 \pm 0,07$	$0,67 \pm 0,04$	$4,8 \pm 0,01$
4	$3,10 \pm 0,03$	$4,61 \pm 0,06$	$6,10 \pm 0,05$	$0,65 \pm 0,01$	$4,9 \pm 0,04$
12	$3,20 \pm 0,05$	$4,66 \pm 0,03$	$6,12 \pm 0,01$	$0,63 \pm 0,03$	$5,3 \pm 0,05$
16	$3,29 \pm 0,02$	$4,73 \pm 0,01$	$6,16 \pm 0,03$	$0,61 \pm 0,12$	$5,7 \pm 0,03$
20	$3,74 \pm 0,06$	$5,22 \pm 0,05$	$6,37 \pm 0,02$	$0,46 \pm 0,07$	$6,1 \pm 0,06$

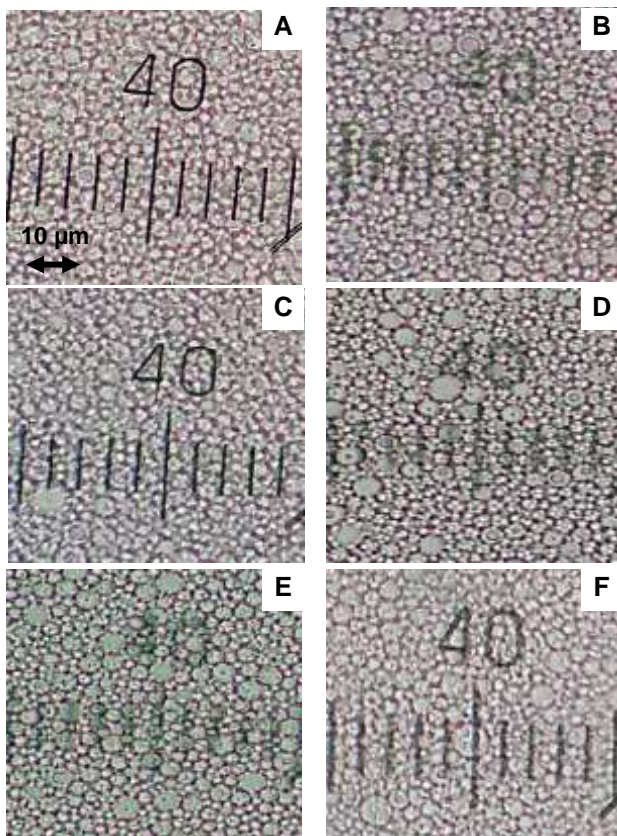
Hasil perhitungan indeks span sampel di awal penyimpanan cenderung rendah yaitu 0,67 (Tabel 1). Rendahnya nilai tersebut dipengaruhi oleh penggunaan Tween 80 sebagai pengemulsi. Menurut Polychniatou dan Tzia (2014), Tween 80 dapat menghasilkan emulsi dengan polidispersitas yang rendah (< 1). Pengukuran indeks span sampel di hari ke-4, 12, 16 dan 20 memperlihatkan terjadinya penurunan nilai polidispersitas menjadi 0,65; 0,63; 0,61 dan 0,46. Fenomena ini juga ditunjukkan pada beberapa studi sebelumnya, bahwa semakin lama waktu penyimpanan mengakibatkan penurunan indeks span pada sampel *mayonnaise* dan *salad dressing* (Perrechil *et al.*, 2010; Domian *et al.*, 2015). Menurut Hayati *et al.* (2007), penurunan indeks span berhubungan dengan peningkatan diameter droplet-droplet berukuran kecil yang menyumbang 10% distribusi ukuran droplet (nilai $D_{v10} \geq 3 \mu\text{m}$ pada minuman emulsi minyak sawit).



Gambar 1. Distribusi ukuran droplet minyak minuman emulsi minyak sawit

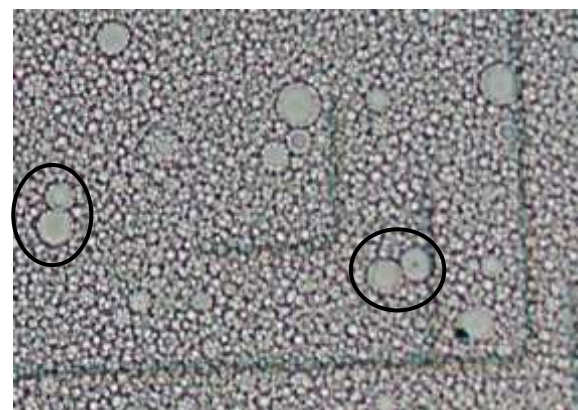
Pengaruh lama penyimpanan terhadap penampakan mikroskopik

Pengamatan mikroskopik dilakukan untuk mengamati mikrostruktur droplet dan ukuran droplet sampel. Visualisasi pengamatan mikrograf droplet dengan perbesaran 200x dapat diamati di Gambar 2.



Gambar 2. Mikrograf droplet menggunakan mikroskop polarisasi selama penyimpanan; (A) hari ke-0, (B) hari ke-4, (C) hari ke-8, (D) hari ke-12, (E) hari ke-16, (F) hari ke-20

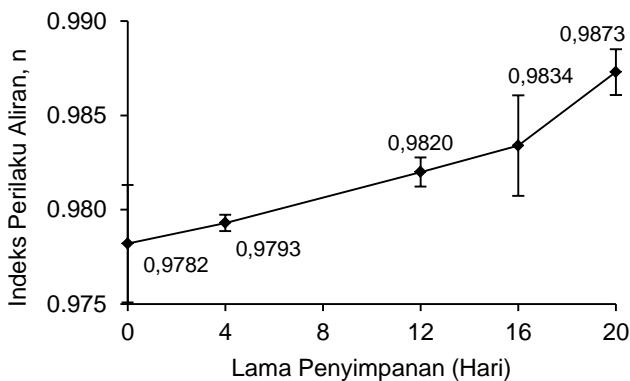
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa di awal penyimpanan droplet berukuran relatif kecil dan tidak seragam, berbentuk bulat, dengan struktur yang kompak (Gambar 2A). Selama penyimpanan, terlihat adanya peningkatan ukuran droplet (Gambar 2B-F). Hasil ini didukung oleh data distribusi ukuran droplet yang menunjukkan peningkatan nilai $d_{4,3}$ (Tabel 1). Pengamatan hingga hari terakhir penyimpanan masih memperlihatkan kekompakan struktur emulsi (Gambar 2F). Selain perubahan dari ukuran droplet dan struktur emulsi, pengamatan mikroskopik juga dapat memperlihatkan secara langsung mekanisme ketidakstabilan yang terjadi di dalam emulsi. Misalnya, tahapan awal dari proses koalesens yang teramati pada Gambar 3. Tahap awal dari koalesens adalah drainase *film* yang terbentuk pada wilayah antarmuka antara dua droplet terdekat. Saat interaksi tarik menarik kedua droplet cukup kuat, lapisan tersebut akan mengalir menjauh sampai dua droplet akhirnya bersentuhan. Kondisi tersebut menyebabkan kedua droplet berkoalesens (Reichert dan Walker, 2015).



Gambar 3. Tahap awal proses koalesens droplet minyak

Pengaruh lama penyimpanan terhadap sifat reologi

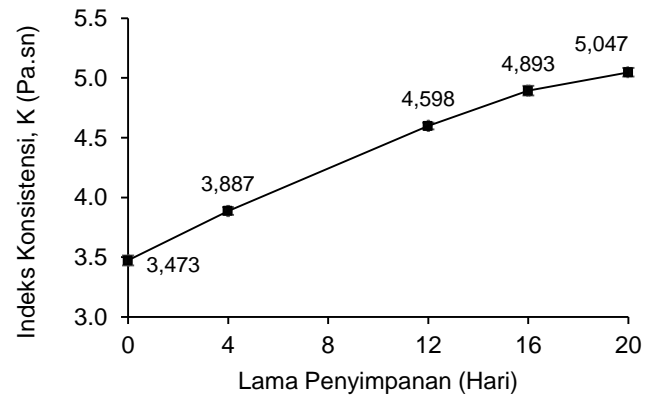
Pengaruh lama penyimpanan terhadap nilai n sampel disajikan dalam Gambar 4. Gambar 4 memperlihatkan bahwa pengukuran nilai n selama penyimpanan menghasilkan nilai $n < 1$ dan dapat disimpulkan sampel bersifat pseudoplastik atau *shear-thinning*. Mubarak (2011) yang melakukan pengukuran reologi terhadap minuman emulsi minyak sawit merah juga mendapatkan nilai indeks perilaku aliran $n < 1$. Hal ini menunjukkan bahwa minuman emulsi o/w minyak sawit merupakan fluida non Newtonian tipe pseudoplastik. Fluida non Newtonian tipe pseudoplastik merupakan fluida yang bersifat mengalami penurunan viskositas ketika laju geser ditingkatkan. Fluida tipe ini juga dapat ditemui pada bahan pangan seperti *mayonnaise* (Maruyama *et al.*, 2007), emulsi o/w jeruk (Li *et al.*, 2013), dan *salad dressing* (Perrechil *et al.*, 2010). Selama penyimpanan terjadi peningkatan nilai n dari 0,978 menjadi 0,987. Menurut Hayati *et al.* (2007) dan Ng *et al.* (2014), peningkatan nilai n selama penyimpanan menunjukkan berkurangnya perilaku *shear-thinning*. Ini menyebabkan terjadinya peningkatan viskositas selama penyimpanan pada laju geser yang sama (data tidak ditampilkan).



Gambar 4. Kurva hubungan antara lama penyimpanan dengan indeks perilaku aliran

Nilai K merupakan ukuran dari sifat kekentalan sampel emulsi. Nilai K pada awal penyimpanan adalah 3,473 Pa.sⁿ (Gambar 5). Nilai K terus meningkat hingga mencapai 5,047 Pa.sⁿ di akhir penyimpanan. Hal ini menyatakan bahwa semakin lama penyimpanan menyebabkan terjadinya peningkatan nilai K . Berbeda dengan minuman emulsi minyak sawit, beberapa sistem emulsi o/w seperti *mayonnaise* dan jus jeruk menunjukkan terjadinya penurunan nilai K ketika ukuran droplet meningkat (Hayati *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2013). Menurut Chatsivili *et al.* (2012) nilai K emulsi o/w bergantung pada perbandingan fraksi minyak dan air, atau keberadaan minyak dalam emulsi. Lamanya

waktu penyimpanan menyebabkan semakin banyak medium pendispersi yang terpisah dari sistem emulsi akibat kriming (Gambar 6).



Gambar 5. Kurva hubungan antara lama penyimpanan dengan indeks konsistensi (Pa.sⁿ)

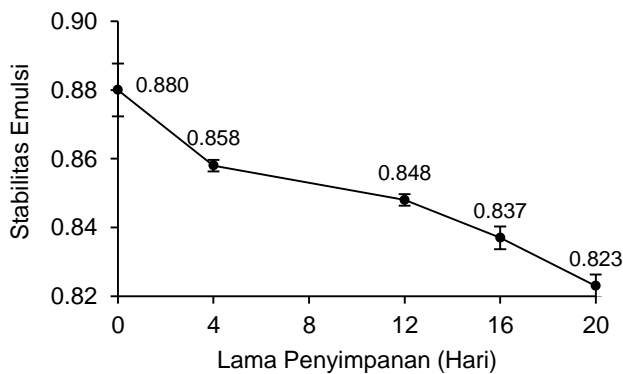
Oleh karena itu, terdapat perbedaan banyaknya fraksi minyak dalam sistem emulsi pada hari ke-0 dengan hari ke-4, 8, 12, 16, dan 20. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan nilai K . Pemisahan medium pendispersi dari sistem emulsi juga menyebabkan sifat reologi emulsi lebih dipengaruhi oleh sifat-sifat dalam fase terdispersi, misalnya viskositas minyak. Menurut Nasir (2005), penyimpanan menyebabkan peningkatan nilai K pada sampel minyak sawit RBD yang mengindikasikan bahwa sampel menjadi lebih kental sehingga memberikan resistensi yang lebih tinggi untuk mengalir.



Gambar 6. Pengamatan visual minuman emulsi minyak sawit selama penyimpanan; (A) hari ke-0, (B) hari ke-4, (C) hari ke-8, (D) hari ke-12, (E) hari ke-16, (F) hari ke-20

Pengaruh lama penyimpanan terhadap stabilitas emulsi

Pengaruh lamanya penyimpanan terhadap stabilitas emulsi ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil pengukuran menunjukkan terjadinya penurunan stabilitas emulsi dari 0,880 di awal penyimpanan menjadi 0,858; 0,848; 0,837; dan 0,823 pada hari ke-4, 12, 18, dan 20. Hal ini menunjukkan terjadinya penurunan stabilitas emulsi dengan meningkatnya waktu penyimpanan. Tween 80 menstabilkan emulsi dengan cara menciptakan halangan sterik. Bagian hidrofobik dari Tween 80 (rantai *oleyl* tak jenuh) mengarah ke droplet minyak, sementara bagian hidrofiliknya berupa kepala non-ionik dengan gugus oksietilen mengarah ke medium pendispersi. Gugus oksietilen tersebut bersifat sangat larut dalam air dan cenderung untuk dikelilingi oleh pelarut daripada mengalami interpenetrasi ketika dua droplet bertemu (Athas *et al.*, 2014).



Gambar 7. Kurva hubungan antara lama penyimpanan dengan stabilitas emulsi

Proses destabilisasi emulsi berawal dari pergerakan droplet. Untuk emulsi dengan ukuran droplet relatif besar (diameter $>0,05 \mu\text{m}$), pergerakan droplet didominasi oleh gaya gravitasi (McClements, 2011). Gaya gravitasi mengakibatkan proses pemisahan berupa kriming atau sedimentasi yang disebabkan oleh perbedaan densitas kedua fase (Leal-Calderon, 2012). Faktor utama yang mempengaruhi kriming pada sampel adalah perbedaan densitas diantara medium pendispersi (densitas air 0,9982 g/mL) dan terdispersi (densitas olein 0,8978 g/mL). Penambahan Tween 80 (densitas 1,06–1,10 g/mL) ke dalam medium pendispersi meningkatkan perbedaan densitas kedua fase, menyebabkan fase terdispersi dengan densitas lebih rendah bergerak ke atas (kriming).

McClements (2016) menyatakan bahwa semakin besar perbedaan densitas antara medium pendispersi dan fase terdispersi mampu mengakibatkan pemisahan akibat gravitasi berlangsung

makin cepat. Besarnya perbedaan ini mengakibatkan kriming pada sampel terjadi cukup cepat, yaitu di hari keempat penyimpanan dan memperlihatkan pemisahan sampel emulsi menjadi dua bagian (Gambar 6B). Fraksi medium pendispersi yang terlihat memisah terus meningkat hingga akhir penyimpanan (Gambar 6C-F). Hal inilah yang mendorong terjadinya penurunan stabilitas emulsi seiring bertambahnya waktu penyimpanan.

Korelasi ukuran droplet dengan sifat reologi dan stabilitas emulsi

Hasil analisis koefisien korelasi Pearson menunjukkan bahwa ukuran droplet dan indeks perilaku aliran serta indeks konsistensi emulsi mempunyai nilai koefisien korelasi *Pearson* $R = 0,778$ dan $R = 0,939$ pada tingkat kepercayaan $\alpha = 0,01$ yang berarti ukuran droplet mempunyai korelasi yang signifikan dengan karakteristik reologi emulsi. Begitu pula dengan ukuran droplet dan stabilitas emulsi yang memiliki nilai koefisien korelasi *Pearson* $R = -0,907$ pada tingkat kepercayaan $\alpha = 0,01$ artinya ukuran droplet mempunyai korelasi yang signifikan dengan stabilitas emulsi. Korelasi antara ukuran droplet dengan karakteristik reologi dan stabilitas emulsi sampel dapat divisualisasikan seperti pada Gambar 8.

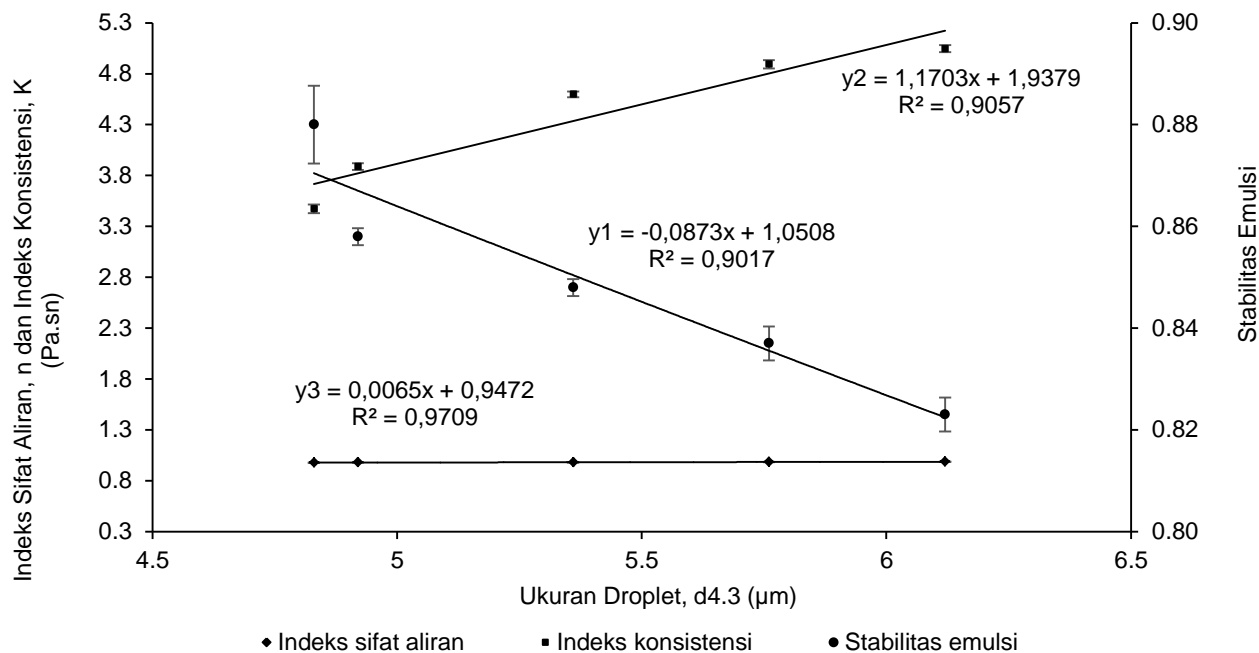
Regresi linear pada Gambar 8 menghasilkan tiga persamaan matematik, yaitu: persamaan 1 yang menyatakan hubungan antara ukuran droplet (x) dengan stabilitas emulsi (y_1), persamaan 2 untuk hubungan antara ukuran droplet (x) dengan indeks konsistensi (y_2), dan persamaan 3 untuk hubungan antara ukuran droplet (x) dengan indeks sifat aliran (y_3).

$$y_1 = -0,0873x + 1,0508 \dots \dots \dots (1)$$

$$y_2 = 1,1703x + 1,9379 \dots \dots \dots (2)$$

$$y_3 = 0,0065x + 0,9472 \dots \dots \dots (3)$$

Gambar 8 memperlihatkan bahwa peningkatan ukuran droplet berhubungan dengan penurunan stabilitas emulsi. Saat sebuah partikel mempunyai densitas yang lebih rendah dibanding cairan yang mengelilinginya, gaya gravitasi akan menyebabkan partikel tersebut bergerak ke atas (Estiasih *et al.*, 2015). Meningkatnya ukuran droplet menyebabkan pengaruh gaya gravitasi yang mendorong droplet minyak bergerak ke atas jauh lebih besar daripada gaya *friction* (McClements, 2016). Kondisi ini menyebabkan kriming berlangsung semakin cepat, dan semakin banyak medium pendispersi terpisah dari sistem emulsi (Gambar 6). Dengan demikian, semakin besar ukuran droplet menyebabkan makin menurunnya stabilitas emulsi.



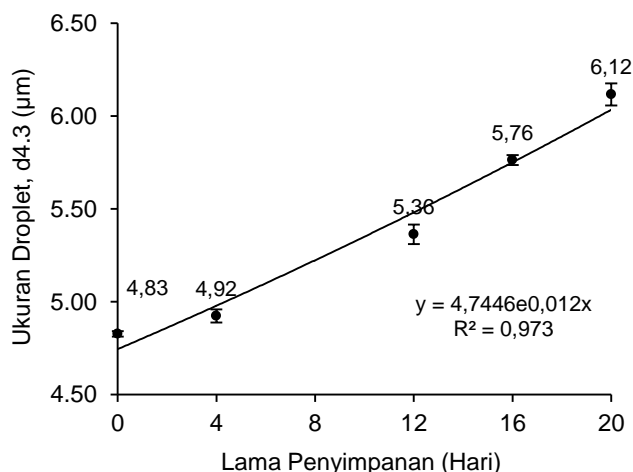
Gambar 8. Korelasi ukuran droplet dengan karakteristik reologi (n, K) dan stabilitas emulsi

Gambar 8 juga memperlihatkan bahwa peningkatan ukuran droplet berhubungan dengan meningkatnya nilai n dan K. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, peningkatan ukuran droplet berdampak terhadap banyaknya medium pendispersi yang terpisah dari sistem emulsi. Semakin besar ukuran droplet, makin besar gaya gravitasi yang diterima oleh droplet dan kriming berlangsung semakin cepat. Proses ini mengakibatkan sampel emulsi terpisah menjadi dua bagian, yaitu lapisan yang secara optik terlihat *opaque* (fraksi emulsi) dan lapisan yang terlihat sedikit *opaque* (medium pendispersi) (Mc Clements, 2016). Kedua lapisan tersebut dapat dilihat pada Gambar 6. Semakin banyak medium pendispersi yang terpisah menyebabkan peningkatan keberadaan minyak dalam sistem yang masih membentuk emulsi. Fraksi emulsi dengan fraksi minyak lebih banyak menghasilkan nilai K yang lebih tinggi. Pernyataan tersebut mendukung data hasil penelitian yang menunjukkan adanya peningkatan nilai K pada sampel yang disebabkan oleh perbedaan kehadiran minyak dalam fraksi emulsi.

Aplikasi laju pertumbuhan droplet pada perkiraan umur simpan minuman emulsi minyak sawit

Umur simpan produk pangan emulsi sangat ditentukan oleh stabilitas sistem emulsinya. Oleh karena itu, secara fisik peningkatan stabilitas emulsi berbanding lurus dengan semakin lamanya umur simpan produk (Piorkowski dan McClements, 2014). Menurut McClements (2016), meningkatnya diameter droplet menyebabkan pergerakan droplet ke atas akibat gaya gravitasi juga meningkat, begitupun

sebaliknya. Menurunkan ukuran droplet akan mengakibatkan pengaruh gaya gravitasi yang diterima oleh droplet lebih kecil dan berpengaruh terhadap meningkatnya stabilitas emulsi. Disamping itu, emulsi dengan ukuran droplet yang lebih kecil cenderung didominasi oleh gerak *brownian* dibanding gaya gravitasi (McClements, 2011). Dengan kata lain, menurunnya ukuran droplet melemahkan efek gravitasi terhadap droplet minyak sehingga menurunkan kemungkinan proses destabilisasi dan meningkatkan stabilitas emulsi.



Gambar 9. Kurva hubungan lama penyimpanan terhadap perubahan ukuran droplet

Data pengaruh lama penyimpanan terhadap perubahan ukuran droplet disajikan pada Gambar 9. Regresi eksponensial dari data tersebut menunjuk-

kan bahwa pertumbuhan droplet mengikuti persamaan $d_{4,3} = 4,7446 e^{0,012t}$. Linearisasi persamaan tersebut menghasilkan $\ln d_{4,3} = 0,012t + \ln 4,7446$. Dari persamaan terakhir terlihat bahwa laju pertumbuhan ukuran droplet adalah $0,012 \mu\text{m}/\text{hari}$.

Hasil pengujian stabilitas emulsi sampel menunjukkan bahwa pada ukuran $4,83 \mu\text{m}$ emulsi masih stabil. Dengan mengetahui laju pertumbuhan droplet dan ukuran akhir droplet yang masih stabil (θ_2), maka dapat dilakukan perhitungan untuk memprediksi besarnya ukuran awal droplet (θ_1) sehingga emulsi stabil selama kurun waktu tertentu. Dari perhitungan dengan menggunakan model matematik di atas, dapat diketahui bahwa umur simpan minuman emulsi minyak sawit dapat ditingkatkan menjadi 90 hari penyimpanan dengan mereduksi ukuran droplet menjadi $\theta_1=0,61 \mu\text{m}$.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian maka dapat disimpulkan bahwa meningkatnya waktu penyimpanan menyebabkan penurunan stabilitas emulsi, peningkatan distribusi dan ukuran droplet, serta peningkatan nilai indeks perilaku aliran dan indeks konsistensi minuman emulsi minyak sawit. Hasil analisis koefisien korelasi Pearson menunjukkan ukuran droplet berkorelasi positif dengan indeks perilaku aliran ($R= 0,778$) dan indeks konsistensi ($R = 0,939$). Sebaliknya, ukuran droplet berkorelasi negatif dengan stabilitas emulsi ($R = -0,907$). Proses destabilisasi minuman emulsi minyak sawit disebabkan oleh kriming, koalesens dan Ostwald ripening. Berdasarkan model matematik yang diperoleh, reduksi ukuran droplet menjadi $0,61 \mu\text{m}$ akan meningkatkan umur simpan dan stabilitas minuman emulsi minyak sawit hingga 90 hari penyimpanan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana bantuan penelitian melalui Beasiswa 3T PraS2-S2 Saintek dan atas dukungan dana penelitian dari Hibah Kompetensi 2 tahun 2015 atas nama Prof. Dr. Ir. Tien R. Muchtadi, MS untuk rangkaian penelitian Prospek Industrialisasi Produk Hilir Minyak Kelapa Sawit.

DAFTAR PUSTAKA

Athas JC, Jum K, McCafferty M, Owoseni O, John VT, Raghavan SR. 2014. An effective dispersant of oil spills based on food-grade

- amphiphiles. *Langmuir* 30: 9285-9294. DOI: 10.1021/la502312n.
- Chatsivili NT, Amvrosiadis I, Kiosseoglou V. 2012. Physicochemical properties of a dressing-type o/w emulsion as influenced by orange pulp fiber incorporation. *LWT-Food Sci Technol* 46: 335-340. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.08.019.
- Domian E, Brynda-Kopytowska A, Oleksza K. 2015. Rheological properties and physical stability of o/w emulsions stabilized by OSA starch with trehalose. *Food Hydrocolloid* 44: 49-58. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.08.020.
- Estiasih T, Ahmadi Kgs, Rizqiyah LA. 2015. Mikroemulsifikasi fraksi tidak tersabunkan (FTT) distilat asam lemak minyak sawit (DALMS). *J Teknol Industri Pangan* 26: 189-200. DOI: 10.6066/jtip.2015.26.2.189.
- Hayati IN, Che Man, YB, Tan CP, Aini IN. 2007. Stability and rheology of concentrated o/w emulsions based on soybean oil/palm kernel oil blends. *Food Res Int* 40: 1051-1061. DOI: 10.1016/j.foodres.2007.05.008.
- Joshi HC, Pandey IP, Kumar A, Garg N. 2012. A study of various factors determining the Stability of molecules. *Adv Pure Appl Chem* 1: 7-11.
- Khomsan A, Anwar F. 2008. Lemak: Sehat Itu Mudah, Wujudkan Hidup Sehat dengan Makanan Tepat. 78-84. Mizan Publika, Jakarta.
- Kralova I, Sjöblom J. 2009. Surfactants used in food industry: a review. *J Dispersion Sci Technol* 30: 1363-1383. DOI: 10.1080/01932690902735561.
- Leal-Calderon F. 2012. Emulsified lipids: formulation and control of end-use properties. *Oilseed Fats Crop Lipid* 19: 111-119. DOI: 10.1684/ocl.2012.0438.
- Li C, Fu X, Luo F, Huang Q. 2013. Effects of maltose on stability and rheological properties of orange oil-in-water emulsion formed by OSA modified starch. *Food Hydrocolloid* 32: 79-86. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2012.12.004.
- Mahmood ME, Al-Koofee DAF. 2013. Effect of temperature changes on critical micelle concentration for tween series surfactant. *Global J Sci Front Res Chem* 13: 1-8.
- Maruyama K, Sakashita T, Hagura Y, Suzuki K. 2007. Relationship between rheology, particle size and texture of mayonnaise. *Food Sci Technol Res* 13: 1-6.
- McClements DJ. 2011. Edible nanoemulsions: fabrication, properties, and functional performance. *Soft Matter* 7: 2297-2316. DOI: 10.1039/C0SM00549E.

- McClements DJ. 2016. Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques. 3rd Ed. 289-365. CRC Press, Florida.
- Mohajeri E, Noudeh GD. 2012. Effect of temperature on the critical micelle concentration and micellization thermodynamic of non ionic surfactants: Polyoxyethylene sorbitan fatty acid esters. *E-Journal Chem* 9: 2268-2274. DOI: 10.1155/2012/961739.
- Mubarok AZ. 2011. Peningkatan Skala Proses Emulsifikasi Minuman Emulsi dari Minyak Sawit Merah dan Karakterisasi Sifat Reologinya [Tesis]. Bogor. Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Nasir AF. 2005. Performance Investigation of Energy Transport Media as Influenced by Crop Based Properties [Borang Pengesahan Laporan Akhir Penyelidikan]. Kuala Lumpur: Mechanical Engineering Divisions, Universiti Teknologi Malaysia.
- Ng SP, Lai OM, Abas F, Lim HK, Tan CP. 2014. Stability of a concentrated oil-in-water emulsion model prepared using palm olein-based diacylglycerol/virgin coconut oil blends: Effect of the rheological properties, droplet size distribution and microstructure. *Food Res Int* 64: 919-930. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.08.045.
- Perrechil FA, Santana RC, Fasolin LH, Silva CUS, Cunha RL. 2010. Rheological and structural evaluations of commercial italian salad dressings. *Food Sci Technol (Campinas)* 30: 477-482. DOI: 10.1590/S0101-20612010000200027.
- Pichot R. 2010. Stability and Characterization of Emulsions in the Presence of Colloidal Particles and Surfactants. [Disertasi]. Birmingham (UK): University of Birmingham.
- Piorkowski DT, McClements DJ. 2014. Beverage emulsions: recent developments in formulation, production, and applications. *Food Hydrocolloid* 5-41. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.07.009.
- Polychniatou V, Tzia C. 2014. Study of formulation and stability of co-surfactant free water-in-olive oil nano- and submicron emulsions with food grade non-ionic surfactants. *J Am Oil Chem Soc* 91: 79-88. DOI: 10.1007/s11746-013-2356-3.
- Prieto C, Calvo L. 2013. Performance of the Biocompatible surfactant Tween 80 for the formation of microemulsions suitable for new pharmaceutical processing. *J Appl Chem* 2013: 1-10. DOI: 10.1155/2013/930356.
- Rao JJ, McClements DJ. 2010. Stabilization of phase inversion temperature nanoemulsions by surfactant displacement. *J Agr Food Chem* 55: 7059-7066. DOI: 10.1021/jf100990r.
- Reichert MD, Walker LM. 2015. Coalescence behavior of oil droplets coated in irreversibly-adsorbed surfactant layers. *J Colloid Interface Sci* 449: 480-487. DOI: 10.1016/j.jcis.2015.02.032.
- Roohinejad S, Oey I, Wen J, Lee SJ, Everett DW, Burritt DJ. 2015. Formulation of oil-in-water β -carotene microemulsions: effect of oil type and fatty acid chain length. *Food Chem* 174: 270-278. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.056.
- Ruttarattanamongkol K, Afizah MN, Rizvi SSH. 2015. Stability and rheological properties of corn oil and butter oil emulsions stabilized with texturized whey proteins by supercritical fluid extrusion. *J Food Eng* 166: 139-147. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.06.005.
- Surfiana. 2002. Formulasi Minuman Emulsi Kaya Beta-karoten dari Minyak Sawit Merah. [Tesis]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.