

## KONDISI HOMOGENISASI DAN PRAPENINGKATAN SKALA PROSES MIKROENKAPSULASI MINYAK SAWIT

### HOMOGENIZATION TECHNIQUE AND PRELIMINARY STUDY OF SCALING UP MICROENCAPSULATION OF PALM OIL

Tien R Muchtadi<sup>1,2)\*</sup>, Alfia Nurul Ilma<sup>1)</sup>, Dase Hunaefi<sup>3)</sup>, Sri Yuliani<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor  
Kampus IPB Darmaga

Email: [tienrmuchtadi@yahoo.com](mailto:tienrmuchtadi@yahoo.com)

<sup>2)</sup>Masyarakat Perkelapasawitan Indonesia (MAKSI)

<sup>3)</sup>South East Asian Food and Agriculture Science and Technology (SEAFASST) Center, Institut Pertanian Bogor

<sup>4)</sup>Indonesian Center for Agricultural Post Harvest Research and Development – Bogor

Makalah: Diterima 21 November 2014; Diperbaiki 24 Maret 2015; Disetujui 31 Maret 2015

#### ABSTRACT

*Utilization of palm oil as downstream products is still remain limited. Palm oil contains high carotenoids ranging from 500 to 700 ppm. Carotenoids are very sensitive to heat and oxidation. Microencapsulation process conducted by two steps, i.e. homogenization to produce emulsion and spray drying to produce microcapsule that protect its active compounds. Olein homogenization was the main process in the formation of an emulsion of palm oil prior to drying process. This process was influenced by speed, time and volume. Microcapsule formulation using maltodextrin, Arabic gum, and gelatin. The results showed that the process of homogenization affected the quality and characteristics of emulsion and microencapsulate of palm oil. An increase of volume and length of time did not significantly affect the characteristics of palm oil microcapsule, such as water content, solubility and water activity ( $p > 0.05$ ), but significantly affected the emulsion stability, surface oil, carotenoid content and efficiency of microencapsulation ( $p < 0.05$ ) and also affecting the quality of microencapsulate (yield, water activity, solubility). Palm oil microencapsulation using spray dry could be applied at industrial scale.*

*Keywords: carotene, homogenization, microencapsulation, palm oil, scale up*

#### ABSTRAK

Pemanfaatan minyak sawit sebagai produk hilir masih sangat terbatas. Minyak sawit memiliki keunikan karena mengandung pigmen karotenoid sebesar 500-700 ppm. Karotenoid sangat sensitif terhadap kondisi pengolahan seperti panas dan oksidasi. Proses mikroenkapsulasi dilakukan dalam dua tahap, yaitu proses homogenisasi untuk pembentukan emulsi dan pengeringan semprot untuk pembentukan mikrokapsul dan melindungi komponen aktif. Proses homogenisasi olein merupakan proses utama dalam pembentukan emulsi sebagai proses pendahuluan sebelum pengeringan semprot. Proses ini dipengaruhi oleh kecepatan homogenizer, lamanya waktu homogenisasi dan volume emulsi yang dihomogenisasikan. Formula mikroenkapsulat dengan bahan penyalut maltodekstrin, gum arab dan gelatin. Kondisi homogenisasi mempengaruhi kualitas dan karakteristik dari emulsi dan mikroenkapsulat minyak sawit. Peningkatan volume emulsi dan lamanya waktu homogenisasi tidak mempengaruhi karakteristik kadar air,  $a_w$  dan kelarutan dari mikroenkapsulat minyak sawit secara signifikan ( $p > 0,05$ ), akan tetapi mempengaruhi kandungan minyak tidak tersalut dan efisiensi proses mikroenkapsulasi ( $p < 0,05$ ). Mikroenkapsulasi minyak sawit menggunakan pengering semprot dapat diaplikasikan dalam skala industri.

Kata kunci: karotenoid, homogenisasi, mikroenkapsulasi, minyak sawit, peningkatan skala

#### PENDAHULUAN

Minyak sawit adalah salah satu komoditas hasil perkebunan Indonesia yang sangat potensial. Secara global, posisi produksi minyak sawit Indonesia menempati urutan pertama dan memasok hampir 50% kebutuhan minyak sawit dunia (Ermawati, 2013). Pada tahun 2013 berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian, Indonesia telah memproduksi 31 juta ton CPO, lebih tinggi dibandingkan pada tahun 2012

yaitu sebesar 23 juta ton. Pemanfaatan minyak sawit di Indonesia sebagai produk hilir masih sangat terbatas. Produk hilir kelapa sawit dimanfaatkan sebagai bioetanol, biodiesel dan bahan bakar pembangkit. Produk turunan CPO dalam bahan pangan digunakan sebagai minyak goreng, minyak salad, *shortening*, margarin, CBS, serta emulsifier (Kamal, 2014). Kebanyakan minyak sawit diekspor ke luar negeri dalam bentuk mentah yang ternyata berpengaruh nyata pada perekonomian negara.

Minyak sawit memiliki keunikan dibandingkan dengan minyak nabati lainnya karena mengandung pigmen karotenoid yang sangat tinggi sekitar 500-700 ppm (Wiley dan Sons, 2013) (setara dengan 60.000 IU aktivitas vitamin A per 100 g). Dewasa ini permintaan produk pangan yang bernutrisi semakin meningkat dan berkembang (Zeba *et al.*, 2006). Salah satu nutrisi yang dibutuhkan adalah vitamin A yang bisa didapatkan dari minyak sawit yang memiliki kandungan pro vitamin A. Pemanfaatan pro vitamin A dari minyak sawit perlu dikembangkan untuk mengatasi hal tersebut sekaligus menanggulangi defisiensi vitamin A di Indonesia secara umum (Herman, 2007). Penelitian ini menggunakan bahan utama olein minyak sawit yang masih memiliki kandungan karotenoid tinggi.

Minyak sawit kaya akan komponen karotenoid sebagai pembentuk vitamin A, akan tetapi sangat sensitif terhadap beberapa kondisi pengolahan seperti panas dan oksidasi. Proses pemanasan menyebabkan penurunan kandungan karotenoid pada minyak sawit (Rianto, 1995) Proses enkapsulasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk melindungi komponen aktif ini. Teknologi mikroenkapsulasi minyak sawit merupakan salah satu alternatif proses hilir yang diharapkan dapat menunjang suplai pro vitamin A dalam bentuk produk *pharmaceutical*. Teknologi ini akan menghasilkan produk dalam bentuk bubuk yang memiliki kandungan karotenoid dengan stabilitas yang tinggi selama penyimpanan dibandingkan dengan minyak sawit dalam bentuk mentah.

Mikroenkapsulasi merupakan proses penyalutan lapisan baik terhadap partikel padatan yang kecil atau droplet dari suatu cairan atau larutan. Dengan adanya proses penyalutan ini, lapisan yang terbentuk dapat berperan menjadi *impermeable physical barrier*, sehingga cairan yang ada didalamnya dapat terlindungi dan memudahkan dalam proses penanganannya (Levin, 2006). Salah satu proses pembuatan mikroenkapsulat dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengeringan semprot. Pengeringan semprot menghasilkan produk bubuk dengan kualitas yang baik. Pada penelitian ini digunakan pengering semprot Buchi 190 Mini Spray Dryer yang menghasilkan rendemen 20,38 – 26,99%. Rendemen terkait dengan karakteristik dari bahan penyalutnya (Yanuwar, 2007).

Pada pembuatan mikroenkapsulat minyak sawit, proses homogenisasi merupakan proses utama dalam pembentukan emulsi minyak sawit dengan bahan penyalut yang digunakan. Proses emulsifikasi akan menentukan karakter emulsi minyak sawit yang akan menentukan dalam proses enkapsulasi. Proses ini dipengaruhi oleh kecepatan homogenizer, lamanya waktu homogenisasi dan volume bahan yang dihomogenisasikan. Bahan pendukung

maltodekstrin DE 10-15, gum arab, gelatin ditambahkan sebagai enkapsulan yang berpengaruh terhadap karakteristik mikrokapsul dan pembentukan emulsi sebelum pengeringan semprot. Proses homogenisasi pada skala laboratorium tentunya akan berbeda dengan skala pilot plan dan skala industri. Pada penelitian ini akan dilihat pengaruh lamanya waktu homogenisasi pada volume bahan tertentu terhadap karakteristik emulsi dan mikroenkapsulat minyak sawit. Simulasi awal peningkatan skala diharapkan dapat menjembatani proses pembuatan mikroenkapsulat minyak sawit dari skala laboratorium ke tingkat skala yang lebih tinggi.

## METODE DAN METODE

### Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak sawit kasar (Crude Palm Oil/CPO) yang diperoleh dari PT. Salim Ivomas Pratama Jakarta. Bahan pendukung yang digunakan maltodekstrin DE 10-15, gum arab, gelatin yang diperoleh dari toko bahan kimia Setia Guna Bogor, Tween 80 dan aquades. Bahan yang digunakan untuk analisis adalah heksana (p.a), methanol (p.a), chloroform (p.a), kertas saring, kertas saring Whatman No. 42 dan gas nitrogen teknis.

Peralatan yang digunakan dalam proses pembuatan mikroenkapsulat minyak sawit meliputi homogenizer ultra turax (model SILVERSON L4R armfield), pengering semprot (BUCHI 190 Mini Spray Drier) dan neraca analitik. Peralatan yang digunakan untuk analisis meliputi cawan alumunium, *refrigerator*, oven kadar air (Memmert, 1983), rotavapor (Buchi Rotavapor R-210), sentrifuse dan alat-alat gelas yang dibutuhkan.

### Metode

Proses pembuatan mikroenkapsulat minyak sawit dilakukan melalui dua tahap, yaitu proses pembuatan emulsi dan proses pengeringan dengan pengering semprot. Pada masing-masing tahap akan dilihat pengaruh dari faktor kondisi homogenisasi dan peningkatan volume bahan terhadap karakteristik emulsi dan mikroenkapsulat minyak sawit. Diagram alir pembuatan emulsi dan mikroenkapsulat minyak sawit dapat dilihat pada Gambar 1. Volume bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1, rancangan percobaan dengan faktor lamanya waktu homogenisasi dan volume yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 serta dimensi alat dan wadah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3. Selanjutnya dilakukan analisis karakteristik emulsi minyak sawit, analisis karakteristik mikroenkapsulat minyak sawit, analisis kandungan dan retensi total karotenoid mikroenkapsulat minyak sawit (perbandingan antara kadar karotenoid yang terdapat pada minyak sawit awal (dalam hal ini fraksi olein yang digunakan

sebagai bahan baku) dengan kandungan karotenoid pada produk akhir mikroenkapsulat dikali dengan seratus persen), analisis proses mikroenkapsulasi (analisis tahap ini dilakukan dengan menggunakan uji ANOVA untuk melihat adanya perbedaan yang signifikan atau tidak selama proses homogenisasi dilakukan dan jika diperlukan maka dilanjutkan dengan analisis Duncan) dan analisis pra peningkatan skala proses mikroenkapsulasi minyak sawit.

Model persamaan kestabilan emulsi minyak sawit :

$$\text{Kestabilan emulsi (\%)} = 56,015 - 0,023V + 1,476t + 1,031 \times 10^{-5}V^2 \dots\dots\dots(1)$$

Model persamaan kadar karoten emulsi minyak sawit :

$$\text{Kadar karoten (ppm)} = 103,945 + 0,033V - 4,840t - 1,245 \times 10^{-5}V^2 \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

V = volume emulsi (mL)

t = waktu homogenisasi (menit)

Model persamaan 1 dan 2 dapat digunakan untuk mengetahui prediksi kestabilan emulsi dan kadar

karotenoid emulsi. Tingkat kestabilan emulsi memiliki hubungan negatif terhadap kadar karotenoid, apabila tingkat kestabilan emulsi meningkat (tinggi), maka kadar karotenoid cenderung menurun, begitupula sebaliknya.

**Metode Analisis**

Kadar air (AOAC 2012), aktivitas air (Apriyantono *et al.*, 1989), total karotenoid (PORIM, 2005), stabilitas emulsi yang ditandai ada tidaknya pemisahan minyak dan air selama *holding time* dengan pada volume dan waktu homogenisasi tertentu (Yasumatsu *et al.*, 1972), kelarutan (Fardiaz *et al.*, 1992), kadar minyak tidak tersalut yang merupakan minyak yang tidak terlindungi secara sempurna oleh matriks penyalut atau hanya menempel pada dinding bagian luar penyalut dan erat kaitannya dengan efisiensi proses penyalutan (Shahidi dan Wanasundara, 1997), rendemen (Zilberboim *et al.*, 1986; Ahn *et al.*, 2007) dan penetapan efisiensi yang dipengaruhi oleh kadar minyak tidak tersalut, yaitu peningkatan kadar minyak tidak tersalut menurunkan kadar karotenoid terkapsulkan dan menurunkan efisiensi (Komari, 1997), suhu akhir homogenisasi pada perlakuan volume dan waktu homogenisasi tertentu.

Tabel 1. Rancangan percobaan hubungan volume dan formula bahan

Formula	%Total	Volume emulsi (mL)			
		250	450	900	1800
Olein (g)	12,40	30	54	108	216
Air (g)	61,97	150	270	540	1080
Maltodekstrin (g)	14,88	36	64,8	129,6	259,2
Gum Arab (g)	7,44	18	32,4	64,8	129,6
Gelatin (g)	2,48	6	10,8	21,6	43,2
Tween 80 (g)	0,83	2	3,6	7,2	14,4
Total Padatan g/g (%)*	-	24,79	24,79	24,79	24,79
Rasio O/W (g/g)	-	1 : 5	1 : 5	1 : 5	1 : 5
Rasio Penyalut/Minyak Sawit (g/g)	-	2 : 1	2 : 1	2 : 1	2 : 1

Keterangan :

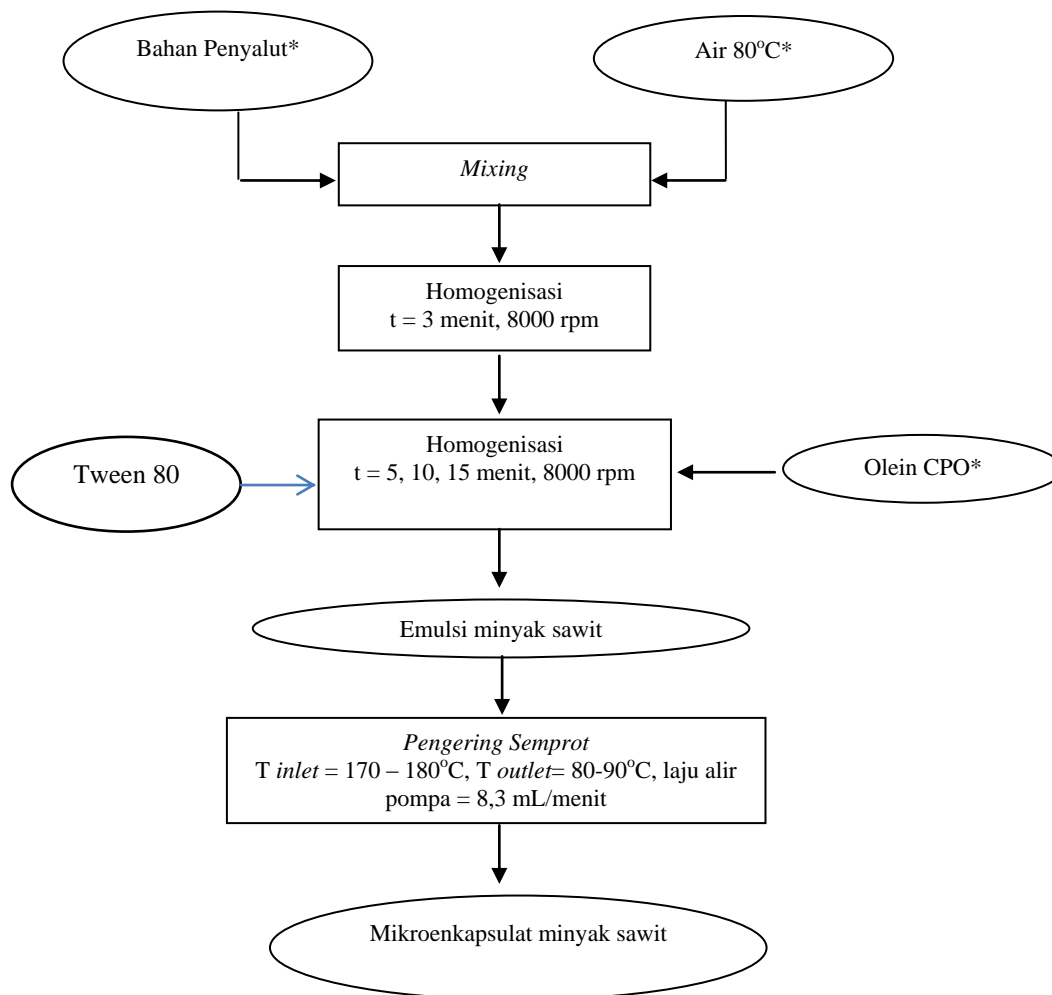
\* = Termasuk minyak sawit

Tabel 2. Rancangan percobaan hubungan volume bahan dan waktu homogenisasi

Faktor		Volume (mL)			
		250	450	900	1800
Waktu Homogenisasi (menit)	5	P <sub>1</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>7</sub>	P <sub>10</sub>
	10	P <sub>2</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>8</sub>	P <sub>11</sub>
	15	P <sub>3</sub>	P <sub>6</sub>	P <sub>9</sub>	P <sub>12</sub>

Tabel 3. Dimensi alat dan wadah yang digunakan pada kajian awal peningkatan skala

Basis skala	Skala 1	Skala 2	Skala 3	Skala 4
Volume emulsi (mL)	250	450	900	1800
Diameter wadah (cm)	6,9	6,9	9,1	11,7
Tinggi bahan (cm)	5,0	9,8	11,0	14,5
Diameter rotor (cm)	2,2	2,2	2,2	2,2
Diameter stator (cm)	4,0	4,0	4,0	4,0



\* = sesuai dengan formula pada Tabel 1

Gambar 1. Diagram alir proses pembuatan mikroenkapsulat minyak sawit

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kondisi dan Proses Homogenisasi

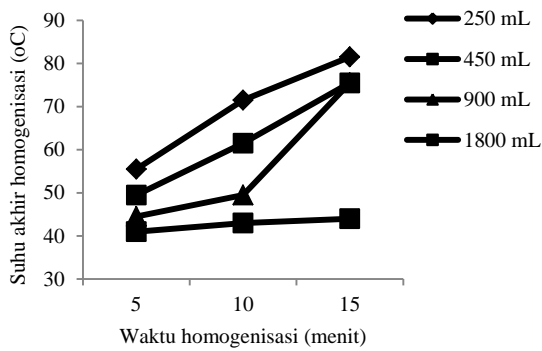
Homogenisasi adalah proses pengecilan ukuran partikel dari fase terdispersi sekaligus mendistribusikan secara seragam ke dalam fase kontinyu. Karakteristik dari suatu formula dan kondisi homogenisasi memiliki efek yang sangat besar terhadap karakteristik produk akhir yang dihasilkan (Weiss, 2008). Parameter yang mempengaruhi proses homogenisasi adalah formula bahan, lamanya waktu homogenisasi, kecepatan putar homogenizer dan volume bahan yang dihomogenisasi (McClements, 1999).

Pada Gambar 2 dapat dilihat hubungan volume bahan dan lamanya waktu homogenisasi dengan suhu akhir emulsi. Dari grafik didapatkan bahwa semakin besar volume emulsi, maka suhu akhir emulsi akan lebih rendah pada waktu homogenisasi yang sama. Panas yang dihasilkan dari kerja rotor-stator menyebar keseluruh bagian bahan

dalam wadah secara konduksi dan konveksi. Dengan volume bahan yang lebih besar perpindahan panas akan berjalan lebih lambat dan suhu tidak akan meningkat dengan cepat. Hal ini dapat dilihat pada volume bahan 1800 mL, dimana kenaikan suhu tidak meningkat secara signifikan, beriringan dengan lamanya waktu homogenisasi yang dilakukan. Berbeda halnya ketika volume bahan yang digunakan lebih kecil, suhu akan meningkat dengan signifikan ketika waktu homogenisasi yang dilakukan lebih lama. Pada volume bahan 900 mL, semakin lama waktu homogenisasi suhu akhir emulsi meningkat dari 40°C-70°C. Suhu akhir homogenisasi diduga dapat mempengaruhi karakteristik mikroenkapsulat minyak sawit yaitu kandungan total karotenoid. Kandungan total karotenoid akan dibahas pada subbab selanjutnya.

Intensitas dan durasi proses homogenisasi berpengaruh langsung terhadap ukuran partikel yang dihasilkan. Pada homogenizer rotor-stator, masuknya bahan ke dalam *radial opening* akan

memecah partikel menjadi ukuran yang lebih kecil, sehingga ketika waktu homogenisasi yang dilakukan lebih lama, partikel yang sudah terpecah akan kembali mengikuti siklus tersebut hingga stabil pada ukuran tertentu. Partikel yang dihasilkan dari homogenizer ultra turax memiliki nilai rata-rata ukuran 2  $\mu\text{m}$  (Coupland dan Tangsuphoom, 2005). Intensitas siklus ini akan membuat suhu saat proses homogenisasi meningkat. Apabila dibandingkan dengan *high pressure homogenizer*, lamanya waktu homogenisasi dengan menggunakan *ultra-turax homogenizer* sama dengan perlakuan pengumpanan yang dilakukan pada *high pressure homogenizer* (McClements, 1999).



Gambar 2. Grafik hubungan waktu homogenisasi, volume bahan dan suhu akhir homogenisasi

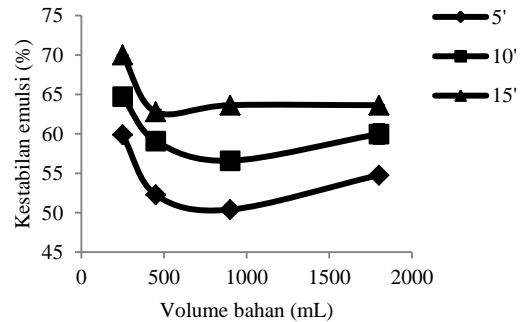
### Karakteristik Emulsi Minyak Sawit

Preparasi dan homogenisasi merupakan salah satu tahap menuju proses pengeringan dengan pengering semprot. Emulsi diharapkan memiliki kestabilan yang baik sebelum memasuki tahap ini. Emulsi yang telah dibuat pada volume tertentu dengan waktu homogenisasi yang berbeda-beda tidak mengalami pemisahan emulsi hingga 6 jam pada suhu ruang. Pemisahan emulsi ditandai dengan adanya pemisahan minyak dan air. Waktu pengamatan tingkat kestabilan emulsi diasumsikan sebagai waktu tunggu (*holding*) emulsi sebelum memasuki tahap pengeringan dan selama proses

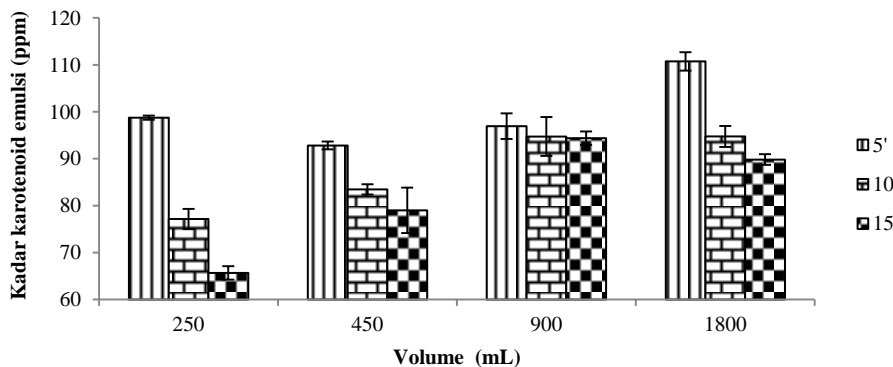
pengeringan berlangsung dengan tidak ada pemberian perlakuan apapun.

Kestabilan juga ikut dipengaruhi oleh interaksi sterik pada emulsi. Pada sistem emulsi *oil in water* seperti pada penelitian ini, droplet minyak akan dilapisi oleh bahan penyalut dan emulsifier yang bersifat hidrofilik sehingga terbentuk ikatan antara minyak dan bahan penyalut. Ketika dua *droplet* emulsi berdekatan, maka akan terjadi gerak penolakan dari satu droplet ke droplet lain sehingga jarak antar *droplet* akan dipertahankan tetap dan penggabungan membentuk *droplet* yang lebih besar dapat dicegah (McClements, 2004). Bahan penyalut yang digunakan ada yang berperan ganda, seperti gum arab yang berfungsi sebagai penyalut dan pengemulsi. Selain itu, gelatin juga dapat meningkatkan viskositas yang membantu mempertahankan stabilitas emulsi.

Pengering semprot yang digunakan memiliki laju alir bahan 8,3 mL/menit, sehingga untuk mengeringkan 500 mL emulsi dibutuhkan waktu 60 menit proses pengeringan. Volume terbesar yang digunakan adalah 1800 mL dan membutuhkan waktu proses pengeringan selama 3,5 jam atau 216 menit. Emulsi hasil proses homogenisasi harus stabil sebelum dan selama proses pengeringan berlangsung. Tingkat kestabilan emulsi minyak sawit mencukupi selama *holding* dan proses pengeringan berlangsung.



Gambar 3. Pengaruh volume emulsi dan waktu homogenisasi terhadap kestabilan emulsi



Gambar 4. Kadar karotenoid emulsi minyak sawit

Lamanya waktu homogenisasi pada kecepatan putar yang sama berpengaruh pada tingkat kestabilan emulsi (Kailaku *et al.*, 2012). Tingkat kestabilan juga diukur dengan menggunakan pengaruh panas dan sentrifugasi. Tingkat kestabilan emulsi dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan bahwa semakin lama waktu homogenisasi maka akan semakin meningkat kestabilan emulsi pada volume yang semakin meningkat. Kondisi ini terkait dengan distribusi penyalut dan emulsifier yang digunakan semakin merata dengan semakin lamanya waktu homogenisasi sehingga meningkatkan kemampuan pengikatan air oleh penyalut dan emulsifier dan menghasilkan emulsi yang stabil (Kailaku *et al.*, 2012). Ukuran globula lemak yang semakin kecil meningkatkan luas permukaan untuk berikatan dengan penyalut dan emulsifier sehingga emulsi lebih stabil dalam berikatan dengan air.

Pada penelitian ini dilakukan uji karotenoid pada emulsi sebelum dilakukan tahap pengeringan. Pada Gambar 4 teramati bahwa semakin lama waktu homogenisasi pada setiap volume bahan, terjadi penurunan kadar karotenoid. Hal ini disebabkan karena adanya efek panas yang timbul akibat gesekan emulsi dengan rotor-stator pada *homogenizer ultra-turax*. Komponen karotenoid dapat terdegradasi akibat adanya panas, cahaya dan oksigen (Tan dan Nakajima, 2005). Komponen karotenoid mulai terdegradasi akibat panas pada proses homogenisasi setelah 15 menit waktu homogenisasi pada suhu 70°C – 80°C. Pada volume bahan yang lebih tinggi, panas yang ditimbulkan tidak terlalu tinggi sehingga degradasi komponen karotenoid dapat dihambat.

### Karakteristik Mikroenkapsulat Minyak Sawit

#### Kadar Air dan $a_w$

Data kadar air mikroenkapsulat yang dihasilkan berada pada rentang 0,88-1,85% (Tabel 4). Pengujian statistik menggunakan ANOVA pada taraf signifikansi 5% menunjukkan bahwa lamanya

waktu homogenisasi dan peningkatan skala volume tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar air mikroenkapsulat minyak sawit. Nilai kadar air ini didukung oleh penelitian Fasikhatus (2010) pada produk mikroenkapsulat minyak sawit kadar air berkisar antara 0,62-2,92% (b/k). Kadar air yang dihasilkan dengan pengering semprot berkisar pada 2-6%. Kadar air lebih dipengaruhi oleh interaksi antar bahan dalam formula, kondisi proses pengeringan dan kondisi penyimpanan. Suhu *inlet* pengering semprot berkisar 170-180°C dan suhu *outlet* pengering semprot 80°C-90°C. Pada penelitian Frascareli (2012), jika suhu *inlet* dari pengering semprot kurang dari 175°C maka kadar air dari produk yang dihasilkan memiliki kadar air yang rendah, sedangkan jika berada pada suhu di atas 175°C akan menghasilkan kadar air yang tinggi. Pada penelitian Yuliani (2007) dan Mardaningsih (2012), suhu inlet pengering semprot mempengaruhi kadar air dari produk, semakin tinggi suhu inlet pengering semprot, maka akan semakin rendah kadar airnya.

*Activity of water* ( $a_w$ ) menunjukkan jumlah air bebas yang ada di dalam pangan yang dapat digunakan oleh mikroba untuk pertumbuhan. Pada produk pangan  $a_w$  sangat mempengaruhi oksidasi lemak yang dapat menyebabkan kerusakan produk. Pada  $a_w$  sekitar 0,2 dan 0,3 kemungkinan terjadinya oksidasi lemak sangat kecil (Velasco, 2003). Kualitas produk bubuk dapat dipengaruhi oleh perubahan  $a_w$  selama proses produksi dan penyimpanan. Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa  $a_w$  dari bubuk mikroenkapsulat yang dihasilkan berada di sekitar 0,370 – 0,481. Pada produk tepung,  $a_w$  dibawah 0,7 masih dapat diterima sebagai produk yang baik (Kusnandar, 2010). Pengujian statistik menggunakan uji ANOVA pada taraf signifikansi 5% menunjukkan bahwa lamanya waktu homogenisasi dan peningkatan skala volume tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai  $a_w$  akhir mikroenkapsulat minyak sawit.

Tabel 4. Kadar air dan  $a_w$  mikroenkapsulat minyak sawit

Volume (mL)	Waktu (menit)	Kadar Air (%bb)	$a_w$
250	5	1,72 ± 0,36	0,481 ± 0,02
	10	1,85 ± 0,69	0,467 ± 0,03
	15	1,55 ± 0,57	0,438 ± 0,04
450	5	1,60 ± 0,55	0,370 ± 0,02
	10	1,73 ± 0,21	0,441 ± 0,02
	15	1,69 ± 0,42	0,417 ± 0,02
900	5	1,45 ± 0,72	0,483 ± 0,03
	10	1,45 ± 0,88	0,374 ± 0,04
	15	1,11 ± 0,10	0,412 ± 0,03
1800	5	1,09 ± 0,47	0,421 ± 0,03
	10	0,88 ± 0,64	0,432 ± 0,03
	15	1,00 ± 0,71	0,371 ± 0,03

**Kelarutan**

Kelarutan merupakan salah satu karakteristik yang baik untuk menentukan kualitas dari suatu produk bubuk. Pada umumnya, air digunakan sebagai media pelarut pada produk mikroenkapsulat minyak sawit. Nilai rata-rata hasil kelarutan mikroenkapsulat dapat dilihat pada Tabel 5.

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kelarutan yang dihasilkan berkisar 96,90 – 98,38%. Berdasarkan data ini dapat dikategorikan bahwa mikroenkapsulat memiliki tingkat kelarutan yang tinggi karena berada diatas 94-95% sesuai dengan penelitian Mardaningsih (2012) pada kelarutan produk bubuk klorofil Alfalfa dengan penyalut maltodekstin dan penelitian Yuliani (2007) pada produk mikrokapsul oleoresin jahe dengan bahan penyalut maltodekstrin dan natrium kaseinat. Pengujian statistik menggunakan uji ANOVA pada taraf signifikansi 5% menunjukkan bahwa lamanya waktu homogenisasi dan peningkatan skala volume tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat kelarutan mikroenkapsulat minyak sawit.

Intensitas waktu homogenisasi mempengaruhi ukuran partikel dari emulsi (McClements, 1999). Semakin lama waktu homogenisasi maka ukuran partikel dari emulsi dan mikroenkapsulat akan menurun yang menyebabkan tingkat kelarutan akan semakin tinggi (Iswari, 2007). Ukuran partikel yang semakin kecil akan meningkatkan luas permukaan pada mikroenkapsulat

sehingga kontak dengan medium pelarut akan semakin besar dan memudahkan kelarutan bahan. Penelitian ini menggunakan enkapsulan yang memiliki karakteristik larut dalam air sehingga mikroenkapsulat yang dihasilkan memiliki kelarutan tinggi. Lamanya waktu homogenisasi diduga mempengaruhi tingkat kelarutan mikroenkapsulat pada suhu kamar. Akan tetapi proses homogenisasi dengan kecepatan 8000 rpm pada waktu homogenisasi yang semakin lama belum merubah ukuran partikel. Hal ini didukung dengan penelitian Kailaku *et al.* (2007) yang menyatakan lamanya waktu homogenisasi dengan menggunakan *homogenizer ultra turax* dengan intensitas 6000 – 16000 rpm memiliki ukuran partikel yang tidak berbeda signifikan.

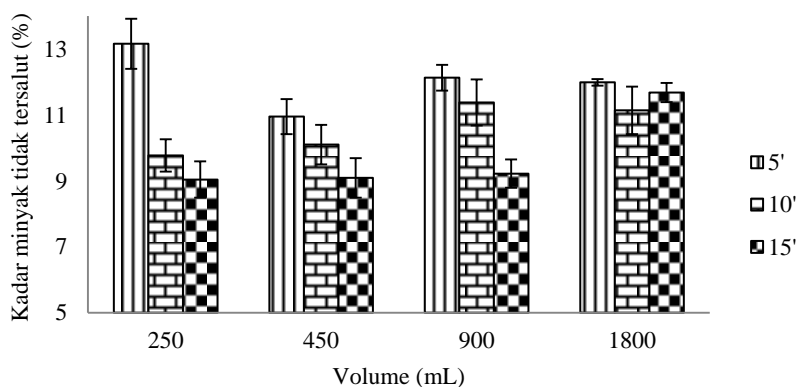
**Proses Mikroenkapsulasi Minyak Sawit**

Proses mikroenkapsulasi pada pembuatan mikroenkapsulat minyak sawit tidak hanya terjadi ketika proses homogenisasi berlangsung tetapi ikut dipengaruhi oleh proses pengeringan dengan pengering semprot. Minyak tidak tersalut adalah minyak yang tidak terlindungi secara sempurna oleh matriks penyalut atau hanya menempel pada dinding bagian luar penyalut. Minyak tidak tersalut erat kaitannya dengan efisiensi proses penyalutan. Minyak tidak tersalut juga dapat memediasi terjadinya reaksi oksidasi yang dapat menurunkan kandungan karotenoid.

Tabel 5. Kelarutan mikroenkapsulat minyak sawit

Volume (mL)	Waktu (menit)		
	5	10	15
250	96,96 ± 1,53 <sup>a</sup>	98,19 ± 0,51 <sup>a</sup>	97,68 ± 0,99 <sup>a</sup>
450	98,38 ± 0,48 <sup>a</sup>	97,69 ± 0,98 <sup>a</sup>	98,28 ± 0,39 <sup>a</sup>
900	98,16 ± 0,62 <sup>a</sup>	97,49 ± 0,81 <sup>a</sup>	97,73 ± 0,21 <sup>a</sup>
1800	97,20 ± 0,27 <sup>a</sup>	97,39 ± 0,45 <sup>a</sup>	96,90 ± 0,69 <sup>a</sup>

Keterangan : Huruf yang sama di belakang angka pada baris yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata (p>0,05)



Gambar 5. Kadar minyak tidak tersalut mikroenkapsulat minyak sawit

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu homogenisasi, maka kadar minyak tidak tersalut akan cenderung menurun. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hal tersebut. Pada volume 250 sampai 900 mL, penurunan kadar minyak tidak tersalut beriringan dengan lamanya waktu homogenisasi. Pada saat proses enkapsulasi atau penyalutan minyak dengan suspensi penyalut, homogenizer membantu untuk mengecilkan ukuran *droplet* minyak kemudian suspensi penyalut akan mengelilingi *droplet* minyak. Lamanya waktu homogenisasi akan membuat waktu kontak antara suspensi penyalut dengan minyak akan semakin intens sehingga proses penyalutan akan berlangsung lebih baik. Ketika volume dinaikkan hingga 900 mL, waktu homogenisasi selama 15 menit akan berpengaruh nyata pada kadar minyak tidak tersalut. Akan tetapi ketika volume kembali dinaikkan hingga 1800 mL, kadar minyak tidak tersalut antara waktu homogenisasi 5, 10 dan 15 menit tidak berbeda nyata, yaitu sebesar 11%. Mikroenkapsulat diharapkan memiliki kandungan minyak tidak tersalut serendah mungkin. Untuk mendapatkan kadar minyak tidak tersalut yang lebih rendah, dibutuhkan waktu yang lebih lama pada volume yang lebih besar.

Efisiensi dipengaruhi oleh total padatan, total minyak dan suhu *inlet* dari pengering semprot. Tabel 6 menunjukkan bahwa penambahan waktu proses menyebabkan penurunan kadar minyak tidak tersalut. Kadar minyak tidak tersalut akan mempengaruhi efisiensi proses mikroenkapsulasi terhadap kadar minyak total yang ada dalam mikroenkapsulat. Semakin rendah kadar minyak tidak tersalut membuktikan bahwa proses enkapsulasi (proses homogenisasi) berlangsung dengan baik. Mikroenkapsulat diharapkan memiliki efisiensi penyalutan yang baik, dimana zat aktif tersalut secara sempurna oleh bahan penyalut. Apabila minyak tidak tersalut lebih banyak dibandingkan minyak yang tersalut hal ini mengindikasikan bahwa minyak sawit hanya menempel pada bagian dinding luar mikroenkapsulat. Hal ini akan menyebabkan

kerusakan dan hilangnya karotenoid dalam mikroenkapsulat dan tujuan perlindungan komponen aktif menjadi tidak efisien. Pada Tabel 6 ditunjukkan hasil analisis kadar minyak tidak tersalut, kadar minyak total, dan efisiensi proses penyalutan. Dapat diketahui bahwa semakin lama waktu homogenisasi, kadar minyak tidak tersalut akan semakin menurun dan efisiensi proses akan meningkat. Efisiensi dapat dilihat dari seberapa banyak minyak yang berhasil disalut secara sempurna.

Suhu inlet dan kecepatan alir bahan dari pengering semprot dapat mempengaruhi kadar minyak tidak tersalut. Gambar 3 menunjukkan kenaikan waktu homogenisasi diikuti kenaikan tingkat kestabilan emulsi dan Gambar 5 menunjukkan kenaikan waktu homogenisasi menurunkan kadar minyak tidak tersalut yang akan menghasilkan kenaikan efisiensi mikroenkapsulasi. Menurut Dobry *et al.* (2009), diketahui bahwa semakin tinggi suhu *inlet* dan kecepatan alir bahan, maka suhu dari *droplet* emulsi akan berada dekat dengan suhu penguapan fase pendispersi ketika pembentukan dinding. Hal ini menyebabkan tekanan udara dalam partikel tetap ketika pengeringan berlangsung dan membentuk rongga udara. Akan tetapi apabila suhu *inlet* rendah dan kecepatan alir bahan lambat, suhu dari *droplet* emulsi akan berada di bawah titik didih dari fase pendispersi ketika pembentukan dinding. Hal ini menyebabkan tekanan antara rongga dalam partikel dan lingkungan berbeda, sehingga ada kecenderungan partikel yang terbentuk pecah dan minyak yang berada didalamnya keluar dan menempel pada partikel yang sudah kering dan tersalut sempurna. Kondisi homogenisasi yang optimal dapat membantu meminimalisir terbentuknya retak pada pembentukan dinding kapsul akibat kondisi dari pengering semprot. Pengeringan dengan menggunakan pengering semprot mempengaruhi efisiensi enkapsulasi. Pengeringan yang cepat dapat meningkatkan efisiensi akan tetapi dapat juga mempengaruhi kandungan karotenoid yang berada dalam mikroenkapsulat.

Tabel 6. Kadar minyak tidak tersalut dan efisiensi proses mikroenkapsulasi

Volume (mL)	Waktu (menit)	Kadar minyak total (%)	Kadar minyak tidak tersalut (%)	Efisiensi (%)
250	5	31,57 ± 0,51	13,16 ± 1,07	58,31
	10	27,75 ± 0,92	9,77 ± 0,70	64,80
	15	28,95 ± 2,68	9,04 ± 0,78	68,49
450	5	25,34 ± 1,08	10,95 ± 0,75	56,72
	10	26,75 ± 2,46	10,10 ± 0,85	62,23
	15	24,63 ± 1,07	9,09 ± 0,85	63,15
900	5	27,63 ± 2,28	12,13 ± 0,55	55,87
	10	26,65 ± 2,48	11,38 ± 0,99	56,91
	15	28,21 ± 2,36	9,22 ± 0,61	67,32
1800	5	27,39 ± 1,37	11,99 ± 0,14	56,18
	10	27,74 ± 1,38	11,14 ± 1,02	59,72
	15	27,05 ± 1,55	11,68 ± 0,41	56,72



Untuk pengeringan semprot, hal yang perlu lebih diperhatikan terkait efisiensi proses adalah rendemen. Pengeringan semprot menghasilkan produk bubuk dengan kualitas yang baik. Pada penelitian ini digunakan pengering semprot Buchi 190 Mini Spray Dryer yang menghasilkan rendemen 20,38 - 26,99%. Rendemen terkait dengan karakteristik dari bahan penyalutnya (Yanuwar, 2007). Pada penelitian ini digunakan penyalut maltodekstrin, gum arab dan gelatin. Gelatin akan membantu membentuk ikatan yang lebih kuat terhadap air sehingga proses pengeringan dapat terhambat. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan mikrokapsul tidak dapat dipisahkan sehingga tertinggal pada tabung pengering (Yanuwar, 2007).

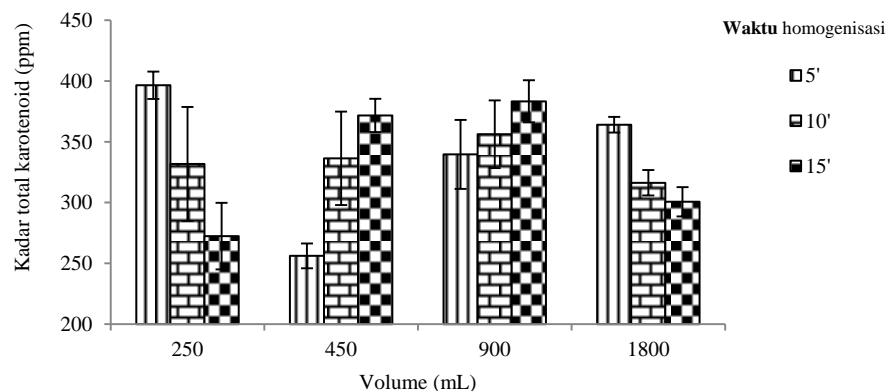
Pengujian statistik menggunakan uji ANOVA pada taraf signifikansi 5% menunjukkan bahwa lamanya waktu homogenisasi berpengaruh signifikan terhadap kadar minyak tidak tersalut dan efisiensi proses penyalutan, sedangkan tidak pada peningkatan skala volume bahan.

### Kandungan dan Retensi Total Karotenoid Mikroenkapsulat Minyak Sawit

Komponen karotenoid yang mudah mengalami kerusakan akibat panas dan oksidasi perlu dilindungi, salah satunya dengan metode mikroenkapsulasi. Lamanya waktu homogenisasi yang dilakukan pada volume emulsi tertentu mempengaruhi kadar karotenoid pada mikroenkapsulat minyak sawit. Kadar karotenoid ikut dipengaruhi oleh jumlahnya minyak tidak tersalut. Semakin lama waktu homogenisasi, jumlah kadar minyak tidak tersalut akan semakin menurun, sehingga jumlah minyak yang tersalut akan semakin banyak. Jumlah minyak yang semakin banyak pada produk akan meningkatkan kadar total karotenoid (Yanuwar, 2007). Berdasarkan hasil analisis, terjadi penurunan kandungan total karotenoid pada mikroenkapsulat jika dibandingkan dengan total karotenoid awal olein minyak sawit, yaitu sebesar

516,25 ppm. Minyak dalam mikroenkapsulat memiliki kandungan total karotenoid sebesar 256,21 – 396,52 ppm. Dapat dilihat pada Gambar 6 bahwa pada skala volume 250 mL, semakin lama waktu homogenisasi yang dilakukan maka kadar karotenoid pada mikroenkapsulat semakin menurun. Hal ini disebabkan semakin lama waktu homogenisasi, suhu dari emulsi semakin meningkat dan karotenoid mudah rusak karena panas. Pada skala volume 450 mL, pengaruh jumlah minyak tidak tersalut yang menurun menyebabkan jumlah minyak semakin banyak dan kadar karotenoid meningkat.

Nilai retensi karotenoid adalah perbandingan antara kadar karotenoid yang terdapat pada minyak sawit awal (dalam hal ini fraksi olein yang digunakan sebagai bahan baku) dengan kandungan karotenoid pada produk akhir mikroenkapsulat dikali dengan seratus persen. Tabel 7 menunjukkan retensi karotenoid dipengaruhi oleh lamanya waktu homogenisasi yang berakibat naiknya suhu emulsi. Kadar total dan retensi karotenoid dapat dilihat pada Tabel 7. Retensi karotenoid berada pada range 49,63 – 76,81%. Retensi kandungan karotenoid diduga dipengaruhi oleh keberadaan kandungan minyak tidak tersalut yang berada pada produk. Semakin banyak minyak yang dapat disalut, maka perlindungan kandungan karotenoidnya akan semakin meningkat karena semakin banyaknya sumber komponen aktif yang dilindungi oleh matriks penyalut. Pengujian statistik menggunakan uji ANOVA pada taraf signifikansi 5% menunjukkan bahwa lamanya waktu homogenisasi dan peningkatan skala tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat kadar karotenoid dan retensi total karotenoid mikroenkapsulat minyak sawit. Penambahan waktu homogenisasi dan peningkatan skala volume tidak memberikan pengaruh terhadap perbedaan kadar karotenoid dan retensi total karotenoid mikroenkapsulat minyak sawit.



Gambar 6. Kadar total karotenoid pada mikroenkapsulat minyak sawit

Tabel 7. Kadar total karotenoid mikroenkapsulat minyak sawit

Volume (mL)	Waktu homogenisasi (menit)	Karotenoid olein (ppm)	Karotenoid minyak mikroenkapsulat (ppm)	Retensi karotenoid (%)	Karotenoid bubuk mikroenkapsulat (ppm)
250	5	516,25 ± 4,45	396,52 ± 15,90	76,81	125,13 ± 2,54
	10		331,78 ± 66,20	64,27	91,69 ± 19,44
	15		272,37 ± 38,72	52,76	78,24 ± 6,26
450	5		256,21 ± 14,41	49,63	64,85 ± 0,79
	10		336,41 ± 54,37	65,16	89,19 ± 9,17
	15		371,71 ± 19,38	72,00	91,64 ± 8,88
900	5		339,62 ± 40,17	65,79	93,27 ± 5,82
	10		356,20 ± 39,36	69,00	94,35 ± 3,75
	15		383,29 ± 24,46	74,25	107,8 ± 1,01
1800	5	363,99 ± 9,13	70,51	99,7 ± 5,45	
	10	316,29 ± 14,78	61,27	87,77 ± 5,69	
	15	300,66 ± 17,08	58,24	81,19 ± 0,05	

### Kajian Awal Peningkatan Skala

Peningkatan skala memiliki makna memperluas, replikasi, adaptasi dan mempertahankan formula meskipun tidak identik (Scoot *et al.*, 2013). Perangkat pertama yang berguna dalam suatu peningkatan skala adalah pengembangan diagram alir proses yang menunjukkan laju produksi yang diinginkan dan materi yang dibutuhkan pada setiap proses. Langkah selanjutnya dilakukan uji coba terhadap peralatan yang menjadi titik kritis dalam suatu rangkaian proses.

Pada kajian awal peningkatan skala proses mikroenkapsulasi akan dilihat respon perubahan volume emulsi (diikuti dengan perubahan geometrik wadah) disertai dengan peningkatan waktu homogenisasi terhadap karakteristik emulsi minyak sawit, dalam hal ini kestabilan dan kadar karoten emulsi. Model persamaan ini dapat digunakan untuk memprediksi tingkat kestabilan dan kadar karotenoid emulsi apabila dilakukan perubahan volume emulsi serta waktu homogenisasi pada skala yang lebih besar dalam penelitian ini. Pengujian statistik menggunakan uji regresi linearitas ANOVA pada taraf signifikansi 5% didapatkan prediksi persamaan kestabilan emulsi dan kadar karoten emulsi yang ditunjukkan pada persamaan 1 dan 2.

Model persamaan 1 dan 2 dapat digunakan untuk mengetahui prediksi kestabilan emulsi dan kadar karotenoid emulsi. Tingkat kestabilan emulsi memiliki hubungan negatif terhadap kadar karotenoid, apabila tingkat kestabilan emulsi meningkat (tinggi), maka kadar karotenoid cenderung menurun, begitu pula sebaliknya. Pada model persamaan diatas, peningkatan volume emulsi dapat menurunkan tingkat kestabilan akan tetapi dapat meningkatkan kadar karotenoid emulsi, sedangkan peningkatan lamanya waktu homogenisasi dapat meningkatkan kestabilan dan juga menurunkan kadar karotenoid emulsi.

Pada persamaan 1 dapat diketahui bahwa kestabilan emulsi akan semakin meningkat pada volume emulsi yang lebih kecil dan waktu

homogenisasi yang ditingkatkan, akan tetapi karena persamaan ini digunakan sebagai kajian awal peningkatan skala, maka ketika volume ditingkatkan, maka kecenderungan kestabilan emulsi akan menurun, sehingga diperlukan waktu homogenisasi yang lebih lama untuk tetap mempertahankan atau meningkatkan kestabilan emulsi. Waktu homogenisasi yang lebih lama meningkatkan intensitas distribusi penyalut dan emulsifier yang digunakan semakin merata sehingga meningkatkan kemampuan pengikatan air oleh penyalut dan emulsifier sehingga menghasilkan emulsi yang lebih stabil (Kailaku *et al.*, 2012).

Kestabilan emulsi akan meningkat seiring meningkatnya waktu homogenisasi akan tetapi mempengaruhi kadar karotenoid pada emulsi. Persamaan 2 menunjukkan bahwa seiring meningkatnya volume emulsi, maka kadar karotenoid emulsi akan ikut meningkat diiringi penurunan lamanya waktu homogenisasi. Lamanya waktu homogenisasi meningkatkan suhu dan menimbulkan panas yang dapat mendegradasi senyawa karotenoid yang sensitif terhadapnya, akan tetapi dengan meningkatnya volume emulsi yang lebih besar, perpindahan panas berjalan lebih lambat sehingga suhu emulsi tidak akan meningkat secara signifikan dan tidak cukup mempengaruhi penurunan kadar karotenoid. Waktu homogenisasi memegang peranan penting untuk mendapatkan emulsi dengan tingkat kestabilan emulsi yang tinggi diiringi dengan kadar karotenoid emulsi yang juga tinggi.

Proses homogenisasi dengan menggunakan sistem *batch* memungkinkan untuk digunakan pada skala *pilot plant* maupun skala industri. Hal ini disebabkan karena ukuran bejana dapat dibuat dengan menggunakan perbandingan secara geometrik terhadap ukuran bejana pada skala laboratorium. Menurut Valentas (1991), perbesaran skala dengan perbandingan geometrik dapat diterapkan pada proses *mixing* dan homogenisasi dengan mempertimbangkan beberapa hal, diantaranya adalah faktor yang harus tetap dalam

keadaan konstan, ukuran dari rotor-stator, kecepatan rotor dan waktu yang dibutuhkan untuk berlangsungnya proses. Prinsip persamaan geometri ini adalah landasan peningkatan skala yang paling banyak digunakan. Pada penelitian ini digunakan bejana plastik dengan ukuran volume 500 mL, 1000 mL dan 2000 mL. Wadah yang digunakan memiliki kelipatan terhadap volume. Ukuran dan perbandingan rotor-stator pada homogenizer dibuat tetap. Ukuran rotor-stator yang digunakan sebenarnya ikut dipengaruhi oleh peningkatan skala ini. Pada penelitian Mubarak (2010) digunakan perbandingan geometrik ukuran rotor terhadap stator dan diameter wadah dengan rotor yang dibuat tetap terhadap proses emulsifikasi emulsi minyak sawit.

Pengering semprot merupakan operasi proses yang berkelanjutan (*continuous*) yang terdiri dari beberapa tahap pengeringan, mulai dari preparasi, homogenisasi, atomisasi dan dehidrasi partikel hasil atomisasi. Pengering semprot yang digunakan dikategorikan sebagai pengering semprot skala laboratorium. Dalam waktu satu jam, pengering semprot ini dapat mengeringkan emulsi sebanyak 500 mL, dengan demikian kecepatan laju alir pengering semprot sebesar 8,3 mL/menit. Kecepatan laju alir pada pengering semprot sangat menentukan keefisienan dan keefektifan dari proses pembuatan mikroenkapsulat minyak sawit. Dengan mengkombinasikan peningkatan skala volume emulsi pada saat proses homogenisasi dengan laju alir bahan saat proses pengeringan akan meningkatkan keefektifan dan keefisienan dari rangkaian proses pembuatan mikroenkapsulat.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kondisi homogenisasi dan peningkatan volume bahan mempengaruhi kualitas dan karakteristik emulsi dan mikroenkapsulat minyak sawit. Karakteristik emulsi meliputi stabilitas dan kadar total karotenoid. Stabilitas emulsi meningkat dengan meningkatnya waktu homogenisasi dan kadar karotenoid meningkat dengan meningkatnya volume bahan. Peningkatan volume bahan dan lamanya waktu homogenisasi tidak mempengaruhi karakteristik kadar air,  $a_w$  dan kelarutan dari mikroenkapsulat minyak sawit secara signifikan, tetapi mempengaruhi kandungan minyak tidak tersalut dan efisiensi proses mikroenkapsulasi.

### Saran

Penelitian ini tidak terlepas dari beberapa kendala dan masih memerlukan masukan dan perbaikan. Saran yang diberikan untuk penelitian ini adalah perlunya dilakukannya optimasi lamanya waktu homogenisasi terhadap peningkatan volume emulsi dan analisis lanjut peningkatan skala mikroenkapsulat minyak sawit dengan menggunakan

pengering semprot untuk diaplikasikan pada skala industri.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Direktur Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan RI (DIKTI), atas bantuan pembiayaan penelitian melalui Hibah Kompetensi Nomor 035/SP2H/PL/DIT.LIT ABMAS/V/2013 dan pihak PT. Salim Ivomas Pratama yang telah menyediakan bahan baku utama pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 2012. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Washington DC : AOAC International.
- Apriyantono A, Fardiaz D, Puspitasari NL, Yasr S. 1989. *Petunjuk Laboratorium Analisis Pangan*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Pusat antar Universitas Pangan dan Gizi. Institut Pertanian Bogor.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 1999. *Susu Bubuk*. 01-2970-1999. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Coupland JN dan Tangsuphoom N. 2005. Effect of heating and homogenization on the stability of coconut milk emulsion. *J Food Sci*. 70 (8) : 466-470.
- Ermawati T dan Yeni S. 2013. Kinerja ekspor minyak kelapa sawit Indonesia. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan*. 7 (2): 129-147.
- Fardiaz D. 1992. *Petunjuk Laboratorium Teknik Analisis Sifat Kimia dan Fungsional Komponen Pangan*. Bogor : PAU Pangan dan Gizi IPB.
- Fasikhatun T. 2010. Pengaruh konsentrasi maltodekstrin dan gum arab terhadap karakteristik mikroenkapsulat minyak sawit merah dengan metode *spray drying* [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Frascareli EC, Silva VM, Tonon RV, Hubinger MD. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *J Food and Bioproducts Proces*. 90: 413-424.
- Herman S. 2007. Masalah Kurang Vitamin A (KVA) Dan Prospek Penanggulangannya. *Media Litbang Kes*.17 (4): 40-44.
- Iswari TR. 2007. *Buku Pegangan Ilmu Pengetahuan Kosmetik*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Kailaku SI, Tatang H, dan Dondy AS. 2012. Pengaruh kondisi homogenisasi terhadap karakteristik fisik dan mutu santan selama penyimpanan. *Jurnal Litri*. 18(1): 31-39.

- Kamal N. 2014. *Karakterisasi dan Potensi Pemanfaatan Limbah Sawit*. Bandung: Itenas Library.
- Komari. 1997. Efisiensi enkapsulasi dan model rilis vitamin C yang dienkapsulasi dengan teknik *polymer deposition*. *Prosiding Seminar Tek. Pangan 1997*.
- Kusnandar F. 2010. *Kimia Pangan*. Jakarta : Dian Rakyat.
- Lai O, Tan C, dan Akoh CC. 2012. *Palm Oil : Production, Processing, Characterization, and Uses* [editorial]. New York (US): AOCS Press.
- Levin M. 2006. *Pharmaceutical Process Scale-Up Second Edition*. USA: Taylor & Francis Grup, LLC.
- Mardaningsih F, Andriani MAM, dan Kawiji. 2012. Pengaruh konsentrasi etanol dan suhu spray dryer terhadap karakteristik bubuk klorofil daun alfalfa dengan menggunakan binder maltodekstrin. *J Teknosains Pangan*. 1 (1).
- McClements DJ. 1999<sup>a</sup>. *Food Emulsion Principles, Practices, and Techniques*. New York (US) : CRC Press.
- , 1999<sup>b</sup>. *Food Emulsion Principles, Practices, and Techniques 2<sup>nd</sup>ed*. New York (US) : CRC Press.
- PORIM. 2005. *PORIM Test Method*. Kuala Lumpur : Palm Oil Research Institute of Malaysia
- Rianto D. 1995. Sifat fisika kimia dan stabilitas panas minyak sawit merah. *BAU Scientific Repository*.
- Scout DD, Timothy JBPE, dan William GM. 2007. Scaling Up Your Food Process. *Food Technology Fact Sheet* [internet]. Tersedia pada : <http://www.fapc.okstate.scaleup>. [2014 Agustus 20].
- Shahidi F dan Wanasundara PKJPD. 1997. *Extraction and Analysis of Lipids*. Di dalam: Akoh CC dan Min DB (eds.). *Food Lipids, Chemistry Nutrition and Biotechnology 2<sup>nd</sup> Ed*. New York (US): Marcel Dekker Inc.
- Tan CP dan Nakajima M. 2005. B-carotene nanodispersions: preparation, characterization and stability evaluation. *Food Chem*. 92:661-671.
- Valentas KJ, Levine L, dan Clark JP. 1991. *Food Processing Operations and Scale Up*. New York : Marcel Dekker Inc.
- Velasco PJ, Carmen D, dan Gloria MR. 2003. Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils. *Grasas y Aceites*. 54 (3): 304-314.
- Wiley J dan Sons. 2013. *Edible Oil Processing Second Edition*. UK : Wiley-Blackwell.
- Weiss J. 2008. Emulsion Processing: Homogenization. [Emulsion Workshop]. Germany : Department of Food Science and Biotechnology, Universitt of Hohenheim.
- Yanuwar W, Widjanarko SB, dan Wahono T. 2007. Karakteristik dan stabilitas antioksidan mikroenkapsulat minyak buah merah (*Pandanus conoideus Lam*) dengan bahan penyalut berbasis protein. *J Teknol Pert*. 8(2):127-135.
- Yasumatsu K, Sawada K, Moritaka S, Nfisaki M, Toda J, Wada T, Ishi K. 1972. Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agric Biol Chem*. (36): 719-727.
- Yuliani S, Desmawarni NH, dan Yuliani SS. 2007. Pengaruh laju alir umpan dan suhu inlet spray drying pada karakteristik mikrokapsul oleoresin jahe. *J Pascapanen*. (4): 18-26.
- Zeba AN, Prevel YM, Some IT, F DelisleH. 2006. The positive impact of red palm oil in school meals on vitamin A status: study in Burkina Faso. *Nutr J*. 5(17):1-10.
- Zilberboim R, Kopelman IJ, dan Talmon Y. 1986. Microencapsulation by a dehydrating liquid: retention of paprika oleoresin and aromatic esters. Di dalam: Ahn JH, Kim YP, Seo EM, Choi YK, dan Kim HS. 2007. Antioxidant effect of natural plant extracts on the microencapsulated high oleic sunflower oil. *J Food Eng*. (84): 327-334.