

SIFAT-SIFAT EMULSI SUSU REKONSTITUSI YANG MENGANDUNG MIKROKAPSUL MINYAK IKAN KAYA ASAM LEMAK ω -3

*Emulsifying Properties Of Reconstituted Milk Containing Fish-Oil
Enriched With ω -3 Fatty Acids Microcapsule*

Teti Estiasih¹⁾

ABSTRACT

Fish-oil enrichment with ω -3 fatty acids microcapsule is one way to increase food systems by ω -3 fatty acids. Microcapsule containing fish oil enriched with ω -3 fatty acids was produced by spray drying method. However its emulsifying properties in food systems had not been known. This research was conducted to elucidate the changes of protein emulsifying properties of reconstituted milk containing fish oil enriched with ω -3 fatty acids. The result showed that microcapsule addition onto reconstituted milk enhanced protein emulsifying properties as indicated by adsorbed protein, percentage of adsorbed protein, emulsifying activity index, interfacial area, protein load, and emulsion stability index. This was caused by caseinate in microcapsule had better emulsifying properties than protein in low fat milk.

Keywords: *fish oil enriched with ω -3 fatty acids, microcapsule, emulsifying properties, reconstituted milk*

PENDAHULUAN

Asam lemak ω -3, terutama *eicosapentaenoic acid* (EPA; C20:5 ω -3,) dan *docosahexaenoic acid* (DHA; C22:6 ω -3,) merupakan asam lemak yang berefek positif terhadap kesehatan. Pengaruh fisiologis asam lemak ini adalah berperan dalam perkembangan otak dan retina (Spector, 1999; Crawford dkk., 1999; Rotstein dkk., 1999), perkembangan otak bayi prematur (Uauy dan Hoffman, 2000), mencegah berbagai penyakit kanker (Terry dkk., 2003; Hardman dkk., 2004), meningkatkan keberhasilan dan menurunkan efek samping kemoterapi pada penderita kanker (Hardman dkk., 2002), mencegah aterosklerosis dan berefek positif pada metabolisme lipida (Mori dkk., 1999), menurunkan gejala depresi (Tiemeier dkk., 2003), memperbaiki toleransi terhadap glukosa pada penderita diabetes (Mori dkk., 1999), serta memperbaiki harapan hidup penderita penyakit autoimun seperti lupus dan artritis (Jolly dkk., 2001).

Peningkatan kesadaran publik akan pentingnya asam lemak ω -3 telah memacu industri pangan untuk mengembangkan produk yang mengandung asam lemak ini. Asam lemak ω -3 biasa diformulasikan dalam produk pangan berupa minyak ikan yang diproteksi dalam bentuk mikrokapsul. Permintaan industri pangan akan mikrokapsul tersebut terus mengalami peningkatan (Baik dkk., 2004). Keuntungan mikrokapsul ini adalah berbentuk bubuk kering (Shefer dan Shefer, 2003) dan mempunyai stabilitas yang lebih baik dibandingkan minyak ikan (Partanen dkk., 2005).

Di Indonesia pemenuhan kebutuhan industri pangan akan mikrokapsul asam lemak ω -3 masih dipenuhi oleh produk mikrokapsul impor. Mikrokapsul ini dibuat dengan metode koaservasi kompleks yang mahal dengan enkapsulan yang digunakan adalah gelatin ikan dan gum arab.

Untuk diformulasikan pada produk pangan, kadar asam lemak ω -3 minyak ikan tersebut harus ditingkatkan

¹⁾ Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang

untuk menjaga asupan lemak tetap rendah (Ohshima dkk., 1998; Simopoulos, 1999). Salah satu metode pengayaan minyak ikan dengan asam lemak ω -3 adalah metode pemadatan cepat (Moffat dkk., 1993) yang menghasilkan minyak kaya asam lemak ω -3 dalam bentuk trigliserida.

Minyak kaya asam lemak ω -3 telah berhasil dibuat dari minyak hasil samping pengalengan ikan lemuru dengan menggunakan metode pemadatan cepat (Estiasih dan Ahmadi, 2004). Mikroenkapsulasi dilakukan menggunakan metode pengeringan semprot yang lebih murah dibandingkan metode koaservasi kompleks (Estiasih dkk., 2005).

Pada penelitian Estiasih dkk. (2005) digunakan enkapsulan natrium kaseinat. Natrium kaseinat dipilih karena mempunyai kemampuan emulsifikasi yang baik (Euston dan Hirst, 2000) yang lebih baik dibandingkan gelatin ikan (Dickinson dan Lopez (2001), dan protektif terhadap minyak ikan (Kagami dkk., 2003)..

Sejauh ini aplikasi mikrokapsul minyak kaya asam lemak ω -3 yang dihasilkan dengan metode pengeringan semprot belum diteliti termasuk pada susu bubuk. Faktor penting yang harus diperhatikan pada proses formulasi ini adalah kualitas sensoris produk (Garcia, 1998) dan kebutuhan tubuh akan asam lemak ω -3. Sampai saat ini anjuran konsumsi harian (RDA= *Recommended Daily Allowance*) asam lemak ω -3 masih dalam tahap penentuan (Huang dkk., 2004).

Anjuran konsumsi asam lemak ω -3 untuk wanita hamil dan menyusui adalah 0,13-0,14 g/hari (Shim dkk., 2003). Untuk pencegahan penyakit kardiovaskular disarankan konsumsi asam lemak ω -3 500 mg/hari dan untuk pencegahan penyakit jantung adalah 1000 mg/hari (Nettleton, 2005). Para peneliti menganjurkan konsumsi asam lemak ω -3 650 mg/hari (Anonymous, 2004). Pederson (*cit* Farrel, 1998) menganjurkan konsumsi ≥ 1 g asam lemak ω -3 per hari. Bjerve (*cit* Farrel, 1998) menganjurkan konsumsi 350-400 mg EPA+DHA per hari dengan konsumsi minimal 100-200 mg/hari. *Food and Drug Administration* (2004ab) membatasi konsumsi asam lemak ω -3 sampai 3 g/hari.

Penelitian ini bertujuan mengetahui perubahan sifat-sifat emulsi susu rekonstitusi yang diformulasi mikrokapsul minyak kaya asam lemak ω -3. Sifat-sifat emulsi yang diteliti adalah sifat emulsifikasi protein. Sifat-sifat emulsi ini penting diteliti karena susu merupakan sistem emulsi yang harus mempunyai stabilitas emulsi yang baik.

METODE PENELITIAN

Bahan

Susu rendah lemak yang digunakan adalah campuran dari susu *full cream* (merek Dancow) dengan kadar lemak

23,33%, dan susu skim merek Lactona) dengan kadar lemak 0,60%. Kadar susu rendah lemak (hasil pencampuran susu *full cream* dan susu skim) adalah 10,85%.

Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah standar asam lemak (C12:0, C14:0, C16:0, C18:0, C18:1- ω 9, C18:2- ω 6, C18:3- ω 3, C20:0, C20:4- ω 6, C20:5- ω 3, C22:6- ω 3) (Sigma Co.); aseton teknis; NaH₂PO₄, Na₂HPO₄, H₂SO₄, asam borat, heksana, metanol, metilen klorida, BF₃-metanol, KOH, NaOH, fenolftalein, (*pro-analysis*) dari Merck; gas hidrogen, gas nitrogen (PT Aneka Gas, Yogyakarta), dan es kering (PT Fujigas, Surabaya).

Peralatan

Peralatan yang digunakan adalah kromatografi gas (GC-14B, Shimadzu), integrator (Chromatopac C-RGA, Shimadzu), neraca analitik (HR-300, AND), pengaduk magnet (Nouvo II), alat-alat gelas, rotavapor (Buchi), *freezer* (Deaby), spektrofotometer (uv-1201v, Shimadzu), sentrifusa (T51-1,MLW), ultrasentrifusa (Beckman), dan pengering semprot (Armfield SD04).

Cara penelitian

Bahan yang digunakan adalah minyak kaya asam lemak ω -3 yang dibuat dari minyak hasil samping pengalengan ikan lemuru dengan metode pemadatan cepat yang dimodifikasi (Estiasih dan Ahmadi, 2004). Mikrokapsul dibuat dari minyak ikan kaya asam lemak ω -3 dengan menggunakan metode pengeringan semprot dengan enkapsulan natrium kaseinat teknis dari Sigma Co. (Estiasih dkk., 2005).

Karena anjuran konsumsi susu adalah 2 gelas sehari dengan jumlah 30 g/gelas, maka penambahan mikrokapsul diatur sampai diperoleh kisaran kadar EPA+DHA 0-450 mg/60 g susu formula. Rekonstitusi susu formula diperoleh dengan cara melarutkan 30 g susu dalam 200 ml air dan diagitasi dengan pengaduk magnet selama 5 menit.

Analisis statistik

Variabel yang dipelajari pada proses pembuatan susu formula adalah tingkat penambahan EPA+DHA sehingga diperoleh kadar EPA+DHA (mg) dalam 60 g susu formula sebagai 0; 75; 150; 225; 300; 375; dan 450 mg. Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap dengan dua kali ulangan. Jika berbeda nyata dilanjutkan dengan uji lanjut dengan uji jarak berganda Duncan.

Metode analisis

Metode yang digunakan untuk menganalisis parameter yang diamati adalah: komposisi asam lemak susu bubuk rendah lemak dan mikrokapsul (transesterifikasi *in situ* dengan

metode Park dan Goin, 1994); protein teradsorpsi (Euston dkk., 1995); persentase protein teradsorpsi (Aoki *et al*, 1984) yang menunjukkan persentase protein pada permukaan globula minyak terhadap total protein dalam sistem emulsi; indeks aktivitas pengemulsian (EAI=*Emulsifying Activity Index*) (Pearce dan Kinsella, 1978); luas antar permukaan (Cameron dkk., 1991); beban muatan protein (*protein load*) (Britten dan Giroux, 1993); dan indeks stabilitas emulsi (ESI=*Emulsion Stability Index*) (Pearce dan Kinsella, 1978).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar lemak susu rendah lemak yang digunakan adalah 10,85% (b/b), sehingga apabila 30 g susu bubuk tersebut dilarutkan dalam 200 ml air, kadar lemak susu rekonstitusi menjadi 1,63% (b/v). Kadar lemak susu ini ada dalam kisaran susu rendah lemak, karena menurut Holdsworth dan Haylock (1995) susu rendah lemak mempunyai kadar lemak 0,5-2,5% (b/v).

Table 1. Fatty acids composition low fat milk, fish oil enriched with ω -3 fatty acids, and microcapsule

Fatty Acid	Fatty acid content (%)*		
	Low fat milk	Fish oil enriched with ω -3 fatty acids	Microcapsule
C12:0	4,93	0,80	0,79
C14:0	13,82	6,30	7,32
C16:0	35,34	14,10	14,66
C16:1	-	0,59	0,57
C18:0	5,29	5,83	6,24
C18:1	16,58	3,84	3,88
C18:2	-	3,10	3,45
C18:3	-	1,23	1,18
EPA	-	22,63	22,51
DHA	-	17,02	13,96
EPA+DHA	-	39,65	36,47

* based on percentage of peak area of identified fatty acid to total peak areas detected in chromatogram

Kadar EPA+DHA dalam mikro kapsul adalah 6,27% (b/b) dengan kadar EPA 3,23% (b/b) dan DHA 3,04% (b/b). Kisaran kadar EPA+DHA yang dipilih untuk membuat susu

formula didasarkan kisaran yang dianjurkan untuk dikonsumsi yaitu 300-400 mg/hari (Simo-poulos, 1991); 350-400 mg/hari (Bjerve dalam Farrel, 1998); dan konsumsi minimal 100-200 mg/hari (Bjerve dalam Farrel, 1998).

Table 2. Preparation of 60 g milk formula from low fat milk

EPA + DHA (mg)	Microcap-sule (g)	Low fat milk (g)	Microcap-sule proportion (%)*	Fat content (%)
0	0	60	0	10,85
75	1,20	58,80	2	11,32
150	2,39	57,61	4	11,56
225	3,59	56,41	6	11,91
300	4,78	55,22	8	12,15
375	5,98	54,02	10	12,62
450	7,18	52,82	12	12,98

* weight/weight

Protein teradsorpsi emulsi susu rekonstitusi

Menurut Demetriades dan McClements (1999), protein teradsorpsi pada permukaan globula lemak dan membentuk lapisan pelindung yang menstabilisasi globula lemak dari koalesensi dan/atau flokulasi. Protein yang teradsorpsi berperan terhadap stabilitas emulsi.

Mikro kapsul merupakan hasil pengeringan globula minyak yang distabilisasi oleh natrium kaseinat. Lapisan yang menstabilisasi globula lemak dalam susu rendah lemak adalah misel kasein, kaseinat, protein whey (Singh dan Newstead, 1997), dan protein membran globula lemak susu (MFGM=*Milk Fat Globule Membran*) (Elling dkk., 1996). Struktur protein misel kasein adalah bentuk agregat (Euston dan Hirst, 2000).

Menurut Srinivasan dkk. (1996), agregat kasein melapisi permukaan globula lemak lebih padat dibandingkan natrium kaseinat. Natrium kaseinat merupakan protein amfifilik dengan kecenderungan kuat untuk teradsorpsi pada antar permukaan (Tornberg dkk., 1997). Walaupun susu rendah lemak mempunyai protein dalam bentuk agregat yang menyebabkan pelapisan yang lebih padat, tetapi nilai protein teradsorpsi susu rendah lemak (0,21 mg/ml) lebih rendah dari susu formula (8,38 mg/ml) yang disebabkan jumlah globula lemak terbatas karena kadar lemak rendah (Table 1). Peningkatan mikro kapsul meningkatkan protein yang teradsorpsi dalam emulsi susu rekonstitusi karena terjadi peningkatan globula lemak yang distabilisasi protein dari mikro kapsul.

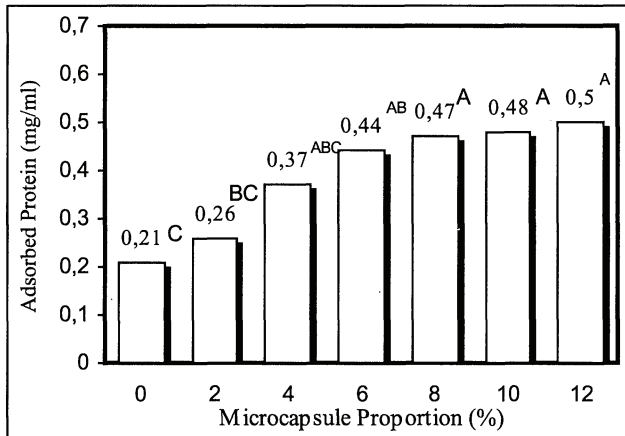


Figure 1. Adsorbed protein of reconstituted milk emulsion as affected by microcapsule proportion. Value with different superscript letters are significantly different ($\alpha=0,05$).

Peningkatan protein teradsorpsi yang nyata terjadi pada penambahan mikrokapsul 6% (Figure 1). Pada penambahan mikrokapsul kurang dari 6% jumlah globula lemak yang distabilisasi protein yang berasal dari mikrokapsul belum cukup untuk meningkatkan protein teradsorpsi. Mikrokapsul ketika dilarutkan akan menjadi globula minyak yang disalut oleh kaseinat. Semakin tinggi proporsi mikrokapsul semakin banyak globula lemak yang distabilisasi protein sehingga meningkatkan protein teradsorpsi.

Persentase protein teradsorpsi emulsi susu rekonstitusi

Persentase protein teradsorpsi menunjukkan protein yang efektif dan digunakan dalam menstabilisasi permukaan globula minyak dan berkorelasi positif dengan stabilitas emulsi (Aoki dkk., 1984).

Mikrokapsul yang ditambahkan merupakan globula lemak yang dilapisi oleh natrium kaseinat. Pada susu rendah

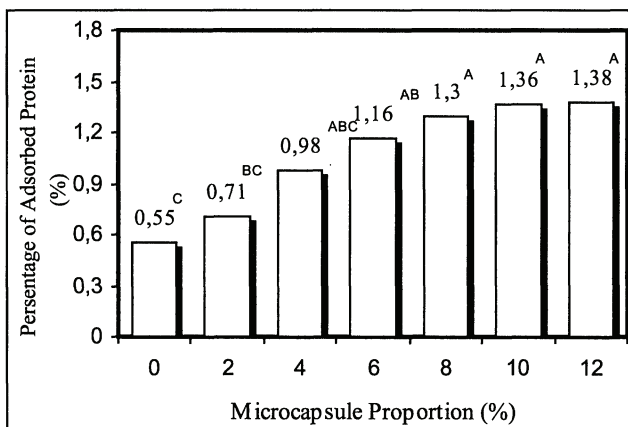


Figure 2. Percentage of adsorbed protein of reconstituted milk emulsion as affected by microcapsule proportion. Value with different superscript letters are significantly different ($\alpha=0,05$).

lemak sebagian hanya 0,21% protein yang teradsorpsi pada permukaan globula lemak dan sisanya ada pada fase akueous yang tidak berperan menstabilisasi emulsi. Pada saat rekonstitusi sebagian kaseinat yang membentuk matriks dinding mikrokapsul larut dalam fase akueous. Kaseinat yang terikat kuat pada permukaan globula minyak yang asalnya menstabilisasi emulsi minyak ikan sebelum pengeringan semprot tetap berada pada permukaan globula minyak dengan persentase protein yang teradsorpsi dalam emulsi tersebut sebesar 9,91%.

Penambahan proporsi mikrokapsul lebih dari 6% menyebabkan peningkatan persentase protein teradsorpsi yang nyata (Figure 2). Fenomena peningkatan ini sama dengan fenomena peningkatan protein teradsorpsi yaitu disebabkan oleh peningkatan jumlah globula minyak yang distabilisasi kaseinat yang berasal dari mikrokapsul. Proporsi mikrokapsul sampai 6% belum cukup signifikan meningkatkan jumlah globula minyak yang distabilisasi protein sehingga persentase protein teradsorpsi tidak berubah.

Indeks aktivitas pengemulsian emulsi susu rekonstitusi

Indeks aktivitas pengemulsian (EAI) dianalisis berdasarkan turbiditas menurut metode Pearce dan Kinsella (1978). Metode ini sederhana dan berguna untuk mengukur luas antar permukaan dalam emulsi, merupakan metode analisis yang cepat, dan daya ulang yang baik (Klemaszewski dkk., 1989). Aktivitas pengemulsian protein tergantung dari luas antar permukaan globula minyak yang distabilisasi oleh protein (Kato dkk., 1985). EAI yang meningkat menunjukkan luas antar permukaan yang distabilisasi per unit massa protein mengalami peningkatan karena ukuran globula lemak semakin kecil dan emulsi semakin stabil.

EAI susu rendah lemak berbeda nyata ($\alpha=0,05$) dengan susu formula, tetapi peningkatan proporsi mikrokapsul tidak menyebabkan perubahan EAI (Figure 3). Peningkatan tersebut disebabkan perbedaan jenis protein yang melapisi permukaan globula minyak emulsi antara susu rendah lemak dan susu formula. Lapisan yang menstabilisasi globula lemak dalam susu rendah lemak ini adalah misel kasein, kaseinat, protein whey (Singh dan Newstead, 1997), dan protein MFGM (Elling dkk., 1996). Struktur protein dalam bentuk agregat seperti agregat misel kasein terdapat dalam susu skim (Euston dan Hirst, 2000). Natrium kaseinat merupakan protein fleksibel yang mudah mengalami reorientasi pada antar permukaan (Euston dan Hirst, 2000). Menurut Damodaran (2005) kemampuan protein agregat untuk teradsorpsi dan mengalami perubahan struktur pada antar permukaan lebih rendah dibandingkan protein fleksibel. Adanya protein whey pada susu rendah lemak menyebabkan EAI lebih ren-

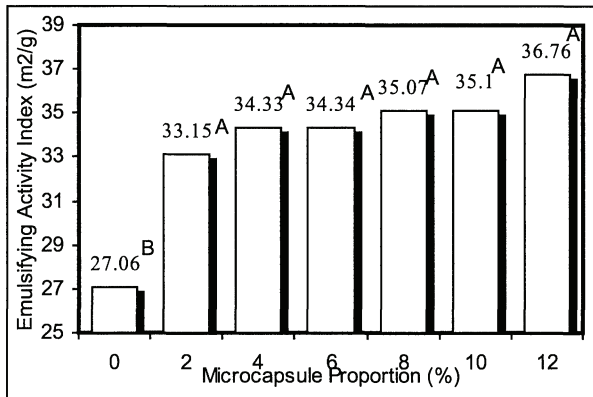


Figure 3. Emulsifying Activity Index of reconstituted milk emulsion as affected by microcapsule proportion. Value with different superscript letters are significantly different ($\alpha=0,05$).

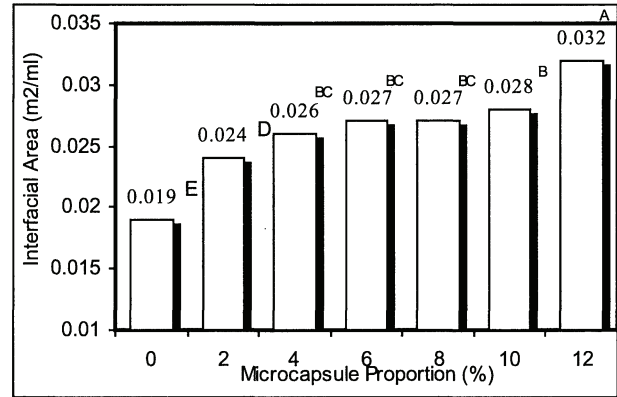


Figure 4. Interfacial area of reconstituted milk emulsion as affected by microcapsule proportion. Value with different superscript letters are very significantly different ($\alpha=0,01$).

dah karena menurut Dickinson (*cit* Euston dkk., 1995) natrium kaseinat mempunyai aktivitas permukaan yang lebih tinggi dibandingkan protein whey.

EAI emulsi minyak kaya asam lemak ω -3 yang distabilisasi natrium kaseinat yang dijadikan mikrokapsul jika didasarkan pada protein teradsorpsi mempunyai nilai sangat tinggi yaitu 199,46 m²/g. EAI emulsi susu rekonstitusi susu rendah lemak adalah 27,06 m²/g.

Perubahan proporsi mikrokapsul tidak menyebabkan perubahan EAI (Figure 3). EAI selain dipengaruhi oleh jenis protein juga dipengaruhi luas antar permukaan yang ditentukan oleh jumlah dan ukuran globula minyak dalam emulsi. Mikrokapsul merupakan globula minyak yang disalut oleh natrium kaseinat. Pada saat rekonstitusi mikrokapsul ini membentuk sistem emulsi. Karena kadar protein dalam mikrokapsul lebih tinggi dari globula minyak, peningkatan proporsi mikrokapsul menyebabkan peningkatan jumlah globula lemak lebih rendah dari peningkatan massa protein sehingga EAI tidak berubah.

Luas antar permukaan emulsi susu rekonstitusi

Luas antar permukaan emulsi susu rekonstitusi meningkat dengan meningkatnya penambahan mikrokapsul (Figure 4). Peningkatan mikrokapsul dalam susu formula menyebabkan peningkatan globula minyak yang distabilisasi natrium kaseinat. Natrium kaseinat mempunyai kemampuan untuk meningkatkan luas antar permukaan lebih tinggi dibandingkan protein whey (Imm dan Regenstein, 1997).

Luas antar permukaan emulsi minyak kaya asam lemak ω -3 yang distabilisasi natrium kaseinat yang dijadikan mikrokapsul adalah 0,11 m²/ml, jauh lebih tinggi dari luas antar permukaan emulsi susu rekonstitusi yaitu 0,019 m²/ml. Peningkatan mikrokapsul meningkatkan luas antar permukaan karena terjadi peningkatan globula minyak dengan luas antar

permukaan yang tinggi.

Beban muatan protein emulsi susu rekonstitusi

Beban muatan protein merupakan sifat emulsifikasi protein yang menunjukkan massa protein yang menstabilisasi globula minyak per satuan luas antar permukaan. Berbeda dengan protein teradsorpsi, analisis beban muatan protein memperhitungkan luas antar permukaan yang distabilisasi oleh protein. Menurut Dickinson (*cit* McClements, 1999), metode yang lebih realistis untuk menentukan jumlah minimum pengemulsi yang dibutuhkan untuk membentuk emulsi adalah dengan mengukur beban muatan permukaan (*surface load*) dan untuk pengemulsi protein disebut beban muatan protein (*protein load*). Beban muatan protein diperoleh dengan cara membagi nilai protein teradsorpsi dengan nilai luas antar permukaan (Britten dan Giroux, 1993).

Beban muatan protein susu rendah lemak bahan baku formulasi adalah 10,87 mg/m². Walstra dan Jenness (1984)

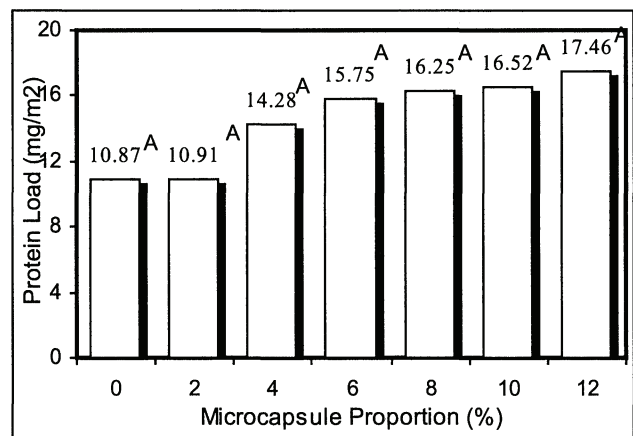


Figure 5. Protein load of reconstituted milk emulsion as affected by microcapsule proportion. Value with different superscript letters are significantly different ($\alpha=0,05$).

melaporkan bahwa beban muatan protein susu yang telah dihomogenisasi adalah 10 mg/m². Penambahan mikrokapsul pada susu formula menyebabkan peningkatan beban muatan protein emulsi susu rekonstitusi (Figure 5) tetapi peningkatan tersebut tidak nyata.

Emulsi minyak kaya asam lemak ω-3 yang distabilisasi natrium kaseinat bahan baku mikrokapsul mempunyai beban muatan protein yang tinggi yaitu 73,5 mg/m², lebih tinggi dari emulsi susu rekonstitusi susu rendah lemak yang sebesar 10,87 mg/m². Penambahan mikrokapsul pada semua taraf tidak menyebabkan perubahan beban muatan protein. Peningkatan mikrokapsul menyebabkan peningkatan luas antar permukaan yang nyata, sedangkan nilai protein teradsorpsi hanya mengalami sedikit peningkatan, sehingga nilai beban muatan protein tidak berubah.

Indeks stabilitas emulsi susu rekonstitusi.

Mikrokapsul minyak kaya asam lemak ω-3 dan globula lemak dalam susu rendah lemak mempunyai jenis protein yang berbeda dalam menstabilisasi globula lemak. Menurut Elizalde *et al* (1988) protein yang berbeda mempunyai kemampuan dalam menstabilkan emulsi yang berbeda tergantung dari komposisi, konformasi, dan kekakuan strukturnya.

Penambahan mikrokapsul pada susu rendah lemak menyebabkan peningkatan ESI susu rekonstitusi (Figure 6) yang sangat nyata ($\alpha=0,01$). Peningkatan tersebut disebabkan oleh peningkatan jumlah natrium kaseinat yang menstabilisasi permukaan globula lemak. Menurut Dickinson (*cit* Euston dkk., 1995), natrium kaseinat mempunyai aktivitas permukaan yang tinggi dan diadsorpsi secara cepat pada permukaan globula lemak. Protein yang teradsorpsi membentuk lapisan pelindung dan mencegah koalesensi dan/atau flokulasi (Demetriades dan McClements, 1999).

Globula lemak dalam susu rendah lemak mempunyai

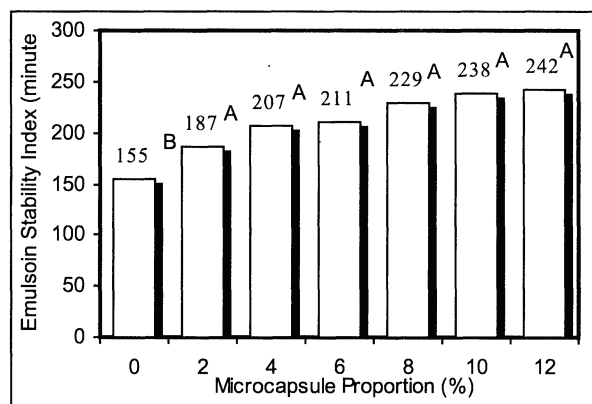


Figure 6. Emulsion Stability Index of reconstituted milk emulsion as affected by microcapsule proportion. Value with different superscript letters are very significantly different ($\alpha=0,01$).

sifat yang berbeda dengan globula minyak ikan. Belum diketahui pasti apakah perbedaan tersebut dapat mempengaruhi stabilitas emulsi susu rekonstitusi. Menurut German dan Dillard (1998) pada suhu ruang lemak susu merupakan campuran dari padatan dan cairan. Minyak ikan merupakan lemak yang selalu bersifat cair pada suhu ruang. Koalesensi parsial biasa terjadi pada globula lemak yang sebagian lemak berbentuk kristal seperti lemak susu karena kristal lemak dapat berpenetrasi pada bagian cair dari globula lemak yang berdekatan (McClements, 1999).

Emulsi minyak kaya asam lemak ω-3 yang distabilisasi natrium kaseinat tanpa penambahan fosfolipida bahan baku mikrokapsul mempunyai nilai ESI yang tinggi yaitu 557 menit. Emulsi susu rekonstitusi susu rendah lemak mempunyai nilai ESI 155 menit. Peningkatan mikrokapsul meningkatkan stabilitas emulsi karena terjadi peningkatan globula minyak dengan stabilitas yang tinggi.

Walaupun jumlah globula minyak yang distabilisasi kaseinat mengalami peningkatan sejalan dengan peningkatan proporsi mikrokapsul, perbedaan kadar lemak susu formula dari setiap perlakuan tidak besar seperti dapat dilihat pada Table 2. Keadaan ini menyebabkan peningkatan proporsi mikrokapsul tidak menyebabkan perubahan ESI rekonstitusi susu formula (Figure 6).

KESIMPULAN

Penambahan mikrokapsul minyak kaya asam lemak ω-3 dengan enkapsulan natrium kaseinat pada susu rendah lemak meningkatkan sifat-sifat emulsi susu rekonstitusi meliputi protein teradsorpsi, persentase protein teradsorpsi, indeks aktivitas pengemulsian, luas antar permukaan, dan indeks stabilitas emulsi. Mikrokapsul ini kemungkinan besar dapat diaplikasikan pada produk pangan yang pada tahap pengolahannya melalui tahap emulsifikasi dengan bahan baku susu sehingga karakteristik produk tersebut tidak berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aoki, H., Shirase, Y., Kato, J. dan Watanabe, Y. 1984. Emulsion stabilizing properties of soy protein isolates mixed with sodium caseinates. *Journal of Food Science* **49**: 212-216.
- Baik, M.Y., Suhendro, E.L., Nawar, W.W., McClements, D.J., Decker, E.A. dan Chinachoti, P. 2004. Effects of antioxidants and humidity on the oxidative stability of microencapsulated fish oil. *JAOCs* **81**: 355-360.

- Britten, M. dan Giroux, H.J. 1993. Interfacial properties of milk protein-stabilized emulsions as influence by protein concentration. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **41**: 1187-1191.
- Cameron, D.R., Weber, M.E., Idziak, E.S., Neufeld, R.J. dan D.G. Cooper, D.G. 1991. Determination of interfacial area in emulsions using turbidimetric and drop-let size data: correction of the formula for emulsifying activity index. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **39**: 655-659.
- Crawford, M.A., Bloom, M., Broadhurst, C.I., Schmidt, W.F., Cunnane, S.C., Galli, C., Gehbremeskel, K., Linseisen, F., Llyod-Smith, J. dan Parkington, J. 1999. Evidence for the unique function of docosahexaenoic acid during the evolution of the modern hominid brain. *Lipids* **34**: S39-S45.
- Damodaran, S. 2005. Protein stabilization of emulsion and foams. *Journal of Food Science* **70**: R54-R66.
- Demetriades, K. dan McClements, D.J. 1999. Flocculation of whey protein stabilized emulsions as influenced by dextran sulfate and electrolyte. *Journal of Food Science* **64**: 206-210.
- Dickinson, E. dan Lopez, G. 2001. Comparison of the emulsifying properties of fish gelatin and commercial milk proteins. *Journal of Food Science* **66**: 118-123.
- Elizalde, B.E., De Kanterewicz, R.J., Pilosof, A.M.R. dan Batholomai, G.B. 1988. Physicochemical properties of food proteins related to their ability to stabilize oil-in-water emulsions. *Journal of Food Science* **53**: 845-848.
- Elling, J.L., Duncan, S.E., Keenan, T.W., Engel, W.N. dan Boling, J. 1996. Composition and microscopy of reformulated from reduced-cholesterol butteroil. *Journal of Food Science* **61**: 48-53.
- Estiasih, T. dan Ahmadi, K. 2004. Pembuatan trigliserida kaya asam lemak ω -3 dari minyak hasil samping pengalengan ikan lemuru (*Sardinella longiceps*). *Jurnal Teknologi Pertanian* **5**: 116-128.
- Estiasih, T., Adnan, M., Tranggono dan Suparmo. 2005. Pengaruh komposisi lapisan pada permukaan globula minyak emulsi sebelum pengeringan semprot terhadap sifat-sifat mikrokapsul trigliserida kaya asam lemak ω -3. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* **16**: 13-23.
- Euston, S.E., Singh, H., Munro, P.A. dan Dalgleish, D.G. 1995. Competitive adsorption between sodium caseinate and oil-soluble and water-soluble surfactants in oil-in-water emulsions. *Journal of Food Science* **60**: 1124-1130.
- Euston, S.R. dan Hirst, R.L. 2000. The emulsifying properties of commercial milk protein products in simple oil-in-water emulsions and in a model food system. *Journal of Food Science* **65**: 934-940.
- Farrel, D.J. 1998. Enrichment of hen eggs with n-3 long chain fatty acids and evaluation of enriched eggs in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* **68**: 538-544.
- Food and Drug Administration. 2004a. Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000102.
- _____ 2004b. Agency Response Letter GRAS Notice No. GRN 000138.
- Garcia, D.J. 1998. Omega-3 long chain pufa nutraceuticals. *Food Technology* **52**: 44-49.
- German, J.B. dan Dillard, C.J. 1998. Fractionated milk fat: composition, structure and functional properties. *Food Technology* **52**: 33-38.
- Hardman, W.E. 2002. Omega-3 fatty acids to augment cancer therapy. *Journal of Nutrition* **132**: 3508S-3512S.
- _____ 2004. (n-3) Fatty acids and cancer therapy. *Journal of Nutrition* **134**: 3427S-3430S.
- Holdsworth, J.E. dan Haylock, S.J. 1995. Dairy Products. Dalam Beckett, S.T. (ed.). *Physico-Chemical Aspects of Food Processing*. Blackie Academic & Professional, London.
- Huang, M.T., Ghai, G. dan Ho, C.T. 2004. Inflammatory process and molecular targets for anti-inflammatory nutraceuticals. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **3**: 127-139.
- Imm, J.Y. dan Regensteins, J.M. 1997. Interaction of commercial dairy proteins and chicken breast myosin in an emulsion system. *Journal of Food Science* **62**: 967-971.
- Jolly, C.A., Muthukumar, A., Avula, C.P.R., Troyer, D dan Fernandes, G. 2001. Autoimmune-prone (NZ-BXNZW) (1) Mice fed a diet enriched with (n-3) fatty acids. *Journal of Nutrition* **131**: 2753-2760.
- Kagami, Y., Sugimura, S., Fujishima, N., Matsuda, K. dan Matsumura, Y. 2003. Oxidative stability, structure, and physical characteristics of microcapsules formed by spray drying of fish oil with protein and dextrin wall materials. *Journal of Food Science* **68**:

2248-2255.

- Kato, A., Fujishige, T., Matsudomi, N. dan Kobayashi, K. 1985. Determination of emulsifying properties of some proteins by conductivity measurements. *Journal of Food Science* **50**: 56-58.
- Klemaszewski, J.L., Haque, Z. dan Kinsella, J.E. 1989. An electronic imaging system for determining droplet size and dynamic breakdown of protein stabilized emulsions. *Journal of Food Science* **54**: 440-445.
- McClements, D.J. 1999. *Food Emulsions: Principles, Practice and Technique*. CRC Press, USA.
- Mori, T.A., Bao, D.Q., Burke, V., Puddey, I.E., Watts, G.F. dan Beilin, L.J. 1999. Dietary fish as a major component of a weight-loss diet: effect on serum lipids, glucose, and insulin metabolism in overweight hypertensive subjects. *American Journal of Clinical Nutrition* **70**: 817-825.
- Nettleton, J.A. 2005. Omega-3 fatty acids in food and health. *Food Technology* **59**:120.
- Ohshima, T. 1998. Recovery and use of nutraceutical products from marine resources. *Food Technology* **52**: 50-54.
- Park, P.W. dan Goins, R.E. 1994. In situ preparation of fatty acids methyl ester for analysis of fatty acids composition in foods. *Journal of Food Science* **59**: 1262-1266.
- Partanen, R., Hakala, P., Sjoval, O., Kallio, H. dan Forssell, P. 2005. Effect of relative humidity on the oxidative stability of microencapsulated sea buckthorn seed oil. *Journal of Food Science* **70**: E37-43.
- Pearce, K.N. dan Kinsella, J.E. 1978. Emulsifying properties of proteins: evaluation of a turbidimetric technique. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **26**: 716-723.
- Rotsstein, N.P., Avedalno, M.I. dan Politi, L.E. 1999. Essentiality of docosahexaenoic acid in retina photoreceptor cell development. *Lipids* **34**: S115.
- Shefer, A. dan Shefer, S. 2003. Novel encapsulation system provides controlled release of ingredients. *Food Technology* **57**: 40-42.
- Shim, S.M., Santerre, C.R., Burgess, J.R. dan Deardoff, D.C. 2003. Omega-3 fatty acids and total polychlorinated biphenyls in 26 dietary supplements. *Journal of Food Science* **68**: 2436-2440.
- Simopoulos, A.P. 1999. New products from the agri-food industry: the return of ω -3 fatty acids into the food supply. *Lipids* **34**: S297-S301.
- Singh, H. dan Newstead, D.F. 1997. Aspects of Proteins in Milk Powder Manufacture. *Dalam* Fox, P.F. (ed.). *Advanced Dairy Chemistry-1: Proteins*, 2nd edn. Blackie Academic and Professional, London.
- Srinivasan, M., Singh, H. dan Munro, P.A. 1996. Sodium caseinate-stabilized emulsions: Factors affecting coverage and composition of surface proteins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* **44**: 3807-3811.
- Terry, P.D., Rohan, T.E. dan Wolk, A. 2003. Intakes of fish and marine fatty acids and the risks of cancer of the breast and prostate and of other hormone-related cancers: a review of the epidemiologic evidence. *American Journal of Clinical Nutrition* **77**: 532-543.
- Tiemeier, H., van Tuije, H.R., Hofman, A., Kilian, A.J. dan Breteler, M.M.B. 2003. Plasma fatty acid composition and depression are associated in the elderly: The Rotterdam study. *American Journal of Clinical Nutrition* **78**: 40-46.
- Tornberg, E., Olsson, A. dan Persson, K. 1997. The Structural and Interfacial Properties of Food Proteins in Relation to Their Function in Emulsions. *Dalam* Friberg, S.E dan Larsson, K. (eds.). *Food Emulsions*, 3th edn. Marcel Dekker Inc., New York.
- Uauy, R. dan Hoffman, D.R. 2000. Essential fat requirements of preterm infants. *American Journal of Clinical Nutrition* **71**: 245S-250S.
- Walstra, P. dan Jenness, R. 1984. *Dairy Chemistry and Physics*. John Willey and Sons, New York.