

MIKROENKAPSULASI MINYAK SAWIT MENTAH DENGAN PENYALUT MALTODEKSTRIN DAN ISOLAT PROTEIN KEDELAI

[*Microencapsulation of Crude Palm Oil Using Maltodextrin and Soy Protein Isolate*]

Reno Fitri Hasrini^{1,2)}, Fransiska Rungkat Zakaria³⁾, Dede R. Adawiyah^{3)*}, dan Irma Herawati Suparto⁴⁾

¹⁾ Program Studi Ilmu Pangan Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor

²⁾ Balai Besar Industri Agro, Kementerian Perindustrian, Bogor

³⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor

⁴⁾ Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor

Diterima 20 Januari 2017 / Disetujui 19 April 2017

ABSTRACT

Microencapsulation techniques have been used to improve the stability of carotenoids and in the development of food fortification. The aim of this study was to determine the effect of the ratio of the coating material formulation (maltodextrin (MD) and soy protein isolate (SPI)) to the core material crude palm oil (CPO) on the physicochemical characteristics of the CPO microcapsules. Microencapsulation were carried out with ratios of coating material (MD:SPI = 2:1 (w/w)) and CPO of 1:1.0, 1:1.2, 1:1.4, and 1:1.6 (w/w). The mixtures were homogenized at 12.000 rpm for 3 minutes and then spray dried at inlet temperature of 180 °C and outlet temperature at 80 °C. The CPO microcapsules were analysed for yield, moisture content, solubility, and encapsulation efficiency. The results showed that the formulation ratio of 1:1.6 (w/w) was the best because it had the highest yield (20.12±0.02%), total carotenoids (295.2±0.32 µg/g) and encapsulation efficiency (59.95±1.50%). The best CPO microcapsules had spherical shape and smooth surface with an average size of microcapsules of 1-12 µm. The results of X-ray diffraction (XRD) showed that microcapsules were in crystalline state with crystallinity and amorphous value of 69.3 and 30.7%, respectively.

Keywords: carotenoid, crude palm oil, maltodextrin, microencapsulation, soy protein isolate

ABSTRAK

Teknik mikroenkapsulasi telah digunakan untuk memperbaiki stabilitas karotenoid dan untuk pengembangan fortifikasi pangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh formulasi rasio bahan penyalut (maltodekstrin (MD) dan isolat protein kedelai (IPK)) dan bahan inti (minyak sawit mentah (MSMn)) terhadap karakteristik fisikokimia mikrokapsul MSMn. Komposisi bahan penyalut dan bahan inti yang digunakan dalam penelitian ini adalah adalah rasio bahan penyalut (MD:IPK= 2:1 (b/b)) dan MSMn dengan rasio 1:1,0; 1:1,2; 1:1,4; dan 1:1,6 (b/b). Kombinasi bahan tersebut dihomogenisasi pada kecepatan 12.000 rpm selama 3 menit, lalu di *spray drying* dengan suhu *inlet* 180°C dan suhu *outlet* 80°C. Mikrokapsul MSMn yang terbentuk dianalisis rendemen, kadar air, kelarutan, dan efisiensi enkapsulasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formulasi rasio 1:1,6 (b/b) merupakan formulasi rasio terbaik karena mempunyai rendemen (20,12±0,02%), total karotenoid (295,2±0,32 µg/g) dan efisiensi enkapsulasi (59,95±1,50%) paling tinggi. Mikrokapsul MSMn terbaik berbentuk bulat dengan permukaan yang halus, dan memiliki ukuran mikrokapsul MSMn berkisar antara 1-12 µm. Hasil analisis difraksi sinar-X menunjukkan bahwa mikrokapsul MSMn berada dalam keadaan kristalin dengan nilai kristalinitas dan nilai amorf berturut-turut sebesar 69,3 dan 30,7%.

Kata kunci: isolat protein kedelai, karotenoid, maltodekstrin, minyak sawit mentah, mikroenkapsulasi

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen minyak sawit mentah (MSMn) terbesar di dunia (World Growth,

2011). Kandungan karotenoid di dalam MSMn berkisar antara 500-700 ppm dan vitamin E berkisar antara 600-1000 ppm (Gibon *et al.*, 2007). Komponen terbesar dari karotenoid adalah β-karoten sekitar 54,4% dan diikuti oleh α-karoten sebesar 36,2%, lalu kandungan lainnya adalah likopen 3,8%, γ-karoten 3,3%, dan santofil sebesar 2,2%. MSMn

*Penulis Korespondensi:
E-mail: dede_adawiyah@yahoo.com

juga memiliki kandungan vitamin E yang tinggi, dalam hal ini memiliki kadar tokotrienol 30% dari tokoferol total (Azrina *et al.*, 2009).

Karotenoid dalam tubuh manusia berfungsi sebagai provitamin A yang dapat dikonversi menjadi vitamin A dengan bantuan enzim 15,15' β -karotenoid oksigenase (Wu *et al.*, 2016). Selain sebagai provitamin A (Tang, 2010), karotenoid juga mempunyai aktivitas antioksidan (Zakaria *et al.*, 2012), immunomodulator (Eldahshan dan Singab, 2013), anti-diabetes (Irwanto *et al.*, 2016), dan anti-kanker (Huang *et al.*, 2016). Karotenoid mempunyai peran fungsional yang banyak, sehingga pemanfaatan MSMn sebagai fortifikan pangan merupakan usaha yang sangat prospektif. Namun, di dalam aplikasi karotenoid ini, terutama β -karoten bersifat tidak stabil dan mudah rusak oleh pengaruh suhu, cahaya, oksigen, dan pH. Hal ini disebabkan karena struktur molekulnya memiliki ikatan ganda terkonjugasi (Kim *et al.*, 2016). Selain itu, karotenoid juga bersifat tidak larut dalam air (Mezzomo dan Ferreira, 2016). Oleh karena itu diperlukan upaya untuk melindungi senyawa karotenoid tersebut dari lingkungan sekitarnya dan untuk meningkatkan kelarutannya di dalam produk pangan yaitu dengan melakukan proses mikroenkapsulasi. Mikroenkapsulasi merupakan proses penyalutan bahan inti yang bersifat mudah rusak dengan suatu bahan penyalut khusus yang memiliki kemampuan untuk melindungi zat inti dari faktor-faktor penyebab kerusakan selama proses pengolahan dan penyimpanan (Rosenberg *et al.*, 2016).

Metode yang dipilih dalam penelitian ini adalah *spray drying*. Kelebihan metode *spray drying* adalah sederhana, ekonomis, merupakan proses kontinu, menghasilkan mikrokapsul dengan mutu dan stabilitas yang tinggi serta efektif untuk melindungi bahan inti (Poshadri dan Kuna, 2010). Efektivitas mikroenkapsulasi sangat bergantung dari bahan penyalut yang digunakan. Beberapa kelebihan dari maltodekstrin yang dapat digunakan sebagai bahan penyalut adalah kurang higroskopis, tidak manis, berwarna putih, tidak berbau, memiliki kelarutan yang tinggi, mempunyai stabilitas yang baik terhadap oksigen dan aman dikonsumsi oleh manusia. Namun, maltodekstrin memiliki kapasitas dan stabilitas emulsifikasi yang lemah serta retensi terhadap minyak yang rendah (Sadeghi *et al.*, 2008). Oleh karena itu, maltodekstrin perlu dikombinasikan dengan isolat protein kedelai untuk kestabilan emulsifikasi. Isolat protein kedelai memiliki kelarutan, sifat emulsifikasi, kapasitas mengikat air, sifat *foaming* dan kemampuan membentuk film yang baik (Chen *et al.*, 2011), selain itu harganya relatif murah di pasaran, relatif mudah dicerna dan juga aman dikonsumsi oleh manusia.

Dian *et al.* (1996) telah melakukan proses mikroenkapsulasi dengan teknik *spray drying* terhadap

campuran *red palm olein (red POo)* dan *refined, bleached and deodorised palm stearin (RBD POs)* dengan cara membandingkan antara kombinasi bahan penyalut maltodekstrin dan sodium kaseinat dengan maltodekstrin dan gum akasia. Berdasarkan hasil karakteristik kadar minyak total, kadar minyak di permukaan, kadar air, dan retensi karotenoid, maka diperoleh kualitas mikrokapsul terbaik dengan kombinasi bahan penyalut antara maltodekstrin dan natrium kaseinat (mengandung protein). Studi lain juga menemukan bahwa larutan bahan penyalut yang mengandung 2,5% isolat protein kedelai dan 17,5% maltodekstrin sangat efektif sebagai agen mikroenkapsulasi untuk bahan inti dengan muatan minyak yang tinggi (Rosenberg *et al.*, 2016).

Pembuatan mikroenkapsulasi fosfolipid dengan bahan penyalut maltodekstrin dan natrium kaseinat serta dengan teknik *spray drying* menghasilkan mikrokapsul dengan kelarutan yang baik, penampilan yang halus dan dispersi yang sempurna (Yu *et al.*, 2007). Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan penyalut dengan kombinasi antara maltodekstrin (MD) dan isolat protein kedelai (IPK). Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh formulasi rasio bahan penyalut dalam hal ini maltodekstrin dan isolat protein kedelai dan bahan inti (MSMn) terhadap karakteristik mikrokapsul MSMn, yang meliputi rendemen, total karotenoid, kadar air, kelarutan dan efisiensi enkapsulasi. Selanjutnya terhadap, mikrokapsul MSMn terbaik akan diamati profil morfologi eksternal, ukuran partikel dan derajat kristalinitasnya.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak sawit mentah (MSMn) dari PT Sinar Mas Agro Resources and Technology Tbk (SMART).

Preparasi sampel emulsi MSMn (Modifikasi dari Haryanti, 2010)

Modifikasi metode yang dilakukan adalah maltodekstrin *food grade* (MD) (Zhucheng Dongxiao Biotechnology Co., Ltd, Shandong, China) dengan DE 10-15 dan isolat protein kedelai (IPK) (MarkSoy 90, China) kandungan protein 90% dengan formulasi rasio 2:1 (b/b) dilarutkan dengan akuades bersuhu 60°C (rasio 1:3 (b/v)) di dalam *beaker glass*, lalu dihomogenisasi dengan homogeniser (Ultra Turrax model SILVERSON L4R Armfield, Inggris) dengan kecepatan 11.000 rpm selama 1 menit. Pada larutan bahan penyalut yang terbentuk ditambahkan sejumlah MSMn dengan formulasi rasio 1:1; 1:1,2; 1:1,4; dan 1:1,6 (b/b), kemudian dihomogenisasi kembali dengan kecepatan 1.000 rpm selama 3 menit.

Kondisi pengeringan *spray dryer*

Emulsi MSMn yang terbentuk selanjutnya dispray drying (Buchi B190 *Mini Spray Dryer*, Switzerland) dengan suhu *inlet* 180°C dan suhu *outlet* 80°C sehingga diperoleh mikrokapsul MSMn.

Pengujian bilangan peroksida pada MSMn, metode titrasi (AOCS, 2009)

Sebanyak 5 g sampel dilarutkan dengan 50 mL larutan asam asetat glasial-isooktan (Merck, Germany) dalam erlenmeyer 250 mL (Iwaki Pyex, Japan) sampai tanda tera, lalu dikocok hingga benar-benar homogen. Selanjutnya ditambahkan 0,5 mL larutan kalium iodide (Merck, Germany) jenuh dengan menggunakan pipet ukur, kemudian kocok selama 1 menit. Kemudian ditambahkan 30 mL akuades kemudian erlenmeyer ditutup, dikocok dan dititar dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N (Merck, Germany) hingga warna kuning hampir hilang, lalu tambahkan indikator kanji 0,5 mL dan dititar kembali hingga warna biru hilang. Kadar bilangan peroksida (mek O₂/kg) dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Bilangan Peroksida (mek O}_2\text{/kg)} = \frac{100 \times N \times (V_0 - V_1)}{W}$$

Keterangan:

- N = Normalitas larutan standar natrium tiosulfat 0,01 N
 V₀ = volume larutan natrium tiosulfat 0,1 N yang diperlukan pada penitaran contoh
 V₁ = volume larutan natrium tiosulfat 0,1 N yang diperlukan pada penitaran blanko
 W = bobot contoh (g)

Pengujian total karotenoid pada MSMn dan mikrokapsul MSMn, metode spektrofotometri (PORIM, 2005)

Sebanyak 0,1 g sampel dilarutkan dengan heksana (Merck, Germany) dalam labu takar 25 mL sampai tanda tera, lalu dikocok hingga benar-benar homogen. Selanjutnya absorbansi diukur dengan spektrofotometer (Spectrophotometer U-2900 Hitachi, Japan) pada panjang gelombang 446 nm. Kadar total karotenoid (µg/g) dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Total Karotenoid (}\mu\text{g/g)} = \frac{25 \times 383 \times \text{absorbansi sampel}}{100 \times \text{bobot sampel (g)}}$$

Penetapan rendemen pada mikrokapsul MSMn

Rendemen mikrokapsul MSMn merupakan rasio antara bahan setelah diproses dengan bahan sebelum diproses dikalikan 100%. Penetapan rendemen berdasarkan rumus:

$$\text{Rendemen mikrokapsul (\%)} = \frac{\text{berat mikrokapsul (g)}}{\text{berat bahan pembuat mikrokapsul (g)}} \times 100\%$$

Pengujian efisiensi enkapsulasi pada mikrokapsul MSMn (Modifikasi dari Palupi *et al.*, 2014)

Modifikasi metode yang dilakukan adalah efisiensi enkapsulasi (EE) dihitung berdasarkan total karotenoid MSMn per total karotenoid mikrokapsul MSMn. Efisiensi enkapsulasi dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Efisiensi Enkapsulasi (\%)} = \frac{\text{total karotenoid mikrokapsul MSMn}}{\text{total karotenoid MSMn}} \times 100$$

Pengujian kadar air pada mikrokapsul MSMn, metode gravimetri (AOAC, 2005)

Sampel sebanyak 3-5 g ditimbang dan dimasukkan ke dalam cawan yang telah dikeringkan dan diketahui bobotnya. Kemudian sampel dan cawan dikeringkan dalam oven (Fisher model 550, USA) dengan suhu 105°C selama 10 jam. Cawan didinginkan dan ditimbang, setelah itu sampel dikeringkan kembali lalu ditimbang setiap 2 jam hingga berat konstan (selisih bobot sampel pada tiap penimbangan kurang dari 0,2 mg). Kadar air sampel dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{w - (w_1 - w_2)}{w_1 - w_2}$$

Keterangan:

- w = Bobot sampel sebelum dikeringkan (g)
 w₁ = Bobot sampel dan cawan kering kosong (g)
 w₂ = Bobot cawan kosong (g)

Pengujian kelarutan dalam air pada mikrokapsul MSMn (Modifikasi AOAC, 2005)

Modifikasi metode yang dilakukan adalah sebanyak 1 g bahan ditimbang lalu dilarutkan dalam 20 mL air akuades dan disaring dengan penyaring vakum. Kertas saring sebelum digunakan dikeringkan terlebih dahulu dalam oven dengan suhu 105°C selama 30 menit, lalu ditimbang. Setelah proses penyaringan, kertas saring beserta residu bahan dikeringkan kembali dalam oven (Fisher model 550, Pittsburgh, USA) dengan suhu 105°C selama 1 jam. Setelah itu, didinginkan dalam desikator selama 15 menit, lalu ditimbang. Nilai kelarutan dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Kelarutan dalam Air (\%)} = \left(1 - \frac{c-b}{a \times (100-ka)} \right) \times 100\%$$

Keterangan:

- a = berat sampel yang digunakan (g)
 b = berat kertas saring (g)
 c = berat kertas saring dan residu (g)
 ka = kadar air sampel (%)

Analisis profil morfologi mikrokapsul MSMn terbaik menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) (Modifikasi Noviendri *et al.*, 2016)

Modifikasi metode yang dilakukan adalah bahan penyalut maltodekstrin, isolat protein kedelai, dan produk mikrokapsul MSMn yang terbaik ditempelkan pada SEM *stubs* (ZEISS EVO® MA 10, Germany) dengan menggunakan pita perekat dua sisi. Kemudian sampel dilapisi dengan emas dan dilihat dengan perbesaran 500 × dengan voltase 14 kV.

Analisis derajat kristalinitas mikrokapsul terbaik menggunakan difraksi sinar-X (Modifikasi Noviendri *et al.*, 2016)

Modifikasi metode yang dilakukan adalah sampel yang terdiri dari penyalut MD dan IPK serta produk mikrokapsul MSMn diletakkan pada sampel *holder* (kaca) dan diratakan untuk mencegah orientasi partikel selama penyiapan sampel. Analisis dilakukan dengan alat difraksi sinar-X (XRD D8 Advance Bruker, Karlsruhe, Germany) pada rentang derajat 5-60°/2θ, filter Kα, voltase 40 kV, arus 40 mA dan target logam Cu. Dari pengujian ini dapat ditentukan derajat kristalisasi sampel.

Analisis data

Data yang diampilkkan berupa *mean* ± standar deviasi. Hasil uji dianalisis secara statistik menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) satu arah (*One Way*) dengan batas kepercayaan 95% ($P < 0,05$) menggunakan *Statistical Package for The Social Science* (SPSS) versi 20.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi kimia MSMn

Hasil pengujian bilangan peroksida dan total karotenoid terhadap bahan baku minyak MSMn diperoleh nilai bilangan peroksida dan total karotenoid berturut-turut sebesar $5,375 \pm 0,15$ mekO₂/kg dan $492,5 \pm 5,95$ µg/g. Bilangan peroksida ini perlu diuji terlebih dahulu untuk menentukan kualitas bahan baku berbasis minyak. Bilangan peroksida adalah nilai untuk menentukan derajat kerusakan suatu minyak atau lemak. Semakin rendah nilai bilangan peroksidasi maka semakin baik mutu suatu minyak atau lemak. Asam lemak tidak jenuh dapat mengikat oksigen pada ikatan C rangkapnya sehingga membentuk peroksida (Scrimgeour, 2005). Bau tengik dapat terjadi karena proses oksidasi. Proses oksidasi ini berlangsung bila terjadi kontak antara sejumlah oksigen dengan minyak. Selain itu penyimpanan yang salah dapat menyebabkan terjadinya hidrolisis yaitu pecahnya trigliserida menjadi gliserol dan *free fatty acid* (FFA) atau asam lemak jenuh. Reaksi hidrolisis yang dapat menyebabkan

kerusakan minyak terjadi karena adanya sejumlah air dalam minyak atau lemak tersebut yang menghasilkan flavor dan bau tengik pada minyak tersebut (Yin *et al.*, 2011).

Bilangan peroksida MSMn yang digunakan untuk proses mikroenkapsulasi masih memenuhi persyaratan SNI Minyak Goreng Sawit (BSN, 2012) dan Codex Alimentarius (2005) tentang *vegetable oils*. Menurut (BSN, 2012), bilangan peroksida minyak goreng sawit maksimal sebesar 10 mek O₂/kg, sedangkan Codex (2005) menyebutkan bilangan peroksida pada *palm olein* maksimal sebesar 15 meq peroksida/kg minyak. Kemudian kandungan karoten di dalam MSMn masih cukup tinggi untuk dijadikan bahan baku mikroenkapsulasi. Menurut Gibon *et al.* (2007) minyak sawit mengandung karotenoid berkisar antara 500-700 ppm. Rendahnya bilangan peroksida diduga karena tingginya kandungan karotenoid di dalam MSMn yang bersifat antioksidan sehingga dapat menghambat reaksi oksidasi yang dapat menyebabkan ketengikan.

Rendemen mikrokapsul

Rendemen digunakan untuk menentukan efisiensi dan efektivitas dari suatu proses. Semakin tinggi nilai rendemen maka semakin efisien proses pengeringan yang berjalan. Data rata-rata rendemen mikrokapsul MSMn disajikan pada Tabel 1. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa rata-rata rendemen paling tinggi dihasilkan oleh formulasi rasio bahan penyalut dan bahan inti 1:1,6 yaitu sebesar $20,12 \pm 0,02\%$. Pada hasil analisis ragam dapat dilihat bahwa formulasi rasio memberikan pengaruh yang signifikan terhadap rendemen yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 1 bahwa antara formula 1:1,2; 1:1,4 dan 1:1,6 (b/b) memperlihatkan hasil yang berbeda nyata. Semakin besar rasio bahan inti MSMn maka semakin besar rendemen yang dihasilkan. Hal ini diperkirakan dengan semakin besarnya bahan inti untuk disalut, maka semakin besar total padatan yang dihasilkan. Pada proses pengeringan *spray drying*, air bebas yang ada di permukaan bahan dapat dengan mudah diuapkan sehingga biasanya rendemen yang diperoleh cukup kecil (Kumalla *et al.*, 2013). Rendemen hasil penelitian ini lebih besar jika dibandingkan dengan beberapa hasil penelitian lainnya. Bila dibandingkan nilai rendemen hasil proses *spray drying* menggunakan santan kelapa sebagai bahan inti dengan bahan penyalutnya maltodekstrin dan natrium kaseinat berkisar antara 4-6% (Kumalla *et al.*, 2013).

Kadar air mikrokapsul MSMn

Kadar air merupakan parameter penting yang berhubungan dengan stabilitas produk selama penyimpanan. Tingginya kadar air dapat menjadi faktor utama dalam memicu oksidasi lemak serta dapat memicu kerusakan secara biologis karena tumbuhnya bakteri dan jamur.

Tabel 1. Karakteristik mikrokapsul MSMn dengan bahan penyalut MD dan SPI

Formulasi Rasio	Rendemen (%)	Kadar Air (%)	Total Karotenoid ($\mu\text{g/g}$)	Kelarutan (%)	Efisiensi Enkapsulasi (%)
1 : 1,0	13,22 \pm 1,26 ^{ab}	2,33 \pm 0,28 ^d	236,02 \pm 0,67 ^a	77,12 \pm 1,13 ^a	47,92 \pm 0,13 ^a
1 : 1,2	11,37 \pm 1,26 ^a	1,44 \pm 0,29 ^a	243,41 \pm 0,52 ^a	71,72 \pm 0,14 ^d	71,72 \pm 0,68 ^a
1 : 1,4	16,14 \pm 1,42 ^d	1,47 \pm 0,08 ^a	287,34 \pm 0,14 ^d	60,86 \pm 1,39 ^d	58,38 \pm 0,06 ^d
1 : 1,6	20,12 \pm 0,02 ^c	1,67 \pm 0,13 ^a	295,24 \pm 0,32 ^d	67,33 \pm 1,38 ^c	59,95 \pm 1,50 ^d

Keterangan: Huruf yang berbeda pada setiap faktor perlakuan menunjukkan perbedaan nyata pada taraf uji $P \leq 0,05$

Semakin rendah kadar air maka proses pengeringan semakin efektif. Rata-rata kadar air paling rendah dimiliki oleh formulasi rasio 1:1,2 (b/b) (Tabel 1). Hasil analisis ragam pada taraf kepercayaan 95% menyatakan bahwa formulasi rasio berpengaruh terhadap kadar air mikrokapsul yang mengandung bahan inti yang sedikit dan jumlahnya sama banyak dengan bahan penyalut. Secara umum dapat dilihat bahwa formulasi 1:1,0 (b/b) yang mempunyai komposisi bahan inti paling rendah mempunyai kadar air paling tinggi. Hal ini diduga bahwa formulasi 1:1,0 (b/b) mempunyai total padatan paling rendah karena persentase bahan inti untuk disalut paling rendah. Menurut Barbosa-Canovas *et al.* (2005), total padatan yang rendah untuk dikeringkan maka kecepatan penguapan juga akan rendah sehingga kadar air menjadi tinggi. Nilai kadar air hasil penelitian ini lebih rendah daripada nilai kadar air mikrokapsul beberapa penelitian sebelumnya. Mikrokapsul MSMn dengan penyalut maltodekstrin dan natrium kaseinat mempunyai kadar air berkisar antara 3-9% (Saputra, 2014). Kemudian mikrokapsul *red palm olein* yang menggunakan penyalut maltodekstrin dan sodium kaseinat, serta maltodekstrin dan gum akasia, mempunyai kadar air dengan kisaran 2,2-3,0% (Dian *et al.*, 1996). Lalu mikrokapsul minyak kedelai dengan kombinasi bahan penyalut natrium kaseinat dan karbohidrat, kadar airnya berkisar antara 1-3% (Hogan *et al.*, 2001).

Total karotenoid mikrokapsul MSMn

Total karotenoid mikrokapsul MSMn menunjukkan kemampuan penyalut dalam mempertahankan karotenoid setelah proses mikroenkapsulasi. Rata-rata total karotenoid paling tinggi dimiliki oleh formulasi 1:1,6 (b/b) yaitu 295,24 \pm 0,32 $\mu\text{g/g}$, diikuti formulasi 1:1,4; 1:1,2; dan 1:1,0 (b/b) (Tabel 1). Semakin tinggi persentase MSMn maka semakin tinggi nilai rata-rata total karotenoid mikrokapsul MSMn.

Secara umum, semakin tinggi persentase MSMn yang digunakan maka semakin tinggi nilai rata-rata total karotenoid mikrokapsul MSMn. Dibandingkan nilai total karotenoid MSMn awal yang digunakan sebagai bahan baku inti terjadi penurunan nilai total karotenoid mikrokapsul untuk semua formulasi. Proses homogenisasi yang menghasilkan panas serta proses *spray drying* dengan

suhu *inlet* 180°C dan suhu *outlet* 80°C diduga menjadi faktor utama yang menurunkan total karotenoid, selain itu kemampuan penyalut dalam memerangkap minyak juga ikut memengaruhi. Faktor-faktor yang dapat memengaruhi kerusakan karotenoid selama pengolahan dan penyimpanan adalah oksidasi oleh oksigen (udara) dan pengaruh panas. Karotenoid memiliki ikatan ganda sehingga sensitif terhadap oksidasi. Oksidasi karoten dipercepat dengan adanya cahaya, logam, panas, peroksida dan bahan pengoksidasi lainnya (Klaui dan Bauernfiend, 1981).

Penurunan komponen karotenoid juga terjadi pada teknik mikroenkapsulasi lainnya. Penelitian Wulandari *et al.* (2015) menyatakan bahwa kadar β -karoten pada *degummed palm oil* (DPO) sebelum mikroenkapsulasi adalah sebesar 290,55 ppm. Namun setelah proses DPO dimikroenkapsulasi dengan teknik koaservasi, pengeringan lapis tipis dan absorpsi silika dioksida kadar β -karotennya turun berturut-turut menjadi 42,83; 200,16; dan 1,75 $\mu\text{g/g}$. Namun mikrokapsul MSMn yang dihasilkan dalam penelitian ini masih memiliki nilai total karotenoid yang cukup tinggi yaitu 295,24 \pm 0,32 $\mu\text{g/g}$ untuk formulasi terbaik dengan rasio bahan penyalut dan bahan inti sebesar 1:1,6 (b/b).

Kelarutan mikrokapsul MSMn dalam air

Kelarutan merupakan salah satu karakteristik yang penting untuk menentukan kualitas dari suatu produk bubuk karena mikrokapsul MSMn diharapkan dapat diaplikasikan sebagai fortifikan pangan. Fortifikan umumnya ditambahkan pada makanan olahan, proses pengisian, pencampuran kering, permen, makanan formula, bumbu-bumbuan, makanan penutup (*dessert*), produk-produk susu dan lain-lain (Yuliani, 2011). Penggunaannya pada beberapa aplikasi tersebut membutuhkan suatu kemampuan melepas bahan aktif yang baik, sehingga mikrokapsul yang dihasilkan sebaiknya memiliki kelarutan dalam pelarut yang baik. Dalam hal ini pelarut yang banyak digunakan dalam aplikasi industri adalah air. Dari hasil uji kelarutan dalam penelitian ini diperoleh nilai kelarutan dipengaruhi oleh jumlah MSMn sebagai bahan inti yang digunakan. Adapun nilai rata-rata kelarutan tertinggi adalah 77,12 \pm 1,13% dihasilkan dari formulasi rasio 1:1,0 (b/b) (Tabel 1).

Secara keseluruhan terlihat pola penurunan nilai kelarutan mikrokapsul MSMn dengan semakin

meningkatnya komposisi MSMn, kecuali untuk formulasi rasio 1:1,6 yang lebih tinggi daripada formulasi rasio 1:1,4. Hal ini disebabkan karena sifat MSMn yang tidak dapat tercampur dengan air, namun dengan bahan penyalut maltodekstrin mudah larut (Ekpong *et al.*, 2016), dan dikombinasikan dengan isolat protein kedelai sebagai emulsifier, maka kelarutan mikrokapsul MSMn ini cukup tinggi. Nilai kelarutan ini tidak berbeda jauh dengan nilai kelarutan beberapa mikrokapsul hasil penelitian lain yang diproses dengan *spray drying*. Penelitian tersebut adalah mikrokapsul minyak sawit mentah dengan bahan penyalut maltodekstrin dan natrium kaseinat mempunyai kelarutan 70% (Saputra, 2014), selanjutnya mikrokapsul pewarna alami daun jati dengan penyalut maltodekstrin, kappa-karagenan, dan *wey* mempunyai kelarutan sebesar $67,195 \pm 6,944\%$ (Purnomo *et al.*, 2014). Begitu juga dengan bubuk vanili dengan menggunakan penyalut maltodekstrin dan *carboxy methyl cellulose* (CMC) mempunyai kelarutan berkisar 78,06-89,57% (Setyaningsih *et al.*, 2010).

Efisiensi enkapsulasi

Perhitungan efisiensi enkapsulasi dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan proses mikroenkapsulasi. Efisiensi enkapsulasi menunjukkan persentase senyawa aktif (karotenoid) yang berhasil dilindungi di dalam kapsul. Semakin tinggi efisiensi enkapsulasi berarti semakin baik kemampuan penyalut dalam melindungi bahan intinya (Supriyadi dan Rujita, 2013). Pengaruh rasio bahan penyalut dan bahan inti terhadap efisiensi enkapsulasi dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan proporsi penyalut dengan bahan inti menyebabkan nilai efisiensi enkapsulasi yang berbeda. Semakin besar proporsi bahan inti (MSMn), maka semakin besar pula nilai efisiensi enkapsulasi. Nilai rata-rata efisiensi enkapsulasi terbesar diperoleh pada mikrokapsul dengan formulasi rasio 1:1,6 yaitu $59,95 \pm 1,50\%$ (Tabel 1).

Dua faktor yang paling sering memengaruhi efisiensi enkapsulasi adalah suhu *inlet* dan bahan penyalut (Gallardo *et al.*, 2013). Suhu *inlet* 180°C yang digunakan dalam penelitian ini kemungkinan berkontribusi terhadap efisiensi enkapsulasi tinggi yang didapat. Suhu tinggi akan mendorong pembentukan dinding mikrokapsul yang kaku dan membatasi pelepasan serta migrasi molekul bahan inti (Rascon *et al.*, 2011). Selain itu, penggabungan antara karbohidrat dengan protein sebagai bahan penyalut dapat meningkatkan stabilitas emulsi dan perlindungan yang lebih baik terhadap bahan inti (Ton *et al.*, 2016). Pada campuran karbohidrat dan protein, protein berperan sebagai emulsifier dan agen pembentuk film, sedangkan polisakarida berperan sebagai matriks bahan pembentuk (Gharsa-

llaoui *et al.*, 2010). Nilai efisiensi enkapsulasi hasil penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan efisiensi enkapsulasi hasil penelitian Deng *et al.* (2014) yang melakukan *spray drying* mikroenkapsulasi konsentrat β -karoten dengan bahan penyalut isolat protein kedelai dan pati termodifikasi oktenil suksinat anhidrida yang berkisar antara 20,9-38,8%.

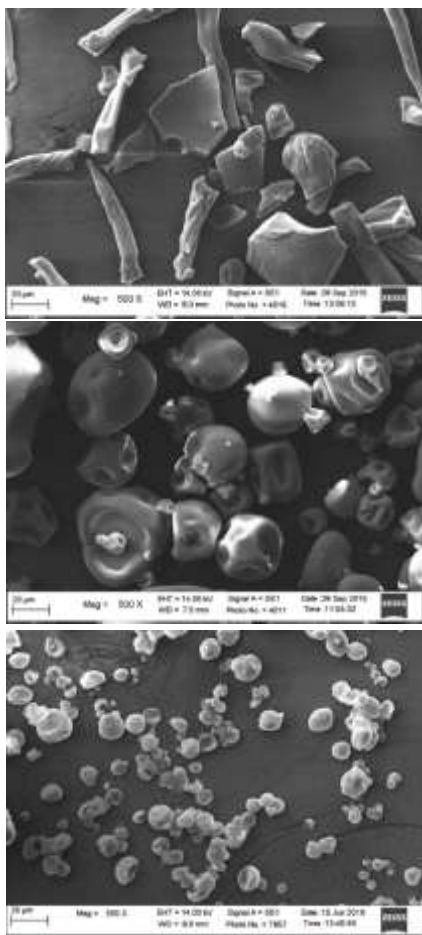
Pengamatan mikrokapsul MSMn terbaik

Berdasarkan kelima parameter yang dijelaskan diatas, formulasi rasio 1:1,6 (b/b) terpilih menjadi formulasi rasio terbaik. Formulasi rasio tersebut mempunyai 3 parameter terbaik di antara formulasi rasio lainnya, yaitu nilai rata-rata rendemen tertinggi ($20,12 \pm 0,02\%$), rata-rata total karotenoid tertinggi ($295,2 \pm 0,32 \mu\text{g/g}$) dan rata-rata efisiensi enkapsulasi paling baik ($59,95 \pm 1,50\%$). Karakteristik formulasi 1:1,6 (b/b) sering tidak berbeda secara signifikan ($P < 0,05$) dengan formulasi 1:1,4 (b/b), namun formulasi 1:1,6 (b/b) dipilih menjadi formulasi rasio terbaik karena mempunyai rata-rata rendemen yang paling tinggi yang menjadi pertimbangan penting di dalam proses produksi. Oleh karena itu dilakukan analisis lanjutan seperti pengamatan morfologi ukuran partikel dan tingkat kristalinitas pada mikrokapsul MSMn hasil formulasi terbaik.

Profil morfologi dengan *scanning electron microscopy* (SEM)

Morfologi mikrokapsul memengaruhi sifat mikrokapsul lainnya seperti pelepasan senyawa aktif, retensi dan lain-lain (Ali *et al.*, 2014). Pada Gambar 1A terlihat bahwa bahan penyalut maltodekstrin tidak beraturan dengan bentuk serpihan-serpihan yang berukuran 20-50 μm . Sedangkan morfologi isolat protein kedelai terlihat berupa bulatan-bulatan yang agak penyok berukuran antara 20-50 μm (Gambar 1B). Bahan inti terenkapsulasi dengan sempurna, berbentuk bulat, tidak berpori dengan sebagian kecil mempunyai penyok di permukaannya. Ukuran mikrokapsul MSMn berkisar antara 1-12 μm (Gambar 1C).

Mikrokapsul MSMn mempunyai permukaan yang halus dan tidak mempunyai retak pada permukaannya, sehingga mempunyai permeabilitas yang rendah terhadap gas, serta dapat melindungi bahan inti dari proses oksidatif dan kebocoran yang tidak diinginkan (Purnomo *et al.*, 2014). Ukuran mikrokapsul MSMn lebih kecil dari pada bahan penyalutnya, serta ukuran dan bentuk mikrokapsul MSMn yang lebih homogen daripada bahan penyalutnya disebabkan karena adanya proses homogenisasi pada proses pembuatannya dengan kecepatan 11.000 rpm selama 1 menit, lalu dilanjutkan homogenisasi dengan kecepatan 12.000 rpm selama 3 menit.



Gambar 1. Foto SEM dari maltodekstrin (A), dan isolat protein kedelai (B), serta mikrokapsul MSMn terbaik (C) dengan perbesaran 500 x

Pada penelitian ini, bentuk mikrokapsul yang agak penyok atau terbentuk lekukan-lekukan. Keadaan lekukan di permukaan mikrokapsul ini disebabkan karena adanya penyusutan yang tidak merata selama pengeringan dan/atau pendinginan, serta kandungan protein permukaan yang tinggi (Hogan *et al.*, 2001). Ali *et al.* (2014) melaporkan bahwa bentuk penyok pada produk mikrokapsul dapat disebabkan oleh penguapan air yang cepat pada saat proses *spray drying*. Sebagian mikrokapsul juga terbentuk agregat-agregat satu sama lain, namun sebagian juga tersebar merata. Keadaan agregat ini menandakan bahwa mikrokapsul mempunyai viskositas yang relatif tinggi (Gharsallaoui *et al.*, 2012).

Derajat kristalinitas mikrokapsul

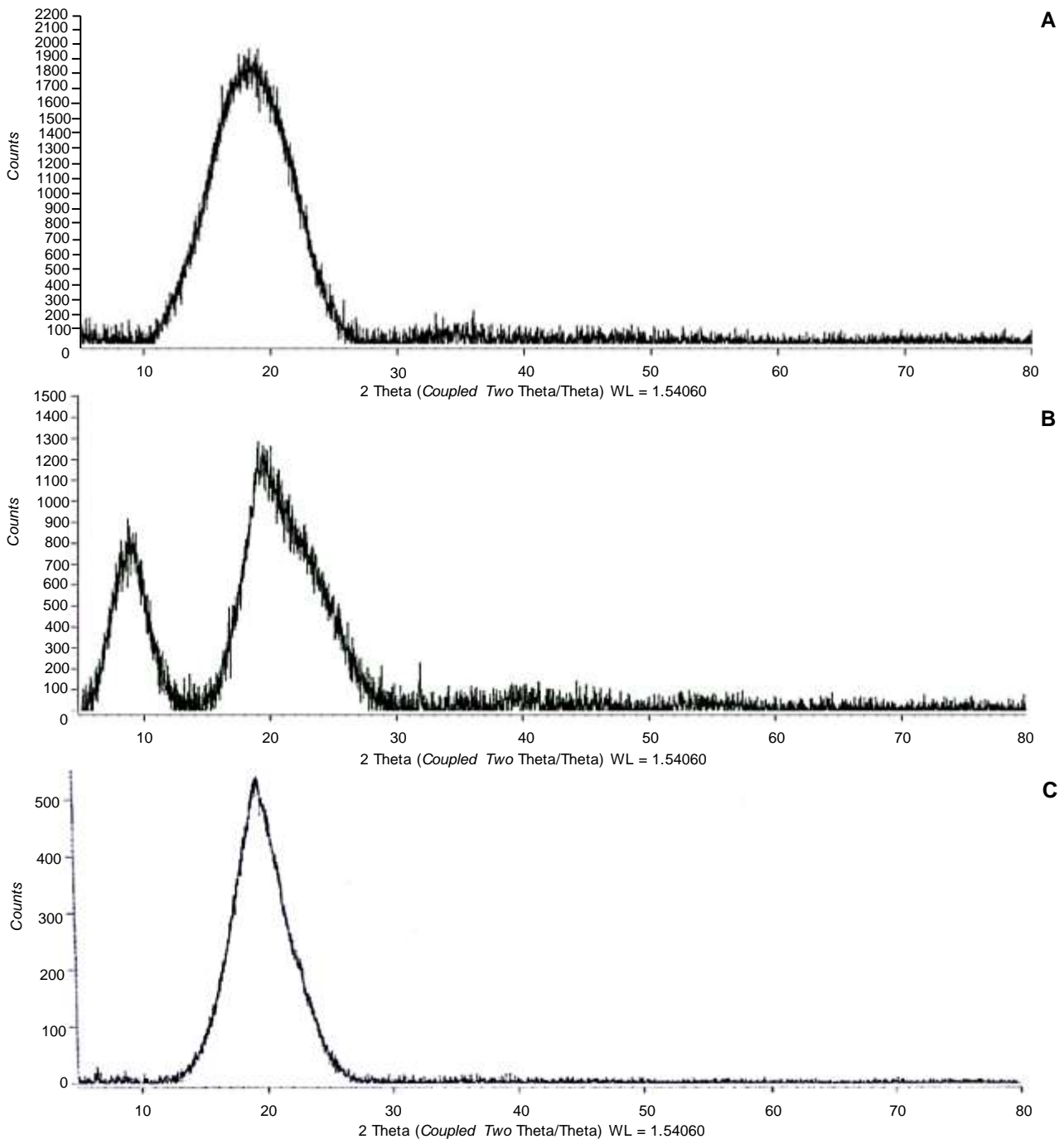
Difraksi sinar-X dapat memberikan informasi tentang keadaan struktur kristalin dan amorf pada bahan penyalut dan mikrokapsul serta interaksinya.

A Struktur kristalin mempunyai atom atau molekul penyusun dengan jarak teratur dalam susunan tiga dimensi. Sedangkan struktur amorf mempunyai molekul atau atom dengan susunan acak. Struktur amorf mempunyai kelarutan lebih tinggi daripada struktur kristalin (Kulkarni *et al.*, 2013). Spektra difraksi sinar-X struktur (XRD) kristalin menghasilkan puncak-puncak yang tajam, sedangkan struktur amorf cenderung menghasilkan puncak yang melebar (Rohaeti *et al.*, 2016). Gambar 2 menunjukkan difraktogram sinar-X dari maltodekstrin, isolat protein kedelai dan mikrokapsul MSMn terbaik.

B Spektra XRD untuk maltodekstrin mempunyai puncak agak melebar (Gambar 2A). Spektra XRD ini ditunjang dengan nilai kristalinitas maltodekstrin yang cukup rendah yaitu 35,8% dan nilai amorf sebesar 64,2%. Bahan penyalut isolat protein kedelai memiliki dua puncak utama namun lebih tajam jika dibandingkan dengan maltodekstrin (Gambar 2B). Isolat protein kedelai mempunyai nilai kristalinitas 49,9% dan nilai amorf 50,1%. Produk mikrokapsul MSMn mempunyai spektra XRD yang lebih tajam dan mempunyai satu puncak. Nilai kristalinitasnya pun yang lebih tinggi dari kedua bahan penyalutnya yaitu 69,3% dan nilai amorf 30,7%.

C Berdasarkan hasil spektra XRD pada Gambar 2 terlihat bahwa adanya interaksi antara kedua bahan penyalut maltodekstrin dan isolat protein kedelai. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lebar dan landai puncak spektra XRD yang dihasilkan, maka semakin tinggi derajat amorfnya. Atau sebaliknya, semakin tajam puncak spektra XRD yang dihasilkan maka semakin tinggi derajat kristalinitasnya. Kedua bahan penyalut tersebut yang bersifat amorf dapat menghasilkan mikrokapsul MSMn yang bersifat kristalin. Perubahan bentuk amorf menjadi bentuk kristal dapat disebabkan oleh suhu dan waktu dalam proses mikroenkapsulasi (Munawaroh, 2012).

Jika dilihat dari pola difraksi kedua bahan penyalut (Gambar 2A dan 2B), kristalisasi yang terjadi adalah kristalisasi eutektik, yaitu pembentukan kristal dari fasa amorf menjadi kristal dengan komposisi yang berbeda (Munawaroh, 2012). Hal ini ditunjukkan dari perbedaan pola difraksi maltodekstrin dan isolat protein kedelai dengan mikrokapsul. Mikrokapsul mempunyai intensitas puncak difraksi semakin tinggi, mengindikasikan bahwa fase amorf sudah menjadi kristal. Dengan proporsi kristalin yang lebih tinggi daripada amorf diharapkan mikrokapsul ini lebih stabil, tidak mudah pecah dan dapat melindungi bahan inti dengan baik ketika diaplikasikan sebagai fortifikan pangan terutama pada pangan yang berbentuk cairan.



Gambar 2. Spektra difraksi sinar- X dari maltodektrin (A), isolat protein kedelai (B), mikrokapsul MSMn terbaik (C)

KESIMPULAN

Mikrokapsul MSMn dengan formulasi rasio bahan penyalut maltodekstrin dan isolat protein terhadap bahan inti MSMn sebesar 1:1,6 (b/b) merupakan formulasi rasio terbaik. Hasil formulasi tersebut memberikan mikrokapsul MSMn dengan nilai rendemen, total karotenoid dan efisiensi enkapsulasi yang paling tinggi. Adapun nilai rendemen, total karotenoid dan efisiensi enkapsulasi berturut-

turut sebesar $20,18 \pm 0,02\%$, $295,2 \pm 7,39 \mu\text{g/g}$ dan $59,95 \pm 1,50\%$. Mikrokapsul MSMn dari rasio 1:1,6 mempunyai ukuran 1-12 μm serta mempunyai morfologi berbentuk bulat dengan sebagian kecil ada penyok di permukaannya. Permukaan mikrokapsul terlihat halus tidak berpori-pori dan tidak ada retak menandakan bahwa formulasi rasio 1;1,6 (b/b) dapat mengenkapsulasi bahan inti dengan sempurna. Mikrokapsul juga mempunyai nilai kristalinitas 69,3% dan nilai amorf 30,7%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas beasiswa pendidikan Program Rintisan Gelar S3 Badan Penelitian dan Pengembangan Industri (BPPI) dari Kementerian Perindustrian, serta dukungan dana penelitian dari Menristek Dikti, IPB dan PT. Kreasi Inovasi Prosana. Dr. Ir. Fransiska R. Zakaria, M.Sc.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali YD, Darmadji P, Pranoto Y. 2014. Optimasi nanoenkapsulasi asap cair tempurung kelapa dengan *response surface methodology* dan karakterisasi nanokapsul. *J Teknol Industri Pangan* 5: 23-30. DOI: 10.6066/jtip.2014.25.1.23.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 2005. Official method of analysis. 16th Ed. Association of Official Analytical Chemistry International, Gaithersburg.
- [AOCS] American Oil Chemists Society. 2009. AOCS Official Methods. AOCS Press. Champaign, IL. USA.
- Azrina A, Lim PH, Amin I, Zulkhairi A. 2009. Vitamin E and fatty acid composition of blended palm oil. *J Food Agr Environ* 7: 256-262.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2012. SNI 7709:2012 Minyak Goreng Sawit. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Chen L, Chen J, Ren J, Zhao M. 2011. Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties. *Food Hydrocolloid* 25: 887-897. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2010.08.013.
- Codex Alimentarius. 2005. Codex Stan 210-1999: Standard for Named Vegetable Oils. Codex alimentarius international food standards. <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>. [20 Desember 2016].
- Deng XX, Chen Z, Huang Q, Fu X, Tang CH. 2014. Spray-drying microencapsulation of b-carotene by soy protein isolate and/or osa-modified starch. *J Appl Polym Sci* 131: 1-10. DOI: 10.1002/app.40399.
- Dian NLHM, Sudin N, Yusoff MSA. 1996. Characteristics of microencapsulated palm-based oil as affected by type of wall material. *J Sci Food Agr* 70: 422-426. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(199604)70:4<422AID-JSFA514>3.0.CO;2-5.
- Eldahshan OA, Singab ANB. 2013. Carotenoids. *J Pharmacog Phytochem* 2: 225-234.
- Ekpong A, Phomkong W, Onsaard E. 2016. The effects of maltodextrin as a drying aid and drying temperature on production of tamarind powder and consumer acceptance of the powder. *Int Food Res J* 23: 300-308.
- Ferreira CD, da Conceição E JL, Machado BAS, Hermes VS, Rios ADO, Druzian JI, Nunes IL. 2016. Physicochemical characterization and oxidative stability of microencapsulated crude palm oil by spray drying. *Food Biop Tech* 9: 124-136. DOI: 10.1007/s11947-015-1603-z.
- Gharsallaoui A, Saurel R, Chambin O, Cases E, Voilley A, Cayot P. 2010. Utilisation of pectin coating to enhance spray-dry stability of pea protein-stabilised oil-in-water emulsions. *Food Chem* 122: 447-454. DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.04.017.
- Gharsallaoui A, Saurel R, Chambin O, Voilley A. 2012. Pea (*Pisum sativum*, L.) protein isolate stabilized emulsions: a novel system for microencapsulation of lipophilic ingredients by spray drying. *Food Bioprocess Tech* 5: 2211-222. DOI: 10.1007/s11947-010-0497-z.
- Gibon V, De Greyt W, Kellens M. 2007. Palm oil refining. *Eur J Lipid Sci Tech* 109: 315-335. DOI: 10.1002/ejlt.200600307.
- Barbosa-Canovas GV, Ortega-Rivas E, Juliano P, Yan H. 2005. Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York. 338 p. DOI: 10.1007/0-387-27613-0.
- Haryanti Y. 2010. Pengaruh Konsentrasi Maltodextrin dan Natrium Caseinat terhadap Karakteristik Mikroenkapsulat Minyak Sawit Merah dengan Menggunakan Teknik *Spray Drying*. [Skripsi]. Bogor: Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hogan SA, McNamee BF, O'Riordan ED, O'Sullivan M. 2001. Microencapsulating properties of whey protein concentrate. *J Food Sci* 66: 675-680. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2001.tb04620.x.
- Huang X, Gao Y, Zhi X, Ta N, Jiang H, Zheng J. 2016. Association between vitamin A, retinol and carotenoid intake and pancreatic cancer risk: Evidence from epidemiologic studies. *Sci Reports* 6 38936: 1-12. DOI: 10.1038/srep38936.
- Irwanto R, Adawiyah RA, Zakaria FR. 2016. Peran fisiologis sari kedelai hitam diperkaya mikroenkapsulan minyak sawit mentah pada penderita diabetes mellitus tipe-2. *J Teknol Industri Pangan* 27: 1-9. DOI: 10.6066/jtip.2016.27.1.1.
- Kim SH, Kim MS, Lee BY, Lee PC. 2016. Generation of structurally novel short carotenoids and study of their biological activity. *Sci Reports* 6 21987: 1-12. DOI: 10.1038/srep21987.
- Kulkarni NB, Pravin S, Wakte PS, Naik JB. 2013. Metformin hydrochloride microparticles for oral controlled release: effect of formulation variables. *Int J Pharm Sci* 5: 135-144.
- Kumalla L, Sumardi HS, Hermanto MB. 2013. Uji performansi pengering semprot tipe Buchi b-

- 290 pada proses pembuatan tepung santan. *J Bioproses Komoditas Tropis* 1: 44-53.
- Mezzomo N, Ferreira SRS. 2016. Carotenoids functionality, sources, and processing by supercritical technology: a review. *J Chem* 2016: 1-16. DOI: 10.1155/2016/3164312.
- Munawaroh F. 2012. Analisis fasa kristal terbentuk pada bahan gelas metalik berbasis zirkonium antara suhu 440-480°C. *Berkala Fisika Indonesia* 4: 27-32.
- Noviendri D, Jaswir I, Taher M, Mohamed F, Salleh HM, Noorbacha IA, Octavianti F, Lestari W, Hendri R, Ahmad H, Miyashita K, Abdullah A. 2016. Fabrication of fucoxanthin-loaded microsphere (F-LM) by two steps double-emulsion solvent evaporation method and characterization of fucoxanthin before and after microencapsulation. *J Oleo Sci* 65: 641-53. DOI: 10.5650/jos.ess16018.
- Palupi NW, Setiadi PKJ, Yuwanti S. 2014. Encapsulasi cabai merah dengan teknik coacervation menggunakan alginat yang disubstitusi dengan tapioka terfotooksidasi. *J Aplikasi Teknologi Pangan* 3: 87-93.
- [PORIM] Palm Oil Research Institute of Malaysia. 2005. Test Methods for Palm Oil and Palm Oil Products. Kuala Lumpur.
- Poshadri A, Kuna A. 2010. Microencapsulation technology: a review. *J Res ANGRAU* 38: 86-102.
- Purnomo W, Khasanah LU, Anandito RBK. 2014. Pengaruh ratio kombinasi maltodekstrin, karagenan dan whey terhadap karakteristik mikroenkapsulan pewarna alami daun jati (*Tectona grandis* L.f.). *J Aplikasi Teknologi Pangan* 3: 121-129. DOI: 10.17728/jatp.v3i3.113.
- Rascon MP, Beristain CI, Garcie HS, Salgado MA. 2011. Carotenoid retention and storage stability of spray-dried paprika oleoresin using gum arabic and soy protein isolate as wall materials. *LWT-Food Sci Technol* 44: 549-557. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.08.021.
- Rohaeti E, Widjajanti E, Rakhmawati A. 2016. Kemudahan biodegradasi selulosa bakteri dari limbah cucian beras dengan penambahan gliserol, kitosan, dan nanopartikel perak. *J Kimia VALENSI* 2: 35-44. DOI: 10.15408/jkv.v2i1.3111.
- Rosenberg M, Rosenberg Y, Frenkel L. 2016. Microencapsulation of model oil in wall matrices consisting of SPI and maltodextrins. *AIMS Agric Food* 1: 33-51. DOI: 10.3934/agrfood.2016.1.33.
- Sadeghi A, Shahidi F, Mortazavi SA, Mahalati N. 2008. Evaluation of different parameters effect on maltodextrin production by α -amilase termamyl 2-x. *World Appl Sci J* 3: 34-39.
- Saputra SH. 2014. Mikroenkapsulasi β -karoten dari minyak sawit mentah untuk suplemen provitamin A. *J Riset Teknol Industri* 8: 11-17. DOI: 10.1212/jrti.v8i15.1548.
- Scrimgeour C. 2005. Chemistry of Fatty Acids. In: Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 6th Ed. Volume 1 Edible Oil and Fat Products: Chemistry, Properties, and Health Effects. Shahidi, F (Ed). 629 p. A John Wiley & Sons Inc. Publication. USA.
- Setyaningsih D, Rahmalia R, Sugiyono. 2010. Kajian mikroenkapsulasi ekstrak vanili. *J Teknologi Industri Pertanian* 19: 64-70.
- Supriyadi, Rujita AS. 2013. Karakteristik mikrokapsul minyak atsiri lengkuas dengan maltodekstrin sebagai enkapsulan. *J Teknol Industri Pangan* 24: 201-208. DOI: 10.6066/jtip.2013.24.2.201.
- Tang G. 2010. Bioconversion of dietary provitamin A carotenoids to vitamin A in humans. *Am J Clin Nutr* 91: 1468-1473. DOI: 10.3945/ajcn.2010.28674G.
- Ton NMN, Tran TTT, Le VVM. 2016. Microencapsulation of rambutan seed oil by spray-drying using different protein preparations. *Int Food Res J* 23: 123-128.
- World Growth. 2011. Manfaat minyak sawit bagi perekonomian indonesia. laporan world growth. Arlington. http://worldgrowth.org/site/wp-content/uploads/2012/06/WGIndonesian_Palm_Oil_Benefits_Bahasa_Report-2_11.pdf. [5 Desember 2016].
- Wulandari N, Muchtadi TR, Irene R. 2015. Palm oil microencapsulation by coacervation, thin layer drying, and silica dioxide absorption technique. *World J Eng Technol* 3: 26-30. DOI: 10.4236/wjet.2015.33B005.
- Wu L, Guo X, Wang W, Medeiros DM, Clarke SL, Lucas EA, Smith BJ, Lin D. 2016. Molecular aspects of β , β -carotene-9', 10'-oxygenase 2 in carotenoid metabolism and diseases-mini-review. *Exp Biol M* 0: 1-9. DOI: 10.1177/1535370216657900.
- Yu C, Wang W, Yao H, Liu H. 2007. Preparation of phospholipid microcapsules by spray drying. *Dry Technol* 25: 695-702. DOI: 10.1080/07373930701291017.
- Yin H, Xu L, Porter NA. 2011. Free radical lipid peroxidation: mechanisms and analysis-review. *Chem Rev* 111: 5944-5972. DOI: 10.1021/cr200084z.
- Yuliani S. 2011. Mikroenkapsulasi: pendekatan strategis untuk fortifikasi pangan. *Bul Teknol Pascapanen Pertanian* 7: 11-19.
- Zakaria FR, Misran, Waysima. 2012. Kapasitas antioksidan plasma dan sel darah merah responden di kecamatan Dramaga, Bogor. *J Pangan* 21: 245-257.