

Studi Literatur Upaya Meningkatkan Stabilitas Senyawa Polifenol dalam Ekstrak Menggunakan Sistem Nanoenkapsulasi

Siti Nafisah Amani & Ratih Aryani & Fitrianti Darusman

Prodi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Bandung, Indonesia

email: nafisahamani@gmail.com, ratih_aryani@ymail.com, efit.bien@gmail.com

ABSTRACT: Polyphenol compounds are secondary metabolites in plants that are useful as antioxidants and have potential in preventing diseases associated with oxidative stress. Utilization of polyphenols is constrained by instability and low bioavailability, so efforts are needed to overcome this problem, one of which is through nanoencapsulation using emulsification method. This research was conducted to determine how the formulation and characteristics of nanoencapsulated extracts containing polyphenolic compounds by emulsification method and the effect of nanoencapsulation system in stabilizing polyphenolic compounds. The research conducted is a literature study using research articles available on online publication sites. Based on the study, formulation of polyphenol nanoencapsulation by emulsification method consisted of a dispersed phase between 5 – 20% and an emulsifier between 0.04 – 24%. The reported characteristics of nanocapsules are generally spherical with a diameter of 30 – 280 nm, zeta potential value >30 mV, polydispersity index <0.3, and encapsulation efficiency >80%. Stability test of polyphenolic compounds on the effect of pH, exposure to light, temperature during storage, and conditions in the gastrointestinal tract showed that polyphenolic compounds that were not nanoencapsulated had levels of 1 – 74% while polyphenolic compounds that were nanoencapsulated had levels of 25 – 100%.

Keywords: Emulsification, Nanoencapsulation, Polyphenol, Stability

ABSTRAK: Senyawa polifenol merupakan senyawa metabolit sekunder pada tumbuhan yang bermanfaat sebagai antioksidan dan berpotensi dalam pencegahan penyakit yang berhubungan dengan stress oksidatif. Pemanfaatan polifenol terkendala oleh ketidakstabilan dan ketersediaan hayati yang rendah sehingga diperlukan upaya dalam mengatasi hal tersebut salah satunya melalui nanoenkapsulasi menggunakan metode emulsifikasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana formulasi dan karakteristik nanoenkapsulasi ekstrak mengandung senyawa polifenol dengan metode emulsifikasi dan pengaruh sistem nanoenkapsulasi dalam menstabilkan senyawa polifenol. Penelitian yang dilakukan adalah studi literatur menggunakan artikel penelitian yang tersedia di situs publikasi online. Berdasarkan hasil kajian, formulasi nanoenkapsulasi polifenol dengan metode emulsifikasi terdiri dari fase terdispersi antara 5 – 20% dan emulgator antara 0.04 – 24%. Karakteristik nanokapsul yang dilaporkan umumnya sferis dengan diameter 30 – 280 nm, nilai zeta potensial >30 mV, indeks polidispersitas <0,3, dan efisiensi enkapsulasi >80%. Pengujian stabilitas senyawa polifenol terhadap pengaruh pH, paparan cahaya, suhu selama penyimpanan, dan kondisi dalam saluran cerna menunjukkan bahwa senyawa polifenol yang tidak dinanoenkapsulasikan memiliki kadar 1 – 74% sedangkan senyawa polifenol yang dinanoenkapsulasi memiliki kadar 25 – 100%.

Kata Kunci: Emulsifikasi, Nanoenkapsulasi, Polifenol, Stabilitas

1 PENDAHULUAN

Polifenol merupakan salah satu kelompok senyawa metabolit sekunder tumbuhan yang paling melimpah dan mudah ditemukan (Deng dkk., 2018). Polifenol juga bermanfaat bagi kesehatan karena memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi serta berpotensi dalam pencegahan berbagai penyakit yang berhubungan dengan stres oksidatif seperti penyakit kanker, kardiovaskular, dan neurodegeneratif (Belščak-Cvitanović dkk., 2018; Deng dkk., 2018).

Pemanfaatan polifenol terkendala oleh beberapa faktor diantaranya ketidakstabilannya terhadap berbagai kondisi lingkungan seperti suhu tinggi, pH basa, paparan cahaya, dan oksigen;

kelarutan yang rendah dalam air dan permeabilitas yang rendah. Ketidakstabilan yang dapat menyebabkan perubahan struktur dan penurunan jumlah senyawa disertai kelarutan dan permeabilitas yang rendah ini menyebabkan rendahnya ketersediaan hayati polifenol dan berakibat pada penurunan aktivitas biologis (Lu, Kelly dan Miao, 2016; Deng dkk., 2018). Karenanya diperlukan suatu upaya dalam mengatasi kendala tersebut, salah satunya menggunakan sistem nanoenkapsulasi.

Nanoenkapsulasi merupakan metode pembungkusan zat dalam skala nanometer (Jafari dkk., 2017). Metode ini memungkinkan zat yang terbungkus di dalamnya untuk terlindung dari

pengaruh buruk lingkungan di luar kapsul tersebut seperti suhu tinggi, cahaya, oksigen, variasi pH, dan interaksi dengan bahan lain (Assadpour dan Jafari, 2018). Ukuran yang kecil juga memungkinkan peningkatan kelarutan dan bioavailabilitas senyawa bioaktif terenkapsulasi (Bayraktar *dkk.*, 2017).

Nanoenkapsulasi dapat dilakukan melalui metode emulsifikasi. Pada metode ini, satu cairan didispersikan ke dalam cairan lainnya yang tidak saling bercampur menggunakan emulgator yang

Tabel 1. Formula dan karakteristik nanoenkapsulasi ekstrak mengandung senyawa polifenol dalam nanoemulasi a/m

Ekstrak	Fase air (%)	Fase minyak (%)	Emulgator (%)	Karakteristik	Pustaka
<i>Citrus paradisi</i>	ekstrak dlm etanol (10)	Minyak mustard (89.48)	Span 80 (0.52)	29.73 nm, sferis	(Nishad <i>dkk.</i> , 2021)
<i>Euterpe oleracea</i>	ekstrak dlm air (10)	Minyak MCT (85)	CR-310 (5)	131.5 - 195.3 nm, IP 0.2	(Rabelo <i>dkk.</i> , 2018)
<i>Camellia sinensis</i>	ekstrak dlm air (19.2)	Minyak kacang (76.9)	lesitin (0.04)	33.3 nm	(Lante dan Friso, 2013)

Keterangan: CR-310= *tetraglycerin monolaurate condensed ricinoleic acid esters*, MCT = *Medium Chain Triglyceride*, IP = Indeks Polidispersitas

sesuai. Metode ini umumnya digunakan dalam enkapsulasi senyawa bioaktif dalam larutan berair melalui pembentukan nanoemulsi. Nanoemulsi lebih stabil dibandingkan emulsi konvensional terhadap flokulasi, sedimentasi, dan *creaming* serta memiliki luas permukaan yang lebih besar (Bayraktar *dkk.*, 2017). Sistem emulsi banyak digunakan karena dapat diterapkan dalam enkapsulasi senyawa hidrofilik maupun lipofilik, memiliki efisiensi enkapsulasi yang tinggi, dapat mempertahankan kestabilan senyawa terenkapsulasi, dan memiliki pelepasan terkontrol (Lu, Kelly dan Miao, 2016). Penggunaan nanoemulsi dalam enkapsulasi senyawa bioaktif telah banyak dilakukan, oleh karena itu untuk menegaskan salah satu fungsi nanoenkapsulasi dalam menstabilkan senyawa polifenol, maka perlu dilakukan pengkajian mengenai pengaruhnya dalam menstabilkan senyawa polifenol.

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, tujuan dari kajian pustaka ini adalah untuk mengetahui formulasi nanoenkapsulasi ekstrak yang mengandung senyawa polifenol dengan menggunakan metode emulsifikasi, karakteristik nanokapsul yang dihasilkan secara umum serta pengaruh sistem nanoenkapsulasi

dalam menstabilkan ekstrak yang mengandung senyawa polifenol.

2 METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan merupakan studi literatur berbasis bukti menggunakan jurnal – jurnal penelitian yang tersedia secara *online*. Penelusuran pustaka jurnal dilakukan di situs – situs publikasi artikel penelitian yaitu *Science Direct*, *Taylor and Francis*, dan *google scholar*. Kata kunci yang digunakan untuk mencari jurnal di situs tersebut adalah *nanoencapsulation*, *emulsification*, *nanoemulsion*, *nanoemulsification*, *polyphenol*, *extract*, *emulsion* dan *stability*. Artikel yang muncul diunduh berdasarkan kesesuaian pada judul atau abstrak, selanjutnya dipilih berdasarkan kriteria inklusi dan kriteria eksklusi yang telah ditentukan. Kriteria inklusi yang digunakan antara lain artikel merupakan artikel penelitian (*research article*), isi artikel dapat diakses penuh yaitu bukan hanya abstrak saja; artikel dengan topik terkait formulasi nanoenkapsulasi menggunakan metode emulsifikasi, formulasi nanoemulsi dan uji stabilitas senyawa polifenol yang dinanoenkapsulasi dalam nanoemulsi; artikel dipublikasikan lebih dari tahun 2011, dan artikel terindeks scopus (Q1 – Q4). Artikel dieksklusi jika merupakan artikel review dan ukuran nanokapsul atau droplet yang dihasilkan melebihi 500 nm.

Artikel yang terpilih sebagai sumber data adalah 15 buah dan selanjutnya diekstraksi untuk menjawab rumusan masalah yang sebelumnya telah ditentukan. Hasil yang diperoleh kemudian dibahas dan dilaporkan secara tertulis.

3 PEMBAHASAN DAN DISKUSI

Formulasi nanoenkapsulasi ekstrak yang mengandung senyawa polifenol dengan metode emulsifikasi

Beberapa formula yang telah dikembangkan dalam nanoenkapsulasi ekstrak mengandung senyawa polifenol dengan metode emulsifikasi dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Formula yang banyak ditemukan pada

Tabel 1. Formula dan karakteristik nanoenkapsulasi ekstrak mengandung senyawa polifenol dalam nanoemulasi a/m

Ekstrak	Fase air (%)	Fase minyak (%)	Emulgator (%)	Karakteristik	Pustaka
<i>Citrus paradisi</i>	ekstrak dlm etanol (10)	Minyak mustard (89.48)	Span 80 (0.52)	29.73 nm, sferis	(Nishad dkk., 2021)
<i>Euterpe oleracea</i>	ekstrak dlm air (10)	Minyak MCT (85)	CR-310 (5)	131.5 - 195.3 nm, IP 0.2	(Rabelo dkk., 2018)
<i>Camellia sinensis</i>	ekstrak dlm air (19.2)	Minyak kacang (76.9)	lesitin (0.04)	33.3 nm	(Lante dan Friso, 2013)

Keterangan: CR-310= tetraglycerin monolaurate condensed ricinoleic acid esters, MCT = Medium Chain Triglyceride, IP = Indeks Polidispersitas

nanoenkapsulasi menggunakan metode emulsifikasi merupakan nanoemulsi minyak dalam air (m/a), mengingat nanoemulsi sendiri lebih ditujukan untuk senyawa yang bersifat sukar larut air. Karena itu pula, polifenol yang dienkapsulasikan menurut jurnal yang telah dikaji umumnya merupakan polifenol yang bersifat hidrofobik seperti kurkumin dalam ekstrak kunyit (*Curcuma longa*) (Lee dkk., 2019), resveratrol dalam ekstrak kulit dan biji anggur (Sessa dkk., 2013), dan asam elagik dalam ekstrak buah jaboticaba (*Plinia peruviana*) (Mazzarino dkk., 2018; Di Maio dkk., 2019), meskipun ada pula formulasi nanoemulsi m/a maupun a/m untuk polifenol hidrofilik yaitu katekin dalam ekstrak teh hijau (*Camellia sinensis*) (Lante dan Friso, 2013; Bhushani, dkk., 2016; Gadkari, Shashidhar dan Balaraman, 2017). Polifenol lainnya yang bersifat hidrofilik seperti antosianin dalam ekstrak acai berry (*Euterpe oleracea*) dan flavonoid dalam ekstrak grapefruit (*Citrus paradisi*) dinanoenkapsulasikan dalam nanoemulsi a/m. Berdasarkan hasil kajian pada beberapa jurnal penelitian, polifenol dapat dinanoenkapsulasikan dalam nanoemulsi, baik tipe m/a ataupun a/m sesuai kelarutan dari polifenol.

Komponen formula pada nanoenkapsulasi dengan metode emulsifikasi umumnya terdiri dari fase minyak, fase air, dan emulgator. Fase minyak berperan sebagai fase terdispersi dalam nanoemulsi m/a dan fase air berperan sebagai fase terdispersi dalam nanoemulsi a/m. Pada umumnya fase terdispersi yang digunakan berjumlah sama dengan atau lebih besar dari jumlah emulgator, dengan persentase fase terdispersi 5 – 20% dan persentase emulgator 0,04 – 24%.

Tabel 2. Formula dan karakteristik nanoenkapsulasi ekstrak mengandung senyawa polifenol dalam nanoemulasi m/a

Ekstrak	Fase minyak (%)	Emulgator (%)	D (nm)	ZP (mV)	M	IP	EE (%)	Pustaka
<i>Camellia sinensis</i>	Minyak bunga matahari (9)	T-80 (1) & 1-dodecanol	280	-	-	-	83.16	(Gadkari dkk., 2017)
<i>Camellia sinensis</i>	Minyak bunga matahari (10)	Isolat protein kedelai (4)	268	30.4	-	0.4	-	(Bhushani dkk., 2016)
<i>Curcuma longa</i>	Minyak MCT (7.5)	Lesitin kedelai dan T-80 4.1:3.4 (7.5)	66.6	-36.93	sferis	0.3	-	(Lee dkk., 2019)
<i>Plinia peruviana</i>	Minyak kaprilat (5)	T-80 (1)	197.3	-36.7	sferis	0.197	97	(Mazzarino dkk., 2018)
<i>Plinia peruviana</i>	Minyak MCT (5)	T-80 (1)	166.7	-38.6	sferis	0.138	85.6	(Di Maio dkk., 2019)
Kulit dan biji anggur	Minyak bunga matahari (9)	GMO dan DSL 1:0.5 (1.5)	176	-	-	0.13	-	(Sessa dkk., 2013)
		LSL & DSL 1:0.5 (1.5)	219	-	-	0.19	-	
<i>Achillea millefolium</i>	Minyak kedelai (7)	Natrium kasein (2)	250	-38.6	-	-	92.3	(Villalva dkk., 2020)
Kulit	Minyak jeruk (5) dan MBA (5)	T-80 (10)	100	-	-	0.22	89	(Davidov-Pardo dan McClements, 2015)
Kulit	Minyak kacang (7) dan etanol (0.2)	T-20 dan GMO 1:1 (3)	128.2	-	-	0.12	-	(Sessa dkk., 2014)
		Minyak kacang (9) dan etanol (0.2)	LSL dan SE 1:0.3 (1.3)	137.5	-	-	0.22	
Kulit	Minyak kacang (9) dan etanol (0.2)	LSL dan SE 1:0.3 (1.3)	160	-	-	-	-	(Sessa dkk., 2011)
<i>Equisetum arvense</i>	MKJ dan ekstrak 1:4 (19.98)	T-20 dan Etanol 1:0.3 (24.4)	100	-	-	-	97.5	(Hernández-Jaimes dkk., 2013)
<i>Curcuma longa</i>	Minyak MCT (7.5)	Lesitin kedelai (4) dan T-80 (0.03 g/mL)	200	-64	bulat	0.29	-	(Hong dkk., 2019)

Minyak yang digunakan sebagai fase terdispersi pada formula yang dikaji diantaranya adalah minyak bunga matahari, minyak biji anggur, minyak trigliserida rantai sedang (medium chain triglyceride; MCT), minyak jeruk, minyak kaprilat, minyak kedelai, dan minyak kacang. Penggunaan minyak ini pada umumnya secara tunggal, namun dapat pula digunakan campuran minyak. Pemilihan minyak yang digunakan didasari oleh beberapa faktor diantaranya kelarutan senyawa dalam minyak dan kestabilan droplet yang dihasilkan.

Emulgator adalah komponen yang menempati antarmuka droplet dan fase pendispersi, menghasilkan pengecilan ukuran droplet,

menstabilkan droplet yang terbentuk, dan mencegah rekoalesen atau agregasi droplet (Jafari, Fathi dan Mandala, 2015). Dalam sistem nanoenkapsulasi, emulgator berperan sebagai wall material, cangkang, atau penyalut dari nanokapsul yang memisahkan bagian inti dari lingkungan di sekitarnya (Esfanjani dan Jafari, 2017). Beberapa emulgator yang digunakan dalam formula yang dikaji antara lain adalah tween 80, span 80, tween 20, lesitin kedelai, isolat protein kedelai, kasein, sugar ester, lipophilic soy lecithin (LSL), defatted soy lecithin (DSL), gliserol monooleat (GMO), dan CR – 310 (tetraglycerin monolaurate condensed ricinoleic acid esters). Beberapa formula menggunakan kombinasi emulgator, namun ada pula yang menggunakan emulgator secara tunggal. Penggunaan kombinasi emulgator dilakukan untuk menghasilkan sistem nanoemulsi yang lebih stabil. Penggunaan emulgator juga didasari oleh nilai HLB (hydrophilic-lipophilic balance). Pada formula nanoemulsi minyak dalam air, HLB yang digunakan adalah 10.6 – 15 (Lee dkk., 2019), sedangkan pada formula nanoemulsi air dalam minyak digunakan HLB yang lebih rendah yaitu 2,5 – 4,3 (Rabelo dkk., 2018; Nishad dkk., 2021).

Karakteristik nanokapsul

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat fisikokimia dan kestabilan nanokapsul. Beberapa parameter yang dinilai diantaranya adalah diameter nanokapsul, indeks polidispersitas (IP), zeta potensial, morfologi, dan efisiensi enkapsulasi. Dalam jurnal yang dikaji, tidak semua pengujian parameter ini dilakukan. Pada umumnya, hanya dilakukan pengukuran diameter nanokapsul, mengingat nanokapsul harus memiliki ukuran pada rentang nanometer. Hasil pengujian karakteristik nanokapsul dari beberapa formula dapat dilihat pada Tabel 1. dan Tabel 2.

Diameter nanokapsul atau droplet akan mempengaruhi tampilan dan fungsi yang dimiliki. Pada jurnal yang dikaji, diameter yang dilaporkan pada nanoemulsi m/a adalah berkisar pada 30 – 280 nm. Ukuran Menurut McClements dan Jafari (2018), ukuran droplet pada nanoemulsi adalah <200 nm, namun menurut Rashidinejad dan Jafari (2020) nanoemulsi berukuran kurang dari 500 nm dan untuk nanoemulsi yang diaplikasikan pada makanan lebih disukai pada ukuran droplet lebih dari 200 nm. Nanoemulsi dengan ukuran droplet <100 nm memiliki tampilan tembus pandang,

sedangkan pada ukuran >100 nm akan terlihat keruh atau seperti susu (Esfanjani dan Jafari, 2017; Gaber Ahmed, Fernández-González dan Díaz García, 2020). Fungsi nanokapsul dalam meningkatkan permeabilitas pada membran saluran cerna juga lebih baik pada rentang nanometer karena ukuran yang lebih kecil akan meningkatkan luas permukaan kontak sehingga meningkatkan kemampuan untuk larut dan melewati membran saluran cerna (Sessa dkk., 2014).

Indeks polidispersitas yang dilaporkan umumnya <0,3. Indeks polidispersitas (IP) menunjukkan distribusi ukuran partikel dan nilai IP yang tinggi (>0,3) artinya ukuran nanokapsul yang dihasilkan tidak seragam (Lee dkk., 2019). Ukuran yang bervariasi ini juga mempengaruhi fungsi dari nanokapsul, terutama jika variasi ukuran yang dihasilkan berukuran besar. IP yang tinggi dapat dipengaruhi oleh jumlah surfaktan terlalu tinggi yang menyebabkan pembentukan gumpalan seperti gel, sehingga distribusi ukuran meningkat (Davidov-Pardo dan McClements, 2015).

Morfologi dari nanokapsul yang dilaporkan adalah berbentuk sferis. Menurut Bourbon dkk. (2018), bentuk sferis ini dihasilkan karena tegangan antarmuka yang tinggi dan ukuran droplet yang kecil, sehingga memiliki kecenderungan untuk mengecilkan luas antarmuka dengan menghasilkan bentuk sferis. Morfologi dari nanokapsul dapat dipengaruhi oleh kadar emulgator dalam formula.

Pada jurnal yang dikaji, nilai zeta potensial yang banyak dihasilkan adalah >30 mV. Zeta potensial (ZP) menunjukkan kestabilan sistem nanokapsul dan nilai >30 mV menghasilkan sistem yang lebih stabil terhadap proses koalesen dan agregasi. Hal ini terjadi karena pada zeta potensial yang tinggi terjadi tolakan elektrostatis yang mencegah terjadinya penggabungan partikel ataupun droplet (Dario dkk., 2016). Terjadinya koalesen dan agregasi akan menyebabkan peningkatan ukuran dan mempengaruhi tampilan dan fungsi dari nanokapsul. Zeta potensial dapat dipengaruhi oleh bahan yang ada dipermukaan nanokapsul, contohnya pada penggunaan protein sebagai emulgator dihasilkan zeta potensial bermuatan positif karena protein di permukaan droplet bermuatan positif (Bhushani, Karthik dan Anandharamakrishnan, 2016), sedangkan pada penggunaan lesitin, adanya fosfolipid anionik

menyebabkan muatan droplet bernilai negatif (Hong dkk., 2019).

Efisiensi enkapsulasi hanya diujikan pada beberapa formula saja, namun secara umum memiliki nilai >80%. Efisiensi enkapsulasi (EE) atau efisiensi penyerapan menunjukkan persentase jumlah zat aktif yang terekapsulasi di dalam nanokapsul. Kelarutan zat aktif yang tinggi dalam matriks nanokapsul menjadi salah satu faktor tingginya nilai efisiensi enkapsulasi (Park dkk., 2019). Nilai efisiensi enkapsulasi selain dipengaruhi kelarutan dan jumlah zat aktif, dapat pula dipengaruhi jumlah emulgator. Peningkatan jumlah tween 80 dalam formula selain menurunkan tegangan antarmuka air-minyak juga menurunkan nilai EE katekin dalam minyak karena efek peningkatan kelarutan katekin dalam fase air (Gadkari, Shashidhar dan Balaraman, 2017).

Stabilitas polifenol dalam sistem nanoenkapsulasi

Kestabilan polifenol ditentukan dengan cara mengukur kadar senyawa polifenol setelah sampel diberi perlakuan tertentu. Pengujian kadar senyawa polifenol pada beberapa penelitian dilakukan dengan mengukur kandungan senyawa polifenol total namun ada pula yang hanya mengukur kadar senyawa polifenol utama saja. Data yang diambil adalah data yang juga membandingkan kadar polifenol pada sampel ekstrak yang tidak dinanoenkapsulasi, untuk membuktikan bahwa metode nanoenkapsulasi yang dilakukan memiliki pengaruh positif dalam menstabilkan senyawa polifenol. Polifenol yang dinanoenkapsulasi dinilai stabil jika memiliki kadar polifenol yang bernilai lebih tinggi dibandingkan polifenol yang tidak dinanoenkapsulasi. Hasil pengujian kestabilan senyawa polifenol yang telah diperoleh terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil uji stabilitas senyawa polifenol dengan dan tanpa sistem nanoenkapsulasi

Ekstrak	Senyawa polifenol	Kondisi pengujian	Kadar polifenol (%)		Pustaka
			T-NE	NE	
<i>Curcuma longa</i>	Kurkumin	Penyimpanan 21 hari, suhu 4°C dan redispersi dalam pelarut: Air Etanol 20% pH 2 pH 7 pH 10 NaCl 100 mM			(Hong dkk., 2019)
			54.2	89.8	
			21.5	83.8	
			27.2	87.4	
			25.3	84.3	
			1.3	25.0	
Kulit buah anggur	Resveratrol	Cahaya UV 365 nm, 1 jam	50	88	(Davidov-Pardo dan McClements, 2015)
<i>Achillea millefolium</i>	Fenolik total	Pencernaan in vitro	74	82	(Villalva dkk., 2020)
<i>Camellia sinensis</i>	Katekin	Pencernaan lambung in vitro	26.54	79.72	(Bhushani dkk., 2016)
		Pencernaan GI in vitro	14.69	40.89	
Kulit anggur	Resveratrol	Difusi in vitro dalam air, 37°C, 72 jam	48	85	(Sessa dkk., 2014)
Kulit anggur	Resveratrol	Paparan UV-C (280 - 100 nm); 2 jam	55	83	(Sessa dkk., 2011)
		Penyimpanan suhu 4°C, 30 hari	50	100	
<i>Euterpe oleracea</i>	Polifenol total	Penyimpanan 30 hari, 4°C	56	70	(Rabelo dkk., 2018)
	Antosianin		47.9	94.6	

Keterangan: GI = Gastro – Intestinal, pencernaan lambung hingga usus halus; NE = sampel senyawa polifenol dalam sistem nanoenkapsulasi; T – NE = sampel senyawa polifenol tanpa nanoenkapsulasi.

Pengujian stabilitas yang dilakukan antara lain stabilitas selama penyimpanan 3 – 12 minggu pada suhu dingin (4°C), stabilitas terhadap pH asam (2), pH netral (7 – 7,4), dan pH basa (10), stabilitas terhadap paparan cahaya UV, stabilitas dalam pelarut (air dan etanol), stabilitas dalam larutan NaCl, dan stabilitas selama proses pencernaan. Sebelumnya telah disebutkan bahwa polifenol tidak stabil dalam suhu tinggi, pH basa, paparan cahaya, dan adanya oksigen. Berdasarkan pustaka yang telah dikaji, polifenol juga mengalami degradasi bahkan pada pH asam yaitu pH 2 dan suhu rendah (4°C) (Hong dkk., 2019).

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, kadar dari senyawa polifenol yang tidak dinanoenkapsulasi mengalami penurunan selama pengujian. Penurunan kadar yang dihasilkan bervariasi pada perlakuan yang dilakukan, namun berkisar pada rentang 26 – 99% atau dengan kata lain kadar yang dipertahankan sebanyak 1 – 74%. Pada ekstrak yang dinanoenkapsulasi dalam sistem nanoemulsi, kadar senyawa polifenol mengalami penurunan namun dalam jumlah yang lebih kecil dibandingkan kadar senyawa polifenol yang tidak dinanoenkapsulasi yaitu 0 – 75% atau

dapat dikatakan mempertahankan kadarnya sebanyak 25 – 100%.

Penurunan kadar senyawa polifenol yang lebih rendah menunjukkan bahwa nanoenkapsulasi dalam droplet nanoemulsi dapat meningkatkan kestabilan senyawa polifenol pada beberapa pengaruh lingkungan seperti pengaruh pH, cahaya, suhu selama penyimpanan, dan kondisi dalam saluran cerna. Menurut Sessa dkk.(2014), senyawa polifenol yang dienkapsulasi memiliki kestabilan yang lebih tinggi karena senyawa polifenol berada dalam matriks droplet dan tidak mengalami kontak langsung dengan lingkungan di luar droplet. Selain itu menurut Iqbal dkk. (2020), lapisan emulgator di sekeliling droplet juga memberikan perlindungan pada senyawa polifenol dalam matriks droplet.

Meskipun polifenol yang dienkapsulasi menunjukkan kestabilan yang lebih tinggi selama pengujian yang dilakukan, namun pengujian stabilitas terhadap kondisi pH basa dan pencernaan gastrointestinal (GI) menunjukkan penurunan kadar yang lebih besar dibandingkan kondisi pengujian lainnya. Menurut Hong dkk. (2019) hal ini dikarenakan pH basa dapat menyebabkan hidrolisis lapisan surfaktan sehingga inti minyak yang mengandung senyawa polifenol tidak terlindung dari pengaruh pH basa dan polifenol pun mengalami degradasi.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan kajian pustaka yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Beberapa senyawa polifenol diantaranya kurkumin, resveratrol, asam elagik, katekin, dan antosianin dapat dinanoenkapsulasikan menggunakan metode emulsifikasi. Persentase fase terdispersi dalam formula pada umumnya 5 – 20% dan persentase emulgator 0.04 – 24%.

Karakteristik nanokapsul yang dilaporkan secara umum sferis dengan diameter berkisar pada 30 – 280 nm, nilai zeta potensial >30 mV, indeks polidispersitas <0,3, dan nilai efisiensi enkapsulasi >80%.

Setelah dilakukan uji stabilitas terhadap pengaruh pH, paparan cahaya, suhu selama penyimpanan, dan kondisi dalam saluran cerna, senyawa polifenol yang tidak dinanoenkapsulasikan memiliki kadar 1 – 74% sedangkan senyawa polifenol yang

ACKNOWLEDGE

Alhamdulillah rabbil alamin, segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah karena atas izin-Nya penelitian ini dapat terlaksana. Terima kasih kepada Ibu apt. Ratih Aryani, M. Farm dan Ibu apt. Fitrianti Darusman, M.Si. selaku dosen pembimbing dan juga kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung penulisan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Assadpour, E. dan Jafari, S. M. (2018). Nanoencapsulation: techniques and developments for food applications. *Nanomaterials for food applications*. Elsevier Inc, pp. 35 – 61.
- Bayraktar, O., Erdogan, I., Kose, M. D., dan Kalmaz, G. (2017). Nanocarriers for plant-derived natural compounds. *Nanostructures for antimicrobial therapy: nanostructures in therapeutic medicine series*. Elsevier, pp. 395–412.
- Belščak-Cvitanović, A., Durgo, K., Hudek, A., Bačun-Družina, V., dan Komes, D. (2018). Overview of polyphenols and their properties. *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*. Elsevier, pp. 3 – 44.
- Bhushani, J. A., Karthik, P. dan Anandharamakrishnan, C. (2016). Nanoemulsion based delivery system for improved bioaccessibility and caco-2 cell monolayer permeability of green tea catechins. *Food hydrocolloids*, 56, pp. 372 – 382.
- Bourbon, A. I., Goncalves, R. F. S., Vicente, A. A. dan Pinheiro, A. C. (2018). Characterization of particle properties in nanoemulsions. *Nanoemulsions: formulation, applications, and characterization*, pp. 519–546.
- Dario, M. F. Santos, M.S.C.S., Viana, A. S., Arêas, E.P.G., Bou-Chacra, N. A. , Oliveira, M. C., Piedade, M. E. M., Baby, A. R., dan Velasco, M. V. R. (2016). A high loaded cationic nanoemulsion for quercetin delivery obtained by sub-PIT method.

- Colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects*, 489, pp. 256–264.
- Davidov-Pardo, G. dan McClements, D. J. (2015). Nutraceutical delivery systems: resveratrol encapsulation in grape seed oil nanoemulsions formed by spontaneous emulsification. *Food chemistry*, 167, pp. 205–212.
- Deng, J., Yang, H., Capanoglu, E., Cao, H., dan Xiao, J. (2018). Technological aspects and stability of polyphenols. *Polyphenols: properties, recovery, and applications*. Elsevier Inc, pp. 295 – 323.
- Esfanjani, A. F. dan Jafari, S. M. (2017). Nanoencapsulation of phenolic compounds and antioxidants. *Nanoencapsulation of food bioactive ingredients*. Academic Press, pp. 63 – 101.
- Gaber Ahmed, G. H., Fernández-González, A. dan Díaz García, M. E. (2020). Nanoencapsulation of grape and apple pomace phenolic extract in chitosan and soy protein via nanoemulsification. *Food hydrocolloids*, 108, pp. 105806.
- Gadkari, P. V., Shashidhar, M. G. dan Balaraman, M. (2017). Delivery of green tea catechins through oil-in-water (O/W) nanoemulsion and assessment of storage stability. *Journal of food engineering*, 199, pp. 65–76.
- Hernández-Jaimes, C., Fouconnier, B., Pérez-Alonso, C., Munguía-Guillén, J. L., dan Vernon-Carter, E. J. (2013). Antioxidant activity degradation, formulation optimization, characterization, and stability of equisetum arvense extract nanoemulsion. *Journal of dispersion science and technology*, 34(1), pp. 64–71.
- Hong, S. J., Garcia, C. V., Park, S. P., Shin, G. H., dan Kim, J. T. (2019). Retardation of curcumin degradation under various storage conditions via turmeric extract-loaded nanoemulsion system. *LWT*, 100, pp. 175–182.
- Iqbal, R., Mehmood, Z., Baig, A., dan Khalid, N. (2020). Formulation and characterization of food grade O/W nanoemulsions encapsulating quercetin and curcumin: Insights on enhancing solubility characteristics. *Food and bioprocess processing*, 123, pp. 304–311.
- Jafari, S. M., Paximada, P., Mandala, I., Assadpour, E., dan Mehrnia, M. A. (2017). Encapsulation by nanoemulsions, *Nanoencapsulation technologies for the food and nutraceutical industries*. Academic Press, pp. 36 – 73.
- Jafari, S. M., Fathi, M. dan Mandala, I. (2015) Emerging product formation. *Food waste recovery: processing technologies and industrial techniques*. Academic Press, pp. 293–317.
- Lante, A. dan Friso, D. (2013). Oxidative stability and rheological properties of nanoemulsions with ultrasonic extracted green tea infusion. *Food research international*, 54(1), pp. 269–276.
- Lee, S. B., Garcia, C. V., Hong, S. J., Shin, G. H. dan Kim, J. T. (2019). Production of turmeric extract-loaded nanoemulsions at the laboratory-scale and pilot-scale: Comparison of processing conditions and properties. *Journal of food engineering*, 261, pp. 125–132.
- Lu, W., Kelly, A. L. dan Miao, S. (2016). Emulsion-based encapsulation and delivery systems for polyphenols, *Trends in food science and technology*, 47, pp. 1–9.
- Di Maio, G., Pittia, P., Mazzarino, L., dan Maraschin, M. (2019). Cow milk enriched with nanoencapsulated phenolic extract of jaboticaba (*Plinia peruviana*). *Journal of food science and technology*, 56(3), pp. 1165–1173.
- Mazzarino, L., Pitz, H. S., Voytena, A. P. L., Trevisan, A. C. D., Ribeiro-Do-Valle, R. M., dan Maraschin, M. (2018). Jaboticaba (*Plinia peruviana*) extract nanoemulsions: development, stability, and in vitro antioxidant activity. *Drug development and industrial pharmacy*, 44(4), pp. 643–651.
- McClements, D. J. dan Jafari, S. M. (2018). General aspects of nanoemulsions and their formulation. *Nanoemulsions: formulation, applications, and characterization*. Elsevier Inc, pp. 3 – 20.
- Nishad, J., Dutta, A., Saha, S., Rudra, S. G., Varghese, E., Sharma, R. R., Tomar, M., Kumar, M., dan Kaur, C. (2021). Ultrasound-assisted development of stable grapefruit peel polyphenolic nanoemulsion: Optimization and application in improving oxidative stability of mustard

oil. *Food chemistry*, 334, p. 127561.

- Park, S. J., Hong, S. J., Garcia, C. V., Lee, S. B., Shin, G. H., dan Kim, J. T. (2019). Stability evaluation of turmeric extract nanoemulsion powder after application in milk as a food model. *Journal of food engineering*, 259, pp. 12–20.
- Rabelo, C. A. S., Taarji, N., Khalid, N., Kobayashi, I., Nakajima, M., dan Neves, M. A. (2018). Formulation and characterization of water-in-oil nanoemulsions loaded with açai berry anthocyanins: insights of degradation kinetics and stability evaluation of anthocyanins and nanoemulsions. *Food research international*, 106, pp. 542–548.
- Rashidinejad, A. dan Jafari, S. M. (2020). Nanoencapsulation of bioactive food ingredients. *Handbook of food nanotechnology*. Academic Press, pp. 279 – 344.
- Sessa, M., Tsao, R., Liu, R., Ferrari, G., dan Donsi, F. (2011). Evaluation of the stability and antioxidant activity of nanoencapsulated resveratrol during in vitro digestion. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(23), pp. 12352–12360.
- Sessa, M., Casazza, A. A., Perego, P., Tsao, R., Ferrari, G., dan Donsi, F. (2013). Exploitation of polyphenolic extracts from grape marc as natural antioxidants by encapsulation in lipid-based nanodelivery systems. *Food and bioprocess technology*, 6(10), pp. 2609–2620.
- Sessa, M., Balestrieri, M. L., Ferrari, G., Servillo, L., Castaldo, D., D’Onofrio, N., Donsi, F., dan Tsao, R. (2014). Bioavailability of encapsulated resveratrol into nanoemulsion-based delivery systems. *Food chemistry*, 147, pp. 42–50.
- Villalva, M., Jaime, L., Arranz, E., Zhao, Z., Corredig, M., Reglero, G., dan Santoyo, S. (2020). Nanoemulsions and acidified milk gels as a strategy for improving stability and antioxidant activity of yarrow phenolic compounds after gastrointestinal digestion. *Food research international*, 130, p. 108922.
- Azhar Salma Fadhilah, Y Kiki Mulkiya, Kodir Reza Abdul. (2021). *Pengaruh Waktu Aging dan Metode Ekstraksi terhadap*