

TEKNIK ENKAPSULASI ANTIOKSIDAN MELALUI PENGERINGAN SEMPROT

ANTIOXIDANT ENCAPSULATION TECHNIQUE THROUGH SPRAY DRYING

Setyaning Pawestri ^{1)*}, ¹Fathma Syahbanu ²⁾

¹⁾ Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri,

²⁾ Program Studi Gizi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Singaperbangsa Karawang

ABSTRACT

Most widely consumed agriculture products worldwide are vegetable and fruit-based products rich in bioactive compounds such as vitamins, polyphenols, and other antioxidants. These molecules are susceptible to oxidation and degradation during food processing, especially when exposed to heat. This review discusses the effects of encapsulation using spray drying on bioactive compounds and how encapsulation technology can be utilized to protect and optimize the functional properties of bioactive. Encapsulation can also aid the creation of desirable sensory attributes (e.g., aroma, texture, colour, and taste), thus playing an essential role in developing novel foods and beverages. Encapsulation has successfully preserved encapsulated bioactive compounds from external conditions while aiding the controlled release of transported active compounds. Among the various variations and applications of encapsulation, microencapsulation and nanoencapsulation of food bioactive is the main focus of this review, which discusses the principles related to technological developments as well as current applications so that the protective effects and bioavailability of bioactive components in food systems can be fulfilled. This manuscript review was conducted using the narrative literature review method.

Keywords: antioxidant, bioactive compound, encapsulation, spray drying

INTISARI

Produk agrikultur yang paling banyak dikonsumsi di seluruh dunia adalah produk berbasis sayuran dan buah-buahan yang kaya akan senyawa bioaktif seperti vitamin, polifenol, dan antioksidan. Molekul-molekul ini sangat rentan terhadap oksidasi dan degradasi selama pemrosesan makanan, terutama akibat paparan suhu. Ulasan ini membahas efek enkapsulasi dengan pengeringan semprot pada senyawa bioaktif dan bagaimana teknologi enkapsulasi digunakan untuk melindungi dan mengoptimalkan sifat fungsional bioaktif makanan. Enkapsulasi juga dapat membantu menghasilkan atribut sensorik yang diinginkan (misalnya, aroma, tekstur, warna, dan rasa), sehingga memainkan peran penting dalam pengembangan produk baru. Enkapsulasi telah terbukti berhasil sebagai proses yang efektif untuk melindungi senyawa bioaktif yang dienkapsulasi dari kondisi eksternal, sekaligus membantu pelepasan terkontrol dari senyawa aktif yang diangkut. Di antara berbagai variasi dan aplikasi enkapsulasi, mikroenkapsulasi dan nanoenkapsulasi bioaktif dari makanan adalah fokus utama dari ulasan ini yang membahas prinsip-prinsip terkait perkembangan teknologi serta aplikasi saat ini sehingga efek perlindungan dan bioavailabilitas dari komponen bioaktif dalam sistem pangan dapat terpenuhi. Ulasan naskah ini dilakukan dengan menggunakan metode *literature review narrative*.

Kata Kunci: antioksidan, enkapsulasi, komponen bioaktif, pengeringan semprot

¹ Correspondence author: Fathma Syahbanu. E-mail: fathma.syahbanu@fikes.unsika.ac.id

PENDAHULUAN

Antioksidan adalah molekul yang menghambat reaksi radikal bebas dan menunda atau menghambat kerusakan sel (Evans dan Halliwell, 2001). Antioksidan didefinisikan sebagai zat yang dalam konsentrasi rendah di dalam makanan atau di dalam tubuh manusia, secara signifikan dapat menghambat oksidasi substrat. Dalam dunia pangan, oksidasi adalah penyebab utama pembusukan kimiawi, yang mengakibatkan ketengikan dan/atau penurunan kualitas nutrisi, atribut sensori dan keamanan makanan (Antolovich *et al.*, 2002).

Antioksidan sebagai pengawet makanan semakin mendapat perhatian karena dapat mencegah kerusakan makanan akibat oksidasi, mengurangi hilangnya nilai gizi dan kandungan energi, memperpanjang kesegaran dengan menjaga rasa, bau, pigmen warna, rasa dan tekstur (Ozkan *et al.*, 2018). Hampir semua bahan makanan mengandung lemak dengan sebagian besar (> 90%) dalam bentuk triasilgliserol (ester dari asam lemak dan gliserol). Dua komponen utama yang terlibat dalam oksidasi lemak adalah asam lemak tak jenuh dan oksigen. Degradasi oksidatif lemak dapat diinisiasi oleh spesies oksigen aktif dan faktor eksogen (UV, radiasi ionisasi, dan panas) (Yanishlieva-Maslarova, 2001).

Produsen menambahkan antioksidan karena memiliki aktivitas yang lebih tinggi daripada senyawa tunggal, dan produsen harus memastikan bahwa batas untuk senyawa tunggal belum terlampaui. Pencampuran fisik antioksidan secara langsung pada bahan makanan tidak selalu memungkinkan, sehingga salah satu cara yang bisa digunakan adalah melalui enkapsulasi. Kemampuannya dalam mencegah oksidasi menjadikan antioksidan memiliki kemampuan untuk memperpanjang umur simpan (Dudonné *et al.*, 2009).

Antioksidan dikaitkan dengan berbagai manfaat kesehatan seperti mereduksi kanker, penyakit kardiovaskular dan neurologis. Antioksidan juga telah diteliti

manfaatnya sebagai anti inflamasi, antibakteri, anti alergi, anti hipertensi, antivirus dan efek penyembuhan luka kulit telah dikaitkan dengan peran antioksidan makanan (Alvarez-Suarez *et al.*, 2016; Ballesteros *et al.*, 2017; Giampieri, *et al.*, 2013). Antioksidan dapat mencegah penyakit degeneratif dengan mengurangi spesies oksigen reaktif (ROS) dan dengan demikian membatasi kerusakan sel oleh ROS serta spesies nitrogen reaktif dan spesies klorin reaktif. Pangan fungsional membuka peluang pencegahan penyakit melalui konsumsi makanan. Ingredien pangan yang sudah lama dan baru ditemukan perlu dimasukkan ke dalam sistem pangan, dikarenakan ingredien dapat terdegradasi dan kehilangan aktivitas atau menjadi berbahaya akibat adanya reaksi oksidasi. Ingredien bereaksi dengan komponen dalam sistem pangan, yang dapat membatasi bioavailabilitas atau mengubah atribut sensori (rasa, warna, atau tekstur). Dalam banyak kasus, enkapsulasi digunakan untuk mengatasi tantangan-tantangan ini (Schrooyen *et al.*, 2001).

Enkapsulasi dipandang efektif dalam memberikan perlindungan ekstra bagi antioksidan dan mengatasi limitasi rasa polifenol. Sebab aktivitas antioksidan dari zat bioaktif mungkin terhambat karena kandungannya terdegradasi oleh cahaya, oksigen, suhu, kelembaban dan keberadaan unsur tak jenuh ikatan dalam struktur molekul. Enkapsulasi dengan bahan penyalut yang tepat dapat meningkatkan penyimpanan dan stabilitas lingkungan bioaktif, dan menutupi rasa tidak enak, pahit dari polifenol (Fang & Bhandari, 2010; Ballesteros *et al.*, 2017) dan juga meningkatkan bioavailabilitas senyawa aktif (Tavano *et al.*, 2014).

METODE

Kajian pustaka ini dilakukan menggunakan metode *literature review narrative*. Langkah awal berupa pencarian literatur ilmiah yang diterbitkan antara tahun 1980 – 2022 yang terindeks di dalam database

jurnal ilmiah seperti, Google Scholar dan Sinta. Dilanjutkan dengan identifikasi kata kunci yang berkaitan dengan antioksidan, enkapsulasi, komponen bioaktif, dan pengeringan semprot. Langkah ketiga adalah melakukan ulasan pada abstrak dan isi setiap artikel, dimana dilakukan pemilahan bilamana kata kunci sesuai, tetapi abstrak dan isi artikel tidak sesuai dengan tujuan penelitian akan dikeluarkan (*excluded*). Pada langkah terakhir, dilakukan sintesis temuan dari isi artikel dan diintegrasikan ke dalam naskah publikasi.

PEMBAHASAN

A. Enkapsulasi Antioksidan

1. Aspek Pemilihan Sumber Antioksidan

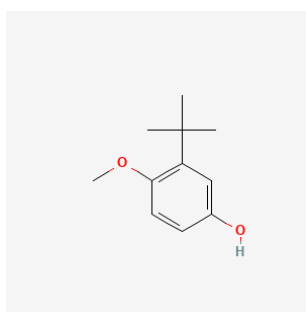
a) Antioksidan Sintetis

Antioksidan dapat masuk ke tubuh dalam bentuk suplemen makanan. Bentuk antioksidan sintetis bersifat bioekuivalen dengan bentuk alaminya, misalnya biovitamin C vs. asam L-askorbat yang disintesis secara kimia, atau R, R, R- α -tokoferol sintetis dan alami. Empat antioksidan sintetis utama yang sering digunakan dalam industri makanan adalah senyawa fenolik seperti butylated hidroksianisol (BHA), butylated hydroxytoluene (BHT), tersier butylhydroquinone (TBHQ), dan ester dari

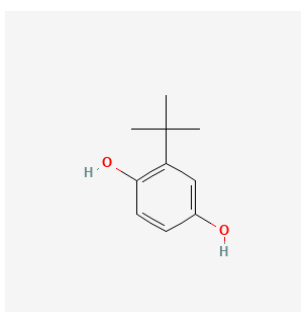
asam galat, misalnya propil galat (PG) (Yang *et al.*, 2002). Antioksidan fenolik sintetis selalu disubstitusi oleh alkil untuk meningkatkan kelarutannya dalam lemak dan minyak. Dosis penggunaan 4 antioksidan sintetis tersebut sebesar 0,02% dari kandungan lemak atau minyak makanan (Simic, 1981).

Proses autoksidasi lemak tidak jenuh melibatkan reaksi berantai radikal yang umumnya diinisiasi oleh paparan lipid terhadap cahaya, panas, radiasi pengion, ion logam, atau katalis metaloprotein. Lipoksigenase juga dapat memulai oksidasi. Rute klasik autoksidasi meliputi inisiasi (produksi radikal bebas lipid), propagasi, dan reaksi penghentian (produksi produk nonradikal) (Kaur & Kapoor, 2001).

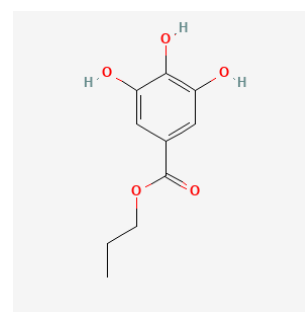
Berdasar mekanisme kerjanya, antioksidan diklasifikasikan sebagai senyawa yang memutuskan rantai radikal bebas dalam oksidasi lipid dengan menyumbangkan elektron atau hidrogen ke lemak yang mengandung bebas radikal dan pembentukan kompleks antara rantai lemak dan radikal bebas. Antioksidan menghentikan rantai radikal bebas dari reaksi oksidatif dengan menyumbangkan hidrogen dari gugus hidroksil fenolik, sehingga membentuk radikal bebas yang tidak tidak menginisiasi atau melanjutkan oksidasi lipid (terminator radikal bebas) (Kaur & Kapoor, 2001).



4-Methoxy-2-tert-butyl phenol
(2-BHA)



tersier butylhydroquinone
(TBHQ)



propil galat (PG)

Gambar 1. Struktur kimia antioksidan fenolik sintetis, butylated hydroxy anisol (BHA), tersier butylhydroquinone (TBHQ), dan propil galat (PG) (Sumber : PubChem)

BHA, BHT, TBHQ dan PG merupakan zat aditif antioksidan cukup stabil terhadap panas yang paling sering ditambahkan dalam lemak hewani, minyak nabati, dan daging yang diawetkan karena dapat mencegah ketengikan atau memperlambat proses oksidasi lemak (Yang *et al.*, 2002) dan untuk stabilisasi lemak dalam yang dipanggang dan digoreng (Ding & Zou, 2012).

Antioksidan yang stabil terhadap panas memiliki sifat yang disebut sebagai *carry-through*. Penggunaan konsentrasi antioksidan sintesis diatur ketat oleh berbagai badan pengawas obat dan makanan. Di Eropa penggunaannya di atur oleh EFSA (*European Food Safety Authority*). Semisal pada kentang terdehidrasi, konsentrasi maksimum BHA yang diperbolehkan adalah 25 mg/kg; dalam minyak atsiri, 1000 mg/kg; dalam perasa selain minyak esensial, 200 mg/kg. BHA dan TBHQ, secara individu atau kombinasi, dalam makanan yang sama, dapat digunakan pada tingkat maksimum yang diizinkan yaitu 200 mg/kg (EFSA, 2011). Selain itu, BHT diperbolehkan sendiri atau dikombinasikan dengan antioksidan lain seperti galat, TBHQ dan BHA dalam jumlah hingga 100 mg/kg dinyatakan dalam bentuk lemak (EFSA, 2012). PG dapat digunakan untuk minyak, gorengan, dan makanan kaleng; konsentrasi maksimum yang diijinkan adalah 100 mg/kg (dari total lemak) (EFSA, 2012).

Dikarenakan PG dapat memberikan warna dosisnya mencapai 100 mg/kg, sehingga umumnya tidak digunakan sendiri tetapi dikombinasikan dengan BHA, BHT, asam sitrat, asam isoaskorbat atau bahan lainnya. Jika digabungkan, jumlah total BHA dan BHT tidak boleh melebihi 100 mg/kg, dan PG tidak boleh melebihi 50 mg/kg (EFSA, 2012). Toksisitas BHA, BHT dan TBHQ telah diselidiki secara luas dengan menggunakan berbagai kondisi percobaan. Penelitian menunjukkan hal itu toksisitas akut BHA rendah, dengan nilai LD50 pada mencit dan

tikus >2000 mg/kg bb (EFSA, 2011). BHA memiliki efek sitotoksik yang kuat pada astrosit manusia (Park *et al.*, 2019) dan perkembangan toksisitas pada embrio /larva ikan zebra (Baran *et al.*, 2021).

Aktivitas antioksidan tidak semuanya berasal dari penangkal radikal bebas. Agen pereduksi seperti askorbil palmitat, sulfit, asam askorbat, glukosa oksidase, dan asam eritorbat yang berfungsi dengan mentransfer atom hidrogen juga telah dikategorikan sebagai penangkap oksigen (*scavenger oxygen*). Agen pereduksi harus ditambahkan selama manufaktur atau ke produk jadi agar dapat memberikan efek antioksidan. Keefektifan antioksidan guna mencegah kerusakan oksidatif sangat ditentukan oleh kompatibilitas antara efek antioksidan dan karakteristik produk makanan (Kaur & Kapoor, 2001).

b) Antioksidan Alami

Antioksidan dengan berat molekul rendah, termasuk vitamin C, E, koenzim Q, karoten, glutathione, dan *trace elements*, juga bertanggung jawab untuk menonaktifkan radikal reaktif. Beberapa di antaranya, termasuk glutathione, ubiquinone, albumin dan metallothionein, serta asam urat, diproduksi di dalam tubuh (Shi *et al.*, 1999), tetapi sebagian besar merupakan senyawa eksogen yang berasal dari sumber alami seperti tumbuhan (flavonoid, asam fenolik, karotenoid, stilben, kumarin, lignan, senyawa organosulfur, vitamin) atau mineral (selenium, seng, mangan) yang ditambahkan dalam makanan (Bansal *et al.*, 2013; Lü *et al.*, 2019).

Antioksidan alami yang dikonsumsi dalam makanan termasuk senyawa fenolik dan polifenol, yang merupakan kelompok antioksidan alami yang paling penting, tokoferol, flavonoid, dan asam fenolik. Antioksidan fenolik alami terdapat dalam berbagai bentuk kimia, seperti fenolik asam (asam rosmarinic dan carnosic), asam hidroksibenzoat (asam vanilat), asam

hidroksisinamat (asam ferulat dan klorogenat), flavonoid (quercetin, katekin dan rutin), antosianin (delphinidin), tanin (procyanidin, asam ellagic dan asam tanat), lignan (sesaminol), stilbenes (resveratol), kumarin (o coumarine) dan minyak atsiri (carvacrol, eugenol) (Pokorny, 2007).

Sumber antioksidan dan senyawa bioaktif lainnya juga berasal dari mikroorganisme, antara lain actinomycetes, bakteri (Rahbar Saadat *et al.*, 2019), cyanobacteria, jamur, dan lumut kerak (Chandra *et al.*, 2020). Dibandingkan dengan tumbuhan, organisme ini dapat tumbuh sangat cepat dalam kondisi yang dikontrol dengan ketat, sehingga menjadikannya sumber molekul bioaktif alami yang baik untuk industri makanan, farmasi, nutrasetikal, dan aplikasi pertanian. Banyak antioksidan alami kini diisolasi, dikarakterisasi sepenuhnya, dan tersedia untuk berbagai aplikasi sebagai agen profilaksis dan terapeutik untuk menghambat efek buruk yang ditimbulkan oleh ROS (Weiss & Landauer, 2003).

Antioksidan alami, seperti asam guaiaretic atau asam nordihydroguaiaretic (NDGA), digunakan dalam makanan sebelum munculnya antioksidan sintetis. Mereka digantikan oleh sintetis karena beberapa alasan, termasuk biaya rendah, tinggi kemurnian dan aktivitas konstan. Namun, sekarang muncul kekhawatiran dimana meskipun antioksidan sintetis terbukti sangat efektif dalam menunda oksidasi dan memperpanjang umur simpan serta menjaga kesegaran, penggunaannya masih terus dikaitkan dengan isu keamanan dan toksisitas. Sehingga, pengembangan antioksidan alami alternatif memiliki potensi besar dalam hal penerimaan konsumen dan pergeseran penggunaan antioksidan sintetis di era sekarang (Berdahl, 2010). Penggantian antioksidan sintetis dengan antioksidan alami dikaitkan dengan implikasi kesehatan dan fungsionalitas seperti kelarutan dalam minyak dan air dalam sistem makanan. Keterbatasan antioksidan alami utamanya dikaitkan dengan perubahan rasa dan bau. Antioksidan alami dari

rempah-rempah dan herbal (*oregano*, *thyme*, *dittany*, *marjoram*, lavender, dan *rosemary*) memiliki aplikasi yang terbatas meskipun memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi, karena memberikan rasa herbal tambahan yang khas pada makanan, dan memerlukan proses penghilangan bau (Moure *et al.*, 2001).

Peraturan juga membatasi tingkat penggunaan antioksidan sintetis seperti BHA, BHT, TBHQ dan EDTA pada setiap jenis aplikasi pangan, tidak demikian halnya dengan ekstrak yang berasal dari tumbuhan, dimana batasan tersebut umumnya ditentukan oleh ambang rasa pada setiap jenis. makanan. Kombinasi antioksidan alami dan sintetis dapat sangat membantu ketika antioksidan sintetis, jika digunakan sesuai batas regulasi, gagal memberikan tingkat perlindungan yang diperlukan. Menambahkan antioksidan alami dalam keadaan ini memungkinkan formulasi untuk meningkatkan stabilitas makanan sambil tetap mampu mengendalikan biaya lewat penggunaan antioksidan sintetis. Mungkin ada keuntungan lain dari kombinasi tersebut. Romano *et al.*, (2009) melaporkan aktivitas antioksidan dan antibakteri sinergis *rosemary* dalam kombinasi dengan BHA atau BHT.

Penggunaan antioksidan alami mempunyai keterbatasan dan kekurangan tersendiri. Salah satu masalah umum adalah efektivitas, meskipun pada tingkat molekuler antioksidan alami sama kuatnya dengan antioksidan sintetis. Komponen aktif biasanya ada di antara konstituen ekstrak lain yang tidak aktif dalam mengatur oksidasi, sehingga memerlukan penggunaan kadar yang jauh lebih tinggi dibanding antioksidan sintetis ekstrak untuk memberikan jumlah bahan aktif antioksidan yang dibutuhkan ke sistem. Hal ini dapat merusak rasa, aroma, dan terkadang warna makanan bila antioksidan alami digunakan dalam tingkat tinggi. Tingkat penggunaan yang tinggi juga menyebabkan biaya yang lebih tinggi dan antioksidan alami umumnya lebih mahal, karena berasal dari sumber nabati dengan ketersediaan terbatas (Berdahl, 2010).

Asupan antioksidan senyawa hidrofilik membutuhkan proses ekstraksi dari bahan sumbernya, sehingga penggunaan langsung polifenol dalam matriks makanan menjadi terbatas. Masalah ini dapat diatasi dengan menerapkan teknologi mikroenkapsulasi, yang menyediakan teknik mengubah ekstrak cair menjadi bahan fungsional guna untuk meningkatkan bioavailabilitas oral. Asupan senyawa bioaktif alami, terutama polifenol melalui makanan sangat diminati, tetapi menghadapi tantangan sensitivitas senyawa terhadap paparan efek eksternal, atau kondisi pemrosesan makanan dan ketidakstabilan kimia. Aplikasi senyawa bioaktif mikroenkapsulasi sebagai bahan fungsional menunjukkan potensi yang signifikan dalam memperkaya kandungan antioksidan (Diplock *et al.*, 1999).

2. Peran Antioksidan dalam Sistem Pangan

Antioksidan dalam sistem pangan dapat dimanfaatkan untuk dua tujuan berbeda: (1) bertindak sebagai bahan tambahan makanan, mencegah atau menunda kerusakan pangan atau (2) berfungsi sebagai suplemen kesehatan. Lemak, minyak, dan makanan berbasis lipid dapat mengalami penurunan mutu akibat reaksi degradasi karena pemanasan maupun penyimpanan jangka panjang. Proses kerusakan utama adalah reaksi oksidasi dan dekomposisi produk yang teroksidasi dimana terjadi penurunan nilai gizi dan kualitas sensorik (Pokorny *et al.*, 2001).

a) Antioksidan sebagai Bahan Pangan Tambahan

Antioksidan dapat menghambat atau menunda oksidasi dengan dua cara: 1) menangkap radikal bebas (sebagai antioksidan primer), atau 2) dengan mekanisme yang tidak melibatkan penangkapan radikal bebas secara langsung (antioksidan sekunder) (Madhavi *et al.*, 1996; Craft *et al.*, 2011)). Antioksidan primer meliputi senyawa fenolik seperti vitamin E (α -tokoferol), BHT, propil galat, tokoferol, atau asam karnosat. Efek antioksidan primer terutama terlihat pada

interaksi donor hidrogen atau elektron dengan radikal yang berpusat pada oksigen (Berdahl, 2010).

Antioksidan sekunder adalah zat yang bereaksi dengan hidroperoksida, mengubahnya menjadi produk yang lebih stabil dan non-radikal. Hidroperoksida bereaksi dengan logam untuk membentuk radikal hidroksil dan alkoksil yang pada gilirannya dapat mengabstraksi hidrogen dari lipid, menghasilkan radikal berpusat pada karbon yang mempercepat propagasi siklus (Berdahl, 2010). Antioksidan sekunder bekerja melalui berbagai mekanisme termasuk pengikatan ion logam, menangkap oksigen, mengubah hidroperoksida menjadi spesies nonradikal, menyerap radiasi UV, atau menonaktifkan oksigen singlet. Kategori antioksidan sekunder meliputi: butilhidroksianisol (BHA), butilhidroksitoluena (BHT) dan propil galat (PG) (Moharram & Yousef, 2014).

b) Antioksidan sebagai Suplemen Kesehatan

Selama aktivitas normalnya, sel-sel tubuh menghasilkan zat yang sangat reaktif yang mengandung oksigen. Produksi zat-zat ini secara berlebihan dapat menyebabkan kondisi yang disebut “stres oksidatif”, yang dapat merusak sel dan berkontribusi terhadap penyakit kronis seperti penyakit jantung dan kanker. Tubuh memiliki mekanisme pencegahan dan perbaikan yang mengatur jalur stres oksidatif. Penelitian telah menunjukkan bahwa antioksidan adalah komponen terpenting dari sistem pertahanan ini. Fitokimia yang bertindak sebagai antioksidan juga berperan dalam membantu mengatur jalur stres oksidatif (NCCIH, 2023).

Makanan menyediakan antioksidan seperti vitamin C dan E. Tumbuhan kaya akan senyawa fitokimia dan mayoritas memiliki sifat antioksidan. Misalnya, vitamin C menangkap radikal bebas dengan menyumbangkan elektron ke dalamnya, fitokimia hesperetin (ditemukan dalam jeruk dan buah jeruk lainnya) mengembalikan vitamin C ke bentuk antioksidan aktifnya.

Karotenoid (seperti likopen pada tomat dan lutein pada kangkung) dan flavonoid (flavanol pada kakao, antosianin pada *blueberry*, quercetin pada apel dan bawang bombay, serta katekin pada teh hijau) juga merupakan antioksidan (Harvard Health Publishing, 2019).

Klaim mengenai antioksidan dalam produk semakin banyak ditemui. Klaim-klaim ini dapat masuk ke dalam salah satu dari tiga kategori klaim: klaim kandungan nutrisi, klaim fungsi, atau klaim kesehatan. Kategori klaim lainnya yang lebih spesifik adalah klaim panduan diet. Dalam Panduan Pelabelan Makanan per 17 Oktober 2023 yang tertuang dalam CFR - *Code of Federal Regulations Title 21* (FDA, 2023) menyatakan persyaratan berikut untuk menggunakan istilah antioksidan:

Untuk klaim yang mencirikan tingkat antioksidan dalam suatu makanan;

1. RDI harus ditetapkan untuk setiap nutrisi yang menjadi subjeknya klaim tersebut;
2. Setiap nutrisi yang menjadi subyek klaim harus terbukti ilmiah aktivitas antioksidannya. Seperti setelah penyerapan dari saluran pencernaan, zat tersebut ikut serta dalam proses fisiologis, biokimia, atau seluler yang menonaktifkan radikal bebas atau mencegah reaksi kimia yang dipicu oleh radikal bebas;
3. Kadar tiap nutrisi mencukupi memenuhi syarat klaim. Semisal, pemenuhan klaim "tinggi antioksidan vitamin C, (produk tersebut harus mengandung $\geq 20\%$ RDI vitamin C). β -karoten dapat menjadi subjek klaim bila kadar vitamin A dalam bentuk β -karoten memenuhi syarat klaim. Misalnya, untuk klaim "sumber antioksidan β -karoten yang baik", $\geq 10\%$ RDI

untuk vitamin A harus dalam bentuk β -karoten per jumlah referensi yang biasa dikonsumsi;

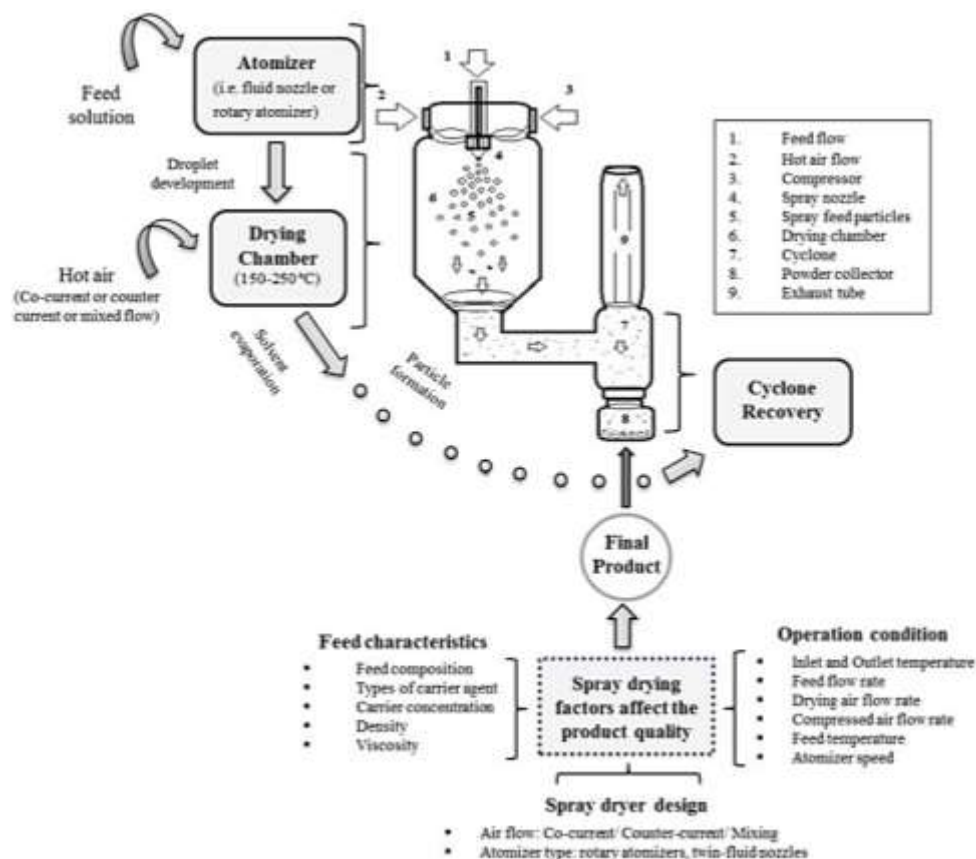
4. Nama nutrisi yang menjadi subjek klaim disertakan sebagai bagian dari klaim (misalnya, tinggi antioksidan vitamin C & E).

B. Enkapsulasi Dengan Pengeringan Semprot (*Spray Drying*)

Enkapsulasi, yaitu proses penjebakan senyawa aktif menjadi partikel, melalui berbagai teknik, seperti seperti pengeringan semprot (*spray drying*), pendinginan semprot (*spray cooling*), ekstrusi, pelapisan lapisan terfluidisasi, koaservasi, jebakan liposom, kompleksasi inklusi, sentrifugal pemisahan suspensi, pengeringan beku (*freeze drying*), kokristalisasi, nanoenkapsulasi, inklusi molekuler dan emulsi (Fang & Bhandari, 2010).

Teknik pengeringan semprot digunakan dalam industri makanan karena ekonomis dan fleksibel serta memungkinkan pengoperasian yang berkelanjutan (Fang & Bhandari, 2010). Pengeringan semprot mempermudah mendapatkan sifat produk yang diinginkan seperti aktivitas air (aw), kadar air, pH, higroskopisitas, kelarutan, kandungan nutrisi, suhu transisi gelas, dan warna (Fazaeli et al., 2012).

Pengeringan semprot digunakan telah digunakan dalam perasa, pewarna, vitamin, mineral, lemak dan minyak untuk memperpanjang stabilitas umur simpan (Pillai et al., 2012). Pengeringan semprot mengubah cairan menjadi bentuk kering (bubuk, butiran, atau aglomerat). Hasil akhir pengeringan bergantung pada sifat fisik dan kimia suspensi, desain pengering, dan prosesnya (Goula & Adamopoulos, 2008).



Gambar 2. Diagram skema faktor yang mempengaruhi pengeringan semprot dan kualitas produk (Sumber : Shishir & Chen, 2017)

Perubahan parameter dan proses mempengaruhi sifat seperti ukuran dan bentuk partikel, kadar air, stabilitas termal, dan kesesuaian untuk aplikasi makanan (Mahdavi *et al.*, 2014). Perbedaan jenis dan konsentrasi bahan penyalut dapat mengakibatkan perbedaan dalam ukuran & bentuk partikel, kepadatan massa, kelarutan dalam air, dan higroskopisitas tergantung pada morfologi serbuk kristal dan amorf dari bahan yang sama (Yousefi *et al.*, 2011).

Menurut Patel *et al.* (2009), pengeringan semprot mencakup 5 proses :

- 1) Suspensi dipekatkan sebelum dimasukkan ke pengering semprot.

- 2) Atomisasi menciptakan kondisi optimal untuk evaporasi.

- 3) Evaporasi cairan mencapai $\pm 95\%$ dalam hitungan detik setelah cairan bersentuhan dengan udara panas.

- 4) Pengeringan droplet melakukan 2 tahap evaporasi. Penguapan terjadi pada laju konstan pada permukaan droplet. Setelah proses evaporasi, air tidak cukup untuk mempertahankan saturasi permukaan droplet. Oleh karena itu, penguapan bergantung pada difusi air melalui *shell*.

- 5) Siklon, *bag filters*, dan pengendap elektrostatis bekerja saat tahap separasi partikel.

Tabel 1. Efek Pengeringan Semprot terhadap Karakteristik Produk Enkapsulasi

No.	Sampel	Tipe Pengering Semprot	Faktor yang Mempengaruhi	Efek pada Karakteristik Bubuk
1.	Sari buah leci (Kingwatee <i>et al.</i> , 2015)	<i>Spray dryer</i> (JCM engineering concept, Thailand)	Jenis bahan penyalut : maltodekstrin (MD), gum arab (GA), MD + Inulin (I), GA+I	Kenaikan : Total antosianin : GA+I > GA > MD > MD+I Kadar asam askorbat : GA+I > GA > MD > MD+I Kadar total fenolik : GA+I > GA > MD+I > MD Tg : GA+I > MD+I > GA > MD Penurunan : Higroskopisitas : GA+I < MD+I < GA < MD Kadar air : GA < GA+I < MD < MD+I
2.	Sari buah Amla (Mishra <i>et al.</i> , 2014)	Lab plant LU 20 (Labultima, India)	Maltodekstrin (5-9%) Suhu inlet (125-200 °C) Kecepatan (30-50)	Penurunan : Kadar air, higroskopisitas, indeks kelarutan air, total kandungan fenolik, aktivitas <i>free radical scavenging</i> Penurunan : kadar air, higroskopisitas, bulk density, aktivitas <i>free radical scavenging</i>
3.	Sari buah jambu (Mahendran, 2010)	Anhydro LAB S1 209 (Niro Atomizer, Italia)	Maltodekstrin : 30-60 °C	Penurunan : kadar air, vitamin C, <i>bulk density</i> , ukuran partikel, kelarutan
4.	Sari buah jambu (Osorio <i>et al.</i> , 2011)	LabPlant SD-06 (Lab Plant Ltd., Inggris)	Bahan penyalut : MD dan GA+MD (1:5)	Penurunan : aktivitas air : MD < GA+MD Kenaikan : <i>bulk density</i> : MD < GA+MD vitamin C : MD < GA+MD
5.	Ubi ungu (Ahmed <i>et al.</i> , 2011)	Mini spray dryer (EYELA, SD-1000, Rikakikai inc., Jepang)	Bahan penyalut : kombinasi asam askorbat dan MD	Rasio asam askorbat lebih tinggi, kadar total fenolik naik, indeks kelarutan turun
6.	Ubi ungu (Peng <i>et al.</i> , 2013)	Spray dryer (Model YCe 015, Yacheng inc., China)	MD, β -siklodekstrin (β -CD), dan kombinasi MD+ β -CD	Kenaikan : retensi antosianin, total fenolik, dan aktivitas antioksidan : MD > MD+ β -CD > β -CD
7.	Ekstrak Sage (<i>Salvia fruticosa</i> Miller) (Sahin-Nadeem <i>et al.</i> , 2013)	Büchi mini spray dryer (Model B-290, Büchi Laboratories-Technik, Swiss)	Bahan penyalut : β -CD, MD, GA Suhu inlet (145 – 165 °C)	Kenaikan : <i>yield</i> : : β -CD > GA > MD <i>bulk density</i> : β -CD > MD > GA Kelarutan : β -CD > MD > GA Total fenolik : GA > β -CD > MD Total aktivitas antioksidan : GA > β -CD > MD 1,8 cineole : β -CD > MD > GA Penurunan : Kadar air : GA > MD > β -CD Aktivitas air : β -CD > MD > GA Naik turun : <i>yield</i> , <i>bulk density</i> , total fenolik, total aktivitas antioksidan Penurunan : Kadar air, aktivitas air, kelarutan, 1,8 cineole

Sifat fisikokimia produk bergantung pada variabel proses dan parameter proses operasional (Phisut, 2012), termasuk suhu masuk, laju aliran udara, laju aliran bahan, kecepatan alat penyemprot, jenis bahan pelapis dan konsentrasinya (Obon *et al.*, 2009). Bahan penyalut untuk enkapsulasi adalah hidrokoloid *food grade* seperti pati modifikasi, maltodekstrin, gum arab (Gibbs *et al.*, 1999), selulosa mikrokristal, dan *waxy starch* (Yousefi *et al.*, 2011). Matriks karbohidrat ini meningkatkan suhu transisi gelas pada produk kering, sehingga menjebak senyawa aktif dalam fase vitreous yang melindunginya dari suhu, sifat lengket, keruntuhan, dan perubahan enzimatis atau kimia, seperti oksidasi (Munin & Edwards-Lévy, 2011).

Bahan penyalut yang tepat dapat mencegah perubahan yang diakibatkan oleh oksidasi, interaksi kimia atau reaksi volatilisasi (Botrel *et al.*, 2012) sehingga mampu melindungi komponen fungsional dan kapasitas antioksidan produk akhir (Fang & Bhandari 2012; Agudelo *et al.*, 2017). Bahan penyalut harus memiliki sifat pengemulsi, menjadi pembentuk film yang baik, memiliki viskositas rendah dan memberikan perlindungan yang baik ke bahan yang dienkapsulasi (Wilson & Shah, 2007). Selain pemilihan bahan penyalut, konsentrasi bahan penyalut juga memengaruhi karakteristik bubuk dikarenakan penambahan bahan penyalut dengan konsentrasi terlalu rendah dapat menyebabkan aglomerasi (Kha *et al.*, 2010).

Teknologi enkapsulasi dengan pengeringan semprot dapat meningkatkan stabilitas mikrobiologi produk, mengurangi biodegradasi, dan memperpanjang umur simpan (Krisnaiah *et al.*, 2015; Kuck & Norena 2016; Shishir & Chen, 2017), dan mencegah penurunan mutu serta meminimalisir kemungkinan hilangnya senyawa volatil. Mekanisme proteksi ini disebabkan oleh terbentuknya dinding membran yang mengelilingi partikel bahan enkapsulasi (Fang & Bhandari, 2011), sehingga menjaga stabilitas

komponen dan memperpanjang umur simpan (Krisnaiah *et al.*, 2015; Kuck & Norena 2016). Keunggulan produk kering semprot adalah aktivitas air rendah, konsentrasi tinggi, biaya penyimpanan rendah, distribusi mudah, dan stabilitas bahan (Obon *et al.*, 2009; Krisnaiah *et al.*, 2014). Limitasi pengeringan semprot adalah kemungkinan degradasi termal pada senyawa rentan panas, seperti polifenol, mengakibatkan hilangnya aktivitas biologis sampai batas tertentu (Kasapoğlu *et al.*, 2024). Padahal pengeringan semprot mempunyai waktu kontak pengeringan yang singkat dengan suhu pengeringan yang relatif tinggi antara 150-220 °C, suhu udara inlet dan outlet 50-80 °C (Phisut, 2012), dapat merusak senyawa sensitif yaitu likopen, β -karoten, antosianin, vitamin C, zat warna dan rasa.

KESIMPULAN

Efek kesehatan antioksidan telah menarik perhatian banyak peneliti dalam mengembangkan produk pangan fungsional, nutrasetikal dan farmasi. Antioksidan telah dimanfaatkan industri pangan sebagai bahan tambahan pangan dan suplemen kesehatan. Namun, efektivitas dari antioksidan dibatasi oleh bioaktivitas, stabilitas, dan bioavailabilitas senyawa aktif. Salah satu cara yang dipakai industri dan lembaga penelitian menambahkannya ke sistem adalah melalui enkapsulasi dengan pengeringan semprot. Enkapsulasi dengan pengeringan semprot dapat meningkatkan stabilitas mikrobiologi, mengurangi biodegradasi, dan memperpanjang daya simpan serta mencegah penurunan mutu antioksidan. Keberhasilan enkapsulasi antioksidan dengan pengeringan semprot sangat bergantung pada sifat fisik dan kimia suspensi, desain pengering, dan prosesnya.

REFERENSI :

Agudelo, C., Barros, L., Sanyos-Buelga, C., Martinez-Navarrete, N., & Ferreira, I.C.F.R. 2017. Phytochemical content and antioxidant activity of grapefruit (Star Ruby): A comparison between fresh freeze-dried fruits and different

- powder formulations. *LWT Food Sci Technol.*, 80:106-112.
- Alvarez-Suarez, J. M., Giampieri, F., Cordero, M., Gasparrini, M., Forbes-Hernández, T. Y., Mazzoni, L., Afrin, S., Beltrán-Ayala, P., González-Paramás, A. M., & Santos-Buelga, C. 2016. Activation of AMPK/Nrf2 signalling by Manuka honey protects human dermal fibroblasts against oxidative damage by improving antioxidant response and mitochondrial function promoting wound healing. *Journal of Functional Foods*, 25: 38-49.
- Ahmed, M., Akter, M. S., Lee, J. C., & Eun, J. B. 2011. Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *LWT- Food Science and Technology*, 43: 1307-1312.
- Antolovich, M., P. D. Prenzler, E. Patsalides, S. McDonald, & K. Robards. 2002. Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127(1): 183-198.
- Ballesteros, L. F., Ramirez, M. J., Orrego, C. E., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. 2017. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142>.
- Bansal, S., Choudhary, S., Sharma, M., Kumar, S.S., Lohan, S., Bhardwaj, V., Syan, N., & Jyoti, S. 2013. Tea: A native source of antimicrobial agents. *Food Res. Int.* 53:568-584. doi: 10.1016/j.foodres.2013.01.032.
- Baran, A., Yildirim, S., Ghosigharehaghaji, A., Bolat, I., Sulukan, E., & Ceyhun, S. B. 2021. An approach to evaluating the potential teratogenic and neurotoxic mechanism of BHA based on apoptosis induced by oxidative stress in zebrafish embryo (*Danio rerio*). *Human & Experimental Toxicology*, 40(3): 425-438. <https://doi.org/10.1177/0960327120952140>.
- Botrel, D.A., Borges, S.V., Fernandes, R.V.B., Viana, A.D., Gomes da Costa, J.M., & Marques, G.R. 2012. Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. *IFST* 47(11):1-8.
- Chandra, P., Sharma, R.K., & Arora, D.S. 2020. Antioxidant compounds from microbial sources: A review. *Food Res. Int.* 129:108849. doi: 10.1016/j.foodres.2019.108849.
- Craft B.D., Kerrihard A.L., Amarowicz R., & Pegg R.B. 2012. Phenol-based antioxidants and the in vitro methods used for their assessment. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 11:148-173. doi: 10.1111/j.1541-4337.2011.00173.x.
- Ding, M., & Zou, J. 2012. Rapid micropreparation procedure for the gas chromatographic-mass spectrometric determination of BHT, BHA and TBHQ in edible oils. *Food Chemistry*, 131(3), 1051-1055. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.100>.
- Diplock, A., T. Aggett, P. J. Ashwell, M. Bornet, F. Fern, E. B. Roberfroid, & M. Prelims. 1999. Scientific concepts of functional foods in Europe. Consensus document. *British Journal of Nutrition* 81(01): 1-27.
- Dudonné, S., Vitrac, X., Coutière, P., Woillez, M., & Mérillon, J.M. 2009. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *J Agric Food Chem.*, 57(5):1768-74. doi: 10.1021/jf803011r. PMID: 19199445.

- EFSA, European Food Safety Authority. 2011. Scientific Opinion on the reevaluation of butylated hydroxyanisole-BHA (E 320) as a food additive. Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). EFSA Journal, 9, 2392.
- EFSA, European Food Safety Authority. 2012. Scientific Opinion on the reevaluation of butylated hydroxytoluene BHT (E 321) as a food additive. Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). EFSA Journal, 10, 2588.
- Evans, P., & Halliwell, B. 2001. Micronutrients: oxidant/antioxidant status. Br. J. Nutr., 85: S67–S74.
- Fang, Z., & Bhandari, B. 2010. Encapsulation of polyphenols: A review. Trends in Food Science & Technology, 21(10): (2010) 510–523.
- Fazaeli M, Emam-Djomeh Z, Ashtari AK, Omid M. 2012. Effect of process conditions and carrier concentration for improving drying yield and other quality attributes of spray dried black mulberry (*Morusnigra*) juice. IJE 8(1): 1-20.
- FDA, Food & Drug Administration. 2023. CFR - Code of Federal Regulations Title 21. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=101.54>. Diakses 21 Januari 2024.
- Giampieri, F., Alvarez-Suarez, J. M., Mazzoni, L., Romandini, S., Bompadre, S., Diamanti, J., Capocasa, F., Mezzetti, B., Quiles, J. L., & Ferreiro, M. S. 2013. The potential impact of strawberry on human health. Natural product research, 27(4-5): 448-455.
- Gibbs, B. F., Kermash, S., Alli, I. and Mulligan, C.N. 1999. Encapsulation in the food industry: a review. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 50: 213-224.
- Goula AM, Adamopoulos KG. 2008. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air : ii. powder properties. Dry Technol., 26:726-737.
- Harvard Health Publishing. 2019. Understanding antioxidants. <https://www.health.harvard.edu/staying-healthy/understanding-antioxidants>. Diakses 21 Januari 2024.
- Kasapoğlu, K.N., Gültekin-Özgüven, M., Kruger, J. et al. 2024. Effect of spray drying on physicochemical stability and antioxidant capacity of *Rosa pimpinellifolia* fruit extract-loaded liposomes conjugated with chitosan or whey protein during in vitro digestion. Food Bioprocess Technol. 100: 105420. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03317-z>.
- Kaur, C., & Kapoor, H. C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables—The millennium's health. International Journal of Food Science & Technology 36(7): 703–725.
- Kha, T.C., Nguyen, M.H., & Roach, P.D. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. J Food Eng. 98:385-392.
- Kingwatee, N., Apichartsrangkoon, A., Chaikham, P., Worametrachanon, S., Techarung, J., & Pankasemsuk, T. 2015. Spray drying Lactobacillus casei 01 in lychee juice varied carrier materials. LWT- Food Science and Technology, 62: 847-853.
- Krisnaiah, D., Bono, W., Sarbatly, R., Nithyanandam, R., & Anisuzzaman, S.M. 2015. Optimisation of spray drying operating conditions of *Morinda citrifolia* L. fruit extract using response

- surface methodology. JKSUES, 27:26-36.
- Kuck, L.S., & Norena, C.P.Z. 2016. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* kultivar Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. Food Chem., 194:569-576.
- Lü J.-M., Lin P.H., Yao Q., & Chen, C. 2019. Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: Experimental approaches and model systems. J. Cell. Mol. Med. 14:840–860. doi: 10.1111/j.1582-4934.2009.00897.
- Madhavi, D.L., Deshpande, S.S., Salunkhe, D.K. 1996. Introduction. In: Madhavi D.L., Deshpande S.S., Salunkhe D.K., editors. Food Antioxidants: Technological, Toxicological, and Health Perspectives. Dekker; New York, NY, USA.
- Mahdavi, S.A., Jafari, S.M., Ghorbani, M., & Assadpoor, E. 2014. Spray-Drying microencapsulation of anthocyanins by natural biopolymers: a review. Dry Technol., 32: 509-518.
- Mahendran, T. 2010. Physico-chemical properties and sensory characteristics of dehydrated guava concentrate: Effect of drying method and maltodextrin concentration. Tropical Agricultural Research and Extension, 13: 48-54.
- Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C.L. 2014. Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. Food Bioprod Process, 92: 252-258.
- Moharram, H.A., & Youssef, M.M. 2014. Methods for Determining the Antioxidant Activity: A Review. Alex. J. Food Sci. Technol., 11: 31–42.
- Moure, A., J. M. Cruz, D. Franco *et al.* 2001. Natural antioxidants from residual sources. Food Chemistry 72(2): 145–171.
- Munin, F. & Edwards-Lévy, F. 2011. Encapsulation of natural polyphenolic compounds; a review, Pharmaceutics, 3: 793–829.
- NCCIH, National Center for Complementary and Integrative Health. 2023. Antioxidant Supplements: What You Need To Know. <https://www.nccih.nih.gov/health/antioxidant-supplements-what-you-need-to-know>. Diakses 21 Januari 2024.
- Obon, J.M., Castellar, M.R., Alacid, M., & Fernández-López, J.A. 2009. Production of a red-purple food colorant from *Opuntia stricta* fruits by spray drying and its application in food model systems. J Food Eng, 90:471-479.
- Osorio, C., Forero, D. P., & Carriazo, J. G. 2011. Characterisation and performance assessment of guava (*Psidium guajava* L.) microencapsulates obtained by spraydrying. Food Research International, 44, 1174e1181.
- Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., & Capanoglu, E. 2018. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. Food Chemistry. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>.
- Park, S., Lee, J. Y., Lim, W., You, S., & Song, G. 2019. Butylated hydroxyanisole exerts neurotoxic effects by promoting cytosolic calcium accumulation and endoplasmic reticulum stress in astrocytes. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 67(34), 9615–9629. .

- Patel, R.P., Patel, M.P., & Suthar, A.M. 2009. Spray drying technology: an overview. *Indian J Sci Technol.*, 2(10):44-47.
- Peng, Z., Li, J., Guan, Y., & Zhao, G. (2013). Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. *LWT- Food Science and Technology*, 51: 348-355
- Phisut, N. 2012. Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *IFRJ*, 19(4): 1297-1306.
- Pillai, D. S., Prabhasankar, P., Jena, B., & Anandharamakrishnan, C. (2012). Microencapsulation of *Garcinia cowa* fruit extract and effect of its use on pasta process and quality. *International Journal of Food Properties*, 15(3): 590-604.
- Pokorny, J., Yanishlieva, N., & Gordon, M. 2001. *Antioxidants in Food—Practical Applications*. Boca Raton, FL: Woodhead Publishing.
- Rahbar Saadat, Y., Yari Khosroushahi, A., Pourghassem Gargari, B. 2019. A comprehensive review of anticancer, immunomodulatory and health beneficial effects of the lactic acid bacteria exopolysaccharides. *Carbohydr. Polym.*, 217: 79–89.
- S, ahin-Nadeem, H., Dinçer, C., Torun, M., Topuz, A., & Ozdemir, F. 2013. Influence of inlet air temperature and carrier material on the production of instant soluble sage (*Salvia fruticosa* Miller) by spray drying. *LWT-Food Science and Technology*, 52: 31-38.
- Schrooyen, P. M. M., van der Meer, R., & De Kruif, C.G. 2001. Microencapsulation: Its application in nutrition. *Proceedings of the Nutrition Society* 60(04): 475–479.
- Shi, H., Noguchi, N., & Niki, E. 1999. Comparative study on dynamics of antioxidative action of alpha-tocopheryl hydroquinone, ubiquinol, and alpha-tocopherol against lipid peroxidation. *Free Radic. Biol. Med.*, 27:334–346. doi: 10.1016/S0891-5849(99)00053-2.
- Shishir, M.R.I., & Chen, W. 2017. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends Food Sci Tech.* 65:49-67.
- Simic, M.G. 1981. Free Radical Mechanisms in Autoxidation Processes. *Journal of Chemical Education*, 58(2): 125-131.
- Tavano, L., R. Muzzalupo, N. Picci, & B. de Cindio. 2014. Co-encapsulation of antioxidants into niosomal carriers: Gastrointestinal release studies for nutraceutical applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 114: 82–88.
- Verma, A., Singh, S.V. 2015. Spray drying of fruit and vegetable juices : a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 55:701-719.
- Weiss, J.F., & Landauer, M.R. 2003. Protection against ionizing radiation by antioxidant nutrients and phytochemicals. *Toxicology*, 189:1–20. doi: 10.1016/S0300-483X(03)00149-5.
- Wilson, N., & Shah, N.P. 2007. Microencapsulation of Vitamins. *ASEAN Food Journal*, 14(1): 1-14.
- Yang, M.H., Lin, H.J., & Choong, Y.M. 2002. A rapid gas chromatographic method for direct determination of BHA, BHT and TBHQ in edible oils and fats. *Food Res. Int.*, 35:627–633. doi: 10.1016/S0963-9969(01)00164-8.
- Yanishlieva-Maslarova, N. V. 2001. Inhibiting oxidation. In: *Antioxidants in Foods: Practical Applications*, edited by J. Pokorny, N. Yanishlieva, and M. Gordon. Cambridge, England: Woodhead Publishing : 22–57.

Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, M.S. 2011. Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). JFST, 48:677-684.