



## Aplikasi enkapsulan *hydroxy propyl methyl cellulose* dan gum arab pada pembuatan bubuk semangka

Ignasius Radix A.P. Jati\*, Nicolas Hadisaputra, Erni Setijawaty, Rachel Meiliawati Yoshari

*Teknologi Pangan, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Surabaya, Indonesia*

### Article history

*Diterima:*

28 Oktober 2022

*Diperbaiki:*

31 Januari 2023

*Disetujui:*

31 Januari 2023

### Keyword

*arabic gum;*

*hpmc;*

*powder;*

*watermelon;*

### ABSTRACT

*Watermelon is a widely produced fruit in Indonesia. Abundant production and limited utilization make watermelons susceptible to quality loss and damage. Watermelon can be processed into powder to expand the variety of processing and reduce post-harvest losses. Various drying methods can be carried out, while a cabinet dryer at a temperature of 60-65 °C for 6 hours is considered the simplest method. Moreover, encapsulants such as hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC) and gum arabic can be added. This study aims to apply different encapsulants in the watermelon powder manufacturing process and evaluate their effect on the physicochemical properties of the watermelon powder. A nested factorial randomized block design was used. The nest factor is the type of encapsulant, while the concentration is the nesting factor. The difference in concentration was 2.5 %, 5 % and 7.5 % for both HPMC and gum arabic. Each treatment was repeated four times. Watermelon powder quality parameters evaluated were moisture content, hygroscopicity, total phenol, antioxidant activity, color, and pH. ANOVA with  $\alpha = 5\%$  was implemented for statistical analysis and continued with Duncan's Multiple Range Test if a significant difference was observed. The increasing concentration of gum arabic increased the water content (2.19-3.42 %). While hygroscopicity decreased (21.84-17.33 %), total phenol decreased from 1370.91 to 765.23 mg GAE/kg sample. The antioxidant activity of the sample using the DPPH method was decreased (89.29-52.90 %). The use of gum arabic can maintain the red color of powder and the pH in the range of 5.39-5.57. On the other hand, HPMC application can reduce water content (3.32-2.15 %), hygroscopicity level 23.53-17.17 %; total phenol 1172.05-539.09 mg GAE/kg; antioxidant activity 65.88-29.54 %. The HPMC can maintain the red color of powder and increase the pH (5.83-6.30).*



*This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.*

\* Penulis korespondensi

Email : radix@ukwms.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v17i4.17231

## PENDAHULUAN

Semangka merupakan salah satu jenis tanaman buah semusim. Budidaya semangka telah adasejak 4.000 tahun SM sehingga konsumsinya meluas ke seluruh belahan dunia (Maoto et al. 2019). Bentuk, warna dan ukuran semangka bervariasi. Buah semangka dengan daging berwarna merah paling banyak beredar di masyarakat. Buah semangka merah adalah buah dengan karakteristik daging berwarna merah dan biji berwarna putih kekuningan hingga hitam atau tanpa biji. Warna merah pada semangka menunjukkan tingginya kadar likopen, yaitu salah satu senyawa antioksidan yang dapat menangkap radikal bebas (Park et al. 2020).

Penggunaan daging buah semangka merah lebih banyak untuk konsumsi segar karena komponen air dan gula yang tinggi. Buah semangka merah memiliki manfaat sebagai penetral radikal bebas dan mengurangi kerusakan sel dalam tubuh karena memiliki kadar antioksidan yang tinggi (Aderiye et al. 2020). Beberapa senyawa yang berperan sebagai antioksidan pada buah semangka merah adalah likopen, sitrulin, flavonoid, beta karoten dan vitamin C (Zia et al. 2021). Buah semangka merah matang memiliki komponen air sebanyak 92% dan merupakan jenis air terikat lemah. Total padatan terlarut pada daging buah semangka merah adalah minimum 8°Brix (Nadeem et al. 2022).

Pengolahan buah semangka merah menjadi bubuk untuk memenuhi permintaan masyarakat terhadap produk pangan yang semakin variatif. Aplikasi bubuk buah semangka merah antara lain pada pengolahan *cake*, biskuit, *cookies*, dan minuman serbuk. Keuntungan lain mengolah buah semangka merah menjadi bubuk adalah meminimalkan terjadinya *loss* pasca panen akibat penumpukkan stok buah semangka serta mengurangi berat dan volume sehingga lebih mudah dalam proses penanganannya, baik selama proses penyimpanan dan pengemasan.

Prinsip pengolahan buah menjadi bubuk buah adalah penurunan komponen airnya. Salah satu metode pengeringan yaitu menggunakan *cabinet dryer* pada suhu 65°C selama 12 jam (Bakmohamadpor et al. 2021). Penggunaan alat *cabinet dryer* lebih sederhana dan ekonomis daripada alat pengering lainnya seperti *spray dryer* ataupun *freeze dryer*. Proses pengeringan menyebabkan berkurangnya kadar air yang akan

menurunkan tingkat resiko kerusakan karena penurunan aktivitas enzimatis dari mikroorganisme maupun jamur. Namun, waktu untuk pengeringan dengan *cabinet dryer* relatif lebih lama.

Buah semangka merah mengandung senyawa antioksidan terutama likopen yang rentan rusak akibat suhu panas. Kestabilan likopen dapat terjaga pada atau dibawah suhu kamar dan akan terganggu apabila terpapar panas (Liang et al. 2019). Penelitian terdahulu melaporkan kadar likopen yang menurun seiring dengan peningkatan perlakuan temperatur pada ekstrak semangka merah (Galdeano et al. 2022). Adanya suhu panas juga dapat menurunkan kadar sitrulin, flavonoid, beta karoten dan vitamin C pada buah semangka. (Zamuz et al. 2021).

Salah satu cara untuk mengatasi rusaknya komponen bioaktif bubuk semangka selama pemanasan adalah dengan penambahan enkapsulan. Penambahan enkapsulan bertujuan untuk mempercepat proses pengeringan dan melapisi komponen aktif seperti antioksidan serta menjaga komponen *flavor* (Marcillo-Parra et al. 2021). Enkapsulasi merupakan teknik pelapisan bahan inti dalam bahan penyalut tertentu. Proses enkapsulasi dapat melindungi bahan aktif seperti senyawa antioksidan yang rentan rusak akibat pengolahan suhu panas (Zou et al. 2021). Fungsi enkapsulan sebagai bahan tambahan yang menjaga kualitas bahan berkaitan dengan kemampuannya menyerap air dengan mudah dan dapat membentuk gel. Beberapa bahan enkapsulasi antara lain berasal dari berbagai jenis polisakarida dan protein seperti pati, selulosa, alginat, gum arab, gelatin dan sebagainya (Eun et al. 2020).

Penelitian mempergunakan enkapsulan *Hydroxy Propyl Methyl Cellulose* (HPMC) dan gum arab. HPMC merupakan polimer bersifat hidrofilik yang akan terhidrasi membentuk lapisan gel dengan cepat ketika kontak dengan air melalui ikatan hidrogen. Selain memiliki kemampuan dalam memerangkap air, HPMC dapat berperan dalam membentuk lapisan pelindung (*protective layer*) akibat asosiasi intermolekuler gugus-gugus metil yang berdekatan dari derivat selulosa (Ruengdech and Siripatrawan 2022). HPMC berfungsi untuk menjaga stabilitas dan melindungi komponen aktif dari bahan. Gum arab juga memiliki kemampuan baik dalam mengikat air akibat pengaruh jumlah gugus hidroksil (-OH).

Gum arab sebagai enkapsulan dapat melindungi komponen flavor atau senyawa volatil dari oksidasi dan penguapan (Sarabandi *et al.* 2019). Gum arab dapat meningkatkan dan mempertahankan stabilitas dari senyawa yang disalut dengan meningkatkan viskositasnya. Gum arab juga salah satu jenis enkapsulan yang tahan terhadap suhu panas. Oleh karena itu, kedua jenis enkapsulan ini dapat berperan dalam mempercepat proses pengeringan, melindungi senyawa antioksidan dan menjaga stabilitas komponen flavor bubuk buah semangka merah.

Penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi HPMC dan gum arab yang sebesar 2,5%, 5% dan 7,5%. Penetapan konsentrasi ini berdasarkan pada penelitian pendahuluan, jika penggunaan konsentrasi < 2,5% membutuhkan waktu pengeringan yang lama yaitu sekitar 8 jam. Sedangkan apabila penggunaan konsentrasi HPMC > 7,5% menyebabkan konsistensinya meningkat dan menghasilkan tekstur menggumpal sehingga kesulitan dalam proses penghamparan pada alas untuk membentuk lembaran tipis yang dapat menghambat proses pengeringan. Sementara itu, apabila penggunaan gum arab > 7,5% bubuk buah semangka akan menghasilkan adonan yang menggumpal.

Penelitian ini bertujuan menginvestigasi pengaruh perbedaan penggunaan jenis dan konsentrasi enkapsulan HPMC dan gum arab terhadap sifat fisikokimia bubuk buah semangka merah. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan desain faktorial tersarang yaitu jenis enkapsulan sebagai faktor sarang dan konsentrasi enkapsulan sebagai faktor tersarang

**METODE**

**Bahan dan Alat**

Penelitian ini menggunakan bahan buah semangka merah yang berasal dari *supplier* buah di

pasar Bronggalan Surabaya, gum arab dan HPMC berasal dari toko bahan kimia di Surabaya, akuades, larutan metanol, kertas saring Whatman no 40, reagen *folin-ciocalteu* (Sigma Aldrich), DPPH (Sigma Aldrich), asam galat (Sigma Aldrich), larutan buffer fosfat pH 7,2 (Merck), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 2 % (Merck), NaCl 75% (Merck), kertas lensa, *aluminium foil*,

Peralatan untuk melaksanakan penelitian ini antara lain *blender* (Maspion), *grinder* (Philips), timbangan *digital* (Taffware), timbangan analitis, ayakan 45 mesh, *cabinet dryer*, loyang, oven (Binder), pH meter (SI Analytics Lab 885), *color reader* (Minolta), spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu UV 1700 Pharmaspec), sentrifus (Hettich), vortex (Thermolyne) dan peralatan gelas.

**Metode Pengukuran, pengujian**

**Formulasi**

Formulasi pembuatan bubuk buah semangka merah untuk setiap ulangan pengujian tercantum pada Tabel 1.

**Proses Pembuatan Bubuk Semangka**

Penimbangan dan pengupasan kulit buah semangka, dilanjutkan penghancuran dengan *chopper* (kecepatan 1900 rpm). Selanjutnya, adalah proses penyaringan bubur buah dan pencampuran dengan enkapsulan hingga tidak ada gumpalan. Kemudian penuangan pada loyang sebanyak 70 g per loyang. Tahap selanjutnya adalah pengeringan dengan *cabinet dryer* (suhu 60-65°C) selama 4 jam. Grinder digunakan untuk menggiling lembaran kering hasil proses pengeringan selama 30 detik. Proses selanjutnya adalah pengayakan dengan ukuran 45 mesh. Penyimpanan dilakukan dalam wadah kaca berisi *silica gel* sebagai kemasan primer dan *aluminium pouch* sebagai kemasan sekunder.

Tabel 1 Formulasi bubuk buah semangka merah

Bahan	Kombinasi Perlakuan (g)					
	HE1	HE2	HE3	GE1	GE2	GE3
Bubur buah	200	200	200	200	200	200
HPMC	5	10	15	0	0	0
Gum arab	0	0	0	5	10	15

Keterangan: HE1: HPMC 2,5 %; HE2: HPMC 5 %; HE3: HPMC 7,5 %; GE1: Gum arab 2,5 %; GE2: Gum arab 5 %; GE3: Gum Arab 7,5 %

### Kadar Air

Analisis kadar air menggunakan metode *thermogravimetri* (Kim et al. 2017). Penimbangan 1 g sampel dalam botol timbang, dan pengeringan dalam oven (105°C) selama 3-5 jam. Tahap selanjutnya adalah pengeluaran botol dari oven setelah 30 menit dan pemasukan ke dalam eksikator selama 10 menit dan penimbangan secara analitis hingga berat konstan. t. Perhitungan kadar air sampel dengan rumus:

Kadar air =

$$\frac{\text{berat sampel awal} - \text{berat sampel akhir}}{\text{berat sampel awal}} \times 100\%$$

### Tingkat Higroskopis

Analisis tingkat higroskopis (Ng and Sulaiman 2018) dengan penimbangan 1 g sampel bubuk buah semangka dalam botol timbang dan penyimpanan dalam eksikator yang berisi NaCl 75 pada suhu 25 °C. Penimbangan dilakukan setelah 1 minggu penyimpanan. Perhitungan tingkat higroskopis dengan rumus:

Tingkat Higroskopis =

$$\frac{\text{berat sampel akhir} - \text{berat sampel awal}}{\text{berat sampel awal}} \times 100\%$$

### Ekstraksi antioksidan

Proses ekstraksi (Jati et al. 2014) dengan menimbang 2 g sampel dalam erlenmeyer. Selanjutnya pencampuran 20 ml methanol dengan *waterbath shaker* selama 1 jam pada suhu ruangan. Pemisahan endapan dan supernatan dengan sentrifugasi 6000 rpm selama 10 menit. Selanjutnya penyaringan dengan kertas saring Whatman no 40. Proses selanjutnya adalah penyimpanan ekstrak dalam lemari pendingin.

### Total Fenol

Analisis total fenol secara spektrofotometri menggunakan reagen Folin-Ciocalteu dan asam galat sebagai pembanding (Jati et al. 2014). Pencampuran 0,1 ml ekstrak dan 0,5 ml Folin-Ciocalteu dalam tabung reaksi yang terbungkus *aluminium foil* dengan vortex. Pendiaman selama 8 menit, dan penambahan 4,5 ml 2% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Selanjutnya pendiaman dalam ruang gelap selama 1 jam (suhu ruang). Pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 760 nm dengan

spektrofotometer. Satuan hasil perhitungan adalah g ekuivalen asam galat/100 g sampel.

### Aktivitas Antioksidan DPPH

Uji akitivitas antioksidan dengan metode DPPH (Astadi et al. 2009). Pelarutan 0,005 g DPPH dalam 25 ml methanol. Kemudian, pencampuran 0,25 ml sampel dengan 0,5 ml larutan DPPH 0,5 mM dan 4 ml methanol dengan menggunakan vortex. Selanjutnya proses inkubasi di tempat gelap selama 30 menit dengan suhu 28 °C dan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 517 nm dengan spektrofotometer. Perhitungan kemampuan penangkapan radikal menggunakan rumus:

Radical scavenging activity (RSA) =

$$\frac{(\text{Abs DPPH} - \text{Abs ekstrak sampel})}{\text{Abs DPPH}} \times 100$$

### Analisis Warna

Analisis warna dengan alat *color reader* (Milojevic et al. 2018). Hasil pengukuran berupa nilai L\* (*lightness*), nilai a\* (*redness*), dan nilai b\* (*yellowness*). Prosedur analisis warna dengan *color reader* adalah peletakkan sampel pada cawan petri tidak berwarna, lalu penempelan sensor *color reader* pada wadah sampel. Penekanan tombol *power on* pada alat *color reader*. Pembacaan dan pencatatan hasil pengujian yang terbaca (nilai L\*, a\*, b\*). Pengulangan prosedur hingga mendapatkan hasil *duplo*.

### Analisis pH

Prosedur analisis pH menggunakan alat pH meter (de Oliveira Carvalho dan Orlanda, 2017). Pelarutan sampel dengan air (perbandingan 1:5). Kemudian, pembilasan elektroda dengan akuades dan pengeringan. Selanjutnya, pencelupan elektroda dalam larutan sampel sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang stabil.

### Analisis Statistik

Analisis data menggunakan *One-Way ANOVA* dan uji *Duncan's Multiple Range Test* menggunakan SPSS 16.0 *Statistic Software*. Level signifikan sebesar  $\alpha = 0,05$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kadar Air

Air merupakan komponen dalam bahan pangan yang penting karena dapat memicu

pertumbuhan mikroorganisme seperti bakteri, kapang, dan khamir. sehingga dapat berpengaruh terhadap kesegaran dan daya awet. Pada penelitian ini hasil pengukuran kadar air (*wet basis*) bubuk buah semangka merah dengan penggunaan gum arab berkisar 2,19-3,42 %, sedangkan dengan penggunaan HPMC berkisar 2,15-3,32 % (Tabel 2). Kadar air ideal untuk bubuk buah adalah < 10 % karena mikroba akan sulit tumbuh dan berkembang pada kadar air dibawah 10 % (Aziz et al. 2018).

Tabel 2 Kadar air bubuk buah semangka merah pada perbedaan jenis dan konsentrasi enkapsulan

Perlakuan	Rata-rata
Gum arab 2,5%	2,19±0,13 <sup>a</sup>
Gum arab 5%	2,68±0,02 <sup>b</sup>
Gum arab 7,5%	3,42±0,06 <sup>c</sup>
HPMC 2,5%	3,32±0,10 <sup>C</sup>
HPMC 5%	2,59±0,02 <sup>B</sup>
HPMC 7,5%	2,15±0,04 <sup>A</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaannya pada  $\alpha = 5 \%$

Berdasarkan data pada Tabel 2 nilai rata-rata kadar air bubuk buah semangka merah semakin meningkat dengan peningkatan konsentrasi gum arab akibat pengaruh struktur matriks yang terbentuk oleh reaksi antar protein gum arab ketika berikatan dengan air pada bubuk buah semangka. Struktur matriks tersebut dapat menahan sejumlah besar air.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Arepally and Goswami (2019) pada kadar air bubuk kultur probiotik yang semakin meningkat seiring penambahan gum arab karena kemampuan pengikatan air oleh gum arab, viskositas emulsi yang meningkat yang menyebabkan hambatan dalam laju difusi molekul air selama pengeringan. Penelitian oleh Daza et al. (2016) menjelaskan hal yang sama pada kadar air bubuk buah cagaita semakin meningkat seiring peningkatan konsentrasi gum arab oleh karena difusi air untuk keluar terhambat. Hasil penelitian Zhang et al. (2019) terhadap kadar air bubuk tongkol jagung menjelaskan bahwa peningkatan kadar air oleh gum arab karena *skin-forming* dari gum arab dapat mengurangi transfer massa dan penguapan air. Gum arab merupakan salah satu jenis polisakarida kompleks yang bersifat higroskopis. Gum arab memiliki komponen protein yang dapat dengan mudah mengikat air. Pengikatan air oleh protein berkaitan dengan adanya gugus-gugus polar rantai

samping seperti karbonil, hidroksil, amino, karboksil, dan sulfhidril (Spasojević et al. 2020). Gugus-gugus tersebut dapat membentuk ikatan hidrogen dengan satu atau lebih molekul air sehingga semakin tinggi konsentrasi gum arab maka semakin banyak gugus amino dan gugus hidroksil yang mengikat air. Gugus hidroksil (-OH) polar gum arab membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air. Pemanasan dengan *cabinet dryer* akan mengaktifkan molekul air dan mengakibatkan ketidakstabilan sehingga dapat memutus ikatan hidrogen yang sebelumnya terbentuk (Suet Li et al. 2021) sehingga akan mempercepat proses pengeringan.

Berkebalikan dengan gum arab, semakin tinggi konsentrasi HPMC, kadar air bubuk buah semangka merah semakin menurun. Zaidul et al. (2020) melaporkan hasil yang sejalan terhadap penurunan kadar air bubuk minyak ikan dengan semakin tinggi konsentrasi HPMC. Penelitian oleh Li et al. (2017) terhadap kadar air bubuk komposit dengan penggunaan HPMC memberikan hasil yang sama yaitu terjadi penurunan kadar air seiring dengan peningkatan konsentrasi HPMC karena jumlah molekul pengikat semakin banyak seiring dengan peningkatan konsentrasi HPMC, sehingga viskositasnya juga meningkat. HPMC merupakan salah satu turunan selulosa yang bersifat higroskopis karena adanya gugus hidroksil sehingga dapat menyebabkan terbentuknya ikatan hidrogen antara gugus hidroksil dari polimer dengan molekul air yang ada pada buah semangka merah. Ikatan ini kemudian akan menurunkan kemampuan ikatan hidrogen antar molekul air yang lebih lemah sehingga air dapat teruapkan. Penggunaan HPMC juga dapat meningkatkan viskositas karena HPMC membentuk gel ketika berinteraksi dengan cairan dan membentuk massa cair yang kompak. Cairan tersebut adalah air pada bubuk buah semangka merah. Hal ini terbukti, semakin tinggi penggunaan konsentrasi HPMC menyebabkan semakin banyak gugus hidroksil yang berikatan dengan air dan akan melemahkan ikatan antar molekul air pada buah semangka merah serta menyebabkan peningkatan viskositas pada bubuk buah semangka merah. Peningkatan viskositas akan memperluas permukaan pada bubuk buah semangka merah sehingga akan menyebabkan air dalam buah semangka merah lebih mudah menguap saat pengeringan dengan *cabinet dryer*. Pada saat pengeringan dengan *cabinet dryer* air yang telah

teruapkan pada bubur buah semangka dengan penggunaan HPMC 7,5 % lebih banyak

**Tingkat Higroskopis**

Higroskopisitas merupakan kemampuan bahan untuk menyerap uap air dari lingkungan sekitar hingga mencapai titik kesetimbangan (RH) tertentu. Bahan pangan dengan tingkat higroskopis antara 15,1-20 % termasuk dalam kategori bahan yang higroskopis, sedangkan tingkat higroskopis 20,1-25 % termasuk dalam kategori bahan yang sangat higroskopis (Gopinathan *et al.* 2020). Bahan yang higroskopis menyebabkan produk lebih mudah mengikat air dari lingkungan sehingga produk menjadi lengket dan dapat menyebabkan perubahan kadar air selama penyimpanan (Li *et al.* 2021). Pada penelitian hasil pengukuran tingkat higroskopis bubuk buah semangka merah dengan penggunaan gum arab berkisar 17,33-21,84%, sedangkan dengan penggunaan HPMC berkisar 17,17-23,53% (Tabel 3).

Tabel 3 Higroskopisitas bubuk buah semangka merah pada perbedaan jenis dan konsentrasi Enkapsulan

Perlakuan	Rata-rata (%)
Gum arab 2,5%	21,84±1,57c
Gum arab 5%	19,03±0,59b
Gum arab 7,5%	17,33±0,20a
HPMC 2,5%	23,53±1,09C
HPMC 5%	21,26±1,05B
HPMC 7,5%	17,17±0,16A

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaannya pada  $\alpha = 5 \%$

Data pada Tabel 3 menunjukkan adanya pengaruh nyata terhadap tingkat higroskopisitas bubuk buah semangka merah dengan tren yang menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi gum arab. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Suhag *et al.* (2016) pada higroskopisitas bubuk madu yang semakin menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi gum arab. Produk pangan kering umumnya memiliki struktur amorf yang bersifat mudah menyerap air. Struktur amorf pada mulanya berada dalam fase padat dan keras (*glass*) yang dapat berubah menjadi fase *rubbery* pada suhu *glass transition* ( $T_g$ ) (Bhandari 2013). Menurut Ahmed *et al.* (2017), umumnya buah-buahan memiliki komponen gula dengan berat molekul dan suhu *glass transition* yang rendah. Hal tersebut menyebabkan sifat higroskopis yang sangat tinggi pada buah yang dikeringkan dan

mengakibatkan sifat lengket (*sticky*), sehingga penambahan enkapsulan yang memilikisuhu *glass transition* tinggi merupakan hal yang esensial.

Peningkatan konsentrasi HPMC juga memberikan perbedaan nyata terhadap tingkat higroskopisitas dari bubuk buah semangka merah. Semakin tinggi konsentrasi HPMC dapat menurunkan higroskopisitas dari bubuk buah semangka merah. HPMC memiliki suhu *glass transition* 170-180 °C (Wang *et al.* 2015) sehingga perubahan fase *glass* menjadi *rubbery* semakin lambat pula. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wang *et al.* (2014) terhadap tingkat higroskopisitas *crataegi fructus powder* yang semakin rendah seiring dengan peningkatan konsentrasi HPMC, karena suhu  $T_g$  *powder* yang meningkat. Penambahan konsentrasi HPMC dan gum arab yang semakin tinggi juga menyebabkan ikatan antara bahan dan enkapsulan semakin kuat sehingga dapat menurunkan daya penyerapan air sehingga tingkat higroskopisitasnya semakin menurun (Balani *et al.* 2015).

**Total Fenol**

Fenol merupakan senyawa induk dari fenolik yang umumnya banyak terdapat pada tumbuhan dan mampu berperan sebagai antioksidan (Zeb 2020). Pada penelitian ini hasil analisis totalfenol bubuk buah semangka merah dengan penggunaan gum arab berkisar 539,09-1172,05 mg GAE/kg sedangkan dengan penggunaan HPMC berkisar 765,23-1370,91 mg GAE/kg (Tabel 4).

Tabel 4 Total fenol bubuk buah semangka merah pada perbedaan jenis dan konsentrasi enkapsulan

Perlakuan	Total fenol (mg GAE/kg sampel)
Gum arab 2,5%	1370,9091±37,67 <sup>c</sup>
Gum arab 5%	923,1818±32,46 <sup>b</sup>
Gum arab 7,5%	765,2273±38,28 <sup>a</sup>
HPMC 2,5%	1172,0455±33,07 <sup>C</sup>
HPMC 5%	782,2727±48,32 <sup>B</sup>
HPMC 7,5%	539,0909±11,74 <sup>A</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada  $\alpha = 5 \%$

Berdasarkan data pada Tabel 4 semakin tinggi konsentrasi gum arab menyebabkan penurunan total fenol bubuk buah semangka merah. Hal yang sama terjadi pada hasil penelitian total fenol bubuk buah semangka merah dengan penggunaan HPMC. Total fenol tertinggi pada konsentrasi HPMC 2,5% dan total fenol terendah

pada konsentrasi 7,5%. Penurunan total fenol pada bubuk buah semangka dengan penggunaan gum arab dan HPMC dengan konsentrasi yang meningkat ini karena komponen aktif dalam buah semangka merah semakin terlindungi. Hal ini sesuai dengan (Mohd Zin *et al.* 2021) bahwa proses enkapsulasi dapat menurunkan reaktivitas inti material terhadap lingkungan luar dengan membentuk lapisan pelindung antara komponen inti dan komponen eksternal. Gum arab memiliki gugus arabinogalactan protein (AGP) dan glycoprotein (GP) yang berperan dalam membentuk lapisan *film* yang berfungsi secara efektif untuk enkapsulasi bahan untuk melindungi komponen fenol. Gum arab juga memiliki atom hidrogen pada gugus hidroksil (-OH) yang dapat berikatan dengan gugus (-OH) pada senyawa fenolik membentuk ikatan hidrogen (Rosário *et al.* 2021). Semakin meningkat konsentrasi gum arab akan menyebabkan terbentuknya struktur yang kompak pada bubuk buah semangka merah sehingga akan berpengaruh pada pengaturan pelepasan (*control release*) komponen fenol dalam bubuk buah selama penyimpanan karena adanya penghalang yang kuat pada bubuk buah semangka merah. Gum arab membentuk penghalang sebagai pelindung sekaligus menghambat terlepasnya komponen antioksidan dari sistem (Khatibi *et al.*, 2021). Hal tersebut berdampak pada hasil pengukuran total fenol yang semakin menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi gum arab. HPMC merupakan material yang tahan panas sehingga keberadaannya dapat melindungi komponen fenol selama proses pemanasan (Wang *et al.* 2016). HPMC juga dapat membentuk lapisan *film* dengan ketebalan atau tingkat permeabilitas yang semakin tinggi seiring dengan peningkatan viskositas (Ghadermazi *et al.* 2019). Meningkatnya jumlah HPMC akan mengakibatkan semakin banyak pengikatan cairan oleh gugus hidrofilik pada HPMC sehingga viskositas meningkat. Semakin tinggi penggunaan konsentrasi HPMC maka semakin tebal lapisan *film* yang terbentuk sehingga semakin besar kemampuannya untuk melindungi komponen fenol. Palugan *et al.* (2021) menyatakan bahwa laju pelepasan (*release rates*) komponen aktif suatu bahan semakin terhambat seiring dengan peningkatan konsentrasi HPMC, akibatnya hasil pengukuran total fenol menurun. Hal ini karena polimer HPMC bersifat hidrofilik yang dapat membentuk gel dengan kuat dan rapat yang melindungi komponen fenol.

## Aktivitas Antioksidan

Keberadaan komponen fenolik dapat mempengaruhi aktivitas antioksidan suatu bahan. Gugus hidroksil pada senyawa fenolik mampu berperan sebagai antioksidan karena atom oksigen pada gugus hidroksil mempunyai pasangan elektron bebas yang cukup untuk menghambat reaktivitas atom reaktif penyusun senyawa radikal bebas (Hamlouli *et al.* 2018). Pada penelitian ini uji aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH. Aktivitas antioksidan pada penggunaan gum arab berkisar 52,90- 89,29 % sedangkan dengan penggunaan HPMC berkisar 29,54- 65,88 % (Tabel 5).

Tabel 5 Hasil pengujian aktivitas antioksidan bubuk buah semangka merah pada perbedaan jenis dan konsentrasi enkapsulan

Perlakuan	% RSA
Gum arab 2,5%	89,29±0,88 <sup>c</sup>
Gum arab 5%	71,74±2,06 <sup>b</sup>
Gum arab 7,5%	52,90±3,03 <sup>a</sup>
HPMC 2,5%	65,88±2,66 <sup>C</sup>
HPMC 5%	54,13±3,54 <sup>B</sup>
HPMC 7,5%	29,54±0,51 <sup>A</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada  $\alpha = 5\%$

Peningkatan konsentrasi gum arab menyebabkan persentase *radical scavenging activity* (RSA) DPPH pada bubuk buah semangka merah semakin menurun demikian hal yang sama terjadi pada penggunaan konsentrasi HPMC yang semakin tinggi. Aktivitas antioksidan dan total fenol memiliki korelasi kuat (Ge *et al.* 2021). Korelasi ini karena semakin banyak total fenol, semakin banyak juga atom hidrogen yang dapat berikatan dengan radikal bebas DPPH.

Penelitian oleh (Mohd Zin *et al.* 2021) terhadap aktivitas antioksidan bubuk daun buah mahkota dewa menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan semakin menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi gum arab dalam proses enkapsulasi. Hal ini karena gum arab membentuk lapisan yang melindungi senyawa antioksidan dalam proses ekstraksi. Enkapsulasi dapat membantu melindungi senyawa inti (antioksidan) dari pengaruh lingkungan dengan cara membentuk penghalang antara lingkungan luar dengan senyawa inti dalam bahan. HPMC juga memiliki kemampuan dalam membentuk lapisan film (Tavares *et al.* 2021) yang dapat melindungi senyawa antioksidan. Semakin tinggi konsentrasi

HPMC semakin banyak senyawa antioksidan yang tersalut. Pada saat proses ekstraksi bubuk buah semangka merah dengan penggunaan konsentrasi HPMC 7,5% jumlah senyawa antioksidan yang terambil dari matriks bubuk buah lebih rendah. Hal ini menyebabkan senyawa antioksidan yang bereaksi dengan radikal bebas DPPH juga semakin sedikit, sehingga nilai persentase RSA semakin rendah.

### Warna

Warna adalah salah satu parameter yang dapat berpengaruh pada penerimaan konsumen terhadap bahan ataupun produk pangan. Hasil rata-rata pengujian warna bubuk buah semangka merah dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 menunjukkan perbedaan jenis enkapsulan dan konsentrasi enkapsulan yang tersarang pada jenis enkapsulan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap nilai L, a\*, b\*, C dan H pada bubuk buah semangka merah.

Nilai L pada bubuk buah semangka merah dengan penggunaan gum arab dan HPMC pada berbagai konsentrasi tidak berbeda nyata karena kedua jenis enkapsulan memiliki sifat bening atau transparan. Nilai a\* dan b\* juga menunjukkan hal yang sama yaitu tidak berbeda signifikan pada bubuk buah semangka merah baik dengan penggunaan gum arab dan HPMC pada berbagai konsentrasi. Nilai a\* pada penelitian ini menunjukkan hasil +a\* yang berarti bubuk buah semangka merah cenderung berwarna merah, demikian juga untuk nilai b\* yang menunjukkan hasil +b\* yang berarti warna bubuk buah semangka merah cenderung berwarna kuning. Warna ini berasal dari pigmen likopen sebagai salah satu jenis karotenoid yang menghasilkan warna kuning oranye dan merah (Vani et al. 2021).

Pada bubuk buah semangka merah dengan penggunaan HPMC, tidak memberikan pengaruh nyata terhadap warna baik dari nilai L, a\*, b\*, C maupun H. Penelitian Ghadermazi et al. (2019) menyatakan bahwa secara alami polimer HPMC bersifat transparan. Hasil pengukuran nilai °Hue terhadap bubuk buah semangka merah dengan penggunaan gum arab pada penelitian ini berkisar antara 29,6-31,5 sementara dengan penggunaan HPMC berkisar antara 29,4-30,7. Hasil ini menunjukkan bahwa bubuk buah semangka merah termasuk dalam kategori warna merah. Pigmen

warna merah pada buah semangka merah berasal dari likopen. Bubur buah semangka merah juga termasuk dalam kategori warna merah dengan nilai °Hue sebesar 24,9. Adanya penggunaan enkapsulan dapat melindungi likopen selama proses pengeringan.

### pH

Keasaman merupakan tingkat asam atau basa suatu zat atau larutan atau potensial hidrogen (pH). pH adalah derajat keasaman untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu zat/larutan. Hasil pengukuran nilai pH bubuk buah semangka merah dengan penggunaan gum arab berkisar 5,39-5,57 (Tabel 7) sedangkan dengan penggunaan HPMC berkisar 5,83-6,30 (Tabel 8).

Penggunaan gum arab menurunkan nilai pH bubuk buah semangka merah, sementara penggunaan HPMC meningkatkan nilai pH. Gum arab cenderung lebih bersifat asam dengan kisaran nilai pH 4,5-5,5 (Nugroho et al. 2006) karena komponen asam glukuronat. Penggunaan HPMC akan meningkatkan nilai pH bubuk buah semangka merah karena pH HPMC berkisar 6,47-7,87 (Ghadermazi et al. 2019). HPMC juga memiliki gugus hidroksil (OH-) yang memberikan sifat basa pada bubuk buah semangka merah. Perbedaan konsentrasi HPMC berpengaruh nyata terhadap nilai pH bubuk buah semangka merah.

Tabel 7 Nilai pH bubuk buah semangka merah dengan penggunaan gum arab pada berbagai konsentrasi

Konsentrasi	pH
2,5%	5,57±0,01
5%	5,48±0,01
7,5%	5,39±0,03

Berdasarkan data pada Tabel 7 penggunaan konsentrasi gum arab yang semakin meningkat tidak berpengaruh nyata terhadap pH bubuk buah semangka merah. Hal ini karena nilai pH gum berada pada rentang yang sama dengan pH bubuk buah semangka merah. pH gum arab berkisar 5,18-5,20 dengan rerata 5,16 dan hasil uji pH bubuk buah semangka merah pada penelitian ini sebesar 5,5- 6,0 dengan rerata 5,78. Gum arab cenderung bersifat asam karena memiliki gugus asam glukuronat dengan rantai yang panjang. Gum arab memiliki komponen asam glukuronat sebesar  $19,5 \pm 0,2\%$  (Glicksman 2019).



Tabel 6 Warna bubuk semangka merah dengan penambahan gum arab dan HPMC

Perlakuan	L	a*	b*	Chroma	°Hue	Warna
Gum arab 2,5%	46,8 ±0,39	27,2 ±4,14	15,3 ±1,23	31,2 ±3,83	29,6 ±3,66	
Gum arab 5%	45,2 ±0,46	25,0 ±1,43	15,3 ±0,54	29,3 ±1,36	31,5 ±1,20	
Gum arab 7,5%	44,8 ±1,68	24,0 ±1,13	13,8 ±0,61	27,7 ±1,12	30,0 ±1,30	
HPMC 2,5%	45,0 ±2,49	26,2 ±1,24	15,2 ±0,90	30,3 ±1,50	30,2 ±0,56	
HPMC 5%	45,5 ±2,94	26,7 ±3,85	15,4 ±4,23	30,9 ±5,43	29,4 ±3,53	
HPMC 7,5%	46,9 ±1,27	26,9 ±1,15	16,0 ±0,61	31,4 ±1,33	30,7 ±0,41	

Tabel 8 Nilai pH bubuk buah semangka merah dengan penggunaan HPMC pada berbagai konsentrasi

Perlakuan	Rata-rata
HPMC 2,5 %	5,83±0,07 <sup>a</sup>
HPMC 5 %	6,06±0,02 <sup>b</sup>
HPMC 7,5 %	6,30±0,04 <sup>c</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata pada  $\alpha = 5 \%$

Berdasarkan data pada Tabel 8, nilai pH bubuk buah semangka merah semakin meningkat seiring dengan konsentrasi HPMC yang semakin tinggi. Hal ini karena pH HPMC pada penelitian ini lebih tinggi dari pH bubuk buah semangka merah yaitu 6,33. Hasil ini sesuai dengan Ghadermazi *et al.* (2019) bahwa HPMC murni dapat memberikan sifat netral karena pH HPMC murni berkisar antara 6,47-7,87. HPMC juga memiliki gugus hidroksil/hidroksida (OH<sup>-</sup>) yang merupakan ion basa dan dapat bereaksi dengan cepat dan kuat dengan H<sup>+</sup>. Reaksi ini akan dengan cepat menghilangkan ion H<sup>+</sup> yang memberikan sifat asam pada larutan. Semakin tinggi penggunaan konsentrasi HPMC maka semakin banyak jumlah gugus hidroksil yang akan bereaksi dan meniadakan ion H<sup>+</sup> pada bubuk buah semangka merah. Hal ini menyebabkan nilai pH bubuk buah semangka merah semakin meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi HPMC.

### KESIMPULAN

Peningkatan konsentrasi gum arab meningkatkan kadar air (2,19-3,42%), sedangkan

higroskopisitas menurun (21,84-17,33%). Total fenol menurun dari 1370,91 menjadi 765,23 mg GAE/kg sampel. Aktivitas antioksidan sampel dengan metode DPPH mengalami penurunan (89,29-52,90%). Penggunaan gum arab dapat mempertahankan warna merah serbuk dan pH pada kisaran 5,39-5,57. Sedangkan aplikasi HPMC dapat menurunkan kadar air (3,32-2,15%), tingkat higroskopisitas 23,53-17,17 %, total fenol 1172,05-539,09 mg GAE/kg, dan aktivitas antioksidan 65,88-29,54%. HPMC dapat mempertahankan warna merah serbuk dan meningkatkan pH (5,83-6,30).

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya atas dukungan dana penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aderiye, B.I., David, O.M., Fagbohun, E.D., Faleye, J., Olajide, O.M. 2020. Immunomodulatory and phytochemical properties of watermelon juice and pulp (*Citrullus lanatus* Linn): A review. *GSC Biol. and Pharm. Sci.* 11, 153–165. <https://doi.org/10.30574/gscbps.2020.11.2.0079>
- Ahmed, J., Roos, Y.H., Rahman, S. (Eds.) 2017. *Glass transition and phase transitions in food and biological materials*. John Wiley

- & Sons Ltd, Chichester, West Sussex ; Hoboken, NJ.
- Arepally, D., Goswami, T.K. 2019. Effect of inlet air temperature and gum Arabic concentration on encapsulation of probiotics by spray drying. *LWT* 99, 583–593. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.022>
- Astadi, I.R., Astuti, M., Santoso, U., Nugraheni, P.S. 2009. In vitro antioxidant activity of anthocyanins of black soybean seed coat in human low density lipoprotein (LDL). *Food Chemistry* 112, 659–663. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.06.034>
- Aziz, M.G., Yusof, Y.A., Blanchard, C., Saifullah, M., Farahnaky, A., Scheiling, G. 2018. Material Properties and Tableting of Fruit Powders. *Food Eng Rev* 10, 66–80. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9175-0>
- Bakmohamadpor, M., Javadi, A., Azadmard-Damirchi, S., Jafarizadeh-Malmiri, H. 2021. Effect of barberry (*Berberis vulgaris*) fruit powder on the quality and shelf life stability of puffed corn extrude. *NFS Journal* 22, 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.12.004>
- Balani, K., Agarwal, A., Verma, V., Narayan, R. 2015. Biosurfaces: a materials science and engineering perspective. The American Ceramic Society/Wiley, Hoboken, New Jersey.
- Bhandari, B. (Ed.) 2013. Handbook of food powders: processes and properties. Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Daza, L.D., Fujita, A., Fávoro-Trindade, C.S., Rodrigues-Ract, J.N., Granato, D., Genovese, M.I. 2016. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. *Food and Bioproducts Processing* 97, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2015.10.001>
- de Oliveira Carvalho, J., Orlanda, J.F.F. 2017. Heat stability and effect of pH on enzyme activity of polyphenol oxidase in buriti (*Mauritia flexuosa* Linnaeus f.) fruit extract. *Food Chemistry* 233, 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.101>
- Eun, J.-B., Maruf, A., Das, P.R., Nam, S.-H., 2020. A review of encapsulation of carotenoids using spray drying and freeze drying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60, 3547–3572. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1698511>
- Galdeano, M.C., dos Santos Gomes, F., Chávez, D.W.H., Almeida, E.L., Moulin, L.C., de Grandi Castro Freitas de Sá, D., Tonon, R.V. 2022. Lycopene-rich watermelon concentrate used as a natural food colorant: Stability during processing and storage. *Food Research International* 160, 111691. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111691>
- Ge, X., Jing, L., Zhao, K., Su, C., Zhang, B., Zhang, Q., Han, L., Yu, X., Li, W. 2021. The phenolic compounds profile, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley grains with different color. *Food Chemistry* 335, 127655. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127655>
- Ghadermazi, Reza, Hamdipour, S., Sadeghi, K., Ghadermazi, Rojin, Khosrowshahi Asl, A. 2019. Effect of various additives on the properties of the films and coatings derived from hydroxypropyl methylcellulose—A review. *Food Sci Nutr* 7, 3363–3377. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1206>
- Glicksman, M. (Ed.) 2019. Food hydrocolloids. CRC Press, Place of publication not identified.
- Gopinathan, M., Yusof, Y.A., Pui, L.P. 2020. Effects of different drying methods on the physicochemical and antioxidant content of “cempedak” (*Artocarpus Integer* L.) powder. *J. Food Process. Preserv.* 44. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14966>
- Hamlou, I., Bencheraiet, R., Bensegueni, R., Bencharif, M. 2018. Experimental and theoretical study on DPPH radical scavenging mechanism of some chalcone quinoline derivatives. *Journal of Molecular Structure* 1156, 385–389. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.11.118>
- Jati, I.R.A.P., Nohr, D., Konrad Biesalski, H. 2014. Nutrients and antioxidant properties of Indonesian underutilized colored rice. *Nutrition & Food Science* 44, 193–203. <https://doi.org/10.1108/NFS-06-2013-0069>
- Khatibi, S.A., Ehsani, A., Nemati, M., Javadi, A., 2021. Microencapsulation of *Zataria multiflora* Boiss. essential oil by complex

- coacervation using gelatin and gum arabic: Characterization, release profile, antimicrobial and antioxidant activities. *J. Food Process. Preserv.* 45. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15823>
- Kim, I.-D., Dhungana, S., Park, Y.-S., Kim, D., Shin, D.-H. 2017. Persimmon Fruit Powder May Substitute Indolbi, a Synthetic Growth Regulator, in Soybean Sprout Cultivation. *Molecules* 22, 1462. <https://doi.org/10.3390/molecules22091462>
- Li, J., Zhao, L., Lin, X., Shen, L., Feng, Y. 2017. Co-spray Drying with HPMC as a Platform to Improve Direct Compaction Properties of Various Tablet Fillers. *AAPS PharmSciTech* 18, 3105–3115. <https://doi.org/10.1208/s12249-017-0794-1>
- Li, X., Yang, R., Ju, H., Wang, K., Lin, S. 2021. Identification of dominant spoilage bacteria in sea cucumber protein peptide powders (SCPPs) and methods for controlling the growth of dominant spoilage bacteria by inhibiting hygroscopicity. *LWT* 136, 110355. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110355>
- Liang, X., Ma, C., Yan, X., Liu, X., Liu, F. 2019. Advances in research on bioactivity, metabolism, stability and delivery systems of lycopene. *Trends in Food Science & Technology* 93, 185–196. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.019>
- Maoto, M.M., Beswa, D., Jideani, A.I.O. 2019. Watermelon as a potential fruit snack. *International Journal of Food Properties* 22, 355–370. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1584212>
- Marcillo-Parra, V., Tupuna-Yerovi, D.S., González, Z., Ruales, J. 2021. Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application – A review. *Trends in Food Science & Technology* 116, 11–23. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.009>
- Milojevic, Z., Ennis, R., Toscani, M., Gegenfurtner, K.R. 2018. Categorizing natural color distributions. *Vision Research* 151, 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2018.01.008>
- Mohd Zin, Z., Razman, N.H., M., H., Abd Manap, M.N., Zainol, M.K. 2021. The influence of Gum Arabic on the physicochemical and antimicrobial activity of the microencapsulated Mahkota Dewa (*Phaleria macrocarpa*) leaves. *Food Res.* 5, 203–213. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(3\).580](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(3).580)
- Nadeem, M., Navida, M., Ameer, K., Siddique, F., Iqbal, A., Malik, F., Ranjha, M.M.A.N., Yasmin, Z., Kanwal, R., Javaria, S. 2022. Watermelon nutrition profile, antioxidant activity, and processing. *Korean J. Food Preserv.* 29, 531–545. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2022.29.4.531>
- Ng, M.L., Sulaiman, R. 2018. Development of beetroot (*Beta vulgaris*) powder using foam mat drying. *LWT* 88, 80–86. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.032>
- Palugan, L., Filippin, I., Cirilli, M., Moutaharrik, S., Zema, L., Cerea, M., Maroni, A., Foppoli, A., Gazzaniga, A. 2021. Cellulose as an “active” excipient in prolonged-release HPMC matrices: A novel strategy towards zero-order release kinetics. *International Journal of Pharmaceutics* 607, 121005. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2021.121005>
- Park, H., Kim, Y.-J., Shin, Y. 2020. Estimation of daily intake of lycopene, antioxidant contents and activities from tomatoes, watermelons, and their processed products in Korea. *Appl Biol Chem* 63, 50. <https://doi.org/10.1186/s13765-020-00534-w>
- Rosário, F.M., Biduski, B., Santos, D.F. dos, Hadlish, E.V., Tormen, L., Santos, G.H.F. dos, Pinto, V.Z. 2021. Red araçá pulp microencapsulation by hydrolyzed pinhão starch, and tara and arabic gums. *J Sci Food Agric* 101, 2052–2062. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10825>
- Ruengdech, A., Siripatrawan, U. 2022. Improving encapsulating efficiency, stability, and antioxidant activity of catechin nanoemulsion using foam mat freeze-drying: The effect of wall material types and concentrations. *LWT* 162, 113478. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113478>
- Sarabandi, K., Jafari, S.M., Mahoonak, A.S., Mohammadi, A. 2019. Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source. *International Journal of Biological Macromolecules* 140,

- 59–68.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.133>
- Spasojević, L., Bučko, S., Kovačević, D., Bohinc, K., Jukić, J., Abram, A., Požar, J., Katona, J. 2020. Interactions of zein and zein/rosin nanoparticles with natural polyanion gum arabic. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 196, 111289.  
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2020.111289>
- Suet Li, T., Sulaiman, R., Rukayadi, Y., Ramli, S. 2021. Effect of gum Arabic concentrations on foam properties, drying kinetics and physicochemical properties of foam mat drying of cantaloupe. *Food Hydrocolloids* 116, 106492.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106492>
- Suhag, Y., Nayik, G.A., Nanda, V. 2016. Effect of gum arabic concentration and inlet temperature during spray drying on physical and antioxidant properties of honey powder. *Food Measure* 10, 350–356.  
<https://doi.org/10.1007/s11694-016-9313-4>
- Tavares, L., Santos, L., Zapata Noreña, C.P. 2021. Bioactive compounds of garlic: A comprehensive review of encapsulation technologies, characterization of the encapsulated garlic compounds and their industrial applicability. *Trends in Food Science & Technology* 114, 232–244.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.019>
- Vani, B., Kalyani, S., Pabba, M., Sridhar, S. 2021. Forward osmosis aided concentration of lycopene carotenoid from watermelon juice. *J Chem Technol Biotechnol* 96, 1960–1973.  
<https://doi.org/10.1002/jctb.6720>
- Wang, J., Li, H., Chen, Z., Liu, W., Chen, H. 2016. Characterization and storage properties of a new microencapsulation of tea polyphenols. *Industrial Crops and Products* 89, 152–156.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.05.013>
- Wang, S., Li, J., Lin, X., Feng, Y., Kou, X., Babu, S., Panicucci, R. 2015. Novel coprocessed excipients composed of lactose, HPMC, and PVPP for tableting and its application. *International Journal of Pharmaceutics* 486, 370–379.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2015.03.069>
- Wang, Y., Xie, Y., Xu, D., Lin, X., Feng, Y., Hong, Y. 2014. Hydroxypropyl Methylcellulose Reduces Particle Adhesion and Improves Recovery of Herbal Extracts During Spray Drying of Chinese Herbal Medicines. *Drying Technology* 32, 557–566.  
<https://doi.org/10.1080/07373937.2013.843543>
- Zaidul, I.S.M., Fahim, T.K., Sahena, F., Azad, A.K., Rashid, M.A., Hossain, M.S. 2020. Dataset on applying HPMC polymer to improve encapsulation efficiency and stability of the fish oil: In vitro evaluation. *Data in Brief* 32, 106111.  
<https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106111>
- Zamuz, S., Munekata, P.E.S., Gullón, B., Rocchetti, G., Montesano, D., Lorenzo, J.M. 2021. Citrullus lanatus as source of bioactive components: An up-to-date review. *Trends in Food Science & Technology* 111, 208–222.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.002>
- Zeb, A. 2020. Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *J Food Biochem* 44.  
<https://doi.org/10.1111/jfbc.13394>
- Zhang, L., Zeng, X., Qiu, J., Du, J., Cao, X., Tang, X., Sun, Y., Li, S., Lei, T., Liu, S., Lin, L. 2019. Spray-dried xylooligosaccharides carried by gum Arabic. *Industrial Crops and Products* 135, 330–343.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.045>
- Zia, S., Khan, M.R., Shabbir, M.A., Aadil, R.M. 2021. An update on functional, nutraceutical and industrial applications of watermelon by-products: A comprehensive review. *Trends in Food Science & Technology* 114, 275–291.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.039>
- Zou, Y., Qian, Y., Rong, X., Cao, K., McClements, D.J., Hu, K. 2021. Encapsulation of quercetin in biopolymer-coated zein nanoparticles: Formation, stability, antioxidant capacity, and bioaccessibility. *Food Hydrocolloids* 120, 106980.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106980>