

Kandungan Kimia dan Potensi Aktif Bee Pollen sebagai Antioksidan : Sebuah Ulasan

Chemical Composition and Antioxidant Potential of Bee Pollen: A Review

Iis Sa'diah¹ dan Muhammad Bayu²

¹Prodi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Garut, Indonesia

²Teknologi Agroindustri, Fakultas Teknologi dan Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran,
Indonesia

*Korespondensi penulis: iis.sadiyah@uniga.ac.id

ABSTRAK

Bee pollen merupakan suplemen alami yang diperoleh dari serbuk sari bunga yang dicampur dengan kelenjar ludah dari lebah. Bee pollen mengandung nutrisi penting seperti vitamin A, D, E, K, C, B5, B3, mineral, polifenol, karotenoid, lipid, protein, karbohidrat, serta kaya akan asam lemak esensial dan asam amino. Bee pollen mengandung senyawa flavonoid yang berfungsi sebagai antioksidan dan dapat digunakan dalam bidang kesehatan atau farmakologi (farmasi). Flavonoid yang terkandung dalam bee pollen dapat diperoleh melalui ekstraksi metode UV – Vis dan kandungan flavonoid pada bee pollen bervariasi bergantung pada jenis tanaman, kondisi lingkungan seperti tanah dan iklim serta pelarut yang digunakan pada saat ekstraksi.

Kata Kunci : Antioksidan; Bee Pollen; Nutrisi

ABSTRACT

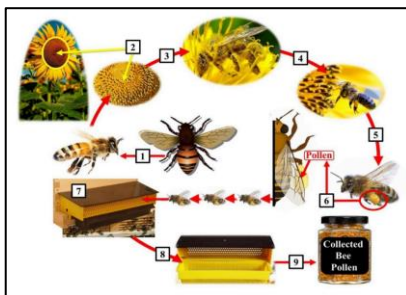
Bee pollen is a natural supplement derived from flower pollen mixed with bee saliva. It contains essential nutrients such as vitamins A, D, E, K, C, B5, B3, minerals, polyphenols, carotenoids, lipids, proteins, carbohydrates, and is rich in essential fatty acids and amino acids. Bee pollen includes flavonoids that act as antioxidants and have potential applications in health and pharmacology. The flavonoids in bee pollen can be extracted using UV-Vis methods, and their concentration varies depending on factors such as the plant species, environmental conditions like soil and climate, and the solvent used during extraction.

Keywords: Antioxidants; Bee Pollen; Nutrition

PENDAHULUAN

Suplemen makanan merupakan produk yang saat ini banyak dicari oleh masyarakat karena gizinya yang tinggi serta memiliki efek baik untuk kesehatan. Saat ini masyarakat menggunakan bee pollen sebagai suplemen alami sehingga permintaan bee pollen semakin meningkat dalam bidang industri pangan (Kosti et al., 2015).

Bee pollen merupakan hasil produk lebah madu pekerja dan lebah tak bersengat yang diperoleh dari sari bunga, nektar, lilin, madu, enzim dan sekresi lebah pada kaki lebah madu yang dijatuhkan di sekitar sarang lebah (Chantarudee et al., 2012).



Gambar 1. (1) yaitu lebah madu dan (2) merupakan bunga dengan serbuk sari. Kemudian pada (3) lebah madu ditutupi dengan serbuk sari mikroskopis dan (4) lebah madu membawa butiran serbuk sari di kaki belakangnya. Selanjutnya (5) lebah madu siap membawa pelet serbuk sari, dapat dilihat pada (6) kaki belakang lebah terdapat pelet serbuk sari. (7) merupakan perangkap serbuk sari di pintu masuk sarang dan (8) merupakan nampan perangkap untuk pengumpulan serbuk sari lebah. (9) Bee pollen yang sudah terkumpul (Thakur and Nanda, 2020).

Pollen lebah terdapat di kamar pembiakan ratu lebah dan merupakan sumber protein bagi koloni lebah (Pascoal et al., 2014). Bee pollen dikenal sebagai makanan fungsional karena mengandung nutrisi dan senyawa bioaktif yang tinggi. Bee pollen mengandung vitamin A, D, E, K, C, B5, B3, mineral, polifenol, karotenoid, lipid, protein, karbohidrat, serta kaya akan asam lemak esensial dan asam amino (Ares et al., 2018; de Arruda et al., 2013; Kosti et al., 2015; Szczêsna, 2006). Kandungan polifenol dalam bee pollen berfungsi untuk melindungi tanaman dari pertumbuhan mikroba, suhu tinggi, sintesis spesies oksigen reaktif dan radiasi UV karena kemampuannya dalam menetralkan radikal bebas (Williamson, 2017). Disamping itu, nutrisi dan senyawa aktif bee pollen dipengaruhi oleh sumber tanaman, asal geografis dan spesies lebah (Yang et al., 2013; da Silva et al., 2014; Nogueira et al., 2018).

Komponen utama pada bee pollen yaitu turunan dari asam fenolat dan flavonoid. Flavonoid merupakan senyawa sekunder yang memiliki berbagai fungsi dalam aktivitas fisiologis dan juga farmakologis. Banyak penelitian menyebutkan bahwa flavonoid pada bee pollen memiliki efek yang sangat baik bagi kesehatan. Beberapa senyawa fenolik dari komposisi kimia bee pollen berfungsi untuk membersihkan radikal bebas, transduksi sinyal dan mengatur aktivitas enzimatik dan sifat biologis yang berfungsi sebagai antioksidan, anti kanker, anti diabetes, anti inflamasi, anti tumor dan anti penuaan (Dzialis et al., 2016).

KANDUNGAN KIMIA BEE POLLEN

Bee pollen memiliki kandungan nutrisi penting diantaranya yaitu karbohidrat, protein dan asam amino, lemak, mineral dan vitamin. Bee pollen mengandung vitamin A, D, E, K, C, flavonoid, vitamin B5, dan niacin. Vitamin C, E, dan A memiliki potensi untuk menurunkan kadar LDL dalam darah serta melawan radikal bebas (Williamson, 2017). Selain itu flavonoid dalam bee pollen dapat menurunkan kadar trigliserida dan bersifat antiinflamasi (Działo et al., 2016).

Kandungan Air

Konsistensi bee pollen dipengaruhi oleh kandungan air sedangkan kualitas dan lama simpannya dipengaruhi oleh adanya aktivitas air (aw). Kandungan air yang terdapat dalam serbuk sari memiliki jumlah kandungan air yang berbeda (Tabel 1). Menurut Feaz et al. (2012) tumbuhnya mikroorganisme seperti kapang, khamir serta aktivitas enzim dipengaruhi oleh tingginya aktivitas air (aw) yang menyebabkan toksisitas pada serbuk sari dan apabila dikonsumsi akan berdampak negatif bagi kesehatan.

Tabel 1. Kandungan Air Bee Pollen

Asal tumbuhan	Kandungan air (%)	Asal geografis	Referensi
<i>Zea mays</i> , <i>Vicia faba</i> , <i>Schisandra chinensis</i> , <i>Rosa rugosa</i> , <i>Papaver rhoeas</i> , <i>Nelumbo nucifera Gaertn</i> , <i>Helianthus annuus</i> , <i>Fagopyrum esculentum</i> , <i>Dendranthema indicum</i> , <i>Camellia japonica</i> , <i>Citrullus lanatus</i> , <i>Brassica napus</i>	1,82–7,52	China	Yang et al. (2013)
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> , <i>Myrtaceae</i>	4,5–8	Mexico	Fuenmayor et al., (2014)
fresh and dried pollen	8,80–28	Turki	Isik et al. (2019)
<i>Fagopyrum esculentum</i> , <i>Hedera helix</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Brassicaceae</i> and multi-floral	14,80–32,10	Slovenia	Bertoncelj et al. (2018)
<i>Brassica napus</i> , <i>Coriandrum sativum</i> , <i>Cocos nucifera</i> and multi-floral	12,72–19,59	India	Thakur and Nanda (2018a)
<i>Quercus</i> (dried pollen) dan <i>Actinidia arguta</i>	4,4–13,8	Republik Korea	Ghosh and Jung (2017)

Karbohidrat dan Gula

Karbohidrat menempati posisi pertama dalam dalam total kandungan bee pollen. Tingginya kandungan karbohidrat ini karena saat pembentukan pellet terjadi penggabungan madu dengan nektar. Berdasarkan beberapa penelitian kandungan karbohidrat bee pollen berkisar antara Kandungan karbohidrat dalam bee pollen berkisar pada 6% hingga 60% dari total berat kering.

Tabel 2. Kandungan Kimia Bee Pollen dari Beberapa Negara

Asal Tumbuhan	Karbohidrat (%)	Protein (%)	Lemak (%)	Mineral (%)	Asal	Referensi
fresh and dried pollen	61,96–78,70	12,43–30,36	5,50–7,22	2,14–2,18	Turki	Isik et al. (2019)
<i>Brassica</i> as monofloral and other multi-floral samples (dried pollen), <i>Anadenanthera</i> , <i>Asteraceae</i> , <i>Alternanthera</i> , <i>M. verrucosa</i> , <i>Myrcia</i> , <i>C. nucifera</i> , <i>Astrocaryum aculeatissimum</i> , <i>Rubiaceae</i> , <i>Eucalyptus</i> dan <i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	54,90–82,80	7,90–32,20			Brazil	de Melo et al. (2018a)
<i>Mimosa scabrella</i> (dried pollen), <i>Myrcia</i> , <i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> , <i>Cocos nucifera</i> , <i>Anadenanthera</i> dan <i>Alternanthera</i> .	18,50–45,00	4,50–9,90	3,20–13,50	1,90–3,60		
Multi-floral (commerical pollen)	37,70–44,10	14–24	2,50–6	1,80–2,10	Columbia, Italy and Spain	Gardana et al. (2018)
Multi-floral (fresh pollen), <i>Brassica napus</i> , <i>Coriandrum sativum</i> , <i>Cocos nucifera</i>	6,16–42,33	19,63–25,39	7,14–12,38	2,27–3,45	India	Thakur and Nanda (2018a)

<i>Brassica</i> sp,	23,31–	13,16–			Romani	Spulber
<i>Carduus</i> sp.,	48,63	24,14			a	et al.
<i>Helianthus annuus</i> ,			1,33–	1,34–		(2018)
<i>Prunus</i> L. sp., and multi-floral (fresh pollen)			5,47	2,81		

Selain itu, jenis kandungan gula yang terdapat dalam bee pollen juga berbeda. Beberapa kandungan gula dalam serbuk bee pollen dalam beberapa penelitian disajikan pada tabel 3.

Tabel 3. Kandungan Gula dalam Bee Pollen dari Beberapa Negara

Komponen	Asal tumbuhan	Kandungan (g) /100 gram	Asal geografis	Referensi
Fruktosa	<i>Brassica napus</i> L., <i>Medicago sativa</i> L.	17 – 21,4	Tuscany, Italy	Taha (2015)
Glukosa	<i>Zea mays</i> L.	7,0–21,9	Thailand	Chantarudee et al. (2012)
Sukrosa	<i>Cucurbita pepo</i> Thunb, <i>Phoenix</i> <i>dactylifera</i> L., <i>Helianthus annuus</i> L., <i>Brassica napus</i> L., <i>Medicago sativa</i> L.	14–19,8	Italy	Taha (2015)
Maltosa	<i>Zea mays</i> L.	0,8–3,2	Thailand	Chantarudee et al. (2012)
Erlose	<i>Zea mays</i> L.	0,1–0,2	Spanyol	Serra and
Raffinose Raf	<i>Zea mays</i> L.	0,1–0,3	Barat	Jorda (1997)
Melezitose	<i>Zea mays</i> L.	0,1–0,6		
Mel				
Isomaltose Iso	<i>Zea mays</i> L.	0,1–0,4		
Trehalose Tre	<i>Zea mays</i> L.	0,1–0,2		

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat kandungan terbesar gula terdapat pada komponen karbohidrat fruktosa dibandingkan jenis gula lainnya. Adapaun perbedaan kandungan karbohidrat dan gula pada bee pollen dari berbagai negara dipengaruhi oleh kondisi pertumbuhan, spesies tanaman dan proses pemanenan (Taha, 2015)

Protein dan Asam Amino

Kandungan protein pada bee pollen menempati kedudukan kedua setelah karbohidrat dengan total 20 asam amino esensial dalam serbuk sari lebah kering (Da Silva et al., 2014). Bee pollen pada setiap negara memiliki kandungan protein yang berbeda-beda tergantung pada sumber tumbuhan (Tabel 2). Kandungan protein pada bee pollen berkisar antara 4 – 32%. Kandungan protein yang besar menunjukkan bahwa bee pollen

merupakan sumber makronutrien yang penting bagi tubuh (Campos, Frigerioc, Lopes, & Bogdanov, 2010). Asam amino yang terdapat dalam bee pollen diantaranya yaitu histisin, arserin, karnosin, histamine, isoleuin, lisin dan prolin (Peachey et al., 2018)

Lipid dan Asam Lemak

Lipid merupakan kandungan terbesar ketiga setelah karbohidrat dan protein. Kandungan lipid dalam bee pollen ditentukan oleh spesies pertumbuhannya (Orzáez et al., 2002). Kandungan lipid dalam bee pollen berkisar antara 1-30%. Kandungan lipid dari beberapa penelitian disajikan pada tabel 2. Kandungan terbesar lipid umumnya adalah sterol, karotenoid dan trigliserida (Sattler et al. al., 2015). Kualitas lemak ditentukan oleh kadar asam lemak. Asam lemak dalam bee pollen memiliki sifat antibacterial dan antijamur seperti asam linoleate, asam linolenat dan asam mirisat (Dong, Yang, Wang, & Zhang, 2015). Asam lemak esensial yang terdapat dalam bee pollen juga berfungsi sebagai antioksidan, pencegahan penyakit serta mendukung proses pertumbuhan, perkembangan dan meningkatkan fungsi otak (Perini et al., 2010). Bee pollen juga berfungsi dalam mengurangi penyerapan kolsterol karena dalam bee pollen terdapat sterol (β -sitosterol) dan fosfolipid.

Serat

Serat makanan adalah komponen karbohidrat kompleks yang tidak dapat disintesis oleh enzim pencernaan, tetapi dapat dicerna oleh mikro bakteri pencernaan. Serat pangan dibedakan menjadi serat larut dan serat tak larut. Serat tidak larut berfungsi dalam meningkatkan system pencernaan sedangkan serat larut berfungsi dalam menurunkan kadar glukosa dan kadar kolesterol. Serat ditemukan dalam bagian luar bee pollen. Serat ini diantaranya adalah pectin, hemiselulosa, selulosa dan spropollenin. Kandungan serat pangan yang direkomendasikan berkisar pada 17 hingga 31% (Yang et al., 2013). Kandungan serat larut dalam bee pollen umumnya lebih besar dibandingkan serat tidak larut.

Tabel 4. Kandungan Serat Bee Pollen

Asal tumbuhan	Kandungan Serat (%)	Asal geografis	Referensi
<i>Brassicaceae, Castanea sativa, Hedera helix, Fagopyrum esculentum,</i> and multi-floral (fresh pollen)	10,10–21,37	Slovenia	Bertoncelj et al. (2018)
<i>Actinidia arguta</i> and <i>Quercus</i> (dried pollen)	3,1–4,2	Korea	Ghosh and Jung (2017)
dried pollen	9,30–13,65	Brazil	Rebelo et al. (2016)

<i>Cucurbita pepo</i> Thunb, <i>Phoenix dactylifera</i> , <i>Helianthus annuus</i> , <i>Brassica napus</i> and <i>Medicago sativa</i> (dried pollen)	0,15–1,70	Saudi Arabia	Taha (2015)
Multi-floral (dried pollen)	7,8–18,1	Kolombia	Fuenmayor et al. (2014)
<i>Cocos nucifera</i> , <i>Coriandrum sativum</i> , <i>Brassica napus</i> and multi-floral (fresh pollen)	3,05–4,31	India	Thakur and Nanda (2018a)

Mineral

Mineral merupakan senyawa kimia nonorganik yang diperlukan oleh tubuh. Mineral dibedakan menjadi dua yaitu makro mineral dan mikro mineral. Kelompok makro mineral berfungsi untuk menjaga kepadatan tulang, komponen pembentuk enzim dan sel, mengatur tekanan darah serta menjaga keseimbangan air dalam tubuh contohnya seperti fosfor, kalsium, magnesium dan natrium. Sedangkan jenis mikro mineral berfungsi untuk mengatur metabolisme tubuh, regenerasi sel serta mengatur kadar glukosa darah, contohnya seperti yodium, mangan, selenium dan kromium (Quintana & Diez-Garcia, 2015). Kandungan mineral yang terdapat dalam abu berkisar pada 2,5 hingga 6,5 persen (Thakur et al., 2020). Beberapa kandungan mineral yang terdapat dalam bee pollen jumlahnya berbeda hal ini tergantung pada sumber bunga dan negara (Tabel 2). Selain itu, faktor yang mempengaruhi kandungan abu dalam bee pollen diantaranya yaitu spesies botani, asal geografis, iklim, dan tanah (Carpes, 2009).

Vitamin

Vitamin berperan penting dalam proses metabolisme dan sintesis kofaktor vital. Komponen utama vitamin dalam bee pollen yaitu vitamin B seperti tiamin, riboflavin, niasin, asam pantotenat dan piridoksin. Selain itu, vitamin A dalam bee pollen merupakan antioksidan yang sangat baik, Vitamin C dan Vitamin E (alfa tocopherol). Vitamin yang terkandung dalam bee pollen memiliki kandungan yang berbeda tergantung pada asal tumbuhan dan asal serbuk sari (Arruda et al., 2013)

POTENSI AKTIF FLAVONOID SEBAGAI ANTIOKSIDAN

Komponen Flavonoid

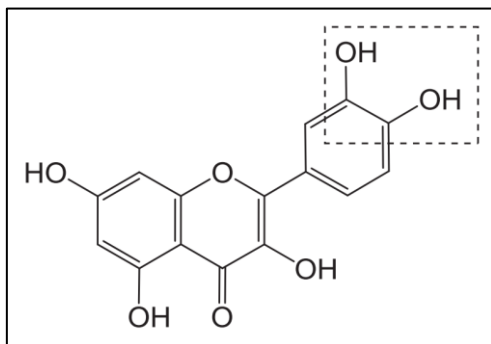
Flavonoid atau Flavus yang berarti kuning merupakan tumbuhan sekunder dimana memiliki pigmen warna antosianin (Winkel-Shirley, 2001). Dari sifat fisiologisnya, flavonoid merupakan komponen penting pada makanan, walaupun bukan merupakan sebagai nutrisi.

Flavonoid merupakan kelompok senyawa polifenol yang paling umum dalam makanan. Senyawa ini memiliki manfaat dalam aktivitas farmakologis (bidang farmasi)

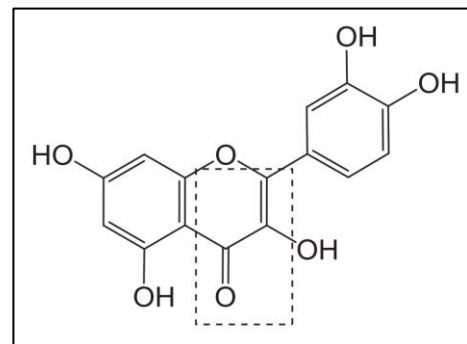
tertentu dalam studi *in vitro*, diantaranya sebagai anti alergi, anti inflamasi, antioksidan, anti mikroba, anti kanker dan anti diare (Ares *et al.*, 2018). Saat ini, minat pada kesehatan meningkat, karena sebagian besar karena berpotensi sebagai antioksidan dan gratis terhadap pengikatan radikal bebas yang diamati secara *in-vitro* (Procházková, Boušová and Wilhelmová, 2011). Antioksidan pada umumnya didefinisikan dalam berbagai cara, tergantung metode yang digunakan pada penentuan aktivitas antioksidan. Peran fisiologis pada pada senyawa flavonoid untuk mencegah kerusakan komponen seluler yang timbul akibat reaksi kimia yang berkaitan dengan radikal bebas (Zampelas and Micha, 2015). Kandungan flavonoid banyak ditemukan pada vitamin E dan Vitamin C (Prior and Cao, 2000). Flavonoid dapat mengikat radikal bebas dengan 8 mekanisme sebagai berikut :

1) Pengikatan dilakukan langsung kepada oksigen reaktif (ROS) (Procházková, Boušová and Wilhelmová, 2011)

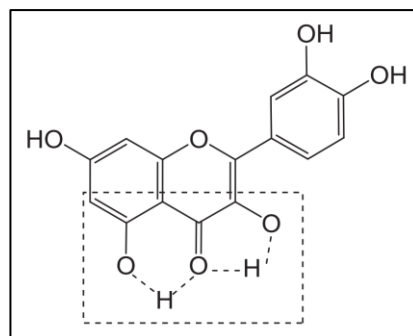
Struktural utama yang digunakan oleh senyawa flavonoid pengikatan radikal bebas yang efisien dapat dilihat sebagai berikut. 1) Pada struktur katekol (anortho-dihydroxy) yaitu yang terdapat di cincin B, untuk delokalissi. elektron (Gambar 2.) 2) 2,3-ikatan rangkap dalam konjugasi dengan fungsi 4-okso dalam cincin C memberikan delokalisasi electron dari cincin B. (Gambar 3) 3) Pada gugus hidroksil posisi 3 dan 5 menghasilkan hydrogen ikatan dengan kelompok okso (Gambar 4.).



Gambar 2. Struktur Katekol (anortho-dihydroxy) di cincin B



Gambar 3. 2,3-Ikatan Rangkap dalam Konjugasi dengan Fungsi 4-Okso dalam Cincin C



Gambar 4. Hidroksil Posisi 3 dan 5 menghasilkan Hydrogen Ikatan dengan Kelompok Okso

2) Aktivasi enzim antioksidan (Robert J Nijveldt, Els van Nood, Danny EC van Hoorn, Petra G Boelens, Klaske van Norren, 2001)

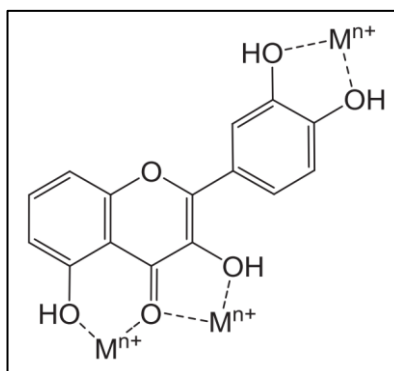
Flavonoid dapat menginduksi enzim detoksifikasi fase II (misalnya pada NAD(P)H-kuinon oksidoreduktase, glutathione Stransferase, dan UDP-glukuronosil transferase), yang merupakan pertahanan enzim yang utama terhadap racun elektrofilik dan pemicu oksidatif. Aturan ekspresi gen pelindung ini dapat dimediasi oleh elemen responsif elektrofili atau EpRE, yang merupakan urutan aturan sejumlah gen pengkodean pada enzim fase II (Zhu and Fahl, 2001; Nerland, 2007)

Kemampuan flavonoid untuk mengaktifkan respons yang bermedia EpRE (elemen responsif elektrofili) berkorelasi dengan sifat redoksnya. Lee-Hilz *et al.* (Lee-Hilz *et al.*, 2006) mengamati bahwa aktivasi gen pemicu luciferase Hepa-1c1c7 sel hepatoma pada tikus setelah diinduksi dengan flavonoid dari struktur yang berbeda. Induksi paling efektif yaitu flavonoid yang mengandung gugus hidroksil pada posisi ke - 3 didalam cincin C (quercetin dan myricetin), sedangkan flavonoid kelompok hidroksil saja (luteolin dan galangin) penginduksi luciferase yang rendah. Hal ini dikarenakan, flavonoid dengan kandungan yang lebih tinggi berpotensi untuk menghasilkan pemicu oksidatif dan siklus redoks adalah penginduksi paling kuat dari gen yang bermedia EpRE (elemen responsif elektrofili).

3) Aktivitas pengkelat logam (Prior and Cao, 2000)

Flavonoid mempunyai sifat yang spesifik sebagai pegkelat logam besi dan tembaga, dengan demikian dapat menghilangkan faktor penyebab terjadinya radikal bebas. Quercetin mampu mencegah oksidatif yang diinduksi dalam membran eritrosit dengan sejumlah zat pengoksidasi (misalnya akrolein dan fenilhidrazin), yang dapat menyebabkan pelepasan besi dalam bentuk aktif redoks bebasnya (Procházková, Boušová and Wilhelmová, 2011).

Pietta (Pietta, 2000), menjelaskan pada penelitiannya bahwasanya pengikatan logam pada molekul flavonoid adalah pada bagian katekol di Cincin B, gugus 3-hidroksil dan 4-okso di cincin heterosiklik C, dan gugus 4-okso dan 5-hidroksil antara cincin C dan A (Gambar 5.)



Gambar 5. Bagian Pengikatan Logam Pada Molekul Flavonoid

Bagian katekol di cincin B merupakan yang penting untuk Cu^{2+} sebagai struktur pengkelat logam, dan dengan demikian dapat dinyatakan sebagai kontributor utama pada pengkelat logam. Khususnya quercetin, dikenal mempunyai sifat pengkelat zat besi dan penstabil zat besi. Morin dan quercetin, membentuk kompleks dengan Cd (II) dan menunjukkan aktivitas antioksidan yang kuat dalam studi *in vitro*. Senyawa tersebut larut dalam larutan sulfonat dan turunannya memiliki toksisitas rendah maka dapat berpotensi untuk sebagai penawar dalam keracunan kadmium (Szelag *et al.*, 2003; Chlebda *et al.*, 2010)

4) Reduksi radikal α -tokoferol (Hirano R, Sasamoto W, Matsumoto A, Itakura H, Igarashi O, 2001; Heim, Tagliaferro and Bobilya, 2002)

α -tokoferol merupakan antioksidan utama dalam sel membran dan lipoprotein yang memiliki kepadatan rendah (LDL) yang melindungi partikel lipoprotein dari kerusakan oksidatif. Hirano *et al.* (Hirano R, Sasamoto W, Matsumoto A, Itakura H, Igarashi O, 2001) mengemukakan pada penelitiannya bahwa flavonoid dapat berfungsi sebagai donor radikal tokoferil. Interaksi dengan radikal-tokoferil berpotensi untuk penundaan terjadinya oksidasi LDL. Flavonoid (kaempferol, morin, myricetin dan quercetin) menunjukkan aktivitas perlindungan yang bervariasi terhadap α -tokoferol di LDL, menggunakan kaempferol dan morin lebih efektif daripada myricetin dan quercetin (Zhu, Huang and Chen, 2000)

5) Penghambatan oksidase (Heim, Tagliaferro and Bobilya, 2002)

Flavonoid merupakan penghambat enzim yang responsive terhadap produksi superoksida (O_2^-) seperti xantin oksidase dan protein kinase C. Flavonoid juga terbukti menghambat siklooksigenase, lipoksigenase, suksinoksidase mikrosomal dan NADH oksidase. Enzim ini memfosforilasi subunit p47phox dari NADPH oksidase, merupakan sebuah kunci dalam komponen enzim. Penghambatan protein kinase C. dapat menjadi mekanisme penghambatan NADPH oksidase oleh quercetin (Procházková, Boušová and Wilhelmová, 2011).

6) Mitigasi oksidatif, yang disebabkan oleh oksidasi nitrat (Prior and Cao, 2000)

Nitrit Oksida (NO) penting dalam mempertahankan dilatasi pembuluh darah, tetapi memiliki konsentrasi yang tinggi yang dapat menyebabkan kerusakan oksidatif. NO diproduksi oleh oksidasi L-argininedikatalisis oleh NO Synthases (NOS). Flavonoid menggunakan aktivitas penghambatan produksi NO dan kultur sel yang mengaktifkan lipopolisakarida. Efek ini kemungkinan dikarenakan flavonoid efek penghambatan pada ekspresi NOS yang diinduksi (Matsuda *et al.*, 2003).

7) Peningkatan kadar urat plasma (Lotito and Frei, 2006)

Ada perbedaan antara kapasitas antioksidan dan plasma konsentrasi flavonoid. Pada penelitian (Lotito and Frei, 2006), menyatakan bahwa peningkatan besar dalam kapasitas antioksidan total plasma. Peningkatan yang signifikan dalam plasma atau serum urate setelah konsumsi stroberi, bayam atau anggur merah (Maxwell, 2000). Oleh karena itu beberapa penelitian mengungkapkan bahwa mengkonsumsi makanan yang kaya akan kandungan flavonoid urat plasma meskipun hal yang dasarnya masih belum jelas dan disisi lain beberapa penelitian mengungkapkan bahwa flavonoid memiliki manfaat sebagai antioksidan (Heilig, 2005)

8) Peningkatan sifat antioksidan molekul rendah antioksidan (Yeh *et al.*, 2005)

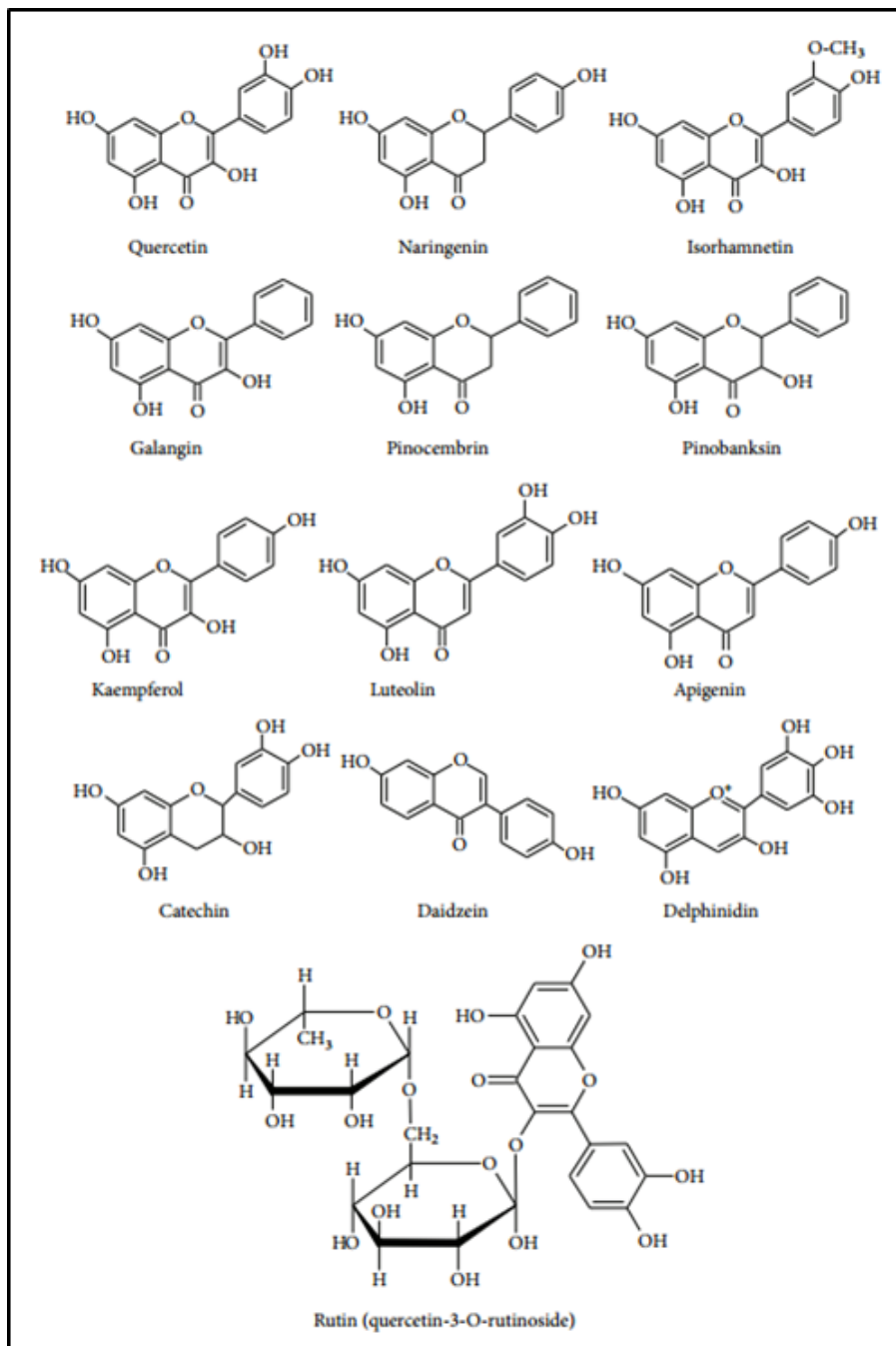
Flavonoid memiliki struktur polifenol yang terdiri dari beberapa sub kelompok seperti flavon, flavonol, flava-nonesflavanonol, flavanol (katekin), antosianin, andkalkon, serta isoflavon dan neoflavonoid. Subgrup yang paling terkenal adalah senyawa yang mengandung kerangka benzo- γ -pyrone. Flavonoid sering terjadi dalam bentuk sisi gliko, di mana memainkan peran aglikon yang dihubungkan oleh ikatan aglikosidik dengan gugus karbohidrat (Rzepecka-Stojko *et al.*, 2015; Panche, Diwan and Chandra, 2016). Adanya kelompok fenol dalam molekul flavonoid memberikan aktivitas antiradikal terlebih karena radikal yang terbentuk diikat dan distabilkan dengan cara di resonansi (Arct and Pytkowska, 2008). Contoh dari flavonoid dan glikosida yang ditemukan dalam produk lebah terdapat pada Gambar 6.

Dalam suatu penelitian ekstrak bee pollen digunakan sebagai pengganti bahan mentah dikarenakan mengandung sejumlah komponen bioaktif yang lebih tinggi (Denisow and Denisow-Pietrzyk, 2016). Tetapi untuk menentukan pelarut dari ekstraksi tersebut memiliki polaritas yang berbeda dan mempengaruhi komposisi ekstrak yang diperoleh karena produk dari lebah memiliki struktur yang beragam dan sementara itu baik hidrofilik lebih baik larut dalam pelarut polar, seperti alkohol, dan memiliki sifat hidrofobik menunjukan afinitas ke pelarut non polar seperti hidrokarbon. Sifat ekstraksi sangat tidak bergantung hanya pada pelarut saja melainkan harus melihat kondisi ekstraksi, seperti waktu dan suhu (Kim *et al.*, 2015; Zuluaga *et al.*, 2016).

Telah diketahui bahwa bee pollen mengandung flavonoid di dalamnya. Untuk mendapatkan kandungan flavonoid biasanya dilakukan proses ekstraksi menggunakan instrument UV-Vis dengan melalui uji kolorimetri alumunium triklorida ($AlCl_3$) dapat dilihat pada Tabel 5 (Ares *et al.*, 2018).

Tabel 5. Aplikasi Analisis Komponen Flavonoid dalam Sampel Bee Pollen

Komponen	Sumber Tumbuhan (Negara)	Perlakuan Sampel	Metode	Referensi
TFC (Flavonoid Komponen Total)	[1] Portugal	Alumunium Triklorida ($AlCl_3$)	UV – Vis	[1] (Feas <i>et al.</i> , 2012; Pascoal <i>et al.</i> , 2014)
	[2] Spanyol			[2] (Pascoal <i>et al.</i> , 2014)
	[3] Brazil			[3] (Bárbara <i>et al.</i> , 2015)
	[4] Rape (<i>Brassica napus L.</i>) (China)			[4] (Sun <i>et al.</i> , 2017)
	[5] <i>Chesnut</i> (<i>Castanea sativa</i>) (Italia)			[5] (Canale <i>et al.</i> , 2016)
	[6] <i>NS (Not Spesific)</i> (Lithuania)			[6] (Adaškevičiūtė <i>et al.</i> , 2019)



Gambar 6. Contoh dari Flavonoid dan Glikosida yang Ditemukan dalam Produk Lebah
Sumber : (Arct and Pytkowska, 2008).

Hubungan antara Kandungan Antioksidan dengan Kandungan Lainnya pada Bee Pollen

Menurut Sousa *et al.* (Sousa *et al.*, 2015) flavonoid bertindak sebagai antioksidan dan prooksidan dalam bentuk tereduksi dan teroksidasi, sedangkan untuk antosianin memiliki sifat sebagai prooksidan tergantung pada jenis tanaman dan kondisi lingkungan seperti tanah dan iklim. Beberapa peneliti menghubungkan efek kelembaban menyebabkan penurunan konsentrasi antioksidan (Negri *et al.*, 2011).

Pada penelitian Leblanc *et al.* (2019) bahwa bee pollen jenis *Pyrus communis* memiliki kandungan flavonol 1349 mg / 100 g, namun pada jenis *Lamium purpureum* memiliki kandungan 171 g / 100 g (Leja *et al.*, 2007). Sampel bee pollen yang berbeda dikumpulkan di Brazil dalam periode Sembilan bulan memiliki kandungan flavonoid yang berbeda tergantung pada waktu panen dan jenis serbuk sari yang dominan (Freire *et al.*, 2012).

REKOMENDASI PENELITIAN SELANJUTNYA

Bee pollen belum banyak dikenal dibandingkan dengan madu. Oleh karena itu pemerintah atau industri pangan perlu mengembangkan dan memperkenalkan bee pollen kepada masyarakat mengingat kandungan yang terdapat dalam bee pollen sangat baik bagi kesehatan. Diperlukan studi lebih lanjut untuk meningkatkan nilai fungsional bee pollen sebagai suplemen alami bagi tubuh agar produk bee pollen dapat diterima oleh masyarakat luas. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa kandungan flavonoid yang terdapat dalam bee pollen berperan sebagai antioksidan sehingga studi lebih lanjut mengenai potensi aktif bee pollen perlu dilakukan.

KESIMPULAN

Bee pollen merupakan hasil dari serbuk sari bunga, yang dikumpulkan oleh lebah dan dicampur dengan nektar (kelenjar ludah) dari lebah. Bee pollen mengandung nutrisi yang tinggi vitamin A, D, E, K, C, B5, B3, mineral, polifenol, karotenoid, lipid, protein, karbohidrat, serta kaya akan asam amino dan asam lemak esensial yang berbeda pada setiap asal geografis dan spesies lebah. Senyawa bioaktif flavonoid pada bee pollen berfungsi sebagai antioksidan sebagai penangkal radikal bebas. Flavonoid dapat diperoleh menggunakan metode UV – Vis. Kandungan flavonoid pada bee pollen bervariasi bergantung pada jenis tanaman, kondisi lingkungan seperti tanah dan iklim serta pelarut yang digunakan pada saat ekstraksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adaškevičiūtė, V. *et al.* (2019) 'Comparison of physicochemical properties of bee pollen with other bee products', *Biomolecules*, 9(12), pp. 1–22. doi: 10.3390/biom9120819.
- Arct, J. and Pytkowska, K. (2008) 'Flavonoids as components of biologically active cosmeceuticals', *Clinics in Dermatology*, 26(4), pp. 347–357. doi: 10.1016/j.clindermatol.2008.01.004.
- Ares, A. M. *et al.* (2018) 'Extraction and determination of bioactive compounds from bee pollen', *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. Elsevier B.V., 147, pp. 110–124. doi: 10.1016/j.jpba.2017.08.009.
- Arruda, V. A. S. D., Pereira, A. A. S., Freitas, A. S. D., Barth, O. M., & Almeida-Muradian, L. B. D. (2013). Dried bee pollen: B complex vitamins, physicochemical and botanical composition. *Journal of Food Composition & Analysis*, 29(2), 100–105.
- Bárbara, M. S. *et al.* (2015) 'Microbiological assessment, nutritional characterization and

- phenolic compounds of bee pollen from *Mellipona mandacaia* Smith, 1983', *Molecules*, 20(7), pp. 12525–12544. doi: 10.3390/molecules200712525.
- Bertoncelj, J., Polak, T., Pucihar, T., Lilek, N., Kandolf Borovšak, A., & Korošec, M. (2018). Carbohydrate composition of Slovenian bee pollens. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(8), 1880–1888. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13773>.
- Campos, M. G. R., Frigerio, C., Lopes, J., & Bogdanov, S. (2010). What is the future of beepollen? *Journal of ApiProduct and ApiMedical Science*, 2, 131–144. <https://doi.org/10.3896/IBRA.4.02.4.01>.
- Carpes, S. T., Mourao, G. B., De Alencar, S. M., & Masson, M. L. (2009). Chemical composition and free radical scavenging activity of *Apis mellifera* bee-pollen from Southern Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 12, 220–229. <https://doi.org/10.4260/BJFT2009800900016>.
- Canale, A. *et al.* (2016) 'Microwave-assisted drying for the conservation of honeybee pollen', *Materials*, 9(5). doi: 10.3390/ma9050363.
- Chlebda, E. *et al.* (2010) 'Influence of water-soluble flavonoids, quercetin-5'-sulfonic acid sodium salt and morin-5'-sulfonic acid sodium salt, on antioxidant parameters in the subacute cadmium intoxication mouse model', *Experimental and Toxicologic Pathology*, 62(2), pp. 105–108. doi: 10.1016/j.etp.2009.02.118.
- Chantarudee, A., Phuwapraisirisan, P., Kimura, K., Okuyama, M., Mori, H., Kimura, A., & Chanchao, C. (2012). Chemical constituents and free radical scavenging activity of corn pollen collected from *Apis mellifera* hives compared to floral corn pollen at Nan, Thailand. *BMC Complementary & Alternative Medicine*, 12(1), 45.
- De-Melo, A. A. M. *et al.* (2016) 'Effect of processing conditions on characteristics of dehydrated bee-pollen and correlation between quality parameters', *LWT - Food Science and Technology*. Elsevier Ltd, 65, pp. 808–815. doi: 10.1016/j.lwt.2015.09.014.
- Denisow, B. and Denisow-Pietrzyk, M. (2016) 'Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review', *Journal of the science of food and agriculture*, 96(13), pp. 4303–4309. doi: 10.1002/jsfa.7729.
- Duarte, A. W. F., Vasconcelos, M. R. D. S., Oda-Souza, M., Oliveira, F. F. D., & Lopez, A. M. Q. (2018). Honey and bee pollen produced by *Meliponini* (Apidae) in Alagoas, Brazil: Multivariate analysis of physicochemical and antioxidant profiles. *Food Science and Technology*, 38(3), 493–503. <https://doi.org/10.1590/fst.09317>.
- Feas, X. *et al.* (2012) 'Organic bee pollen: Botanical origin, nutritional value, bioactive compounds, antioxidant activity and microbiological quality', *Molecules*, 17(7), pp. 8359–8377. doi: 10.3390/molecules17078359.
- Freire, K. R. L. *et al.* (2012) 'Palynological Origin, Phenolic Content, and Antioxidant Properties of Honeybee-Collected Pollen from Bahia, Brazil', pp. 1652–1664. doi: 10.3390/molecules17021652.
- Fuenmayor, B., Zuluaga, D., Diaz, M., Quicazan de C, M., Cosio, M., & Mannino, S. (2014). Evaluation of the physicochemical and functional properties of Colombian bee pollen. *Revista MVZ Córdoba*, 19, 4003–4014.
- Futui, W. and Thongwai, N. (2020) 'Antimicrobial and Antioxidant Activities, Total Phenolic and Flavonoid Contents of Bee Pollen Crude Extracts', *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 10(1), pp. 42–48. doi: 10.17706/ijbbb.2020.10.1.42-48.

- Gardana, C., Del Bo, C., Quicazan, M. C., Correa, A. R., & Simonetti, P. (2018). Nutrients, phytochemicals and botanical origin of commercial bee pollen from different geographical areas. *Journal of Food Composition and Analysis*, 73, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.07.009>.
- Ghosh, S., & Jung, C. (2017). Nutritional value of beecollected pollens of hardy kiwi, *Actinidiaarguta* (*Actinidiaceae*) and oak, *Quercus* sp. (*Fagaceae*). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20, 245–251. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.01.009>.
- Graikou, K. *et al.* (2011) 'Chemical analysis of Greek pollen - Antioxidant, antimicrobial and proteasome activation properties', *Chemistry Central Journal*, 5(1), pp. 7–9. doi: 10.1186/1752-153X-5-33.
- Heilig, A. (2005) *Dietary supplements*, *Encyclopedia of Toxicology*. doi: 10.1016/B0-12-369400-0/00322-7.
- Heim, K. E., Tagliaferro, A. R. and Bobilya, D. J. (2002) 'Flavonoid antioxidants: Chemistry, metabolism and structure-activity relationships', *Journal of Nutritional Biochemistry*, 13(10), pp. 572–584. doi: 10.1016/S0955-2863(02)00208-5.
- Hirano R, Sasamoto W, Matsumoto A, Itakura H, Igarashi O, K. K. (2001) 'Antioxidant ability of variousflavonoids against DPPH radicals and LDL oxidation. J Nutr Sci Vitaminol', *J Nutr Sci Vitaminol*, 47, pp. 357–362.
- Isik, A., Ozdemir, M., & Doymaz, I. (2019). Effect of hot air drying on quality characteristics and physicochemical properties of bee pollen. *Food Science and Technology*, 39, 224–231. <https://doi.org/10.1590/fst.02818>.
- Kieliszek, M. *et al.* (2017) 'Pollen and bee bread as new health-oriented products: A review', *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.tifs.2017.10.021.
- Kim, S. B. *et al.* (2015) 'Optimization of extraction condition of bee pollen using response surface methodology: Correlation between anti-melanogenesis, antioxidant activity, and phenolic content', *Molecules*, 20(11), pp. 19764–19774. doi: 10.3390/molecules201119656.
- Kocot, J. *et al.* (2018) 'Antioxidant potential of propolis, bee pollen, and royal jelly: Possible medical application', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018. doi: 10.1155/2018/7074209.
- Leblanc, B. W. *et al.* (2009) 'Antioxidant activity of Sonoran Desert bee pollen', *Food Chemistry*. Elsevier Ltd, 115(4), pp. 1299–1305. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.055.
- Lee-Hilz, Y. Y. *et al.* (2006) 'Pro-oxidant activity of flavonoids induces EpRE-mediated gene expression', *Chemical Research in Toxicology*, 19(11), pp. 1499–1505. doi: 10.1021/tx060157q.
- Leja, M. *et al.* (2007) 'Antioxidative properties of bee pollen in selected plant species', *Food Chemistry*, 100(1), pp. 237–240. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.09.047.
- Lotito, S. B. and Frei, B. (2006) 'Consumption of flavonoid-rich foods and increased plasma antioxidant capacity in humans: Cause, consequence, or epiphenomenon?', *Free Radical Biology and Medicine*, 41(12), pp. 1727–1746. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2006.04.033.
- Maruyama, H. *et al.* (2010) 'Anti-inflammatory effect of bee pollen ethanol extract from *Cistus* sp . of Spanish on carrageenan-induced rat hind paw edema'.

- Matsuda, H. *et al.* (2003) 'Structural requirements of flavonoids for nitric oxide production inhibitory activity and mechanism of action', *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 11(9), pp. 1995–2000. doi: 10.1016/S0968-0896(03)00067-1.
- Maxwell, S. (2000) 'Impact of red wine on antioxidant status in vivo', pp. 1482–1485. doi: 10.1053/euhj.2000.2156.
- Mohdaly, A. A. A. *et al.* (2015) 'Phenolic Extract from Propolis and Bee Pollen: Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities', *Journal of Food Biochemistry*, 39(5), pp. 538–547. doi: 10.1111/jfbc.12160.
- Negri, G. *et al.* (2011) 'Hydroxycinnamic acid amide derivatives, phenolic compounds and antioxidant activities of extracts of pollen samples from Southeast Brazil', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), pp. 5516–5522. doi: 10.1021/jf200602k.
- Nerland, D. E. (2007) 'THE ANTIOXIDANT / ELECTROPHILE RESPONSE Donald E. Nerland', pp. 235–248. doi: 10.1080/03602530601125000.
- Orzáez, M.T., Villanueva, A. Díaz Marquina, R. Bravo Serrano, G. BlazquezAbellán, The importance of bee-collected pollen in the diet: a study of its composition, *Int. J. Food Sci. Nutr.* 53 (2002) 217–224.
- Panche, A. N., Diwan, A. D. and Chandra, S. R. (2016) 'Flavonoids: An overview', *Journal of Nutritional Science*, 5. doi: 10.1017/jns.2016.41.
- Pascoal, A. *et al.* (2014) 'Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and anti-inflammatory', *Food and Chemical Toxicology*. Elsevier Ltd, 63, pp. 233–239. doi: 10.1016/j.fct.2013.11.010.
- Peachey, B. L., Scott, E. M., & Gatlin, D. M., III (2018). Dietary histidine requirement and physiological effects of dietary histidine deficiency in juvenile red drum *Sciaenop ocellatus*. *Aquaculture*, 483, 244–251. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.10.032>
- Perveen, S. *et al.* (2019) 'Simultaneous identification of phenolic and flavonoid contents in bee pollen by HPLC-ESI-MS data .', 30(5), pp. 770–774.
- Pietta, P. G. (2000) 'Flavonoids as antioxidants', *Journal of Natural Products*, 63(7), pp. 1035–1042. doi: 10.1021/np9904509.
- Prior, R. L. and Cao, G. (2000) 'Antioxidant phytochemicals in fruits and vegetables: Diet and health implications', *HortScience*, 35(4), pp. 588–592. doi: 10.21273/hortsci.35.4.588.
- Procházková, D., Boušová, I. and Wilhelmová, N. (2011) 'Antioxidant and prooxidant properties of flavonoids', *Fitoterapia*, 82(4), pp. 513–523. doi: 10.1016/j.fitote.2011.01.018.
- Quintaes, K. D., & Diez-Garcia, R. W. (2015). The importance of minerals in the human diet. In M. de la Guardia, & S. Garrigues (Eds.). *Hand book of mineral elements in food* Chichester: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118654316.ch1>.
- Rebelo, K. S., Ferreira, A. G., & Carvalho-Zilse, G. A. (2016). Physicochemical characteristics of pollen collected by Amazonian stingless bees. *Ciência Rural*, 46(5), 927–932. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150999>
- Robert J Nijveldt, Els van Nood, Danny EC van Hoorn, Petra G Boelens, Klaske van Norren, and P. A. van L. (2001) 'Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications', pp. 418–425.

- Roldán, A. *et al.* (2011) 'Influence of pollen addition on mead elaboration: Physicochemical and sensory characteristics', 126, pp. 574–582. doi: 10.1016/j.foodchem.2010.11.045.
- Rzepecka-Stojko, A. *et al.* (2015) 'Polyphenols from Bee Pollen: Structure, absorption, metabolism and biological activity', *Molecules*, 20(12), pp. 21732–21749. doi: 10.3390/molecules201219800.
- Šarić, A. *et al.* (2009) 'Antioxidant effects of flavonoid from Croatian *Cystus incanus* L. rich bee pollen', *Food and Chemical Toxicology*, 47(3), pp. 547–554. doi: 10.1016/j.fct.2008.12.007.
- Sattler, J. A. G., de Melo, I. L. P., Granato, D., Araujo, E., de Freitas, A. D. S., Barth, O. M., & de Almeida-Muradian, L. B. (2015). Impact of origin on bioactive compounds and nutritional composition of bee pollen from southern Brazil. *Food Research International*, 77, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.013>.
- Silva, T. M. S. *et al.* (2009) 'Chemical composition, botanical evaluation and screening of radical scavenging activity of collected pollen by the stingless bees *Melipona rufiventris* (Uruçu-amarela)', 81, pp. 173–178.
- Sousa, C. *et al.* (2015) 'Effects of colored and noncolored phenolics of echium plantagineum L. bee pollen in caco-2 cells under oxidative stress induced by tert-butyl hydroperoxide', *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(7), pp. 2083–2091. doi: 10.1021/jf505568h.
- Spulber, R., Dogaroglu, M., Babeanu, N., & Popa, Ovidiu (2018). Physicochemical characteristics of fresh bee pollen from different botanical origins. *Romanian Biotechnological Letters*, 23, 13357–13365
- Sun, L. *et al.* (2017) 'Antioxidant and anti-tyrosinase activities of phenolic extracts from rape bee pollen and inhibitory melanogenesis by cAMP/MITF/TYR pathway in B16 mouse melanoma cells', *Frontiers in Pharmacology*, 8(MAR), pp. 1–9. doi: 10.3389/fphar.2017.00104.
- Szelag, A. *et al.* (2003) 'Assessment of efficacy of quercetin-5'-sulfonic acid sodium salt in the treatment of acute chromium poisoning: Experimental studies', *Polish Journal of Pharmacology*, 55(6), pp. 1097–1103.
- Taha, E. K. A. (2015). Chemical composition and amounts of mineral elements in honeybee-collected pollen in relation to botanical origin. *Journal of Apicultural Science*, 59(1), 75–81.
- Thakur, M., & Nanda, V. (2018). Assessment of physico-chemical properties, fatty acid, amino acid and mineral profile of bee pollen from India with a multivariate perspective. *Journal of Food & Nutrition Research*, 57(4), 328–340.
- Thakur, M. and Nanda, V. (2020) 'Composition and functionality of bee pollen: A review', *Trends in Food Science and Technology*, 98(November 2019), pp. 82–106. doi: 10.1016/j.tifs.2020.02.001.
- Vanderplanck, M. B. Leroy, B. Wathélet, R. Wattiez, D. Michez, Standardized protocol to evaluate pollen polypeptides as bee food source, *Apidologie* 45(2014) 192–204.
- Winkel-Shirley, B. (2001) 'Flavonoid biosynthesis. A colorful model', *Plant Physiology*, 126(June), pp. 485–493.

- Yang, K., Wu, D., Ye, X., Liu, D., Chen, J., & Sun, P. (2013). Characterization of chemical composition of bee pollen in China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(3), 708–718. <https://doi.org/10.1021/jf304056b>.
- Yeh, S. L. *et al.* (2005) 'Pro-oxidative effect of β -carotene and the interaction with flavonoids on UVA-induced DNA strand breaks in mouse fibroblast C3H10T1/2 cells', *Journal of Nutritional Biochemistry*, 16(12), pp. 729–735. doi: 10.1016/j.jnutbio.2005.03.012.
- Yerlikaya, O. (2014) 'Utjecaj dodatka pčelinjeg peluda na antimikrobna, kemijska, reološka i senzorska svojstva te preživaljavanje probiotika fermentiranih mliječnih napitaka', *Mljekarstvo*, 64(4), pp. 268–279. doi: 10.15567/mljekarstvo.2014.0406.
- Zampelas, A. and Micha, R. (2015) 'Antioxidants in health and disease', *Antioxidants in Health and Disease*, pp. 1–302. doi: 10.1201/b18539.
- Zhang, Y. *et al.* (2016) 'Antioxidant enzyme activities and lipid oxidation in rape (*Brassica campestris* L.) bee pollen added to salami during processing', *Molecules*, 21(11). doi: 10.3390/molecules21111439.
- Zhu, M. and Fahl, W. E. (2001) 'Functional characterization of transcription regulators that interact with the electrophile response element', *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 289(1), pp. 212–219. doi: 10.1006/bbrc.2001.5944.
- Zhu, Q. Y., Huang, Y. and Chen, Z. Y. (2000) 'Interaction between flavonoids and α -tocopherol in human low density lipoprotein', *Journal of Nutritional Biochemistry*, 11(1), pp. 14–21. doi: 10.1016/S0955-2863(99)00065-0.
- Zuluaga, C. *et al.* (2016) 'Effect of high pressure processing on carotenoid and phenolic compounds, antioxidant capacity, and microbial counts of bee-pollen paste and bee-pollen-based beverage', *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. Elsevier Ltd, 37, pp. 10–17. doi: 10.1016/j.ifset.2016.07.023.