

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tomat

2.1.1. Sejarah

Tomat termasuk ke genus *Lycopersicon*, tepatnya *L. esculentum*. Genus *Lycopersicon* dari keluarga Solanaceae dipercaya berasal dari teluk Amerika Selatan. Spesies ini berasal dari Amerika Selatan, terutama Peru dan Kepulauan Galápagos. Pada pertengahan abad ke-16, tomat dikenalkan ke Eropa. Ia dikenalkan sebagai buah yang cantik tetapi jarang dimakan, kecuali di Italia dan Spanyol. Buah ini diduga beracun seperti anggota keluarga lainnya, *the deadly nightshade*. Tomat kemudian dikenalkan kembali ke Amerika dari Eropa pada abad ke-18 dan dikonsumsi walaupun ia masih terdaftar sebagai tanaman beracun.¹⁶



Gambar 1.1. Tomat

<http://www.pcarrd.dost.gov.ph/commodities/velero/index.php>

Pada awalnya, dalam taksonomi, tomat ditempatkan di genus *Solanum* bersama dengan kentang dan diidentifikasi sebagai *Solanum lycopersicon*.

Kemudian namanya diubah menjadi *Lycopersicon esculentum*, *Lycopersicon* diambil dari istilah Yunani yang berarti “persik serigala,” dan *esculentum* berarti bias dimakan. Walaupun ada banyak kesamaan karakteristik antara kentang dan tomat, warna bunga (bunga tomat berwarna kuning dan bunga kentang berwarna violet) dan secara khusus bentuk dan pola bukaan putik-benang sari merupakan karakteristik yang membedakan keduanya.¹⁶

2.1.2. Taksonomi

Berikut taksonomi tomat:¹⁶

Divisi: Anthophyta

Kelas: Dicotyledons

Famili: Solanaceae

Genus: *Lycopersicon esculentum* Mill Tomato

Lycopersicon pimpinellifolium (L.) Millcurrant tomato

Lycopersicon esculentum var. *cerasiforme* cherry tomato

2.1.3. Kandungan nutrisi tomat

Tomat telah menarik banyak perhatian sejak diketahui bahwa pigmen merah pada tomat, likopen, merupakan antioksidan; dan buah ini juga mengandung jumlah substansial vitamin A asam askorbat, dan potassium. Mayoritas varietas tomat bervariasi dalam zat larut air dari 4.5–7.0%, yang mayoritas merupakan fruktosa atau glukosa. Asam sitrat adalah asam utama dalam jus tomat. Sejumlah besar senyawa

volatil diketahui muncul pada tomat, di antaranya karbonil, alkohol, ester, lakton, asetal, ketal, dan sulfur.¹⁶

Tabel 2.1. Komposisi Tomat Hijau dan Tomat Matang

Composition of Green and Ripe Tomato Fruit

Constituents	Green	Ripe
	%	
Water	93	94
Fat	0.2	0.2
(amount per 100 g)		
Protein, g	1.2	0.9
Carbohydrates, g	5.1	4.3
Fiber, g	0.5	0.8
Iron, g	0.5	0.5
Calcium, mg	13	7
Phosphorus, mg	28	23
Sodium, mg	13	8
Potassium, mg	204	207
Thiamin, mg	0.06	0.06
Riboflavin, mg	0.04	0.05
Niacin, mg	0.50	0.60
Ascorbic acid, mg	23.4	17.6
Vitamin B ₆ , mg	—	0.05
Energy, kcal	24	19
Vitamin A (IU)	1133	7600

Note: IU, international units.

Source: Lorenz, O.A., and D.N. Maynard. 1988. *Knott's Handbook for Vegetable Growers*. 3rd ed., John Wiley & Sons, New York.

Jones JB. *Tomato plant culture in the field, greenhouse, and home garden*. Boca Raton: CRC press; 1999.

Pada daftar komposisi tomat yang dijelaskan pada tabel 2.1, terlihat perbedaan kadar antara buah tomat hijau dan tomat matang. Perubahan yang timbul karena pematangan tomat di antaranya: Degradasi pati dan produksi glukosa dan fruktosa; hilangnya klorofil; sintesis pigmen, seperti beta karoten dan likopen; peningkatan pectin larut dari degradasi dan pelunakan dinding; produksi senyawa aroma dan rasa; peningkatan rasio asam sitrat dan asam malat; peningkatan asam glutamate; dan pemecahan alfa-tomatin alkaloid toksik.¹⁶

2.1.3.1. Likopen

Likopen disebut sebagai antioksidan paling kuat di dunia, yang dapat membantu mencegah perkembangan berbagai bentuk kanker, efeknya bervariasi menurut jenis kelamin dan tipe kanker. Sumber yang diketahui paling baik mengandung likopen adalah tomat matang atau produk tomat karena likopen dilepaskan dari tomat saat pemasakan. Tomat mentah memiliki sekitar satu perlima kandungan likopen dari kandungan tomat matang. Bagaimanapun, baik matang atau mentah, tomat masih merupakan sumber yang baik untuk antioksidan.¹⁶

2.1.3.2. Fenol

Konstituen lain pada tomat adalah fenol, yang merupakan senyawa dengan gugus hidroksil yang terikat pada cincin aromatic.^{1,6,7,10,16} Fenol yang banyak terdapat pada tomat adalah flavonoid.^{1,6,6,10} Kadar flavonol (salah satu jenis flavonoid) pada tomat juga tinggi dengan sampai dengan 98% flavonol total dikandung di kulit sebagai bentuk konjugasi dari quercetin and kaempferol.⁷ Selain flavonol, tomat juga banyak memiliki senyawa fenol lainnya, yaitu hidroksi sinamat.¹⁴ Penjelasan lebih lanjut tentang fenol akan dibahas di bagian II.2.

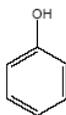
2.1.3.3. pH

Kisaran pH tomat adalah antara 4,0 dan 4,5. pH rata-ratanya adalah antara 4,3 dan 4,4. Ditemukan perubahan pH buah tomat sejak 1976. Hubungan antara pH dan kandungan padat (terutama gula) pada tomat berpengaruh signifikan pada rasa. Derajat kematangan juga merupakan factor yang mempengaruhi pH buah. Peran factor lain, seperti iklim, tanah, dan praktek pertanian, dapat merupakan factor signifikan.¹⁶

2.2. Senyawa Fenol

2.2.1. Definisi

Senyawa fenol adalah senyawa yang memiliki satu atau lebih gugus hidroksil yang terikat langsung dengan cincin aromatic. Fenol (C_6H_5OH), atau asam karbolat, adalah struktur yang mendasari semua golongan tersebut.^{4,17} Cincin aromatic dalam hal ini adalah benzena.⁴



Gambar 2.2. Gugus fenol

Vermerris W, Nicholson R. Phenolic compound biochemistry. Netherlands: Springer; 2006.

Fenol memiliki banyak kesamaan dengan alcohol dalam struktur alifatiknya, di mana gugus hidroksil terikat dengan sebuah rantai karbon. Namun, gugus hidroksil fenol dipengaruhi oleh adanya cincin aromatic. Karena cincin aromatic tersebut, hydrogen dari hidroksil fenol labil, yang membuat fenol bersifat asam lemah.^{17,18} Nilai pH 0,1 M fenol adalah 5,5. Ia lebih asam dari alcohol dan air tetapi kurang asam daripada asam asetat dan karbonat. Sehingga, fenol bereaksi dengan larutan sodium hidroksida untuk membentuk garam tetapi tidak bereaksi dengan sodium bikarbonat. Garam yang terbentuk disebut sodium fenoksida atau sodium fenolat.¹⁸

Polifenol adalah senyawa yang memiliki lebih dari satu gugus fenolik hidroksil yang terikat ke satu atau lebih cincin benzena. Istilah ini sering menimbulkan salah persepsi karena membuat orang menganggapnya sebagai polimer dari molekul-molekul fenol. Senyawa fenol merupakan karakteristik tanaman dan sebagai gugus mereka biasa ditemukan sebagai ester dan glikosida daripada sebagai senyawa bebas. Hal ini penting dipahami sebelum melakukan ekstraksi fenol dari jaringan tanaman.¹⁷

2.2.2. Klasifikasi

Istilah fenol meliputi kelompok senyawa kimia yang sangat besar dan bervariasi. Senyawa-senyawa ini dapat diklasifikasikan dalam beberapa cara. Harborne and Simmonds (1964) mengklasifikasikannya dalam kelompok berdasarkan jumlah karbon dalam senyawa. (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Klasifikasi Senyawa Fenol

Table 1-1. Classification of phenolic compounds

Structure	Class
C ₆	simple phenolics
C ₆ - C ₁	phenolic acids and related compounds
C ₆ - C ₂	acetophenones and phenylacetic acids
C ₆ - C ₃	cinnamic acids, cinnamyl aldehydes, cinnamyl alcohols
C ₆ - C ₃	coumarins, isocoumarins, and chromones
C ₁₅	chalcones, aurones, dihydrochalcones
C ₁₅	flavans
C ₁₅	flavones
C ₁₅	flavanones
C ₁₅	flavanonols
C ₁₅	anthocyanidins
C ₁₅	anthocyanins
C ₃₀	biflavonyls
C ₆ -C ₁ -C ₆ , C ₆ -C ₂ -C ₆	benzophenones, xanthenes, stilbenes
C ₆ , C ₁₀ , C ₁₄	quinones
C ₁₈	betacyanins
Lignans, neolignans	dimers or oligomers
Lignin	polymers
Tannins	oligomers or polymers
Phlobaphenes	polymers

Vermerris W, Nicholson R. Phenolic compound biochemistry. Netherlands: Springer; 2006.

Sebuah klasifikasi alternatif digunakan oleh Swain dan Bate-Smith (1962). Mereka membagi fenol dalam kategori “umum” dan “kurang umum”. Ribéreau-Gayon (1972) membagi fenol menjadi tiga kategori sebagai berikut:

1. Fenol terdistribusi luas – ada di semua tumbuhan atau penting pada tanaman spesifik tertentu
2. Fenol terdistribusi kurang luas– dalam jumlah terbatas
3. Konstituen fenol sebagai polimer.¹⁷

2.2.3. Senyawa fenol pada tomat

2.2.3.1. Flavonoid

Flavonoid adalah senyawa C₁₅ yang semuanya memiliki struktur C₆-C₃-C₆. Flavonoid dapat dibagi menjadi tiga kelas besar berdasarkan struktur umumnya. Pada masing-masing kelas, dua benzena terikat bersama dengan kelompok tiga karbon. Pengaturan dari kelompok C₃ ini menentukan bagaimana senyawa diklasifikasikan.¹⁷

a. Chalcones

Chalcones dan *dihydrochalcones* memiliki rantai C₃ linear yang menghubungkan kedua rantai. Rantai C₃ *chalcones* mengandung ikatan rangkap, semetara rantai C₃ *dihydrochalcones* tersaturasi.¹⁷

Chalcones, seperti butein, adalah pigmen kuning pada bunga. Sebagai contoh *dihydrochalcone* adalah phloridzin (phloretin-2'-O-D-glucoside), komponen yang ditemukan pada daun apel, dan yang dilaporkan memiliki aktivitas anti tumor.¹⁷

b. Aurones

Aurones dibentuk dengan siklisasi *chalcones*, kelompok meta-hidroksil bereaksi dengan α -karbon untuk membentuk 5 anggota heterosiklik *Aurones* juga merupakan pigmen kuning pada bunga.¹⁷

c. Flavonoid

Flavonoid khas, seperti flavanone memiliki enam anggota heterosiklik. Flavonoid memiliki cincin A, B, dan C, dan secara khas digambarkan dengan cincin A di sisi tangan kiri. Beberapa jenis flavonoid adalah flavanon, flavanonol, leucoanthosianidin, Flavon, Antosianidin, deoksiantosianidin dan antosianin.¹⁷

2.2.3.2. Asam sinamat

Ada enam asam sinamat yang umum, yang memiliki sebuah rangka C6 – C3. Semua tanaman kemungkinan memiliki paling sedikit tiga di antaranya. Jenis-jenis asam sinamat di antaranya asam sinamat, asam *p*-kumarat, asam kafeat, asam ferulat, asam 5-hidroksiferulat dan asam sinapat.¹⁷

Asam sinamat umum ditemukan pada tanaman sebagai ester dari asam kuanat, asam shikimat, dan asam tartarat. Ester sinamat juga ditemukan pada ester gula, atau sebagai ester variasi asam organik lain. Sebagai contoh, ester sinapoyl merepresentasikan kelas senyawa penyerap-UV pada keluarga *Brassicaceae*. Contoh lainnya adalah sinapoyl malat yang ada di dedaunan, dan sinapoyl kolin yang ada di akar.¹⁷

2.2.4. Manfaat senyawa fenol bagi kesehatan

Pada tumbuhan, flavonoid diduga memiliki banyak fungsi, termasuk proteksi terhadap radiasi UV-B, daya tahan terhadap berbagai serangan patogen, penarik serangga untuk penyerbukan, dan sebagai sinyal untuk inisiasi hubungan simbiosis.⁴ Sebagai komponen diet, flavonoid diduga memiliki manfaat kesehatan, kemungkinan karena kapasitas antioksidannya, yang berfungsi menunda atau mencegah proses oksidasi makromolekul dengan cara menghambat tahap inisiasi dan propagasi pada reaksi rantai oksidatif.^{6,7,8} Aktivitas/fungsi ini didukung kemampuannya, *in vitro*, untuk menginduksi sistem enzim protektif manusia dan oleh berbagai studi epidemiologi yang menunjukkan efek protektif terhadap penuaan, penyakit kardiovaskular, kanker, serta penyakit neurodegeneratif, seperti Parkinson dan Alzheimer.^{9,10,11} Selain sebagai antoksidan, flavonoid juga memiliki fungsi biologis, seperti antialergi, antiviral, antiinflamasi, dan faktor vasodilatasi.^{11,18} Dalam kerjanya memproteksi manusia dari penyakit kardiovaskuler, senyawa flavonoid menghambat aktivitas *cyclooxygenase*(COX) dan lipoksigenase pada platelet dan makrofag.¹⁹

2.3. Radikal bebas dan Antioksidan

Radikal bebas adalah struktur kimia yang memiliki electron tidak berpasangan di kulit terluarnya. Energi yang dihasilkan oleh konfigurasi tidak stabil ini dilepaskan melalui reaksi dengan molekul di dekatnya, baik inorganic maupun organic khususnya dengan molekul kunci di membrane dan asam nukleat, dan menyebabkan kerusakan sel. Untuk mengatasi radikal bebas ini, dibutuhkan antioksidan.^{19,20} Ketidak seimbangan antara antioksidan dan spesies oksigen reaktif menyebabkan stres oksidatif, yang membawa kepada kerusakan. Stres oksidatif dapat berhubungan dengan kanker, penuaan, aterosklerosis, penyakit iskemik, inflamasi dan penyakit neurodegeneratif (Parkinson dan Alzheimer).¹¹

2.3.1. Radikal bebas dan Spesies oksigen reaktif

Spesies oksigen reaktif/*Reactive oxygen species* (ROS) adalah istilah yang menunjuk kepada semua molekul reaktif yang mengandung oksigen, termasuk radikal bebas.^{19,20}

Tipe dari ROS termasuk radikal hidroksil, anion radikal superoksida, hidrogen peroksida, oksigen singlet, radikal nitrit oksida, radikal hipoklorit, dan beragam lipid peroksida. Mayoritas oksidan yang dibentuk oleh sel muncul sebagai:¹⁹

- Konsekuensi normal metabolisme: hampir 90% dari oksigen yang digunakan oleh sel dikonsumsi oleh sistem transport electron mitokondria.
- Ledakan oksidatif dari fagosit sebagai bagian dari mekanisme pembunuhan bakteri dan virus, dan denaturasi protein asing.
- Metabolisme xenobiotik, seperti detoksifikasi substansi toksik.
- Hal-hal lain seperti olahraga berat, inflamasi kronik, infeksi, penyakit lainnya, paparan terhadap allergen dan sindrom “*leaky gut*”, dan paparan obat atau toksin.

2.3.2. Antioksidan

Untuk melindungi sel dan sistem organ dari ROS, manusia memiliki sistem proteksi antioksidan.^{19,20} Ia meliputi berbagai komponen, baik endogen, maupun eksogen, yang berfungsi secara interaktif dan sinergis menetralisasi radikal bebas. Komponen tersebut meliputi:¹⁹

- Antioksidan dari nutrisi seperti asam askorbat (vitamin C), tokoferols dan tokotrienol (vitamin E), karotenoid, dan senyawa bermolekul rendah lainnya seperti glutathion dan asam lipoat.
- Enzim antioksidan, contoh *superoxide dismutase*, *glutathione peroxidase*, dan *glutathione reductase*, yang mengkatalisasi reaksi memadamkan radikal bebas.
- protein pengikat logam, seperti ferritin, laktoferin, albumin, dan seruloplasmin yang mengumpulkan besi bebas dan ion tembaga yang mampu mengkatalisasi reaksi oksidatif.
- Beragam fitonutrien lainnya yang tersebar luas di makanan tumbuh-tumbuhan.

2.3.2.1. Antioksidan diet

Vitamin C, vitamin E, dan beta karoten adalah antioksidan diet yang paling banyak diteliti. Vitamin C merupakan antioksidan larut air yang paling penting di cairan ekstraselular. Ia dapat menetralisasi ROS di fase *aqueous* sebelum inisiasi lipid peroksidasi. Vitamin E, antioksidan larut lemak yang utama, adalah pelepas rantai paling efektif dalam membrane sel untuk melindungi asam lemak membrane dari lipid peroksidase. Vitamin C juga bermanfaat untuk regenerasi vitamin E. Beta karoten dan karotenoid lainnya juga dipercaya menyediakan proteksi antioksidan ke jaringan kaya lipid dan bekerja sinergis dengan vitamin E. Buah dan sayur adalah sumber utama vitamin C dan karotenoid, sementara *whole grain* dan minyak tumbuhan berkualitas tinggi adalah sumber utama vitamin E.¹⁹

2.3.2.2. Fitonutrien

Banyak substansi dari tanaman yang disebut fitonutrien atau fitokimia, menjadi dikenal luas karena aktivitas antioksidannya, Senyawa fenol seperti flavonoid banyak terdapat kingdom tumbuhan. Penjelasan tentang fenol dijabarkan pada bagian II.2.¹⁹

2.3.2.3. Antioksidan endogen

Sebagai tambahan dari antioksidan diet, tubuh bergantung pada beberapa mekanisme pertahanan endogen untuk melindungi tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas. Enzim antioksidan (glutathione peroxidase, catalase, and superoxide dismutase) memetabolisme oksidatif toksik dan memerlukan kofaktor mikronutrien seperti selenium, besi, tembaga, seng, dan mangan untuk aktivitas katalitik optimum. Glutation, antioksidan air yang penting, disintesis dari asam amino glisin, glutamat, dan sistein. Glutation langsung memadamkan ROS seperti lipid peroksidase dan juga berperan penting dalam metabolisme xenobiotik. Paparan hati dengan substansi xenobiotik menginduksi reaksi oksidatif melalui peningkatan enzim detoksifikasi, seperti *cytochrome P-450 mixed-function oxidase*. Pada kondisi demikian, glutation digunakan untuk konjugasi dan membuatnya lebih sedikit tersedia sebagai antioksidan. Penelitian menemukan bahwa glutation dan vitamin C bekerja interaktif dalam memadamkan radikal bebas.¹⁹

Antioksidan endogen lainnya, asam lipoat, dikategorikan sebagai “thiol” atau “biothiol,” merupakan sebuah molekul mengandung sulfur yang diketahui karena keterlibatannya dalam reaksi katalisis dekarboksilasi oksidatif asam alfa-keto, seperti piruvat dan alfa-ketoglutarat. Pada siklus krebs. Asam lipoat dan bentuk reduksinya, *dihydrolipoic acid* (DHLA), dapat memadamkan radikal bebas pada bagian lipid maupun air sehingga disebut “antioksidan universal.” Asam lipoat dapat pula menggunakan efek antioksidannya dengan khelasi dengan logam prooksidan.¹⁹

2.3.3. Aktivitas antioksidan senyawa fenol

Akumulasi bukti-bukti dari penelitian kimia, biokimia, klinis dan epidemiologi mendukung efek kemoprotektif dari antioksidan fenol melawan gangguan yang dimediasi stress oksidatif. Aksi farmakologis dari antioksidan fenol terutama berasal dari properti pengeruk radikal bebas dan pengkhelat logam bersamaan dengan efeknya terhadap jalur pensinyalan sel dan pada ekspresi gen. Kapasitas antioksidan dari senyawa fenol yang tersebar luas pada diet berbasis tanaman diperiksa dengan *Trolox equivalent antioxidant capacity* (TEAC), *the ferric reducing antioxidant power* (FRAP), *hypochlorite scavenging data*, metode deoksiribosa dan pengujian oksidasi *copper-phenanthroline-dependent DNA*. Berdasarkan TEAC, FRAP dan *hypochlorite scavenging data*, urutan aktivitas yang diobservasi adalah: procyanidin dimer>flavano>flavonol>asam hidroksi sinamat>asam fenolat sederhana. Di antara aglikon flavonol, kecenderungan antioksidan menurun dengan urutan quercetin, myricetin dan kaempferol. Asam galat dan asam rosmarinat adalah antioksidan paling poten di antara fenol sederhana dan asam hidroksi sinamat. Asam ferulat menunjukkan aktivitas inhibisi paling tinggi melawan degradasi deoksiribosa tapi tidak ada hubungan aktivitas struktur yang dapat ditetapkan untuk aktivitas senyawa fenol dalam pengujian deoksiribosa.²¹

Keampuhan senyawa fenol berbeda-beda, tergantung pada mekanisme aksi antioksidan dalam pengujian respektif yang digunakan, dengan dimer proisianidin dan flavan-3-ols menunjukkan aktivitas sangat poten dari sebagian besar system yang diuji. Dibandingkan dengan antioksidan yang aktif secara fisiologis (glutathione, alfa-tokoferol, ergothionein) dan sintetik (Trolox, BHA, BHT), senyawa ini menunjukkan keampuhan yang jauh lebih tinggi. Fenol yang diambil dari tanaman merepresentasikan sumber antioksidan alami yang baik.²¹