

PENGANTAR PANGAN FUNGSIONAL

Fitri Wahyuni
Muhammad Nuzul Azhim Ash Siddiq
Dwi Lestari
Efriwati
Ulfatul Mardiyah
Euis Nurlaela
Kencana Sari
Dewi Syahidah
Khartini Kaluku
Dini Wulan Dari
Suci Apsari Pebrianti
Bovi Wira Harsanto
Rahmawati



PENGANTAR PANGAN FUNGSIONAL

**Fitri Wahyuni
Muhammad Nuzul Azhim Ash Siddiq
Dwi Lestari
Efriwati
Ulfatul Mardiyah
Euis Nurlaela
Kencana Sari
Dewi Syahidah
Khartini Kaluku
Dini Wulan Dari
Suci Apsari Pebrianti
Bovi Wira Harsanto
Rahmawati**



GETPRESS INDONESIA

PENGANTAR PANGAN FUNGSIONAL

Penulis :

Fitri Wahyuni
Muhammad Nuzul Azhim Ash Siddiq
Dwi Lestari
Efriwati
Ulfatul Mardiyah
Euis Nurlaela
Kencana Sari
Dewi Syahidah
Khartini Kaluku
Dini Wulan Dari
Suci Apsari Pebrianti
Bovi Wira Harsanto
Rahmawati

ISBN : 978-623-198-587-3

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

Dr. Neila Sulung, N.S., S.Pd., M.Kes.

Penyunting: Mila Sari, M.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit : GETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Palarik RT 01 RW 06 Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah Padang Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, 13 Agustus 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Pengantar Pangan Fungsional dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini berisikan tentang pengenalan pangan fungsional, klorofil, flavonoid (anthocyanin dan isoflavon), sifat fungsional karotenoid (likopen dan *lutein*), sifat fungsional asam lemak, sifat fungsional katekin & allisin, pembentukan radikal bebas dan sistem pertahanan tubuh terhadap radikal bebas, sistem pertahanan tubuh humoral dan seluler, sifat fungsional serat pangan, sifat fungsional pati resisten, sistem fungsional prebiotik, probiotik, dan sinbiotik, sifat antioksidan dari zat gizi dan zat non-gizi, β -glukan.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Padang, 13 Agustus 2023
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB 1 PENGENALAN PANGAN FUNGSIONAL	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Definisi Pangan Fungsional	2
1.2.1 Persyaratan Pangan Fungsional.....	4
1.2.2 Ragam Bentuk Pangan Fungsional	6
1.3 Senyawa Fungsional	7
1.4 Pangan Lokal Indonesia yang Berpotensi sebagai Pangan Fungsional.....	8
1.5 Hal Penting tentang Pangan Fungsional.....	11
DAFTAR PUSTAKA.....	12
BAB 2 KLOROFIL	15
2.1 Pendahuluan	15
2.2 Jenis-jenis Klorofil dan Turunannya	17
2.2.1 Jenis-Jenis Klorofil.....	18
2.2.2 Turunan Klorofil.....	19
2.3 Kandungan Gizi dan Manfaat Kesehatan Klorofil.....	22
2.4 Potensi Klorofil Dalam Pangan Fungsional	26
2.5 Kesimpulan.....	27
DAFTAR PUSTAKA.....	29
BAB 3 FLAVONOID (ANTHOCYANIN DAN ISOFLAVON).....	31
3.1 Pendahuluan	31
3.2 Anthocyanin	33
3.2.1 Tipe dan Struktur Anthocyanin.....	34
3.2.2 Aktivitas Antioksidan Anthocyanin.....	34
3.2.3 Manfaat Anthocyanin Untuk Kesehatan	36
3.3 Isoflavon	40
3.3.1 Tipe dan Struktur Isoflavon	40
3.3.2 Aktivitas Antioksidan Isoflavon	41
3.3.3 Manfaat Isoflavon Untuk Kesehatan	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45
BAB 4 SIFAT FUNGSIONAL KAROTENOID (Likopen dan Lutein).....	55
4.1 Pendahuluan	55
4.2 Likopen.....	56
4.2.1 Sifat Fungsional Likopen	57
4.2.2 Sumber Likopen	62
4.3 Lutein	63
4.3.1 Sifat fungsional lutein	64

4.3.2 Sumber Lutein	67
DAFTAR PUSTAKA	69
BAB 5 SIFAT FUNGSIONAL ASAM LEMAK	75
5.1 Pendahuluan	75
5.2 Asam Lemak	76
5.2.1 Asam Lemak Jenuh	76
5.2.2 Asam Lemak tak Jenuh	77
5.3 Sifat Fungsional Asam Lemak	78
5.3.1 Asam Lemak Omega-3	78
5.3.2 Asam Lemak Omega-6	84
DAFTAR PUSTAKA	86
BAB 6 SIFAT FUNGSIONAL KATEKIN & ALLISIN	89
6.1 Pendahuluan	89
6.2 Katekin	89
6.2.1 Struktur Kimia	89
6.2.2 Bahan Pangan Mengandung Katekin dan manfaatnya	90
6.3 Allisin	94
6.3.1 Struktur Kimia	94
6.3.2 Manfaat Allisin bagi Kesehatan	95
DAFTAR PUSTAKA	101
BAB 7 PEMBENTUKAN RADIKAL BEBAS DAN SISTEM PERTAHANAN TUBUH TERHADAP RADIKAL BEBAS	105
7.1 Definisi Radikal Bebas	105
7.2 Pembentukan Radikal Bebas	107
7.3 Sistem Pertahanan Tubuh terhadap Radikal Bebas	109
7.3.1 Bagaimana tubuh bekerja menangkal radikal bebas	110
7.3.2 Apa itu antioksidan	110
7.3.3 Upaya yang dapat dilakukan agar tubuh mampu menangkal radikal bebas	111
7.3.4 Sumber antioksidan	112
DAFTAR PUSTAKA	118
BAB 8 SISTEM PERTAHANAN TUBUH HUMORAL DAN SELULER	123
8.1 Pendahuluan	123
8.1.1 Sistem pertahanan tubuh	123
8.1.2 Peran sistem pertahanan tubuh humoral dan seluler	124
8.2 Sistem Pertahanan Tubuh Humoral	125
8.2.1. Komponen utama sistem pertananan humoral	125
8.2.2 Peran dan mekanisme kerja sistem pertahanan humoral	127
8.3 Sistem Pertahanan Tubuh Seluler	128
8.3.1 Komponen utama sistem pertahanan seluler	128
8.3.2 Peran dan mekanisme kerja sistem pertahanan seluler	129
8.4 Interaksi Antara Sistem Pertahanan Humoral Dan Seluler	131

8.4.1 Aktivasi sistem pertahanan humoral dan selular secara bersamaan.....	131
8.4.2 Komunikasi selular dalam respon imun.....	131
8.4.3 Keberhasilan respons imun	133
8.5 Gangguan Sistem Pertahanan Tubuh.....	135
8.5.1. Autoimunitas	135
8.5.2 Imunodefisiensi	136
8.5.3 Alergi atau hipersensitivitas.....	137
8.6 Pengembangan Imunoterapi	138
8.7 Kesimpulan.....	140
DAFTAR PUSTAKA.....	141
BAB 9 SIFAT FUNGSIONAL SERAT PANGAN	145
9.1 Pendahuluan	145
9.2 Pengertian Serat Pangan	146
9.3 Sumber Dan Jenis Serat Pangan	147
9.3.1. Pati Resisten.....	148
9.3.2 Inulin dan FOS.....	149
9.3.3 Antioksidan	150
9.3.4. PUFA.....	151
9.3.5. Prebiotik, Probiotik dan Sinbiotik	152
9.4 Manfaat Serat Untuk Kesehatan.....	157
9.4.1. Mengontrol kegemukan (<i>obesitas</i>).....	157
9.4.2. Mencegah Penyakit Diabetes Mellitus	157
9.4.3. Mencegah Gangguan Gastrointestinal.....	158
9.4.4. Mencegah Terjadinya Kanker Kolon	159
9.4.5. Mengurangi Penyakit Kardiovaskuler dan Kolesterol	159
9.5 Pengaruh Serat Pangan Yang Merugikan	159
DAFTAR PUSTAKA.....	160
BAB 10 SIFAT FUNGSIONAL PATI RESISTEN.....	163
10.1 Pendahuluan	163
10.2 Pati Resisten	165
10.3 Klasifikasi Pati Resisten	166
10.4 Sifat Fungsional Pati Resisten	167
10.4.1 Klaim Kesehatan.....	168
10.4.2 Metabolisme Glukosa	169
10.4.3 Pengaturan Rasa kenyang dan Nafsu Makan.....	171
10.4.4 Profil Lipid Darah.....	181
10.4.5 Mikrobioma Usus	183
DAFTAR PUSTAKA.....	186
BAB 11 SISTEM FUNGSIONAL PREBIOTIK, PROBIOTIK, DAN SINBIOTIK.....	191
11.1 Keterkaitan antara Prebiotik, Probiotik dan Sinbiotik.....	191
11.2 Sifat Fungsional Prebiotik.....	193

11.2.1 Jenis dan Sumber Prebiotik	194
11.2.2 Mekanisme Aksi dan Manfaat Kesehatan Prebiotik	197
11.3 Sifat Fungsional Probiotik	198
11.3.1. Jenis dan Manfaat Kesehatan Probiotik	199
10.3.2 Mekanisme Aksi Probiotik	201
10.4 Sifat Fungsional Sinbiotik	202
DAFTAR PUSTAKA	205
BAB 12 SIFAT ANTIOKSIDAN DARI ZAT GIZI DAN ZAT NON-GIZI	211
12.1 Pendahuluan	211
12.2 Pangan dan Antioksidan	213
12.2.1 Kandungan dalam pangan	214
12.2.2 Konsep antioksidan	215
12.2.3 Antioksidan di pangan	218
12.3 Zat Gizi dan Sifat Antioksidan	219
12.3.1 Karbohidrat	220
12.3.2 Protein	221
12.3.3 Vitamin C	223
12.4 Zat Non-Gizi dan Sifat Antioksidan	224
12.4.1 Tannin	225
12.4.2 Flavonoid	226
12.4.3 Karotenoid	228
12.5 Perspektif Mendatang	230
DAFTAR PUSTAKA	232
BAB 13 β-GLUKAN	235
13.1 Pendahuluan	235
13.2 Pangan yang Mengandung β -Glukan	236
13.2.1 β -Glukan Jamur Tiram	236
13.2.2 β -Glukan Sorgum	238
13.3 β -Glukan Potensial Sebagai Nutrasetikal	240
13.3.1 Efek Metabolik pada Sereal β -Glukan	241
13.3.2 Efek Imunomodulator pada Jamur Tiram β -Glukan	242
DAFTAR PUSTAKA	245
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Perbedaan pangan fungsional, suplemen dan herbal dari sisi peningkatan keuntungan.....	5
Gambar 1.2. Kelas utama senyawa polifenol.....	8
Gambar 2.2. Struktur Kimia Beberapa Jenis dan Turunan Klorofil.....	21
Gambar 3.1. Struktur Kimia Anthocyanidins	34
Gambar 3.2. Struktur Kimia Isoflavon.....	41
Gambar 4.1. Struktur khas karoten (atas) dan struktur khas xantofil (bawah)	56
Gambar 5.1. Struktur <i>cis</i> -asam oleat	78
Gambar 5.2. Struktur asam lemak omega-3	79
Gambar 5.3. Struktur asam lemak omega-6	84
Gambar 6.1. Struktur Kimia Katekin	90
Gambar 6.2. Struktur Kimia Alisin	95
Gambar 7.1. Sumber radikal bebas dan efeknya pada tubuh manusia.....	107
Gambar 7.2. Penyakit akibat stres oksidatif pada manusia	109
Gambar 7.3. Peran konsumsi beta karoten terhadap kesehatan.....	114
Gambar 8.1. Proses respon imun humoral dan seluler.....	134
Gambar 11.1. Mekanisme aksi probiotik	194
Gambar 11.2. Perbedaan efek sinergis dan komplemen dari sinbiotik.....	195
Gambar 12.1. Peta pemikiran tentang antioksidan berbasis protein	214
Gambar 12.2. Mekanisme antioksidan dari vitamin C	216
Gambar 12.3. Konformasi kimia dari tannin	218
Gambar 12.4. Jalur biosintesis flavonoid	219
Gambar 13.1. Jamur tiram putih	230
Gambar 13.2. Sorgum	231
Gambar 13.3. Efek β -glukan.....	233

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Senyawa Bioaktif pada Pangan Lokal Indonesia	9
Tabel 1.2. Rempah-Rempah dan Senyawa Bioaktifnya.....	10
Tabel 2.1. Kandungan Klorofil beberapa jenis sayuran	23
Tabel 3.1. Kadar anthocyanin pada makanan per 100 gram	35
Tabel 3.2. Beberapa makanan yang kaya akan isoflavon kedelai t.....	42
Tabel 4.1. Tanaman yang Mengandung Likopen dan Olahannya Beserta Kadarnya (mg/kg)	62
Tabel 4.2. Makanan yang Mengandung Likopen dan Olahannya Beserta Kadarnya (mg/100g).....	68
Tabel 5.1 Jenis asam lemak jenuh.....	77
Tabel 7.1. Rekomendasi konsumsi selenium.....	115
Tabel 9.1. Komponen Serat.....	154
Tabel 9.2. Kadar Serat dalam Sayuran, Buah, Kacang-Kacangan serta Produk Olahannya	155
Tabel 10.1. Tipe-Tipe Pati Resisten	167
Tabel 10.2. Ringkasan klaim kesehatan yang disetujui untuk pati resisten (RS)	168
Tabel 11.1. Kandungan inulin dan FOS (g/100 gr) pada berbagai bahan pangan.....	187
Tabel 11.2. Manfaat kesehatan prebiotik.....	189
Tabel 11.3. Manfaat kesehatan probiotik dalam produk pangan fungsional	192
Tabel 11.4. Manfaat kesehatan produk pangan sinbiotik.....	196

BAB 1

PENGENALAN PANGAN

FUNGSIONAL

Oleh Fitri Wahyuni

1.1 Pendahuluan

Berdasarkan data Riskesdas 2018, prevalensi penyakit tidak menular seperti stroke, diabetes mellitus, penyakit ginjal kronis, hipertensi, obesitas mengalami peningkatan dibanding dengan tahun 2013 dan 2007. Artinya terjadi peningkatan penyakit ini dari tahun ke tahun (Kemenkes RI, 2018). Salah satu penyebabnya adalah karena perubahan gaya hidup dan pola makan yang keliru.

Dewasa ini masyarakat sudah memiliki kesadaran bahwa makan bukan hanya sekedar memenuhi kebutuhan akan cita rasa makanan, namun juga untuk menjaga kesehatan. Hal ini mendorong ketersediaan bahan pangan yang tidak hanya mengenyangkan dan memenuhi kebutuhan tubuh tetapi juga memiliki manfaat lebih yakni bisa memberikan peran secara fisiologis (Hardinsyah et al., 2017)

Tren makanan sehat ini diharapkan memberikan dampak dalam memelihara kesehatan, menjaga kebugaran, membantu mencegah penyakit tertentu, mencegah penuaan dini serta mencegah efek negatif yang lain bagi tubuh (Hardinsyah et al., 2017).

Slogan Hippocrates "*Let your food be your medicine and your medicine be your food*" juga memberikan pesan bahwasanya makanan berpeluang untuk menjadi obat. Definisi obat disini dimaknai bahwa makanan bisa mencegah dari penyakit. Artinya

makanan memang memiliki sifat fungsional. Konsumsi pangan fungsional seperti probiotik, prebiotik dan sinbiotik bisa membantu menjaga dan meningkatkan derajat kesehatan masyarakat jika menjadi gaya hidup.

Pangan fungsional merupakan salah satu bidang yang paling banyak diteliti dan dipromosikan secara luas dalam ilmu makanan dan gizi. Penelitian yang dilakukan oleh (Suratno et al., 2014) menunjukkan bahwa umur 51 tahun keatas terjadi perubahan pola konsumsi pangan tertentu misalnya pangan rendah gula, rendah lemak dan atau rendah garam. Hal ini disebabkan karena adanya kesadaran bahwa dengan bertambahnya umur juga bertambah gangguan kesehatan yang dialami sehingga menyebabkan mereka menjadi lebih selektif.

1.2 Definisi Pangan Fungsional

Pangan fungsional sebenarnya belum memiliki definisi yang baku dan disepakati secara internasional. Masing-masing negara memiliki definisi tersendiri. Hal ini menimbulkan kebingungan baik di kalangan ahli maupun masyarakat. Namun organisasi di bidang pangan dan gizi secara umum sudah mendefinisikannya (Setiawan, 2020).

Menurut *Food and Agriculture Organization of United Nation* (FAO), pangan fungsional adalah pangan yang ditujukan untuk dikonsumsi sebagai bagian dari diet normal dan mengandung komponen aktif yang berpotensi meningkatkan kesehatan atau mengurangi risiko penyakit (Setiawan, 2020).

Sedangkan menurut *The International Life Sciences Institute* (ILSI), suatu pangan disebut fungsional jika pangan tersebut memiliki manfaat menguntungkan terhadap satu atau lebih fungsi dalam organisme, selain manfaat gizi normal, yang memperbaiki kondisi kesehatan atau mengurangi risiko penyakit (Setiawan, 2020).

Menurut *American Dietetic Association* (ADA) pangan fungsional adalah pangan utuh, difortifikasi, diperkaya atau diperkuat yang memiliki potensi manfaat bagi kesehatan, apabila dikonsumsi sebagai bagian dari variasi diet, secara teratur dan dalam jumlah yang efektif. Jadi menurut ADA pangan fungsional itu bukan hanya pangan alami namun juga bisa berupa olahan.

Penelitian dilakukan oleh Susanto and Kristiningrum (2021) yang melibatkan 109 responden untuk mengembangkan definisi pangan fungsional sebagai rekomendasi untuk menyusun Standar Nasional Indonesia (SNI). Penelitian ini menyimpulkan bahwa definisi pangan fungsional adalah pangan segar dan/atau olahan yang mengandung komponen yang bermanfaat untuk meningkatkan fungsi fisiologis tertentu, dan/atau mengurangi risiko sakit yang dibuktikan berdasarkan kajian ilmiah, harus menunjukkan manfaatnya dengan jumlah yang biasa dikonsumsi sebagai bagian dari pola makan sehari-hari, yang harus tetap ada dalam bentuk pangan, bukan dalam bentuk pil atau kapsul. Definisi ini juga merupakan definisi yang diusulkan oleh Widyakarya Nasional Pangan dan Gizi.

Oleh karena itu pangan fungsional ini berbeda dengan suplemen atau obat tradisional karena bentuk suplemen atau obat tidak seperti makanan, tetapi berbentuk kapsul atau serbuk.

Bukti ilmiah pangan fungsional harus betul dilakukan dengan metode penelitian yang benar, menggunakan biomarker yang valid yang bisa mendukung klaim manfaatnya. Juga perlu menguji terkait dosis dan lama penggunaan mengingat pangan fungsional itu harus aman dikonsumsi sebagai bagian dari menu sehari-hari (Setiawan, 2020). Jika dikonsumsi secara rutin dan berpotensi menyebabkan efek samping maka perlu ditinjau kembali.

Berikut klasifikasi bukti ilmiah pangan fungsional (Setiawan, 2020):

- a. Kuat (*strong*): penelitian terkait pangan tersebut sudah sampai pada tahap metaanalisis dan menunjukkan hasil yang konsisten dengan konsentrasi/dosis yang sama.
- b. Sedang (*medium*): telah sampai pada tahap penelitian *Randomized Controlled Trial* (RCT) dan menunjukkan hasil konsisten.
- c. Lemah (*weak*): adanya bukti ilmiah yang menunjukkan hubungan namun masih belum bisa disimpulkan dan masih terbatas.
- d. Pendahuluan: adanya penelitian yang belum terlalu jelas arahnya atau penelitian dengan *Randomized Controlled Trial* (RCT) 1-2 subjek penelitian.

1.2.1 Persyaratan Pangan Fungsional

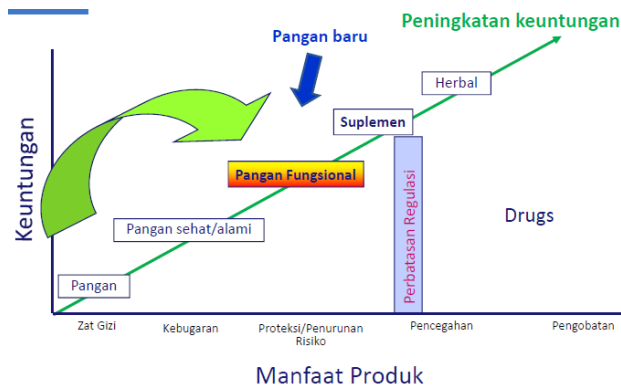
Karena dikonsumsi dalam diet sehari-hari, maka pangan fungsional harus memiliki tiga fungsi, diantaranya fungsi primer (utama) yaitu dengan memenuhi kebutuhan gizi dasar tubuh (karbohidrat, protein, lemak, vitamin dan mineral); fungsi sekunder artinya makanan tersebut bisa diterima sifat organoleptiknya, memenuhi kebutuhan tubuh akan cita rasa makanan. Dan fungsi tersier yakni dengan memberikan manfaat secara fisiologis bagi tubuh dengan menjaga kesehatan dan membantu menurunkan risiko penyakit (Hardinsyah et al., 2017).

Fungsi tersier ini diperoleh dari adanya komponen aktif/zat bioaktif yang terdapat pada makanan, baik terdapat secara alami maupun di fortifikasi. Komponen aktif ini bisa berupa zat gizi (makro dan mikro) atau zat non-gizi berupa zat pewarna alami pada pangan tersebut, zat antioksidan, alkaloid, serat, zat zat fitokimia lainnya (Hardinsyah et al., 2017).

Beberapa persyaratan agar pangan bisa disebut fungsional adalah sebagai berikut:

- Berupa produk pangan, bukan serbuk, kapsul, bubuk, tablet dan dari bahan secara alami.
- Pangan tersebut dikonsumsi dalam diet sehari-hari dan aman, tidak menimbulkan efek samping.
- Memiliki fungsi tertentu saat dicerna dan memberi peran dalam proses fisiologis tubuh misalnya memperkuat sistem imunitas tubuh, memperlambat proses penuaan, membantu memulihkan tubuh dari penyakit.

Beberapa istilah yang sering disamakan dengan pangan fungsional adalah *nutraceutical*, *vitafood*, *food nutraceutical*, *pharmafood*. Namun beberapa referensi juga menyebutkan kalau istilah tersebut tidak persis sama dengan pangan fungsional. Berikut bagan perbedaan pangan fungsional, suplemen dengan herbal.



Gambar 1.1. Perbedaan pangan fungsional, suplemen dan herbal dari sisi peningkatan keuntungan (Palupi, 2013)

Perbedaan ini terletak pada perbedaan konsentrasi zat bioaktif, besaran manfaat, dan bentuk sediaan. Zat bioaktif yang terdapat pada pangan fungsional jika diekstraksi dan diformulasi menjadi bentuk kapsul, serbuk, bubuk atau tablet maka akan menjadi suplemen kesehatan atau herbal. Jika telah diformulasi

menjadi suplemen maka harus dibatasi oleh regulasi terkait obat, dosis harus jelas dan aman. Sementara itu pangan fungsional tak perlu aturan khusus karena dia aman dikonsumsi sebagai makanan sehari-hari.

1.2.2 Ragam Bentuk Pangan Fungsional

Beberapa contoh bentuk pangan fungsional yang mengandung bahan-bahan aktif (Hardinsyah et al., 2017):

- a. Produk susu dan turunannya seperti susu dengan penambahan bakteri baik *Lactobacillus* misalnya yogurt, kefir, yakult, dadih (susu fermentasi asal Sumatera Barat) dan danke (susu fermentasi dari Enrekang, Sulawesi Selatan) yang kaya akan manfaat (Syah, 2022) dan (Pato et al., 2020).
- b. Minuman yang diperkaya dengan senyawa fungsional tertentu, serat makanan, protein tinggi atau kolagen.
- c. Makanan yang diperkaya dengan vitamin A yang tinggi (sesuai AKG), serat makanan tinggi, biskuit yang diperkaya dengan vitamin, mineral atau serat makanan, makanan kaya isoflavon seperti pada tempe, bekatul, gandum utuh dan kacang-kacangan.
- d. Makanan fermentasi. Beberapa makanan fermentasi Indonesia memiliki potensi sebagai pangan fungsional. Penelitian yang dilakukan oleh Putra, (2020) tempoyak, oncom dan ikan peda memberikan efek sebagai imunostimulator.
- e. Makanan/minuman yang bisa membantu mengurangi risiko penyakit tertentu misalnya minuman kesehatan yang diperkaya lutein, minuman kesehatan yang tinggi kalsium dan inulin (Kusumayanti et al., 2016).
- f. Makanan tradisional yang kaya zat gizi dan bioaktif misalnya cookies dengan penambahan sayuran: cookies daun kelor, mie jamur tiram, dll.
- g. Makanan/minuman yang bersifat probiotik, prebiotik atau sinbiotik. Probiotik adalah makanan/minuman yang

mengandung mikroorganisme menguntungkan, dikonsumsi dalam jumlah memadai dan memberi efek kesehatan. Prebiotik adalah bahan yang tidak mudah dicerna dan merupakan zat yang akan difermentasikan oleh probiotik di dalam tubuh. Sedangkan sinbiotik adalah makanan yang mengandung probiotik dan prebiotik.

Pangan diatas merupakan contoh bentuk pangan fungsional. Untuk kepastian klaim dari produk sebagai pangan fungsional tentu saja butuh penelitian lebih lanjut untuk mencari bukti ilmiah yang kuat.

1.3 Senyawa Fungsional

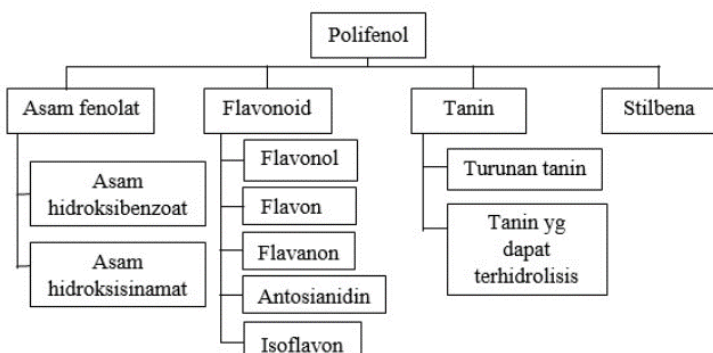
Pada tumbuhan terdapat dua hasil metabolisme utama yakni metabolit primer dan sekunder. Produk metabolit primer adalah karbohidrat, protein dan lemak yang strukturnya sebagian besar unsur C, H, O dan N yang umumnya dihasilkan oleh tumbuhan dalam jumlah yang berbeda-beda. Sedangkan metabolit sekunder adalah produk yang tidak memiliki peran secara langsung dalam pertumbuhan dan perkembangan suatu tanaman, spesifik pada tumbuhan tertentu baik jumlah maupun jenisnya (Anggraito et al., 2018).

Metabolit sekunder inilah yang diteliti apakah bisa memberikan manfaat bagi kesehatan manusia. Ada yang ditemukan berfungsi sebagai zat pewarna, sebagai antioksidan, dan manfaat lain secara fungsional di dalam tubuh sehingga biasa disebut senyawa fungsional atau zat bioaktif (Anggraito et al., 2018).

Metabolit sekunder ini memiliki fungsi yang berbeda pada tanaman, yakni sebagai pertahanan tubuh tumbuhan dari serangan, proteksi terhadap sinar UV, antimikroba, agen pewarna, sebagai bahan racun, dll.

Senyawa fungsional atau senyawa bioaktif adalah zat gizi atau non-gizi yang terdapat pada pangan (tumbuhan dan hewan) yang dapat memberikan efek fisiologis. Senyawa bioaktif merupakan fitokimia yang ditemukan dalam makanan yang dapat mengatur proses metabolisme tubuh manusia dan berkontribusi pada kesehatan yang lebih baik (Lemos, 2022).

Senyawa ini memberikan efek yang menguntungkan seperti aktivitas antioksidan, penghambatan atau induksi enzim, penghambatan aktivitas reseptor, dan induksi dan penghambatan ekspresi gen. Senyawa bioaktif seperti polifenol, karotenoid, vitamin, asam lemak omega-3, asam organik, nukleosida, mukleotida, dan fitosterol telah banyak mendapat perhatian karena berperan dalam pencegahan beberapa penyakit (Lemos, 2022).



Gambar 1.2. Kelas utama senyawa polifenol (Ozcan et al., 2014)

1.4 Pangan Lokal Indonesia yang Berpotensi sebagai Pangan Fungsional

Di Indonesia, makanan lokal mencerminkan keanekaragaman budaya. Variasi makanan lokal tergantung pada sumber dan budaya daerah, termasuk selera. Kondisi geografis mempengaruhi variasi makanan yang dihasilkan. Di Flores, Nusa Tenggara Timur, jagung dan sorgum (padi-padian) merupakan

makanan pokok, sedangkan di Papua, sagu tumbuh subur, dan di daerah pesisir seperti Makassar, didominasi oleh produk ikan (Munarso and Mulyawanti, 2019).

Sebagian besar makanan lokal di Indonesia kaya akan bumbu, dengan rasa yang enak dan aroma yang harum dari penggunaan berbagai bumbu. Rendang, gulai dan banyak makanan tradisional dari Sumatera Barat adalah dipengaruhi oleh budaya Timur Tengah, sedangkan makanan Indonesia Timur banyak dipengaruhi oleh Polinesia dan Melanesia. Di Indonesia, rendang dan banyak makanan lokal Padang telah ditemukan diterima di banyak daerah selain Sumatera bagian Barat. Rumah makan Padang banyak ditemukan di hampir seluruh wilayah Indonesia (Munarso and Mulyawanti, 2019).

Badan Ketahanan Pangan Kementerian Pertanian RI mencatat 77 pangan lokal potensial jenis karbohidrat, 26 pangan lokal jenis kacang-kacangan, 389 pangan lokal jenis buah-buahan, 228 jenis sayuran, 40 jenis minuman buah dan 110 bumbu (Munarso and Mulyawanti, 2019).

Berikut beberapa contoh pangan lokal Indonesia yang telah diteliti dan berpotensi menjadi pangan fungsional karena adanya senyawa bioaktif didalamnya.

Tabel 1.1. Senyawa Bioaktif pada Pangan Lokal Indonesia (Munarso and Mulyawanti, 2019)

Jenis Pangan	Senyawa Bioaktif	Potensi Manfaat/Fungsi
Tempe	Isoflavon	Antioksidan, antikanker
Ubi jalar ungu	Antosianin	Antioksidan, antikanker
Ubi jalar merah	Beta karoten	Antioksidan, antikanker
Umbi garut	Indeks glikemik rendah	Antihiperglikemia

Jenis Pangan	Senyawa Bioaktif	Potensi Manfaat/Fungsi
Gembili	Dioscorin, diosgenin, inulin	Imunomodulator, hiperkolesterolemia, dislipidemia, diabetes dan obesitas
Manggis	Xanton	Antioksidan, antiproliferatif, pro apoptosis, antiinflamasi, antikarsinogenik
Buah merah papua	Karotenoid	Antioksidan, antikanker
Delima	Antosianin, katekin, tannin, asam galat	Antioksidan, antikanker
Beras hitam	Antosianin, orizanol	Antihiperlipidemia, antihiperglikemia, dan pencegahan kanker

Untuk jenis minuman, berikut beberapa rempah yang berpotensi menjadi minuman fungsional (Ryadha et al., 2021)

Tabel 1.2. Rempah-Rempah dan Senyawa Bioaktifnya

Jenis Pangan	Senyawa Bioaktif	Potensi manfaat/fungsi
Kayu secang	Asam galat, tanin, resin, resorsin, brazilin, brazilein, oscimene, minyak atsiri, terpenoid, flavonoid	Antioksidan
Jahe	Gingerol, zingeron, shogaol,	Antioksidan, meredakan batuk, diare, masuk angin
Kayu manis	Polifenol, minyak atsiri (sinamaldehyda, eugenol)	Antimikroba, antifungi, antivirus, antioksidan, antitumor, penurun

Jenis Pangan	Senyawa Bioaktif	Potensi manfaat/fungsi
		tekanan darah, kolesterol
Bawang putih	Alisin	Antimikroba, antioksidan, antikarsinogenik
Cengkeh	Eugenol	Antioksidan
Temulawak	Minyak atsiri, kurkumin	Antioksidan
Kunyit	Kurkumin	Antioksidan, antiinflamasi, antibakteri, antivirus

1.5 Hal Penting tentang Pangan Fungsional

Ketika ingin mencoba pangan fungsional, maka sebaiknya tetap bijak dan memperhatikan kebutuhan tubuh secara umum. Jangan sampai konsumsi terlalu berlebihan dengan harapan bisa mendapatkan manfaat lebih sementara ada kebutuhan zat gizi tubuh yang lain yang tidak terpenuhi (Setiawan, 2020).

Konsep dasar gizi seimbang tetap menjadi yang utama untuk memelihara kesehatan. Konsumsi pangan fungsional bisa saja tidak diperlukan jikalau konsumsi harian tubuh ataupun gaya hidup sudah memenuhi prinsip gizi seimbang. Pangan fungsional tidak dapat menggantikan kebiasaan makan yang buruk (Setiawan, 2020).

Makanan fungsional sebenarnya sangat luas, bisa saja makanan tersebut sebenarnya ada di sekitar kita. Pangan lokal perlu diteliti dan dikembangkan dan ini menjadi tantangan para ilmuwan. Layaknya makan sehat tak harus mahal, tapi diperoleh di sekitar kita (Setiawan, 2020).

Bagi para pengusaha yang bergerak dalam jasa pangan, klaim manfaat pangan harus sesuai bukti ilmiah yang benar,

klaim tidak berlebih, tidak menyesatkan dan tidak mendorong konsumsi yang salah (Setiawan, 2020).

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraito, Y.U., Susanti, R., Iswari, R.S., Yuniastuti, A., Lisdiana, WH, N., Habibah, N.A., Bintari, S.H., 2018. *Metabolit Sekunder Dari Tanaman : Aplikasi dan Produksi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
- Hardinsyah, Hizni, A., Manjilala, Aroni, H., Briawan, D., Minarto, Rimbawan, Judiono, 2017. *Ilmu Gizi Teori dan Aplikasi*. EGC, Jakarta.
- Kemendes RI, 2018. Hasil Riset Kesehatan Dasar Tahun 2018. Kementrian Kesehat. RI 53, 1689–1699.
- Kusumayanti, H., Mahendrajaya, R.T., Hanindito, S.B., 2016. Pangan Fungsional Dari Tanaman Lokal Indonesia. *J. Metana* 12, 26–30.
- Lemos, B.G., 2022. An overview of bioactive compounds and their role in human health. <https://doi.org/10.15651/2408-5456.22.10.046.ABOUT>
- Munarso, S.J., Mulyawanti, I., 2019. Bringing local food to global market: A food technology perspective. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 309. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/309/1/012002>
- Ozcan, T., Akpınar-Bayizit, A., Yilmaz-Ersan, L., Delikanlı, B., 2014. Phenolics in Human Health. *Int. J. Chem. Eng. Appl.* 5, 393–396. <https://doi.org/10.7763/ijcea.2014.v5.416>
- Palupi, N.S., 2013. Pangan Fungsional dalam Pola Konsumsi Pangan untuk Hidup Sehat, Aktif dan Produktif. [Power point slide].
- Pato, U., Yusuf, Y., Fitriani, S., Jonnadi, N.N., Sri Wahyuni, M., Feruni, J.A., Jaswir, I., 2020. Inhibitory activity of crude bacteriocin produced by lactic acid bacteria isolated from

- dadih against listeria monocytogenes. *Biodiversitas* 21, 1295–1302. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210404>
- Putra, A.B.N., 2020. Immune-stimulating potentials of Indonesian fermented foods.
- Ryadha, R., Aulia, N., Batara, A., 2021. Potensi Rempah-Rempah sebagai Minuman Fungsional Sumber Antioksidan dalam Menghadapi Pandemi Covid-19. *J. ABDI* 3, 30–42.
- Setiawan, B., 2020. Mengenal Pangan Fungsional. [Power point slide].
- Suratno, D.Y., Palupi, N.S., Astawan, M., 2014. Pola Konsumsi Pangan Fungsional dan Formulasi Minuman Fungsional Instan Berbasis Antioksidan. *J. Mutu Pangan* 1, 56–64.
- Susanto, D.A., Kristiningrum, E., 2021. Pengembangan Standar Nasional Indonesia (Sni) Definisi Pangan Fungsional. *J. Stand.* 23, 53. <https://doi.org/10.31153/js.v23i1.851>
- Syah, S.P., 2022. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Asam Laktat Asal Dangke. *Nasya Expanding Management (NEM)*, Pekalongan.

BAB 2

KLOROFIL

Oleh Muhammad Nuzul Azhim Ash Siddiq

2.1 Pendahuluan

Perkembangan penggunaan berbagai bahan alami sebagai produk kesehatan seperti suplemen kesehatan dan pangan fungsional semakin banyak peminatnya. Hal tersebut terjadi diikuti dengan pemahaman konsumen terhadap banyaknya efek samping dari obat generik sehingga konsumen lebih memilih produk kesehatan alami yang lebih sedikit memiliki efek samping. Beberapa produk kesehatan dengan bahan alami yang berasal dari buah-buahan, sayuran, dan minuman teh telah banyak di pasaran. Produk tersebut dapat dikonsumsi sehari-hari dan memiliki komponen bahan aktif yang berpotensi memberikan manfaat kesehatan. Salah satu fitokimia dalam makanan yang paling banyak ditemukan dan biasanya merupakan pemberi pigmen hijau alami tanaman adalah klorofil. Pigmen warna adalah metabolit tanaman sekunder yang berperan penting dalam fotosintesis tanaman, seperti mengumpulkan sinar matahari, menjaga metabolisme, dan mencegah kerusakan foto-oksidatif. Meskipun ada pigmen fotosintesis yang lain, seperti karotenoid dan fikobilin yang juga menangkap radiasi matahari, klorofil adalah pigmen yang paling penting. Klorofil mengubah energi matahari menjadi energi kimia yang digunakan untuk membentuk molekul karbohidrat esensial (glukosa) sebagai sumber makanan (Ebrahimi et al., 2023).

Istilah klorofil berasal dari kata Yunani, chloros berarti "hijau" dan phyllon berarti "daun". Klorofil ditemukan di dalam kloroplas, organel utama yang memiliki jumlah paling banyak, di hampir setiap bagian hijau tanaman, yaitu daun dan batang. Kloroplas terdapat pada lapisan mesofil, di bagian tengah daun tumbuhan. Kondisi lingkungan seperti panas dan kekeringan dapat merusak struktur kloroplas dan menurunkan kandungan klorofil suatu tanaman. Kloroplas dapat disebut sebagai "pabrik makanan" sel tumbuhan karena menghasilkan energi dan glukosa untuk seluruh bagian tumbuhan yang berkaitan dengan CO₂, air, dan sinar matahari (Ebrahimi et al., 2023). Biosintesis klorofil terjadi pada membran tilakoid kloroplas yang menjadikan klorofil sebagai pigmen fotosintesis primer pada tumbuhan. Klorofil berada dalam kompleks protein fotosistem I dan II, sehingga kandungan klorofil bergantung pada keberadaan cahaya selama pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kedalaman pigmentasi hijau berkorelasi positif dengan kandungan klorofil dalam tanaman (Hayes & Ferruzzi, 2020).

Klorofil merupakan molekul yang mengandung empat pirol yang membentuk siklus makro (misalnya, cincin porfirin) dan diklasifikasikan sebagai tetrapirel tertutup. Pigmen tetrapirel memainkan peran penting dalam fotosintesis, dalam penyerapan sinar matahari dan mengkonversinya menjadi energi kimia, dan akhirnya digunakan untuk mengurangi CO₂. Konversi energi ini adalah dasar untuk autotrofi atau menghasilkan molekul organik pada beberapa prokariota (misalnya, cyanobacteria), ganggang dan tumbuhan eukariotik, yang sangat penting untuk kehidupan. Selain itu, O₂ yang terbentuk sebagai produk sampingan selama fotosintesis terakumulasi di atmosfer membentuk lapisan ozon sehingga memungkinkan sebagian besar organisme melakukan metabolisme secara aerobik (Solymosi & Mysliwa-Kurdziel, 2016).

Klorofil merupakan salah satu fitokimia lipofilik yang paling banyak ditemukan di alam dan berpotensi banyak dikonsumsi oleh manusia sebagai bagian dari diet harian. Meskipun demikian, klorofil seringkali diabaikan dalam penelitian keilmuan gizi karena pernah dianggap tidak dapat diserap oleh tubuh. Penyerapan klorofil yang dilaporkan diyakini rendah namun keberadaan turunan/metabolit klorofil dalam sirkulasi sistemik mungkin cukup untuk memunculkan efek fisiologis yang lebih luas bagi kesehatan (Hayes & Ferruzzi, 2020). Klorofil telah terbukti dapat memberikan efek kesehatan terhadap pencegahan berbagai jenis penyakit kronis bahkan penyakit kanker melalui beberapa mekanisme perannya sebagai antioksidan dan antiinflamasi (Indrasti *et al.*, 2019).

2.2 Jenis-jenis Klorofil dan Turunannya

Klorofil merupakan salah satu jenis senyawa tetrapireol dengan sistem ikatan rangkap terkonjugasi koplanar yang membentuk struktur aromatik dengan delokalisasi kerapatan elektron pada orbital π . Sehingga, klorofil dapat juga didefinisikan sebagai tetrapireol siklik yang membawa cincin beranggota lima isosiklik yang khas dan merupakan pigmen fungsional dalam pemanenan cahaya atau pemisahan muatan dalam fotosintesis (Perez-Galvez *et al.*, 2018). Secara struktural, klorofil dicirikan oleh struktur cincin porfirin tetrapireol dan fitol teresterifikasi. Struktur porfirin tersebut sangat tertutup dan mirip dengan heme tetapi dengan beberapa perbedaan utama termasuk satu atom magnesium (Mg) yang terkelat di pusat, bukan besi (Fe). Tingkat kejenuhan tetrapireol secara struktural membedakan bentuk masing-masing jenis klorofil termasuk a, b, c, d, dan f, yang memiliki sifat pigmentasi yang berbeda. Klorofil a dan b sebagian besar ditemukan pada jaringan tanaman yang dapat dimakan sedangkan klorofil c, d, dan f sebagian besar ditemukan pada sianobacteria, diatom, dinoflagellata, dan beberapa jenis ganggang tertentu (Hayes & Ferruzzi, 2020).

2.2.1 Jenis-Jenis Klorofil

1. Klorofil a

Pigmen klorofil a banyak ditemukan pada semua jenis tumbuhan tingkat tinggi, beberapa ganggang, sianobakteri, dan fototrof anaerob. Klorofil a merupakan pigmen terpenting yang digunakan pada proses fotosintesis. Klorofil a memiliki tingkat penyerapan cahaya kuat yang menyerap cahaya ungu-biru serta oranye-merah dan memantulkan cahaya biru-hijau. Klorofil a membawa gugus metil yang khas di C₇.

2. Klorofil b

Klorofil jenis ini terlihat pada ganggang hijau dan tumbuhan tingkat tinggi. Ini adalah pigmen aksesori yang membantu klorofil a. Pigmen ini biasanya menyerap cahaya jingga-merah dan memantulkan warna kuning-hijau. Berbeda dengan klorofil a, klorofil b membawa gugus formil pada C₇.

3. Klorofil c

Klorofil c banyak terdeteksi pada ganggang laut seperti ganggang coklat, Diatom dan Dinoflagellata. Ini adalah pigmen klorofil yang tidak biasa yang memiliki cincin porfirin. Klorofil c dapat diklasifikasikan lebih lanjut menjadi klorofil c₁, c₂, dan c₃. Komposisi kimia dan tingkat penyerapannya berbeda di setiap sub-jenis. Klorofil c sebagian besar mengandung rantai samping asam akrilat pada C₁₇, klorofil c₁ memiliki gugus etil yang khas pada C₈ dan klorofil c₂ gugus vinil pada C₈.

4. Klorofil d

Klorofil d hanya terdapat pada ganggang merah dan sianobakteria. Organisme ini hidup di air yang dalam dan melakukan fotosintesis dengan menggunakan cahaya merah. Klorofil d menunjukkan gugus formil pada C₃, berbeda dengan gugus vinil khas yang terdapat pada turunan klorofil lainnya.

5. Klorofil e

Klorofil e merupakan klorofil jenis langka. Klorofil ini ditemukan di beberapa ganggang emas. *Xanthophytes* atau ganggang kuning-hijau telah diidentifikasi mengandung klorofil e.

6. Klorofil f

Klorofil f merupakan klorofil jenis baru. Klorofil ini baru ditemukan dan diketahui dapat menyerap cahaya infra merah. Klorofil f dapat menyerap cahaya dengan panjang gelombang yang melebihi rentang yang terlihat. Fungsi dari klorofil f ini masih harus dipelajari. Klorofil f diidentifikasi dalam sianobacteria berfilamen dari stromatolit.

2.2.2 Turunan Klorofil

1. Turunan Klorofil Bebas Logam (*Metal Free Chlorophyll Derivatives*)

Feofitin dan Pirofeofitin merupakan turunan klorofil bebas logam (Mishra et al., 2011). Feofitin terbentuk karena terlepasnya pusat logam magnesium dalam klorofil yang dapat disebabkan karena kondisi asam sehingga digantikan dengan hidrogen (Hayes & Ferruzzi, 2020). Pirofeofitin terbentuk dari feofitin yang kehilangan gugus karbometoksi pada C₁₀ yang dapat dihasilkan sebagai hasil dari bentuk perlakuan panas ekstrim. Klorofil labil terhadap panas dan dapat terdegradasi menjadi feofitin dan pirofeofitin. Warna hijau cerah dari sayuran segar sering memudar setelah proses termal akibat degradasi klorofil a dan b menjadi feofitin dan pirofeofitin (Pumilia et al., 2014).

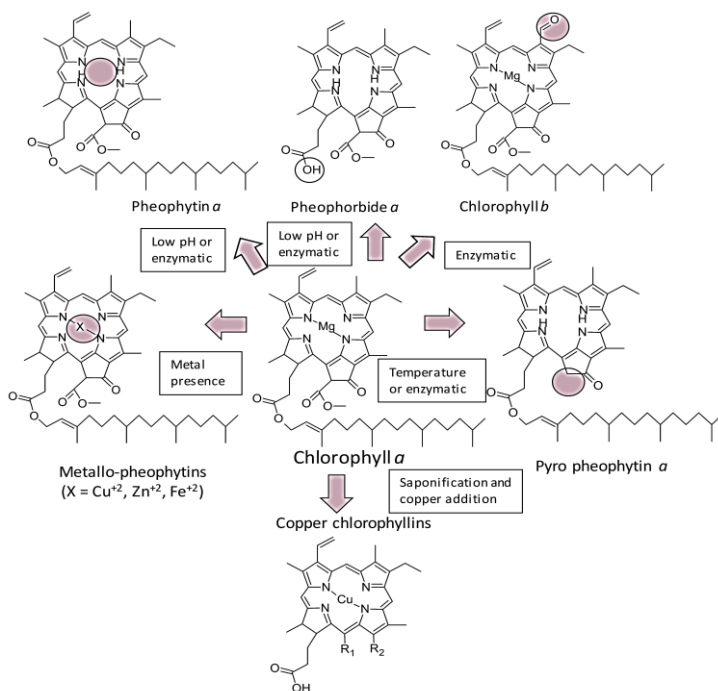
2. Turunan Klorofil Logam (*Metallochlorophyll Derivatives*)

Zn-feofitin, Zn-pirofeofitin, klorofilid, feoforbid, Cu(II)klorin e4, Cu-klorin e6 dan Cu-klorin 4 etil ester merupakan beberapa contoh dari turunan metallo-klorofil (Mishra et al., 2011). Turunan metallo-klorofil adalah senyawa hijau yang dapat disintesis atau diproduksi secara artifisial menggunakan teknik pemrosesan makanan termal, menggantikan magnesium pusat dengan seng, tembaga, atau besi. Turunan klorofil tembaga dan seng dapat diproduksi melalui pemrosesan makanan termal dan jauh lebih stabil terhadap kondisi termal daripada klorofil terikat magnesium. Klorofilid dapat terbentuk karena adanya degradasi klorofil yang disebabkan oleh enzim klorofilase dalam daun tanaman yang dapat membelah ekor fitol klorofil pada C₇ (Hayes & Ferruzzi, 2020).

Feoforbid adalah turunan klorofil yang kehilangan ion magnesium dan fitol. Apabila feoforbid dilakukan pemanasan, maka akan menghasilkan hidrogen untuk menggantikan gugus karbometoksi C₁₃₂ dan mengubah feoforbida menjadi pirofeoforbid. Klorin dihasilkan dari pembelahan cincin isosiklik feoforbida a, dan rhodin g dari feoforbida b. Dalam kondisi alkali, tingkat hidrolisis yang dikombinasikan dengan khelasi Cu menghasilkan pembentukan turunan semisintetik *sodium copper chlorophyll* (SCC) yang larut dalam air. Turunan tersebut biasanya digunakan secara komersial sebagai suplemen makanan dan sebagai pewarna makanan karena kelarutannya yang baik dan stabil (Hayes & Ferruzzi, 2020).

Berdasarkan beberapa jenis-jenis klorofil diatas, klorofil a dan klorofil b merupakan jenis klorofil yang paling umum dan banyak ditemukan terutama pada sayuran hijau. Sayuran hijau tua berfungsi sebagai sumber utama klorofil dalam makanan

manusia (Hayes & Ferruzzi, 2020). Meskipun demikian, sebenarnya daun tanaman berwarna hijau tersebut disebabkan karena cahaya hijau yang kurang efisien diserap oleh klorofil a dan b daripada cahaya merah atau biru, dan oleh karena itu cahaya hijau memiliki kemungkinan lebih tinggi untuk dipantulkan secara difusi dari dinding sel daripada cahaya merah atau biru (Virtanen et al., 2022). Hilangnya pigmen klorofil pada sayuran hijau yang diproses secara termal telah dikaitkan dengan terbentuknya turunan klorofil feofitin dan pirofeofitin, yang memberikan warna coklat zaitun. Klorofil b diketahui lebih stabil terhadap panas daripada klorofil a (Miller, 2022). Beberapa struktur kimia dari jenis-jenis klorofil dan turunannya di tunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1. Struktur Kimia Beberapa Jenis dan Turunan Klorofil

(Sumber : Pérez-gálvez et al., 2020)

2.3 Kandungan Gizi dan Manfaat Kesehatan Klorofil

Fitonutrien, khususnya pigmen tumbuhan seperti klorofil, karotenoid, dan betalain yang sebelumnya hanya digunakan sebagai pewarna sekarang semakin menjadi fokus penelitian karena memiliki berbagai manfaat terhadap kesehatan. Klorofil dan turunannya telah menunjukkan beberapa fungsi penting yang dapat meningkatkan kesehatan, seperti menunjukkan aktivitas antimutagenik, antikanker, dan antiinflamasi. Beberapa khasiat bermanfaat tersebut telah diketahui sangat berkaitan dengan sayuran hijau. Konsumsi sayuran berwarna hijau secara teratur, seperti bayam atau sayuran jenis *crusiferous* lain (kembang kol, sawi, brokoli, bok choy, selada air, dan lobak), sayuran berdaun hijau, kecambah, dan kacang kedelai telah terbukti dapat mengurangi risiko berbagai penyakit kronis karena mengandung berbagai komponen fungsional (Al Mijan et al., 2021).

Klorofil merupakan sumber komponen fungsional yang kaya akan berbagai zat gizi mikro yang penting seperti vitamin E, A, C, K, dan β -karoten. Selain itu, klorofil juga terdapat beberapa mineral penting seperti magnesium, kalium, besi, kalsium, dan asam lemak esensial (Ebrahimi et al., 2023). Komposisi gizi suatu makanan menentukan bioaksesibilitas klorofil. Stabilitas klorofil total terhadap proses pencernaan *in vitro* adalah bervariasi mulai dari 15% hingga 85%, dan resistensi tersebut tampaknya bergantung pada jumlah garam yang terdapat/ ditambahkan dalam makanan. Dalam sistem pencernaan, senyawa turunan klorofil feofitin masih mendominasi profil klorofil pada campuran misel lebih dari 90%, sedangkan klorofil dan turunan feoforbid < 10%. Struktur kimia klorofil dan komposisi turunan feoforbid yang tinggi dalam makanan menentukan bioaksesibilitas klorofil (Viera et al., 2022). Kandungan klorofil dari beberapa jenis sayuran dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Klorofil memiliki banyak manfaat kesehatan karena aktivitas antioksidannya yang tinggi, termasuk sifat anti-inflamasi, anti-kanker, dan anti-obesitas. Klorofil yang berasal dari tanaman juga telah terbukti efektif dalam pengobatan luka dan peradangan. Manfaat kesehatan lain dari klorofil termasuk kemampuannya untuk memperbarui dan memberi energi pada tubuh, mendetoksifikasi hati, membersihkan usus besar, menormalkan tekanan darah, dan menangkalkan bau seperti bau mulut, dan bau badan berkat kandungan magnesiumnya (Miller, 2022).

Tabel 2.1. Kandungan Klorofil beberapa jenis sayuran

Jenis Tanaman	Kadar Klorofil (mg/kg bahan segar)			
	a	b	Total (a+b)	Rasio a/b
Daun bayam	1.205,0	255,9	1.460,9	4,7
Daun murbei	651,7	192,5	844,2	3,4
Daun katuk	1.688,1	513,9	2.202,0	3,3
Daun cincau	1300,0	408,7	1.708,8	3,2
Selada	482,7	148,6	631,3	3,2
Kacang panjang	169,1	55,5	224,6	3,0
Buncis	57,0	18,5	75,4	3,1
Daun kangkung	1.493,5	519,9	2.013,5	2,9
Daun pegagan	612,5	219,0	831,5	2,8
Daun pepaya	21.485,0	8.130,0	29.597,5	2,6*
Daun poh-pohan	1.495,4	587,1	2.082,5	2,5
Brokoli	218,0	90,6	308,6	2,4*
Sawi hijau	815,0	393,1	1.208,1	2,1
Daun suji	2.524,6	1.250,3	3.773,9*	2,0
Kacang Pistachio	3,6	1,8	5,4*	2,0*
Paprika hijau	57,9	28,2	86,1*	2,0*

Jenis Tanaman	Kadar Klorofil (mg/kg bahan segar)			
	a	b	Total (a+b)	Rasio a/b
Daun kemangi	842,9	479,8	1.322,7	1,8
Kacang polong	140,1	90,6	230,7	1,5*

Keterangan: *Dihitung berdasarkan data kadar klorofil a, kadar klorofil b, kadar klorofil total, atau rasio klorofil a/b

Sumber: (Indrasti et al., 2019)

Antioksidan dapat didefinisikan sebagai suatu zat alami atau sintetik yang dapat mencegah atau menunda kerusakan oksidatif sel disebabkan oleh oksidan fisiologis yang memiliki potensi reduksi positif yang jelas, seperti spesies oksigen reaktif (ROS)/spesies nitrogen reaktif (RNS) dan radikal bebas. Stres oksidatif merupakan salah satu penyebab utama yang berkaitan dalam perkembangan berbagai penyakit seperti diabetes melitus, kanker, penyakit Alzheimer, dll (Apak et al., 2016). Secara *in vitro*, jenis klorofil a dan klorofil b telah diketahui mampu menunjukkan aktivitas antioksidan yang dapat meredam radikal bebas yang dilaporkan dengan uji peroksidasi lipid singlet terinduksi ferri-nitriilotriasetat atau dengan uji CUPRAC. Selain itu, turunan klorofil baik klorofil yang tidak mengandung logam maupun mengandung logam juga diketahui memiliki peranan kapasitas antiradikal (Pérez-gálvez et al., 2020).

Keberadaan logam dapat meningkatkan kerapatan elektron di pusat kerangka struktur kimia klorofil sehingga meningkatkan kemampuan porfirin terkonjugasi untuk menyumbangkan elektron. Kemampuan radikal π -kation dalam struktur porfirin juga dapat menginduksi donasi elektron dari struktur porfirin sehingga memutus proses perambatan rantai radikal. Sedangkan turunan klorofil yang tidak mengandung logam seperti feoforbid diduga menggunakan kapasitas antioksidannya melalui kapasitas khelasi ion yang melekat di samping porfirin dalam menstabilisasi ROS (spesi oksigen reaktif) untuk mencegah terjadinya stres oksidatif. Secara *in vivo*, pemberian klorofil pada

hewan coba mampu menurunkan stress oksidatif hati dan meningkatkan kapasitas enzim antioksidan endogen (SOD, CAT, GPx). Turunan klorofil merupakan peningkat yang efektif dari aktivitas enzim utama yang terlibat dalam sistem antioksidan pada tingkat sel untuk mengurangi tingkat oksidasi (Pérez-gálvez et al., 2020).

Pigmen klorofil dalam varietas sayuran hijau dengan warna gelap dapat memberikan efek perlindungan terhadap penyakit kanker tertentu, seperti kanker usus besar dan kanker hati. Hal tersebut dapat terjadi melalui mekanisme klorofil yang mampu mengikat hidrokarbon, aflatoksin, dan molekul hidrofobik lain yang berkaitan dengan perkembangan penyakit kanker (Ebrahimi et al., 2023). Klorofil mampu membentuk kompleks dengan beberapa bahan kimia yang menyebabkan kanker, dan struktur kompleks yang dihasilkan mengganggu penyerapan gastrointestinal dari karsinogen potensial, mengurangi jumlah senyawa karsinogen dalam jaringan yang rentan (Miller, 2022). Klorofil juga diketahui dapat mengatur banyak gen terkait kanker, termasuk cyclin D1, CYP1A, CYP1B1, dan p53 (Al Mijan et al., 2021).

Klorofil yang terdapat dalam makanan juga diketahui dapat membantu menurunkan berat badan, meningkatkan toleransi glukosa, dan menurunkan peradangan sehingga dapat mencegah terjadinya obesitas. Ekstrak klorofil dari mint, brokoli, timi, dan paprika dapat membantu mengontrol gula darah. Klorofil a dapat menurunkan risiko diabetes berdasarkan hasil uji *in vivo* pada tikus dengan diabetes tipe satu. Selain itu, senyawa fitol yang merupakan produk turunan dari klorofil juga diketahui dapat mengurangi inflamasi dan nyeri sendi dengan menghambat mediator inflamasi (Ebrahimi et al., 2023).

2.4 Potensi Klorofil Dalam Pangan Fungsional

Pangan fungsional merupakan makanan utuh, diperkaya, atau ditingkatkan dengan berbagai komponen aktif yang berpotensi memberi manfaat kesehatan dan mampu meminimalkan risiko penyakit (Miller, 2022). Penambahan senyawa bioaktif pada produk pangan untuk menghasilkan pangan fungsional dapat meningkatkan manfaat kesehatan dari produk pangan tersebut. Pembuatan produk pangan fungsional harus terbukti secara klinis memiliki manfaat kesehatan dengan penelitian ilmiah yang memenuhi standar yang ketat untuk memastikan bahwa produk pangan fungsional tersebut memiliki bukti substansial untuk klaim kesehatan (Martirosyan et al., 2021).

Klorofil merupakan Salah satu komponen bioaktif yang dapat ditambahkan dalam produk pangan fungsional. Sebagai contoh, produk pasta dari yang ditambahkan spirulina dengan mikroenkapsulasi spirulina dapat meningkatkan sifat antioksidan produk. Spirulina merupakan sumber kaya klorofil yang ditambahkan ke dalam pasta. Selain itu, pemanfaatan biomassa mikroalga yang memiliki kandungan klorofil tinggi pada produk cookies diketahui juga dapat meningkatkan senyawa bioaktif produk (Ebrahimi et al., 2023).

Klorofil alami yang terdiri dari klorofil a dan klorofil b dapat digunakan sebagai bahan tambahan makanan. Bahan tambahan makanan yang digunakan sebagai pewarna alami dapat meningkatkan atribut sensorik dan komposisi gizi sebuah produk makanan. Namun, menggunakan klorofil sebagai pewarna tambahan bisa jadi sulit diterapkan karena ketidakstabilannya saat terpapar oleh komponen makanan yang berbeda, suhu, cahaya, oksigen, pH, bahan pengemas, dan kondisi penyimpanan. Metode yang memungkinkan untuk meningkatkan stabilitas klorofil adalah menggunakan teknik formulasi nano yang tepat seperti enkapsulasi (Ebrahimi et al., 2023).

Pewarna semisintetik yang memiliki warna stabil dan larut dalam air serta dapat digunakan secara komersial dalam industri makanan sebagai zat pewarna hijau yang stabil adalah klorofilin. Klorofilin merupakan pigmen klorofil buatan yang dibentuk dengan mengganti magnesium sentral dalam struktur klorofil dengan tembaga (Ebrahimi et al., 2023). Selain digunakan sebagai pewarna tambahan makanan, klorofilin juga banyak digunakan dalam penganan gula, permen, saus dan bumbu, keju, dan minuman ringan (Miller, 2022). Klorofilin adalah istilah luas untuk menunjukkan konsentrat yang diisolasi dari modifikasi kimiawi jaringan tumbuhan hijau yang mencakup berbagai turunan klorofil yang larut dalam air, umumnya tanpa fitol dan dengan cincin E yang terbuka. Tidak ada karakterisasi lengkap dari campuran ini, walaupun mungkin komponen utama pembentuknya adalah klorin e6 dan rhodin g7. Klorofilin semi-sintetik berasal dari hidrolisis basa (saponifikasi) klorofil yang diekstraksi dari rumput, lucerne, atau jelatang (Perez-Galvez et al., 2018).

2.5 Kesimpulan

Klorofil merupakan metabolit sekunder berasal dari tanaman yang memberikan pigmen warna serta memiliki peranan penting dalam sistem fotosintesis untuk menghasilkan energi. Klorofil a dan klorofil b merupakan jenis klorofil yang umum didapatkan terutama pada makanan yang dapat dikonsumsi oleh manusia seperti sayuran hijau dan buah-buahan. Klorofil telah diketahui memiliki berbagai manfaat bagi kesehatan seperti aktivitas antioksidannya yang tinggi, termasuk sifat anti-inflamasi, anti-kanker, dan anti-obesitas. Klorofil mampu membentuk kompleks dengan beberapa bahan kimia yang menyebabkan kanker, dan struktur kompleks yang dihasilkan mengganggu penyerapan gastrointestinal dari karsinogen potensial, sehingga mampu mengurangi jumlah senyawa karsinogen dalam jaringan tubuh yang rentan. Klorofil

dapat digunakan sebagai tambahan dalam komponen dalam pengembangan suatu produk pangan fungsional. Metode enkapsulasi merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan stabilitas klorofil dalam pengembangan suatu produk pangan fungsional.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Mijan, M., Sim, W. J., & Lim, T. G. (2021). Physiological effects of green-colored food-derived bioactive compounds on cancer. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(23), 1–14. <https://doi.org/10.3390/app112311288>
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *64*(5), 997–1027. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739>
- Ebrahimi, P., Shokramraji, Z., Tavakkoli, S., Mihaylova, D., & Lante, A. (2023). Chlorophylls as Natural Bioactive Compounds Existing in Food By-Products: A Critical Review. *Plants*, *12*(7), 1533. <https://doi.org/10.3390/plants12071533>
- Hayes, M., & Ferruzzi, M. G. (2020). Update on the bioavailability and chemopreventative mechanisms of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition Research*, *81*, 19–37. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.06.010>
- Indrasti, D., Andarwulan, N., Hari Purnomo, E., & Wulandari, N. (2019). Suji Leaf Chlorophyll: Potential and Challenges as Natural Colorant. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, *24*(2), 109–116. <https://doi.org/10.18343/jipi.24.2.109>
- Martirosyan, D., von Brugger, J., & Bialow, S. (2021). Functional food science: Differences and similarities with food science. *Functional Foods in Health and Disease*, *11*(9), 408–430. <https://doi.org/10.31989/FFHD.V11I9.831>
- Miller, J. (2022). Plant pigments in functional foods developments. *J Food Drug Res*, *6*(1), 3–4. <https://doi.org/10.37532/puljfd.22.6>
- Mishra, V. K., Bacheti, R. K., & Husen, A. (2011). Medicinal uses of chlorophyll: A critical overview. *Chlorophyll: Structure, Production and Medicinal Uses, January*, 177–196.

- Perez-Galvez, A., Viera, I., & Roca, M. (2018). Chemistry in the Bioactivity of Chlorophylls: An Overview. *Current Medicinal Chemistry*, 24(40), 4515–4536. <https://doi.org/10.2174/0929867324666170714102619>
- Pérez-gálvez, A., Viera, I., & Roca, M. (2020). Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. *Antioxidants*, 9(6), 1–39. <https://doi.org/10.3390/antiox9060505>
- Pumilia, G., Cichon, M. J., Cooperstone, J. L., Giuffrida, D., Dugo, G., & Schwartz, S. J. (2014). Changes in chlorophylls, chlorophyll degradation products and lutein in pistachio kernels (*Pistacia vera* L.) during roasting. *Food Research International*, 65(PB), 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.047>
- Solymosi, K., & Mysliwa-Kurdziel, B. (2016). Chlorophylls and their Derivatives Used in Food Industry and Medicine. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 17(13). <https://doi.org/10.2174/1389557516666161004161411>
- Viera, I., Herrera, M., & Roca, M. (2022). Influence of food composition on chlorophyll bioaccessibility. *Food Chemistry*, 386(March), 132805. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132805>
- Virtanen, O., Constantinidou, E., & Tyystjärvi, E. (2022). Chlorophyll does not reflect green light—how to correct a misconception. *Journal of Biological Education*, 56(5), 552–559. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1858930>

BAB 3

FLAVONOID (ANTHOCYANIN DAN ISOFLAVON)

Oleh Dwi Lestari

3.1 Pendahuluan

Flavonoid merupakan metabolit sekunder yang beragam secara struktural pada tanaman serta memiliki banyak fungsi seperti mengatur perkembangan tanaman, pigmentasi dan perlindungan UV dan berperan dalam pertahanan dan signalling atau interaksi antara tanaman dan mikroorganisme. Flavonoid merupakan komponen penting pada tanaman obat dan digunakan dalam pengendalian peradangan serta pencegahan kanker (Mathesius Ulrike, 2018). Flavonoid adalah fitonutrien yang umumnya memiliki struktur polifenolik dan banyak ditemukan pada tanaman, buah-buahan, sayuran, biji-bijian, kulit, kayu, akar, batang, bunga, teh, dan anggur. Flavonoid ini memiliki sifat yang menguntungkan yaitu termasuk sebagai antioksidan yang berperan dalam mengurangi peradangan, mencegah mutasi, mencegah perkembangan kanker, sebagai kunci dalam mengatur fungsi enzim seluler serta berperan dalam mencegah berbagai penyakit seperti alzheimer, aterosklerosis dan lainnya (Panche, et al., 2016).

Flavonoid terdiri dari beberapa sub-tipe seperti *flavanols and flavan-3-ols*, *flavones*, *flavanones*, *isoflavones* dan *anthocyanins* (Panche, et al., 2016).

a. Flavanol dan Flavan-3-ols

Flavanol dan flavan-3-ols merupakan sub-tipe flavonoid yang terbesar dengan lebih dari 6.000 jenis. Yang termasuk kedalam sub-tipe dari Flavanol dan flavan-3-ols yaitu senyawa *kaempferol*, *quercetin*, *myricetin* dan *fisetin* (Szalay Jessie, 2015). Flavanol ini ditemukan di sejumlah buah dan sayuran, termasuk kangkung, selada, tomat, apel, anggur dan beri. Sedangkan bawang merah, bawang putih dan daun bawang mengandung flavanol tertentu yang disebut quercetin dalam jumlah yang tinggi sebagai pigmen tumbuhan. Sumber quercetin lainnya yaitu termasuk kakao, teh hijau dan anggur merah (Linus Pauling Institute, 2016). Flavanol juga disebut sebagai flavan-3-ols yang dapat ditemukan dalam buah-buahan seperti pisang, persik dan pear (Panche, et al., 2016).

b. Flavon

Flavon merupakan pigmen utama pada bunga berwarna cream dan co-pigmen pada bunga yang berwarna biru serta ditemukan juga pada daun dan badan buah tanaman. Flavon ini bertindak sebagai perisai terhadap sinar *ultraviolet* (UVB) pada tumbuhan. Senyawa yang terdapat dalam flavon yaitu seperti apigenin, luteolin, baicalein dan chrysin. Sumber makanan yang mengandung flavon yaitu parsley/peterseli, thyme, celery/seledri, hot peppers dan green olives (Hostetler, et al., 2017).

c. Flavanon

Flavanon dapat ditemukan di semua *citrus fruits*, seperti jeruk dan lemon serta buah anggur. Hal tersebut dikarenakan adanya senyawa hesperidin, naringenin, diosmin dan eriodictyol pada buah-buahan tersebut. Manfaat flavanon ini sangat baik untuk kesehatan karena mampu bersifat sebagai *free radical scavengers* didalam tubuh yaitu mencegah dan memperbaiki kerusakan yang disebabkan oleh radikal bebas (Panche, et al., 2016).

d. Isoflavon

Isoflavon atau Isoflavonoid banyak ditemukan pada kacang kedelai dan jenis kacang-kacangan lainnya. Beberapa isoflavon juga telah ditemukan pada mikroba. Isoflavon memiliki potensi yang bermanfaat untuk kesehatan, diantaranya seperti *genistein* dan *daidzein* dianggap sebagai fitoestrogen yang dapat berperan dalam mencegah pengeroposan tulang pada perempuan setelah usia lanjut dan meringankan gejala menopause (Panche, et al., 2016).

e. Anthocyanins

Anthocyanin merupakan pigmen pada tanaman, bunga dan buah-buahan yang terdiri dari cyanidin, delphinidin, malvidin, dan pelargonidin. Umumnya pigmen tersebut ditemukan pada lapisan sel luar buah-buahan seperti cranberries, black currants, red grapes, merlot grapes, raspberries, strawberries, blueberries, bilberries dan blackberries.

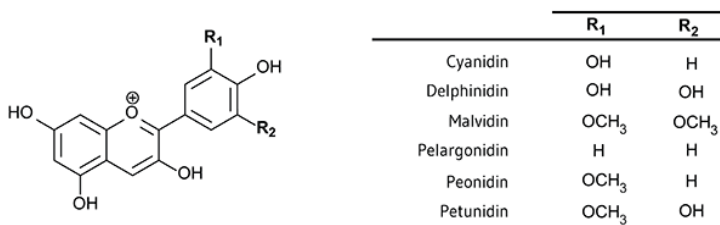
3.2 Anthocyanin

Anthocyanin dikenal juga sebagai anthocyanidins yang mengandung gugus asam dan basa. Anthocyanin merupakan sekelompok pigmen bioaktif alami yang larut dalam air dan merupakan pewarna utama tumbuhan. Pigmen ini menyebabkan warna merah, biru, dan ungu pada banyak buah dan sayuran. Anthocyanin banyak terdapat pada tanaman berbunga (angiospermae) dari 27 famili dan 72 spesies serta terdapat kandungan 6 anthocyanin utama seperti pigmen *Pelargonium hortorum*, pigmen *Centaurea cyanus L.*, pigmen *Consolida ajacis (L.) schur*, dan pigmen antosianin lainnya dapat ditemukan pada tanaman ini (Yang & Wen, 2011). Saat ini, banyak penelitian telah menunjukkan bahwa anthocyanin merupakan antioksidan yang paling efektif dan sifat antioksidannya 50 kali lipat lebih tinggi

dari vitamin E dan 20 kali lebih tinggi dari vitamin C (Tang & Zhou, 2009).

3.2.1 Tipe dan Struktur Anthocyanin

Anthocyanin termasuk golongan senyawa yang disebut flavonoid dan bersifat sebagai antioksidan untuk melawan molekul yang tidak stabil (radikal bebas) yang berpotensi merusak sel dan meningkatkan resiko penyakit tertentu. Beberapa literatur menyebutkan bahwa anthocyanin dapat berperan dalam meningkatkan sistem kekebalan tubuh serta membantu melawan peradangan, infeksi virus dan kanker (Khoo, et al., 2017). Terdapat 6 anthocyanin yang laing umum, yaitu : cyanidin, delphinidin, malvidin, peonidin, petunidin, dan pelargonidin (Mattioli, et al., 2020).



Gambar 3.1 Struktur Kimia Anthocyanidins

(Sumber : Linus Pauling Institute - Oregon State University, 2016)

3.2.2 Aktivitas Antioksidan Anthocyanin

Anthocyanin dengan kadar yang tinggi umumnya terdapat pada buah dan sayuran berwarna merah, ungu dan biru. Berikut makanan yang mengandung kadar anthocyanin paling banyak per 100 gram (Manolescu, et al., 2019).

Tabel 3.1 Kadar anthocyanin pada makanan per 100 gram

Makanan	Nilai Gizi (kadar Anthocyanin)
Mulberries	1,4 – 704 mg
Black chokeberries	46 – 558 mg
Black elderberries	17 – 463 mg
Black currants	25 – 305 mg
Sweet cherries	7 – 143 mg
Blackberries	10 – 139 mg
Lingonberries	4 – 49 mg
Strawberries	4 – 48 mg
Sour cherries	3 – 44 mg
Red raspberries	5 – 38 mg
Black grapes	3 – 39 mg
Plums	5 – 34 mg
Blueberries	11 – 26 mg
Black beans	1 – 15 mg
Red currants	2 – 11 mg
Red wine	4 – 10 mg
Red onions	7 mg

Sumber: Manolescu, et al. (2019)

Kandungan anthocyanin dari makanan sangat bervariasi, hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan faktor area tumbuh, iklim, musim, paparan cahaya, waktu panen dan suhu penyimpanan sehingga mempengaruhi kandungan antioksidan (Mattioli, et al., 2020). Jumlah kandungan antioksidan juga

tergantung pada apakah makanan tersebut dalam kondisi segar, beku atau kering. Umumnya bahan makanan kering memiliki kandungan anthocyanin paling rendah (Sun, et al., 2020). Sumber makanan yang kaya anthocyanin lainnya yaitu jagung ungu, buah delima, terong, wortel hitam (black carrots), kol merah dan kembang kol ungu yang mengandung kadar anthocyanin sebanyak 200 – 300 mg per 100 gram bahan makanan (Mattioli, et al., 2020).

3.2.3 Manfaat Anthocyanin Untuk Kesehatan

Anthocyanin telah terbukti memainkan peran penting dalam pencegahan berbagai macam penyakit seperti kanker, penyakit kardiovaskuler yang melibatkan mekanisme aktivitas antioksidan, aktivitas detoksifikasi, antiproliferasi, induksi apoptosis, dan aktivitas anti-angiogenik; aktivitas anti-inflamasi; inhibisi enzim pencernaan (α -glucosidase, α -amylase, protease dan lipase), yang merupakan target terapi klinis untuk mengendalikan diabetes tipe 2 dan obesitas; meningkatkan system kekebalan tubuh; meningkatkan penglihatan malam hari serta mengurangi proses penuaan dan mengurangi resiko gangguan degenerative seperti penyakit Alzheimer (Ames, et al., 1993; Jing, 2006; Nikkhah, et al., 2008).

3.2.3.1 Mengurangi Inflamasi

Anthocyanin memiliki sifat sebagai antioksidan yang mampu melawan senyawa perusak yang disebut radikal bebas. Ketika radikal bebas terakumulasi di dalam tubuh maka akan terjadi stress oksidatif yang selanjutnya akan menyebabkan terjadinya peradangan dan beresiko meningkatkan kejadian penyakit kronis seperti kanker dan penyakit jantung. Antioksidan seperti anthocyanin ini mampu membantu mengurangi stress oksidatif dan resiko penyakit (Silva & Pogačnik, 2020; Phaniendra, et al., 2015).

Penelitian yang dilakukan oleh Zhang, et al. (2020), menunjukkan bahwa dalam studi yang dilakukan pada 169 orang responden dengan kolesterol tinggi selama 12 minggu, pemberian suplementasi anthocyanin sebesar 320 mg sebanyak dua kali sehari secara signifikan mampu mengurangi penanda (markers) peradangan (inflamasi). Penelitian lainnya menunjukkan bahwa dalam studi selama 4 minggu pada responden dengan dan tanpa kelebihan berat badan (obesitas) yang mengkonsumsi anthocyanin sebesar 320 mg setiap hari secara signifikan memiliki penanda peradangan darah yang jauh lebih rendah (Lada Vugic, et al., 2020).

Literatur lainnya menunjukkan bahwa senyawa anthocyanin ini dapat membantu mengurangi peradangan dan nyeri pada penderita radang sendi (Basu, et al., 2018). Inflamasi atau peradangan kronis yang terjadi dapat menyebabkan beberapa kondisi kronis, termasuk kejadian diabetes tipe 2 dan penyakit jantung. Sehingga mengkonsumsi makanan yang kaya akan antioksidan anthocyanin secara teratur dapat membantu melindungi dari resiko inflamasi (Speer, et al., 2020).

3.2.3.2 Melindungi Dari Diabetes Tipe 2

Makan makanan yang kaya anthocyanin secara teratur dapat melindungi dari diabetes mellitus tipe 2. Hal ini sesuai dengan sebuah literatur systematic review dan meta-analysis prospektif kohort yang menunjukkan bahwa orang yang rutin mengkonsumsi makanan kaya anthocyanin memiliki resiko 15% lebih rendah untuk mengalami diabetes mellitus tipe 2. Selain itu, menambahkan sedikitnya 7,5 mg anthocyanin ke dalam makanan harian (daily diet) dapat mengurangi resiko diabetes mellitus tipe 2 sebesar 5% (Guo, et al., 2016). Sebagai contoh, 7,5 mg anthocyanin sama dengan penambahan makanan sebesar 30 – 60 gram beri, ceri, terong ungu atau kol merah untuk setiap harinya (Manolescu, et al., 2019; Mattioli, et al., 2020).

Beberapa penelitian pada manusia menunjukkan bahwa anthocyanin dapat mengurangi peradangan (inflamasi) dan mampu meningkatkan toleransi glukosa, yaitu kemampuan tubuh untuk mengelola kadar gula darah yang tinggi. Kedua manfaat ini dapat mengurangi resiko diabetes mellitus tipe 2 (Speer, et al., 2020). Selain itu, beberapa penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa mengkonsumsi suplemen anthocyanin dapat meningkatkan kemampuan tubuh untuk mengenali dan menggunakan insulin, sehingga mencegah lonjakan kadar gula darah meskipun penelitian lainnya tidak menemukan efek (Speer, et al., 2020; Lear, et al., 2019).

3.2.3.3 Mengurangi Resiko Cancer

Beberapa penelitian telah meneliti efek anthocyanin yang memiliki sifat antikanker. Anthocyanin ini diklasifikasikan sebagai flavonoid yaitu sekelompok antioksidan yang diyakini memiliki kemampuan melawan kanker yang kuat (cancer-fighting abilities) (Montané, et al., 2020; Hazafa, et al., 2020). Senyawa anthocyanin ini dapat berperan melawan radikal bebas, menurunkan peradangan (inflamasi), dan mencegah kerusakan DNA. Semua factor tersebut dapat membantu mencegah pembentukan tumor (tumor formation) (Chen, et al., 2022).

Selain itu, anthocyanin juga dapat membantu mencegah sel kanker berkembang dan menyebar. Misalnya, terdapat satu penelitian yang menunjukkan bahwa anthocyanin (dalam bentuk delphinidin) dapat mengaktifkan gen tertentu yang dapat membunuh sel kanker prostat (Jeong, et al., 2016). Anthocyanin juga efektif dalam mencegah penyebaran sel leukimia dan kanker ovarium. Penelitian lebih lanjut lainnya menunjukkan bahwa senyawa ini dapat mengurangi resiko kanker kulit (Montané, et al., 2020; Lim, et al., 2017; Diaconeasa, et al., 2020).

3.2.3.4 Meningkatkan Kesehatan Jantung

Diet kaya anthocyanin dapat meningkatkan kesehatan jantung, terutama berperan dalam membantu mengatur tekanan darah dan mencegahnya naik. Sebuah literatur menunjukkan bahwa dalam studi 12 minggu, orang yang minum sebanyak 200 ml jus ceri yang mengandung kaya anthocyanin setiap hari dapat menurunkan tekanan darah sistolik sebesar 7,7 mmHg dan tekanan darah diastolik sebesar 1,6 mmHg (Kent, et al., 2017). Penelitian lainnya menunjukkan bahwa orang yang mengkonsumsi jus buah plum yang kaya anthocyanin sebanyak 300 ml setiap hari mampu menurunkan tekanan darah secara signifikan dan penurunan tekanan darah yang paling signifikan terjadi pada orang dewasa yang lebih tua (Igwe, et al., 2017).

Selain itu, anthocyanin terbukti dapat menurunkan kadar trigliserida dan kolesterol LDL (kolesterol jahat) sekaligus meningkatkan kadar kolesterol HDL (kolesterol baik) (Mattioli, et al., 2020; Reis, et al., 2016; Ockermann, et al, 2021; Mozos, et al., 2021). Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa makanan yang mengandung anthocyanin yang tinggi seperti blueberry, cranberry dan anggur kering beku (freeze-dried grapes) dapat membantu meningkatkan pelebaran aliran pembuluh darah pada orang dewasa yang sehat (Manolescu, et al., 2019; Thijssen, et al., 2019). Diet yang mengandung anthocyanin yang tinggi dapat mengurangi resiko penyakit jantung hingga 9% dan resiko kematian akibat kondisi ini sekitar 8% (Kimble, et al., 2019).

3.2.3.5 Meningkatkan Kesehatan dan Fungsi Otak

Anthocyanin dapat bermanfaat bagi kesehatan dan fungsi otak. Hal ini terbukti dari hasil review tentang uji coba kontrol acak (randomized control trials – the gold standard in scientific research), menunjukkan bahwa senyawa anthocyanin dapat meningkatkan daya ingat, perhatian dan kecepatan pemrosesan pada otak (Ahles, et al., 2021). Literatur lainnya menunjukkan bahwa diet kaya anthocyanin dapat meningkatkan pembelajaran

verbal dan memori pada anak – anak, orang dewasa dan orang dewasa yang lebih tua dengan gangguan kognitif (Kent, et al., 2017).

Selain itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa kandungan anthocyanin pada buah berries dapat membantu memperlambat perkembangan penyakit Alzheimer (Celik & Sanlier, 2019). Jus buah cherry yang mengandung tinggi anthocyanin juga memberikan manfaat yang serupa. Sebuah hasil studi yang dilakukan selama 12 minggu pada orang dewasa yang lebih tua yang mengalami demensia tingkat ringan hingga sedang yang mengkonsumsi 200 ml jus buah cherry setiap hari, menunjukkan bahwa terjadi peningkatan yang signifikan pada kefasihan verbal (verbal fluency) dan memori jangka pendek dan jangka panjang (Kent, et al., 2017).

3.3 Isoflavon

Isoflavon merupakan senyawa nabati yang ditemukan hampir secara eksklusif pada kacang – kacangan, seperti kedelai yang meniru aksi hormon estrogen dalam mengurangi gejala menopause atau mencegah osteoporosis pada wanita pasca-menopause. Makanan dengan kandungan isoflavon yang tinggi bermanfaat untuk kesehatan yaitu diantaranya berperan sebagai anti-inflamasi dan antioksidan dalam mencegah kerusakan sel DNA (Rietjens, et al., 2017). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa isoflavon dapat membantu mencegah penyakit jantung atau memiliki sifat melawan kanker (Kokubo, et al., 2007; Ju, et al., 2002).

3.3.1 Tipe dan Struktur Isoflavon

Isoflavon adalah senyawa polifenol yang memiliki sifat estrogen-agonis dan estrogen-antagonis. Berdasarkan hal tersebut maka isoflavon diklasifikasikan sebagai fitoestrogen (senyawa turunan tumbuhan dengan aktivitas estrogenik

(Lampe, 2003). Isoflavon yaitu flavonoid utama yang ditemukan dalam kacang – kacang, terutama kedelai. Isoflavon pada kedelai dalam bentuk glikosida yaitu terikat pada molekul gula. Pencernaan atau fermentasi pada kedelai atau produk kedelai dapat menghasilkan pelepasan molekul gula dari glikosida isoflavon, meninggalkan aglikon isoflavon. Glikosida isoflavon kedelai termasuk genistin, daidzin dan glikitin, sedangkan aglikon disebut genistein, daidzein dan glisitin (Manach, et al., 2004 ; Xiao, et al., 2013 ;Franke, et al., 2014).



Gambar 3.2 Struktur Kimia Isoflavon

(Sumber : Linus Pauling Institute - Oregon State University, 2016)

3.3.2 Aktivitas Antioksidan Isoflavon

Isoflavon ditemukan dalam jumlah kecil di sejumlah kacang – kacang, biji – bijian, dan sayuran, namun kedelai sejauh ini merupakan sumber isoflavon yang paling banyak terkonsentrasi dalam makanan diet manusia (Fletcher, 2003; Munro, et al., 2003). Asupan rata – rata makanan isoflavon di Jepang, China dan negara Asia lainnya yaitu berkisar antara 25 hingga 50 mg/hari (Messina, et al., 2006). Makanan tradisional Asia yang terbuat dari kedelai yaitu antara lain tahu, tempe, miso dan natto. Edamame mengacu pada varietas kedelai yang dipanen dan dimakan dalam fase hijau.

Produk kedelai yang mulai populer di negara – negara Barat antara lain pengganti daging berbahan dasar kedelai, susu

kedelai, keju kedelai dan yogurt kedelai. Kandungan isoflavon dari isolat protein kedelai tergantung pada metode yang digunakan untuk mengisolasinya. Isolat protein kedelai yang dibuat dengan proses pencucian etanol umumnya kehilangan sebagian besar isoflavon yang terkait, sementara yang dibuat dengan proses pencucian air cenderung mempertahankan isoflavonnya (Setchell & Cole, 2003).

Isoflavon kedelai diketahui memiliki aktivitas estrogenic atau mirip hormon yang lemah karena kemiripan strukturalnya dengan 17- β -estradiol. Estrogen adalah molekul pensinyalan yang mengerahkan efeknya dengan mengikat reseptor di dalam sel. Kompleks reseptor estrogen berinteraksi dengan DNA untuk mengubah ekspresi gen yang responsif terhadap estrogen. Reseptor Estrogen (ER) hadir di banyak jaringan selain yang terkait dengan reproduksi, termasuk di tulang, hati, jantung dan otak (National Cancer Institute, 2005). Beberapa literatur menunjukkan peranan aktivitas selektif jaringan fitoestrogen karena efek anti-estrogenik pada jaringan reproduksi dapat membantu mengurangi resiko kanker terkait hormon (payudara, rahim dan prostat), sementara efek estrogenic pada jaringan lain dapat membantu menjaga kepadatan mineral tulang dan memperbaiki profil lipid darah (Barnes, et al., 2000; Holzbeierlein, et al., 2005; Kao, et al., 1998).

Tabel 3.2. Beberapa makanan yang kaya akan isoflavon kedelai t

Total Isoflavone, Daidzein, Genistein and Glycitein Content of Selected Foods*					
Food	Serving	Total Isoflavones (mg)	Daidzein (mg)	Genistein (mg)	Glycitein (mg)
Soy protein concentrate, aqueous washed	3.5 oz	94.6	38.2	52.8	4.9
Soy protein concentrate,	3.5 oz	11.5	5.8	5.3	1.5

Total Isoflavone, Daidzein, Genistein and Glycitein Content of Selected Foods*					
Food	Serving	Total Isoflavones (mg)	Daidzein (mg)	Genistein (mg)	Glycitein (mg)
alcohol washed					
Miso	½ cup	57	22.6	32	4.1
Soybeans, mature seeds, boiled	½ cup	56	26.5	26.9	3.2
Tempeh	3 ounces	51.5	19.3	30.7	3.2
Tempeh, cooked	3 ounces	30.3	11.1	18	1.2
Soybeans, dry roasted	1 ounce	41.6	17.4	21.2	3.7
Soy milk, low-fat	1 cup	6.2	2.4	3.7	0.1
Tofu yogurt	½ cup	21.3	7.5	12.3	1.6
Tofu, soft	3 ounces	19.2	8.1	10.1	1.4
Soybeans, green, boiled (Edamame)	½ cup	16.1	6.7	6.3	4.1
Meatless (soy) burger, unprepared	1 patty	4.5	1.6	3.5	0.4
Meatless (soy) sausage	3 links	10.8	3.3	6.9	1.7
Soy cheese, cheddar	1 oz	1.9	0.5	0.6	0.8
*Isoflavone content of soy foods can vary considerably between brands and between different lots of the same brand (147); therefore, these values should be viewed only as a guide. *per 100 g (fresh weight) or 100 mL (liquids); 100 grams is equivalent to about 3.5 ounces; 100 mL is equivalent to about 3.5 fluid ounces.					

Sumber : (USDA Food Composition Database; Setchell & Cole, 2003)

3.3.3 Manfaat Isoflavon Untuk Kesehatan

Sejumlah studi epidemiologi dan klinis telah menunjukkan peran protektif diet tinggi isoflavon terhadap perkembangan gejala spesifik menopause dan beberapa penyakit kronis, termasuk penyakit kardiovaskuler, osteoporosis, gangguan kognitif dan hormon yang mempengaruhi kanker ((Franco, et al., 2016; Cheng, et al., 2015; Wong, et al., 2012; Zhang, et al., 2016). Berdasarkan beberapa literatur mengenai manfaat mengkonsumsi kedelai bagi kesehatan manusia, maka Food and Drugs Administration (FDA) menyetujui penggunaan klaim bahwa “mengkonsumsi 25 gram protein kedelai per hari merupakan salah satu bagian dari diet rendah lemak jenuh dan kolesterol yang dapat mengurangi resiko penyakit jantung (USDA, 2013).

Isoflavon merupakan polifenol yang memiliki aktivitas antioksidan yang kuat karena dapat menetralkan radikal bebas dan mencegah peroksidasi lipid dengan menghentikan reaksi berantai. Selain itu, isoflavon juga mampu menginduksi enzim antioksidan (glutathione peroksidase, katalase, dan superoksida dismutase) serta menghambat ekspresi beberapa enzim seperti xantin oksidasi (Tsao, 2010). Protektif antioksidan isoflavon dari ekstrak kedelai atau tumbuhan, seperti *Trifolium pratense* L. atau *Genista tinctoria* L. telah dibuktikan dalam studi klinis serta pada model hewan coba (Azadbakht, et al., 2007; Cha, et al., 2014; Popa, et al., 2014).

Aktivitas anti-karsinogenik genistein telah dinilai lebih teliti diantara isoflavon lainnya. Genistein berperan dalam inisiasi, apoptosis, mengubah proliferasi sel dan angiogenesis serta menghambat metastasis pada banyak jenis sel kanker (Spagnuolo, et al., 2015). Sebuah penelitian meta-analisis dari studi kohort prospektif yang dilakukan pada populasi Asia dan Asia Amerika, menunjukkan bahwa asupan isoflavon kedelai yang lebih tinggi (≥ 20 mg/hari) dapat menurunkan 29% resiko kejadian kanker payudara (Wu, et al., 2008).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahles S, Joris PJ, Plat J. Effects of Berry Anthocyanins on Cognitive Performance, Vascular Function and Cardiometabolic Risk Markers: A Systematic Review of Randomized Placebo-Controlled Intervention Studies in Humans. *Int J Mol Sci.* 2021;22(12):6482. Published 2021 Jun 17. doi:10.3390/ijms22126482
- Ames B.N., Shigenaga M.K., Hagen T.M. Oxidants, antioxidants, and the degenerative diseases of aging. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 1993; 90: 7915-7922
- Azadbakht L, Kimiagar M, Mehrabi Y, Esmailzadeh A, Hu FB, Willett WC. Dietary soya intake alters plasma antioxidant status and lipid peroxidation in postmenopausal women with the metabolic syndrome. *Br J Nutr.* 2007;98(4):807-813. Doi: 10.1017/S0007114507746871
- Barnes S, Boersma B, Patel R, et al. Isoflavonoids and chronic disease: mechanisms of action. *Biofactors.* 2000;12(1-4):209-215.
- Basu A , Schell J , Scofield RH . Dietary fruits and arthritis. *Food Funct.* 2018;9(1):70-77. doi:10.1039/c7fo01435j
- Cha YS, Park Y, Lee M, Chae SW, Park K, Kim Y, Lee HS. Doenjang, a Korean fermented soy food, exerts antiobesity and antioxidative activities in overweight subjects with the PPAR- γ 2 C1431T polymorphism: 12-week, double-blind randomized clinical trial. *J Med Food.* 2014;17(1):119-127. Doi: 10.1089/jmf.2013.2877

- Chen J, Xu B, Sun J, Jiang X, Bai W. Anthocyanin supplement as a dietary strategy in cancer prevention and management: A comprehensive review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2022;62(26):7242-7254. doi: 10.1080/10408398.2021.1913092. Epub 2021 Apr 19. PMID: 33872094.
- Cheng PF, Chen JJ, Zhou XY, Ren YF, Huang W, Zhou JJ, Xie P. Do soy isoflavones improve cognitive function in postmenopausal women?. *Meta Anal Menopause*. 2015;22(2):198-206. Doi: 10.1097/GME.0000000000000290
- Celik E, Sanlier N. Effects of nutrient and bioactive food components on Alzheimer's disease and epigenetic. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2019;59(1):102-113. doi: 10.1080/10408398.2017.1359488. Epub 2017 Oct 11. PMID: 28799782.
- Diaconeasa Z, Știrbu I, Xiao J, et al. Anthocyanins, Vibrant Color Pigments, and Their Role in Skin Cancer Prevention. *Biomedicines*. 2020;8(9):336. Published 2020 Sep 9. doi:10.3390/biomedicines8090336
- Fletcher RJ. Food sources of phyto-oestrogens and their precursors in Europe. *Br J Nutr*. 2003;89 Suppl 1:S39-43.
- Franke AA, Lai JF, Halm BM. Absorption, distribution, metabolism, and excretion of isoflavonoids after soy intake. *Arch Biochem Biophys*. 2014;559:24-28.
- Franco OH, Chowdhury R, Troup J, Voortman T, Kunutsor S, Kavousi M, Oliver-Williams C, Muka T. Use of plant-based therapies and menopausal symptoms: a systematic review and meta-analysis. *JAMA*. 2016;315(23):2554-2563. Doi: 10.1001/jama.2016.8012

- Guo X, Yang B, Tan J, Jiang J, Li D. Associations of dietary intakes of anthocyanins and berry fruits with risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Eur J Clin Nutr.* 2016 Dec;70(12):1360-1367. doi: 10.1038/ejcn.2016.142. Epub 2016 Aug 17. PMID: 27530472.
- Hazafa A, Rehman KU, Jahan N, Jabeen Z. The Role of Polyphenol (Flavonoids) Compounds in the Treatment of Cancer Cells. *Nutr Cancer.* 2020;72(3):386-397. doi: 10.1080/01635581.2019.1637006. Epub 2019 Jul 9. PMID: 31287738.
- Hostetler GL, Ralston RA, Schwartz SJ. Flavones: food sources, bioavailability, metabolism, and bioactivity. *Adv Nutr.* 2017;15;8(3):423-435. doi:10.3945/an.116.012948
- Holzbeierlein JM, McIntosh J, Thrasher JB. The role of soy phytoestrogens in prostate cancer. *Curr Opin Urol.* 2005;15(1):17-22.
- Igwe EO, Charlton KE, Roodenrys S, Kent K, Fanning K, Netzel ME. Anthocyanin-rich plum juice reduces ambulatory blood pressure but not acute cognitive function in younger and older adults: a pilot crossover dose-timing study. *Nutr Res.* 2017 Nov;47:28-43. doi: 10.1016/j.nutres.2017.08.006. Epub 2017 Aug 25. PMID: 29241576.
- Jeong MH, Ko H, Jeon H, Sung GJ, Park SY, Jun WJ, Lee YH, Lee J, Lee SW, Yoon HG, Choi KC. Delphinidin induces apoptosis via cleaved HDAC3-mediated p53 acetylation and oligomerization in prostate cancer cells. *Oncotarget.* 2016 Aug 30;7(35):56767-56780. doi: 10.18632/oncotarget.10790. PMID: 27462923; PMCID: PMC5302952.

- Jing P. Purple corn anthocyanins: chemical structure, chemopreventive activity and structure/function relationships. PhD thesis, 2006; The Ohio State University, U.S.A. p: 5-90.
- Ju YH, Doerge DR, Allred KF, Allred CD, Helferich WG. Dietary genistein negates the inhibitory effect of tamoxifen on growth of estrogen-dependent human breast cancer (MCF-7) cells implanted in athymic mice. *Cancer Res.* 2002;62(9):2474-2477.
- Kao YC, Zhou C, Sherman M, Laughton CA, Chen S. Molecular basis of the inhibition of human aromatase (estrogen synthetase) by flavone and isoflavone phytoestrogens: A site-directed mutagenesis study. *Environ Health Perspect.* 1998;106(2):85-92.
- Kent K, Charlton K, Roodenrys S, Batterham M, Potter J, Traynor V, Gilbert H, Morgan O, Richards R. Consumption of anthocyanin-rich cherry juice for 12 weeks improves memory and cognition in older adults with mild-to-moderate dementia. *Eur J Nutr.* 2017 Feb;56(1):333-341. doi: 10.1007/s00394-015-1083-y. Epub 2015 Oct 19. PMID: 26482148.
- Kent K, Charlton KE, Netzel M, Fanning K. Food-based anthocyanin intake and cognitive outcomes in human intervention trials: a systematic review. *J Hum Nutr Diet.* 2017 Jun;30(3):260-274. doi: 10.1111/jhn.12431. Epub 2016 Oct 11. PMID: 27730693.
- Khoo HE, Azlan A, Tang ST, Lim SM. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food Nutr Res.* 2017;61(1):1361779. doi:10.1080/16546628.2017.1361779.

- Kimble R, Keane KM, Lodge JK, Howatson G. Dietary intake of anthocyanins and risk of cardiovascular disease: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2019;59(18):3032-3043. doi: 10.1080/10408398.2018.1509835. Epub 2018 Oct 2. PMID: 30277799.
- Kokubo Y, Iso H, Ishihara J, et al. Association of dietary intake of soy, beans, and isoflavones with risk of cerebral and myocardial infarctions in Japanese populations: the Japan Public Health Center-based (JPHC) study cohort I. *Circulation.* 2007;116(22):2553-2562.
- Lada Vugic, Natalie Colson, Elham Nikbakht, Almottesembellah Gaiz, Olivia J. Holland, Avinash Reddy Kundur, Indu Singh. 2020. Anthocyanin supplementation inhibits secretion of pro-inflammatory cytokines in overweight and obese individuals. *Journal of Functional Foods*, Volume 64, 2020, 103596, ISSN 1756-4646, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103596>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464619305201>)
- Lampe JW. Isoflavonoid and lignan phytoestrogens as dietary biomarkers. *J Nutr.* 2003;133 Suppl 3:956S-964S.
- Lear R, O'Leary M, O'Brien Andersen L, Holt CC, Stensvold CR, van der Giezen M, Bowtell JL. Tart Cherry Concentrate Does Not Alter the Gut Microbiome, Glycaemic Control or Systemic Inflammation in a Middle-Aged Population. *Nutrients.* 2019 May 13;11(5):1063. doi: 10.3390/nu11051063. PMID: 31085979; PMCID: PMC6567170.

- Lim WC, Kim H, Kim YJ, Park SH, Song JH, Lee KH, Lee IH, Lee YK, So KA, Choi KC, Ko H. Delphinidin inhibits BDNF-induced migration and invasion in SKOV3 ovarian cancer cells. *Bioorg Med Chem Lett*. 2017 Dec 1;27(23):5337-5343. doi: 10.1016/j.bmcl.2017.09.024. Epub 2017 Sep 18. PMID: 29122484.
- Linus Pauling Institute. 2016. Flavonoids. Diakses pada tanggal 21 Mei 2023 <https://lpi.oregonstate.edu/mic/dietary-factors/phytochemicals/flavonoids>
- Manach C, Scalbert A, Morand C, Remesy C, Jimenez L. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr*. 2004;79(5):727-747.
- Manolescu BN, Oprea E, Mititelu M, Ruta LL, Farcasanu IC. Dietary Anthocyanins and Stroke: A Review of Pharmacokinetic and Pharmacodynamic Studies. *Nutrients*. 2019 Jun 28;11(7):1479. doi: 10.3390/nu11071479. PMID: 31261786; PMCID: PMC6682894.
- Mathesius Ulrike. Flavonoid Functions in Plants and Their Interactions with Other Organisms. *Plants (Basel)*. 2018;7(2):30. Published 2018 Apr 3. doi:10.3390/plants7020030
- Mattioli R, Francioso A, Mosca L, Silva P. Anthocyanins: A Comprehensive Review of Their Chemical Properties and Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Diseases. *Molecules*. 2020 Aug 21;25(17):3809. doi: 10.3390/molecules25173809. PMID: 32825684; PMCID: PMC7504512.
- Messina M, Nagata C, Wu AH. Estimated Asian adult soy protein and isoflavone intakes. *Nutr Cancer*. 2006;55(1):1-12.

- Montané X, Kowalczyk O, Reig-Vano B, et al. Current Perspectives of the Applications of Polyphenols and Flavonoids in Cancer Therapy. *Molecules*. 2020;25(15):3342. Published 2020 Jul 23. doi:10.3390/molecules25153342
- Mozos I, Flangea C, Vlad DC, et al. Effects of Anthocyanins on Vascular Health. *Biomolecules*. 2021;11(6):811. Published 2021 May 30. doi:10.3390/biom11060811
- Munro IC, Harwood M, Hlywka JJ, et al. Soy isoflavones: a safety review. *Nutr Rev*. 2003;61(1):1-33.
- National Cancer Institute. Understanding Estrogen Receptors/SERMs. National Cancer Institute. January 2005. <http://www.cancer.gov/cancertopics/understandingcancer/estrogenreceptors>. Accessed 7/12/09.
- Nikkhah E., Khayami M., Heidari R. In vitro screening for antioxidant activity and cancer suppressive effect on blackberry (*Morus nigra*). *Iran. J Canc. Prevent*. 2008; 1: 167-172
- Ockermann P, Headley L, Lizio R, Hansmann J. A Review of the Properties of Anthocyanins and Their Influence on Factors Affecting Cardiometabolic and Cognitive Health. *Nutrients*. 2021;13(8):2831. Published 2021 Aug 18. doi:10.3390/nu13082831
- Panche AN, Diwan AD, Chandra SR. Flavonoids: an overview. *J Nutr Sci*. 2016;5:e47. doi:10.1017/jns.2016.41
- Phaniendra A, Jestadi DB, Periyasamy L. Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian J Clin Biochem*. 2015;30(1):11-26. doi:10.1007/s12291-014-0446-0
- Popa DS, Hanganu D, Vlase L, Kiss B, Loghin F, Crişan G. Protective effect of *Trifolium pratense* extract on oxidative stress induced by bisphenol A in rats. *Farmacia*. 2014;62(2):341-349.

- Reis JF, Monteiro VV, de Souza Gomes R, et al. Action mechanism and cardiovascular effect of anthocyanins: a systematic review of animal and human studies. *J Transl Med.* 2016;14(1):315. Published 2016 Nov 15. doi:10.1186/s12967-016-1076-5
- Rietjens IMCM, Louisse J, Beekmann K. The potential health effects of dietary phytoestrogens. *Br J Pharmacol.* 2017 Jun;174(11):1263-80. doi:10.1111/bph.13622
- Silva RFM, Pogačnik L. Polyphenols from Food and Natural Products: Neuroprotection and Safety. *Antioxidants (Basel).* 2020;9(1):61. Published 2020 Jan 10. doi:10.3390/antiox9010061
- Setchell KD, Cole SJ. Variations in isoflavone levels in soy foods and soy protein isolates and issues related to isoflavone databases and food labeling. *J Agric Food Chem.* 2003;51(14):4146-4155.
- Sun Y, Zhang Y, Xu W, Zheng X. Analysis of the Anthocyanin Degradation in Blue Honeysuckle Berry under Microwave Assisted Foam-Mat Drying. *Foods.* 2020 Mar 31;9(4):397. doi: 10.3390/foods9040397. PMID: 32244338; PMCID: PMC7231185.
- Spagnuolo C, Russo GL, Orhan IE, Habtemariam S, Daglia M, Sureda A, Nabavi SF, Devi KP, Loizzo MR, Tundis R, Nabavi SM. Genistein and cancer: current status, challenges, and future directions. *Adv Nutr.* 2015;6(4):408–419. Doi: 10.3945/an.114.008052
- Speer H, D'Cunha NM, Alexopoulos NI, McKune AJ, Naumovski N. Anthocyanins and Human Health-A Focus on Oxidative Stress, Inflammation and Disease. *Antioxidants (Basel).* 2020;9(5):366. Published 2020 Apr 28. doi:10.3390/antiox9050366

- Szalay Jessie. 2015. What are flavonoids? livescience.com. diakses pada tanggal 20 Mei 2023 <https://www.livescience.com/52524-flavonoids.html>
- Tang ZH, Zhou L. Study of anthocyanins influencing on human health and its prospect. Food Research and Development. 2009;30(7):159-162
- Thijssen DHJ, Bruno RM, van Mil ACCM, Holder SM, Fajta F, Greyling A, Zock PL, Taddei S, Deanfield JE, Luscher T, Green DJ, Ghiadoni L. Expert consensus and evidence-based recommendations for the assessment of flow-mediated dilation in humans. Eur Heart J. 2019 Aug 7;40(30):2534-2547. doi: 10.1093/eurheartj/ehz350. PMID: 31211361.
- Tsao R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. Nutrients. 2010;2(12):1231-1246. Doi: 10.3390/nu2121231
- US Food and Drug Administration. Guidance for Industry: A Food Labeling Guide (11. Appendix C: Health Claims). 2013. <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/LabelingNutrition/ucm064919.htm>
- US Department of Agriculture. USDA Database for the Isoflavone Content of Selected Foods, Release 2. Available at: <http://www.ars.usda.gov/News/docs.htm?docid=6382>. Accessed 20/6/23.
- US Department of Agriculture. USDA Database for the Proanthocyanidin Content of Selected Foods. August, 2004. Available at: <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/80400525/Data/PA/PA.pdf>. Accessed 20/6/23.

- US Department of Agriculture. USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods, release 3.1. May 2014. Available at: http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/80400525/Data/Flav/Flav_R03-1.pdf. Accessed 21/6/23.
- Wong JM, Kendall CW, Marchie A, Liu Z, Vidgen E, Holmes C, Jackson CJ, Josse RG, Pencharz PB, Rao AV, Vuksan V, Singer W, Jenkins DJ. Equol status and blood lipid profile in hyperlipidemia after consumption of diets containing soy foods. *Am J Clin Nutr*. 2012;95(3):564–571. Doi: 10.3945/ajcn.111.017418
- Wu AH, Yu MC, Tseng CC, Pike MC. Epidemiology of soy exposures and breast cancer risk. *Br J Cancer*. 2008;98(1):9-14.
- Xiao J, Kai G, Yamamoto K, Chen X. Advance in dietary polyphenols as α -glucosidases inhibitors: a review on structure-activity relationship aspect. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2013;53(8):818-836.
- Yang Y, Wen LX. Physiological activity and function of anthocyanins. *Hunan Agricultural Sciences*. DOI: 10.16498/j.cnki.hnnykx.2011.20.003
- Zhang H, Xu Z, Zhao H, et al. Anthocyanin supplementation improves anti-oxidative and anti-inflammatory capacity in a dose-response manner in subjects with dyslipidemia. *Redox Biol*. 2020;32:101474. doi:10.1016/j.redox.2020.101474
- Zhang Q, Feng H, Qluwakemi B, Wang J, Yao S, Cheng G, Xu H, Qiu H, Zhu L, Yuan M. Phytoestrogens and risk of prostate cancer: an updated meta-analysis of epidemiologic studies. *Int J Food Sci Nutr*. 2016;9:1–15. Doi: 10.1080/09637486.2016.1216525

BAB 4

SIFAT FUNGSIONAL KAROTENOID (Likopen dan Lutein)

Oleh Efriwati

4.1 Pendahuluan

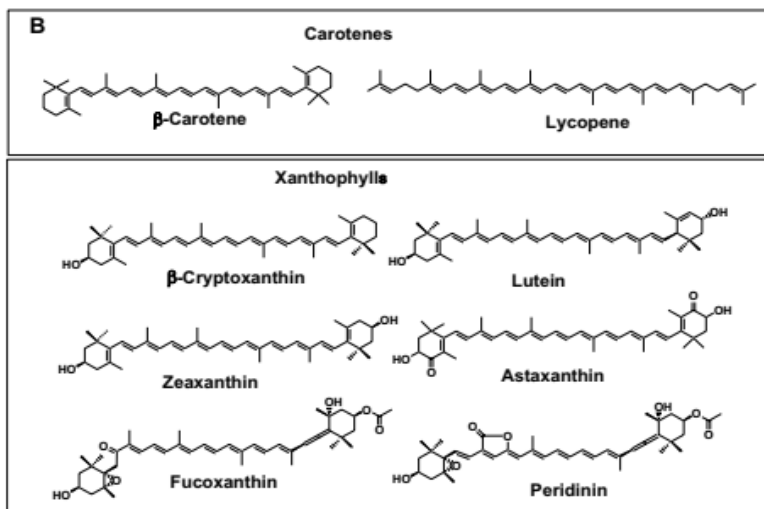
Carotenoids (Karotenoid) merupakan pigmen tetraterpen yang dapat disintesis secara *de novo* oleh bakteri fotosintetik, jamur, ganggang dan tumbuhan. Hewan dan manusia tidak dapat menyintesis karotenoid ini. Akumulasi karotenoid pada hewan dan produk hewani murni diperoleh dari luar tubuh melalui makanan, namun hewan mampu memodifikasi karotenoid melalui reaksi metabolisme. Akibatnya keragaman karotenoid sangat tinggi dan sebanyak 850 karotenoid alami telah dilaporkan hingga tahun 2018 (Maoka, 2020)

Secara garis besar karotenoid dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

1. *Carotene* (Karoten) dan
2. *Xanthophyll* (Xantofil).

Kedua kelompok ini dibedakan karena struktur khasnya, dimana karoten mengandung oksigen (O_2) dan xantofil mengandung hidrokarbon (OH) (Gambar 1). Likopen, α -karoten, β -karoten dan β, ψ -karoten (γ -karoten) adalah beberapa contoh dari karoten, dan hingga tahun 2018 sudah ditemukan sekitar 50 jenis karoten. Sementara kelompok xantofil memiliki keragaman yang lebih tinggi dan di tahun yang sama, sekitar 800 jenis xantofil sudah ditemukan sebagai produk alam.

Beberapa contoh xantofil adalah β -cryptoxanthin, lutein, zeaxanthin, astaxanthin, fucoxanthin, dan peridinin. (Maoka, 2020)



Gambar 4.1 Struktur khas karoten (atas) dan struktur khas xantofil (bawah)
(Sumber : Maoka, 2020)

Meskipun keragaman karotenoid sangat tinggi, namun dalam BAB 4 ini kita khusus akan membahas mengenai *Lycopene* (likopen) yang termasuk dalam kelompok karoten dan lutein yang termasuk kelompok xantofil.

4.2 Likopen

Likopen adalah salah satu karotenoid yang bertanggung jawab atas warna merah hingga merah muda dan banyak ditemukan pada buah dan sayuran (Grabowska *et al.*, 2019; Dutta and Dutta, 2022). Selanjutnya Grabowska *et al.*, (2019) menyatakan bahwa potensi anti oksidan Likopen lebih besar dibanding dengan karotenoid yang lain, sehingga penggunaan Likopen sebagai pewarna makanan alami dengan sifat fungsional

yang beragam semakin meningkat akhir-akhir ini (Dutta and Dutta, 2022). Grabowska *et al.*, (2019) ini juga mereview mengenai potensi fungsi likopen sebagai *therapeutic* (terapeutik). Di bawah ini akan dibahas mengenai sifat fungsional likopen.

4.2.1 Sifat Fungsional Likopen

Sifat fungsional likopen sangat beragam. Likopen digunakan secara luas dalam beberapa produk industri, seperti industri kosmetik, makanan fungsional, dan obat-obatan serta terapeutik dan *nutraceuticals* (nutrasetikal).

4.2.1.1 Likopen pada Kosmetik

Penggunaan likopen sebagai bahan alami dalam pembuatan kosmetik semakin diminati. Ekstrak likopen sering digunakan dalam produk kosmetik untuk melindungi kulit dari sinar *ultraviolet* (UV). Likopen juga digunakan pada produk-produk kosmetik untuk tujuan mengencangkan, meregenerasi, merevitalisasi, dan menjaga elastisitas kulit. Likopen dapat mengaktifkan fungsi kolagen untuk menghambat proses penuaan kulit (Baran, Miziak and Bonio, 2020).

4.2.1.2. Likopen pada makanan

Pemanfaatan likopen pada makanan dapat meningkatkan nilai biologis suatu produk dan meningkatkan status makanan tersebut menjadi makanan fungsional. Makanan yang diperkaya likopen memiliki efek antioksidan yang nyata dan mampu mengurangi risiko dari banyak penyakit. Likopen juga merupakan pewarna alami dan banyak digunakan untuk pembuatan produk-produk daging, seperti *frankfurters*, *hamburger*, *mortadella*, roti, fermentasi sosis, dan daging mentah (Siepko, Chwastowska-Siwiecka and Kondratowicz, 2015).

Selain sebagai makanan fungsional likopen juga dikenal sebagai makanan terapeutik. Manfaat konsumsi makanan mengandung likopen antara lain:

a. **Menurunkan risiko penyakit Jantung atau Cardiovasculer (CVD).**

Likopen dapat melindungi sistem kardiovaskular, jantung, mencegah kerusakan endothelium serta pembuluh darah (Przybylska and Tokarczyk, 2022). Likopen juga dapat mencegah aterosklerosis serta penyakit kardiovaskular lainnya. (Costa-Rodrigues, Pinho and Monteiro, 2018). Sehingga konsumsi tomat, semangka serta makanan yang kaya likopen lainnya, termasuk suplemen, sangat disarankan untuk dapat melindungi jantung dari kerusakan.

b. **Menurunkan risiko kanker.**

Likopen dapat mencegah atau menurunkan risiko penyakit kanker, antara lain kanker prostat, kanker payudara, kanker paru-paru, kanker kulit dan kanker lainnya.

Kanker Prostat.

Suatu studi metaanalisis yang dilakukan (Mirahmadi *et al.*, 2020) menemukan bahwa likopen efektif menekan perkembangan dan proliferasi sel, menekan siklus sel, dan menginduksi apoptosis sel kanker prostat, baik dari uji *in-vivo* maupun *in-vitro*.

Kanker payudara.

Studi *invitro* dengan sel kanker MCF-7 sebagai model, menemukan bahwa ekstrak likopen dari jambu biji merah dapat menurunkan viabilitas sel kanker payudara dalam waktu 24 dan 72 jam perlakuan dengan konsentrat Letal (LC50) masing-masing 29,85 mg/mL dan 5,96 mg/mL (dos Santos *et al.*, 2018).

Kanker paru-paru.

Risiko kanker paru-paru pada perokok juga dapat ditekan dengan likopen. Suatu uji *in vivo* pada musang oleh Aizawa *et al.*, (2016), menemukan bahwa suplementasi 2,2 dan 6,6 mg kg⁻¹ likopen dapat mencegah ekspresi karsinogen asal tembakau yaitu 4-(*N-methyl-N-nitrosamine*) -1-(3-pyridyl)-1-butanone atau NNK pada reseptor *asetilkolin nikotinat* $\alpha 7$ paru-paru dan NF- κ B serta CYP2E1 di hati hewan coba. Penelitian ini juga menemukan bahwa terapi likopen juga dapat menurunkan kematian pada hewan coba.

Kanker Kulit.

Likopen melindungi tubuh terhadap risiko kanker kulit. Hasil uji klinis yang dilakukan oleh Grether-Beck *et al.*, (2017), menemukan bahwa suplementasi secara oral 5 mg likopen dan 10 mg lutein selama 12 minggu, signifikan menurunkan ekspresi sel kanker pada heme mRNA yang sudah diinduksi dengan radiasi UV (penyebab kanker kulit).

c. Mencegah Kemandulan (*Infertility*) pada Pria.

Hasil review beberapa penelitian yang dilakukan Grabowska *et al.*, (2019) menemukan bahwa likopen berfungsi mencegah terjadinya kerusakan spermatozoa akibat stres oksidatif. Pemberian likopen efektif meningkatkan gerakan spermatozoa, aktivitas mitokondria dan karakteristik antioksidan. Asupan likopen 1,5 mg per 100 g berat badan selama satu bulan, pada hewan coba yang diinduksi untuk mandul dengan *cyproterone acetate*, signifikan memulihkan motilitas, meningkatkan jumlah dan viabilitas spermatozoa.

d. Mencegah Sindrom Metabolik.

Sindrom metabolik adalah suatu kondisi terjadinya tiga dari lima ketidak normalan (*anomaly*) pada seseorang yaitu obesitas, peningkatan kadar trigliserida (TG), penurunan kolesterol lemak baik atau *high-density level* (HDL-C),

hiperglikemia dan hipertensi. Sindrom metabolik ini sangat berisiko pada peningkatan penyakit jantung, stroke, dan diabetes tipe 2. Konsumsi likopen menjaga seseorang terhindar dari penyakit jantung, stroke, dan diabetes tipe 2 dengan cara mencegah terjadinya sindrom metabolik. (Grabowska *et al.*, 2019).

Likopen dapat mencegah obesitas. Suatu studi pada jaringan adiposa tikus yang diinduksi untuk obesitas dan kemudian mendapat suplemen likopen. Menunjukkan hasil bahwa likopen mampu menghambat obesitas dengan cara mengubah ekspresi gen pengkode enzim homeostatis metabolik, peningkatan metabolisme lipid dan karbohidrat, pembatasan kalori, pencegahan penyakit terkait penuaan dan pemeliharaan dari jumlah abnormal lemak pada darah (Luvizotto *et al.*, 2015).

Likopen juga mampu memperbaiki profil lipid tubuh yaitu meningkatkan HDL dan menurunkan TG. Kadar 20 mg kg⁻¹ likopen pada jaringan hati tikus akan menurunkan kolesterol lemak jahat (LDL-C) dan trigliserida (TG) dan meningkatkan kolesterol lemak baik (HDL-C) (Jiang, Guo and Hai, 2016).

Likopen dapat menurunkan kadar glukosa pada tikus hiperglikemia. Penelitian yang dilakukan oleh Ozmen *et al.*, (2016) menemukan bahwa pemberian likopen dan kafein pada tikus yang diinduksi hiperglikemia akibat penyimpangan sekresi insulin, menghasilkan terjadinya penurunan glukosa darah dan urin, serta meningkatkan kadar insulin serum.

Likopen bersifat sebagai pencegahan dan mengobati penyakit arteri koroner (CAD) dan hipertensi. Bin-Jumah *et al.*, (2022) dalam reviewnya menyatakan bahwa likopen menghambat enzim yang mampu mengubah angiotensin dan mengatur bioavailabilitas oksida nitro untuk mengurangi

tekanan darah. Likopen juga mampu menurunkan kadar LDL dan meningkatkan kadar HDL untuk meminimalisir aterosklerosis dalam pencegahan penyakit arteri koroner dan hipertensi. Selanjutnya Bin-Jumah *et al.*, (2022) juga menyatakan likopen memiliki kemampuan sebagai anti oksidan, anti-diabetes dan anti-hipertensi.

e. Mencegah Gangguan Hati.

Penyakit hepatitis, fibrosis, sirosis, dan kanker hati adalah penyakit yang terjadi karena adanya gangguan pada hati. Ibrahim *et al.*, (2022) menyatakan likopen bersifat hepatoprotektif, yang dapat memproteksi kerusakan pada hati manusia yang disebabkan oleh banyak hal, seperti akibat radiasi, keracunan obat dan lingkungan, termasuk kerusakan hati pada peminum alkohol (*alcoholic*).

f. Mencegah penyakit-penyakit lainnya.

Likopen juga diketahui dapat mencegah gangguan sistem syaraf pusat, seperti penyakit Alzheimer, Parkinson, Huntington, Iskemia Serebral dan Epilepsi (Chen, Huang and Chen, 2019), sebagai *anti aging* (anti penuaan) pada kulit wanita (Cioffi and Pagano, 2020), dan masih banyak lagi fungsi konsumsi likopen terhadap kesehatan.

4.2.1.3 Likopen pada pakan ternak

Likopen juga dimanfaatkan pada produksi pakan ternak untuk meningkatkan kualitas daging atau telur hewan ternak (Siepmo, Chwastowska-Siwiecka and Kondratowicz, 2015). Pemberian provitamin berupa likopen dan astaxanthin dapat meningkatkan nilai biologis dan sifat fungsional telur ayam, memberi warna yang lebih baik pada kuning telur dan memengaruhi metabolisme lipid dan asam lemak (Shevchenko *et al.*, 2020).

4.2.2 Sumber Likopen

Keberadaan likopen sering dihubungkan dengan buah tomat dan semangka, namun likopen juga ditemukan pada tanaman lain. Tabel 4.1 menyajikan beberapa tanaman yang terdapat di sekitar kita yang merupakan sumber likopen yang dapat dikonsumsi sehari-hari, baik dalam bentuk segar maupun dalam bentuk olahan, beserta kadar likopennya.

Tabel 4.1. Tanaman yang Mengandung Likopen dan Olahannya Beserta Kadarnya (mg/kg)

Tanaman			Kadar Likopen (mg/kg)
Nama Indonesia	Nama ilmiah	Bagian Tanaman	
Tomat	<i>Solanum lycopersicum</i>	Buah	104,699 ± 0,000 *
Tomat dimasak			37,0 **
Saos Tomat			62,0 **
Tomat Pasta			54,0 - 150,0 **
Jambu Biji Merah	<i>Psidium guajava</i> L	Buah	32,3 - 55,0 **
Wortel	<i>Daucus carota</i> L	Umbi	6,5 - 7,8 **
Ubi Jalar	<i>Ipomoea batatas</i>	Umbi	0,2 - 1,1 **
Semangka	<i>Citrullus lanatus</i> var. <i>lanatus</i>	Buah	144,27 ± 0,001*
Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	Buah	4,122 ± 0,000 *
Pisang	<i>Musa acuminata</i>	Buah	31,189 ± 0,001 *
Anggur	<i>Vitis vinifera</i>	Buah	10,028 ± 0,000 *
Jeruk	<i>Citrus reticulata</i>	Buah	13,1904 ± 0,000 *
Pepaya	<i>Carica papaya</i>	Buah	45,342 ± 0,000 *
Bubur Pepaya (dengan kulit)			144,0 ± 0,28 - 3.39 ± 0,32 ***
Bubur Pepaya (tanpa kulit)			150 ± 0.23 - 2.94 ± 0.70 ***

Sumber:*=(Suwanaruang, 2016) ** = (Imran *et al.*, 2020) ***
=(Marelli De Souza *et al.*, 2008)

Pemanfaatan likopen yang semakin meningkat, terutama dibidang industri yang menuntut tersedianya likopen dalam jumlah yang besar. Tanaman sebagai sumber likopen tidak mencukupi. Penggunaan sel mikroba (bakteri dan jamur) untuk memproduksi likopen dalam jumlah besar menjadi strategi yang efisien pada akhir-akhir ini. Hussain *et al.*, (2022) menyatakan penggunaan sel mikroba memiliki banyak keunggulan dalam menghasilkan produk-produk alami seperti likopen. Mikroba dapat menghasilkan hasil yang tinggi, mudah untuk dioptimalisasi, layak secara ekonomi, pertumbuhan yang tinggi pada media murah, dan lebih stabil. Selain itu produk alami yang berasal dari mikroba dapat dikontrol melalui teknik pengoptimalan genetik maupun proses-proses canggih lainnya. Sebagai contoh bakteri tanah dengan karakteristik menghasilkan likopen rendah yaitu *Pseudomonas putida* KT2440 dapat direkayasa untuk menghasilkan peningkatan kadar likopen 50 kali lebih tinggi dari biasanya (Hernandez-Arranz *et al.*, 2019).

4.3 Lutein

Lutein merupakan karotenoid kelompok xantofil yang bersifat menguntungkan bagi kesehatan manusia. Lutein merupakan antioksidan yang larut dalam lemak. Lutein banyak ditemukan pada sayuran berdaun hijau, buah-buahan, dan juga pada kuning telur. Aplikasi lutein sangat luas dibidang industri makanan dan pakan, *nutraceutical* (nutraseutikal), dan farmasi. Mikroalga adalah produsen lutein yang paling menjanjikan akhir-akhir ini. Mikroalga menghasilkan lutein dengan biomassa yang tinggi. Selain itu lutein dari mikroalga memiliki tingkat pertumbuhan dan efisiensi fotosintesis yang juga lebih tinggi, dan merupakan sumber lutein yang berkelanjutan (Zheng *et al.*, 2022).

4.3.1 Sifat fungsional lutein

Sama halnya dengan likopen, sifat fungsional lutein juga sangat beragam. Lutein digunakan dalam beberapa produk industri, seperti industri kosmetik, makanan fungsional, obat-obatan dan nutrasetikal.

4.3.1.1 Lutein pada Kosmetik

Pemanfaatan bahan alami dalam formula kosmetik dan perawatan kulit semakin diminati masyarakat modern saat ini. Lutein sebagai bahan kosmetik alami, sangat potensial karena kandungan antioksidan dan pigmennya yang tinggi. Selain itu aplikasi lutein pada kosmetik tidak memiliki efek samping yang tidak diinginkan, yang kontras dengan bahan kosmetik sintetik. Sehingga pencarian sumber-sumber likopen dari strain mikroalga dengan kriteria pertumbuhan sel, konsentrasi pigmen, aktivitas antioksidan, dan kandungan polifenol yang tinggi semakin dicari oleh industri kosmetik (Tenorio *et al.*, 2022)

4.3.1.2. Lutein pada makanan

Selain dalam bentuk alami, seperti pada buah dan sayur lutein juga ditemukan pada makanan yang diperkaya (fortifikasi), dalam bentuk suplementasi dan makanan fungsional lainnya. Sama halnya dengan likopen penambahan lutein pada makanan akan meningkatkan status makanan tersebut menjadi makanan fungsional dengan nilai biologis yang lebih baik. Makanan yang mengandung lutein memiliki efek antioksidan dan mengurangi risiko dari banyak penyakit, terutama penyakit yang berhubungan dengan penglihatan dan syaraf pusat. Lutein juga dijadikan makanan terapeutik. Manfaat konsumsi makanan yang mengandung lutein antara lain:

a. Perkembangan Sistem Syaraf.

Lutein yang cukup dikonsumsi selama periode neonatal terlibat dalam perkembangan penglihatan dan sistem saraf. Adanya rangsangan visual penglihatan ini

merupakan elemen yang sangat penting untuk merangsang perkembangan otak dan kognitif anak selanjutnya. Sehingga lutein penting untuk sistem visual yang normal dan juga perkembangan neurokognitif otak anak (Zielińska *et al.*, 2017). Selanjutnya Jeon *et al.*, (2018) menyatakan bahwa lutein berperan dalam proses visual di awal kehidupan.

b. Fungsi Kognitif.

Penurunan fungsi kognitif sangat umum terjadi pada orang-orang yang mengalami penuaan. Kondisi ini ditandai dengan terjadinya penurunan kinerja pada semua domain kognitif, yang berakibat terjadinya penurunan kualitas hidup. Pada tingkat yang sangat serius kondisi ini dapat mengakibatkan penyakit Alzheimer (Wang *et al.*, 2008). Hasil metaanalisis yang dilakukan Li and Abdel-aal, (2021) menunjukkan bahwa diet lutein, sebagai nutrisi antioksidan otak dapat melindungi dan mencegah penurunan fungsi kognitif, terutama fungsi eksekutif seperti perencanaan, pengambilan keputusan pada aktivitas sehari-hari. Namun Li and Abdel-aal, (2021) juga mengatakan diet lutein tidak signifikan dapat meningkatkan kinerja kognitif, tetapi Lopresti, Smith and Drummond, (2022), menyatakan suplementasi lutein dan zeaxanthin selama 6 bulan pada orang dewasa dengan keluhan kognitif dapat meningkatkan memori visual dan belajar.

c. Fungsi Penglihatan

Efek menguntungkan Lutein terhadap kesehatan mata telah dibuktikan oleh beberapa penelitian. Suplementasi 10 mg lutein setiap hari dalam waktu jangka panjang dapat meningkatkan konsentrasi serum lutein, kepadatan optik pigmen makula, dan sensitivitas visual pasien yang

mengalami degenerasi makula terkait usia dini (Huang *et al.*, 2015). Selanjutnya Buscemi *et al.*, (2018) menyatakan Lutein dapat memperbaiki atau mencegah kebutaan dan gangguan penglihatan akibat degenerasi makula terkait usia. Selain itu terapi karotenoid lutein dapat berefek meningkatkan neuroprotektif sebagai salah satu strategi tambahan untuk pengelolaan retinopati yang merupakan penyebab utama kebutaan permanen akibat diabetes (Lem, Gierhart and Davey, 2021). Oleh sebab itu asupan Lutein yang cukup dari buah dan sayuran yang mengandung lutein yang tinggi serta suplemen lutein sangat dianjurkan untuk orang tua atau orang-orang yang berisiko tinggi terhadap kondisi klinis ini.

d. Fungsi pada Otak.

Asupan lutein dari buah dan sayuran yang tinggi lutein atau dari suplemen sangat diperlukan untuk menjaga kesehatan otak orang-orang dewasa yang sudah memasuki usia tua. Suatu studi sistematis review yang dilakukan Yagi *et al.*, (2021), mengungkapkan bahwa selain peningkatan fungsi kognitif, asupan lutein juga memiliki efek menguntungkan pada kesehatan otak orang tua yang sehat.

e. Fungsi Menurunkan Risiko Penyakit.

Studi tentang asupan lutein yang tinggi atau kadar lutein yang tinggi pada serum, memiliki risiko lebih rendah terhadap penyakit kardiovaskular dan beberapa jenis kanker. Lutein berperan sebagai modulator untuk mediasi stres oksidatif pada peradangan (Ahn and Kim, 2021). Namun studi epidemiologi menunjukkan hubungan ini tidak konsisten.

4.3.1.3 Lutein pada pakan ternak.

Sifat pakan yang dikonsumsi oleh sapi, sangat mempengaruhi komposisi susu yang dihasilkan, termasuk konsentrasi lutein yang dikandung susu. Hijauan segar mengandung lutein sebagai sumber karotenoid utama pada pakan sapi, selain itu manipulasi pakan sapi melalui suplementasi lutein dapat meningkatkan kandungan lutein pada susu sapi yang akan dikonsumsi manusia. Stephenson, Ross and Stanton, (2021) menyatakan bahwa susu atau produk susu yang diperkaya lutein atau karotenoid lainnya merupakan pangan fungsional yang sangat menjanjikan, namun demikian penelitian mengenai makanan yang diperkaya atau makanan fungsional susu ini perlu dipelajari lebih lanjut, terutama pada susu formula bayi.

4.3.2 Sumber Lutein

Secara alami lutein ditemukan dalam jumlah tinggi pada kuning telur. Bioavailabilitas lutein dalam kuning telur ini juga lebih tinggi (Tsiaka *et al.*, 2018). Selain telur beberapa beberapa buah-buahan dan sayuran berwarna juga mengandung lutein yang baik untuk kesehatan manusia. Kandungan lutein beberapa makanan disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Makanan yang Mengandung Likopen dan Olahannya Beserta Kadarnya (mg/100g)

No	Makanan				Kadar Likopen (mg/100g)
	Nama Indonesia	Nama ilmiah	Bagian tanaman/ Hewan	Pengolahan	
1	Telur Ayam	<i>Gallus gallus domesticus</i>	Utuh (putih dan kuning)	mentah	288
				dimasak	237
			Kuning telur	mentah	787
				dimasak	645
2	Jagung	<i>Zea mays</i>	Jagung frozen	dimasak	202
3	Bayam	<i>Spinacia oleracea</i>	Daun	Dimasak	12,640
			Utuh	Mentah	6603
4	Cabe	<i>Capsicum annum</i>	Buah cabe merah (tua)	Mentah	0
			Buah cabe orange (setengah tua)	Mentah	208
			Buah cabe Kuning (setengah tua)	Mentah	139
			Buah cabe Hijau (muda)	Mentah	173
5	Brokoli	<i>Brassica oleracea</i>	Batang dan Bunga	Dimasak	77
6	Mentimun	<i>Cucumis sativus</i>	Buah	Mentah	361
7	Seledri	<i>Petroselinum crispum</i>	Tangkai dan Daun	Mentah	4326
8	Buncis	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Buah (Frozen)	Mentah	306
9	Kale,	<i>Brassica oleracea</i>	Daun	Menah	8884
10	Lektus	<i>Latuca sativa</i>	Daun	Mentah	3824

Sumber Perry2009

Keterangan : dimasak = di mikroweve 60 -75 detik sesuai kematangan masing-masing bahan

DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, Y.J. and Kim, H. (2021) 'Lutein as a modulator of oxidative stress-mediated inflammatory diseases', *Antioxidants*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox10091448>.
- Aizawa, K. *et al.* (2016) 'Tobacco carcinogen induces both lung cancer and non-alcoholic steatohepatitis and hepatocellular carcinomas in ferrets which can be attenuated by lycopene supplementation', *International Journal of Cancer*, 139(5), pp. 1171–1181. Available at: <https://doi.org/10.1002/ijc.30161>.
- Baran, M.T., Miziak, P. and Bonio, K. (2020) 'Characteristics of carotenoids and their use in the cosmetics industry', *Journal of Education, Health and Sport*, 10(7), pp. 192–196. Available at: <https://doi.org/10.12775/jehs.2020.10.07.020>.
- Bin-Jumah, M.N. *et al.* (2022) 'Lycopene: A Natural Arsenal in the War against Oxidative Stress and Cardiovascular Diseases', *Antioxidants*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox11020232>.
- Buscemi, S. *et al.* (2018) 'The effect of lutein on eye and extra-eye health', *Nutrients*. MDPI AG. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu10091321>.
- Chen, D., Huang, C. and Chen, Z. (2019) 'A review for the pharmacological effect of lycopene in central nervous system disorders', *Biomedicine and Pharmacotherapy*. Elsevier Masson SAS, pp. 791–801. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.12.151>.
- Cioffi, E. and Pagano, I. (2020) 'Anti-aging effects of topic treatment and dietary supplements of lycopene on women', *Pharmacologyonline*, 3(SpecialIssue).

- Costa-Rodrigues, J., Pinho, O. and Monteiro, P.R.R. (2018) 'Can lycopene be considered an effective protection against cardiovascular disease?', *Food Chemistry*. Elsevier Ltd, pp. 1148–1153. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.055>.
- Dutta, Debasmita and Dutta, Debjani (2022) 'Lycopene as Nutraceuticals', in *Handbook of Nutraceuticals and Natural Products*. Available at: <https://doi.org/10.1002/9781119746843.ch11>.
- Grabowska, M. *et al.* (2019) 'Let food be your medicine: Nutraceutical properties of lycopene', *Food and Function*. Royal Society of Chemistry, pp. 3090–3102. Available at: <https://doi.org/10.1039/c9fo00580c>.
- Grether-Beck, S. *et al.* (2017) 'Molecular evidence that oral supplementation with lycopene or lutein protects human skin against ultraviolet radiation: results from a double-blinded, placebo-controlled, crossover study', *British Journal of Dermatology*, 176(5), pp. 1231–1240. Available at: <https://doi.org/10.1111/bjd.15080>.
- Hernandez-Arranz, S. *et al.* (2019) 'Engineering *Pseudomonas putida* for isoprenoid production by manipulating endogenous and shunt pathways supplying precursors', *Microbial Cell Factories*, 18(1). Available at: <https://doi.org/10.1186/s12934-019-1204-z>.
- Huang, Y.M. *et al.* (2015) 'Effect of supplemental lutein and zeaxanthin on serum, macular pigmentation, and visual performance in patients with early age-related macular degeneration', *BioMed Research International*, 2015. Available at: <https://doi.org/10.1155/2015/564738>.

- Hussain, M.H. *et al.* (2022) 'Multiscale engineering of microbial cell factories: A step forward towards sustainable natural products industry', *Synthetic and Systems Biotechnology*. KeAi Communications Co., pp. 586–601. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.synbio.2021.12.012>.
- Ibrahim, I.M. *et al.* (2022) 'Promising hepatoprotective effects of lycopene in different liver diseases', *Life Sciences*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2022.121131>.
- Imran, M. *et al.* (2020) 'Lycopene as a natural antioxidant used to prevent human health disorders', *Antioxidants*. MDPI, pp. 1–27. Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox9080706>.
- Jeon, S. *et al.* (2018) 'Lutein is differentially deposited across brain regions following formula or breast feeding of infant rhesus macaques', *Journal of Nutrition*. Oxford University Press, pp. 31–39. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/nxx023>.
- Jiang, W., Guo, M.H. and Hai, X. (2016) 'Hepatoprotective and antioxidant effects of lycopene on non-alcoholic fatty liver disease in rat', *World Journal of Gastroenterology*, 22(46), pp. 10180–10188. Available at: <https://doi.org/10.3748/wjg.v22.i46.10180>.
- Lem, D.W., Gierhart, D.L. and Davey, P.G. (2021) 'A systematic review of carotenoids in the management of diabetic retinopathy', *Nutrients*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu13072441>.
- Li, J. and Abdel-aal, E.S.M. (2021) 'Dietary lutein and cognitive function in adults: A meta-analysis of randomized controlled trials', *Molecules*, 26(19). Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules26195794>.

- Lopresti, A.L., Smith, S.J. and Drummond, P.D. (2022) 'The Effects of Lutein and Zeaxanthin Supplementation on Cognitive Function in Adults With Self-Reported Mild Cognitive Complaints: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Study', *Frontiers in Nutrition*, 9. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.843512>.
- Luvizotto, R.A.M. *et al.* (2015) 'Lycopene-rich tomato oleoresin modulates plasma adiponectin concentration and mRNA levels of adiponectin, SIRT1, and FoxO1 in adipose tissue of obese rats', *Human and Experimental Toxicology*, 34(6), pp. 612–619. Available at: <https://doi.org/10.1177/0960327114551395>.
- Maoka, T. (2020) 'Carotenoids as natural functional pigments', *Journal of Natural Medicines*. Springer. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11418-019-01364-x>.
- Marelli De Souza, L. *et al.* (2008) *L-ASCORBIC ACID, β β -CAROTENE AND LYCOPENE CONTENT IN PAPAYA FRUITS (*Carica papaya*) WITH OR WITHOUT PHYSIOLOGICAL SKIN FRECKLES*. Available at: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000300004>.
- Mirahmadi, M. *et al.* (2020) 'Potential inhibitory effect of lycopene on prostate cancer', *Biomedicine and Pharmacotherapy*. Elsevier Masson SAS. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110459>.
- Ozmen, O. *et al.* (2016) 'Effects of caffeine and lycopene in experimentally induced diabetes mellitus', in *Pancreas*. Lippincott Williams and Wilkins, pp. 579–583. Available at: <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000000489>.
- Przybylska, S. and Tokarczyk, G. (2022) 'Lycopene in the Prevention of Cardiovascular Diseases', *International Journal of Molecular Sciences*. MDPI. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms23041957>.

- dos Santos, R.C. *et al.* (2018) 'Lycopene-rich extract from red guava (*Psidium guajava* L.) displays cytotoxic effect against human breast adenocarcinoma cell line MCF-7 via an apoptotic-like pathway', *Food Research International*, 105, pp. 184–196. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.045>.
- Shevchenko, L. V. *et al.* (2020) 'The effect of astaxanthin and lycopene on the content of fatty acids in chicken egg yolks', *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 11(4), pp. 568–571. Available at: <https://doi.org/10.15421/022088>.
- Siepmko, N., Chwastowska-Siwiecka, I. and Kondratowicz, J. (2015) 'Properties of lycopene and utilizing it to produce functional foods', *Zywnosc.Nauka.Technologia.Jakosc/Food.Science.Technology.Quality* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.15193/zntj/2015/103/084>.
- Stephenson, R.C., Ross, R.P. and Stanton, C. (2021) 'Carotenoids in milk and the potential for dairy based functional foods', *Foods*. MDPI AG. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods10061263>.
- Suwanaruang, T. (2016) 'Analyzing Lycopene Content in Fruits', *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 11, pp. 46–48. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.12.008>.
- Tenorio, C. *et al.* (2022) 'Effects of ultraviolet radiation on production of photoprotective compounds in microalgae of the genus *Pediastrum* from high Andean areas of Peru', *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 12(3), pp. 087–095. Available at: <https://doi.org/10.7324/JAPS.2022.120309>.

- Tsiaka, T. *et al.* (2018) 'Macular carotenoids in lipid food matrices: DOE-based high energy extraction of egg yolk xanthophylls and quantification through a validated APCI(+) LC-MS/MS method', *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 1096, pp. 160–171. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2018.08.010>.
- Wang, W, Shinto, L, Connor, W. E and Joseph F. Quinn. (2008) *Nutritional Biomarkers in Alzheimer's Disease: The Association between Carotenoids, n-3 Fatty Acids, and Dementia Severity*. *Journal of Alzheimer's Disease*, 13, pp 31-38.
- Yagi, A. *et al.* (2021) 'Lutein has a positive impact on brain health in healthy older adults: A systematic review of randomized controlled trials and cohort studies', *Nutrients*. MDPI AG. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu13061746>.
- Zheng, H. *et al.* (2022) 'Recent advances in lutein production from microalgae', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111795>.
- Zielińska, M.A. *et al.* (2017) 'Health effects of carotenoids during pregnancy and lactation', *Nutrients*. MDPI AG. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu9080838>.

BAB 5

SIFAT FUNGSIONAL ASAM LEMAK

Oleh Ulfatul Mardiyah

5.1 Pendahuluan

Selama dua dekade terakhir kesadaran masyarakat terhadap kesehatan semakin meningkat, salah satunya dalam memahami peran asam lemak terutama asam lemak tidak jenuh terhadap beberapa pencegahan penyakit seperti kardiovaskular, inflamasi, diabetes, dan kanker. Hal ini sangat didukung dengan keberadaan sumber asam lemak yang melimpah di Indonesia, karena asam lemak esensial ini banyak ditemukan dalam ikan dan beberapa bahan pangan yang mengandung minyak nabati seperti minyak jagung, minyak biji rami, minyak biji kapas, minyak kedelai, minyak biji anggur, minyak kenari, minyak kacang, minyak bunga saf, minyak wijen, minyak kedelai, dan minyak bunga matahari.

Asam lemak baik bebas atau yang terikat dalam lipid kompleks memiliki peran penting dalam proses metabolisme tubuh atau dalam pembentukan energi, karena sekitar 30-35 % dari total asupan energi berasal dari asam lemak. Asam lemak juga merupakan komponen utama dalam membran sel dan berfungsi sebagai regulator dalam sel. (Rustan and Drevon, 2005). Selain itu, telah disebutkan bahwasanya asam lemak memiliki tiga fungsi vital di antaranya: seperti asam linoleat sebagai nutrisi esensial untuk tubuh, asam lemak rantai pendek berfungsi sebagai sumber energi, dan asam lemak rantai panjang adalah komponen struktural membran sel (buku omega 3)

5.2 Asam Lemak

Asam lemak termasuk ke dalam jenis asam karboksilat dengan gugus karboksil (HO-C=O) di ujung rantai alifatik. Panjangnya rantai alifatik pada asam lemak bervariasi dari 2 sampai 20 atau lebih atom karbon. Asam lemak yang paling umum dalam makanan memiliki jumlah atom karbon yang genap berkisar dari 12 hingga 22 karbon, meskipun ada pula beberapa asam lemak yang memiliki rantai lebih pendek ataupun lebih panjang dan bernomor ganjil.

Rantai asam lemak terdiri dari atom karbon yang membentuk empat ikatan kovalen baik dengan atom hidrogen maupun dengan atom karbon yang lain. Asam lemak dibagi menjadi asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh berdasarkan ada tidaknya ikatan rangkap pada rantai karbonnya. Asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) merupakan asam lemak yang pada rantai karbonnya tidak memiliki ikatan rangkap, yakni atom karbon penyusunnya hanya berikatan tunggal/mengikat dua atom hidrogen, sedangkan asam lemak tidak jenuh (*unsaturated fatty acid*) adalah asam lemak yang pada rantai karbonnya terdapat ikatan rangkap (*double bond*) sehingga hanya mengikat satu atom hidrogen. Berdasarkan jumlah ikatannya, asam lemak tidak jenuh dikelompokkan lagi menjadi dua, yaitu asam lemak dengan ikatan tidak jenuh tunggal (*mono-unsaturated fatty acid* atau MUFA) dan asam lemak dengan ikatan tidak jenuh jamak (*poly-unsaturated fatty acid* atau PUFA).

5.2.1 Asam Lemak Jenuh

Asam lemak jenuh merupakan asam lemak dengan rantai alifatik tanpa memiliki ikatan rangkap di sepanjang rantai karbonnya, dan jumlah rantai karbon dari asam lemak jenis ini umumnya adalah genap. Sumber asam lemak jenuh berasal dari hewani termasuk daging dan susu, serta dari sumber nabati seperti pada minyak kelapa dan minyak kelapa sawit, daging berlemak, produk turunan daging, krim, keju dan mentega.

Adapun macam-macam asam lemak jenuh beserta sumbernya ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 Jenis asam lemak jenuh

Jumlah karbon (C)	Nama	Struktur	Sumber
18	Asam Stearat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	Gajih sapi
16	Asam Palmitat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	Minyak sawit
14	Asam Miristat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	Minyak pala
12	Asam Laurat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	PKO
10	Asam Kaprat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	Kelapa
8	Asam Kaprilat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	Kelapa
6	Asam Kaproat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$	Mentega
4	Asam butirat	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$	Mentega

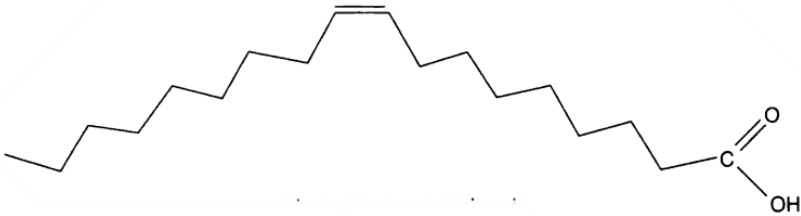
Sumber: O'Keefe, 2002

5.2.2 Asam Lemak tak Jenuh

Asam lemak tak jenuh merupakan asam lemak yang memiliki ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya. Asam lemak tak jenuh atau asam lemak yang dengan ikatan rangkap memiliki bentuk cis. Hal ini terjadi karena ikatan rangkap menyebabkan ikatan ruang asam lemak tak jenuh berbentuk bengkok (Gambar 5.1). Asam lemak tak jenuh dibedakan menjadi dua macam berdasarkan banyaknya jumlah ikatan rangkap: yakni MUFA (*Mono Unsaturated Fatty Acid*) yaitu asam lemak tak jenuh yang hanya memiliki satu ikatan rangkap dan PUFA (*Poly Unsaturated Fatty Acid*), yaitu asam lemak tak jenuh yang memiliki lebih dari satu ikatan rangkap.

Masyarakat umum sudah banyak mengetahui akan keunggulan dari asam lemak tidak jenuh ini dalam fungsinya untuk kesehatan. Banyak makanan fungsional kesehatan yang menggunakan asam lemak tak jenuh sebagai inti dari produk tersebut. Makanan fungsional dapat didefinisikan sebagai

makanan atau komponen diet yang dapat memberikan manfaat kesehatan yang signifikan selain nutrisi dasar.



Gambar 5.1. Struktur *cis*-asam oleat

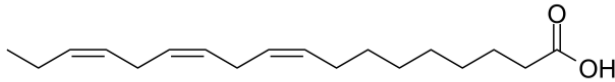
5.3 Sifat Fungsional Asam Lemak

Istilah asam lemak esensial (EFA) mengacu pada asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) yang harus disediakan oleh makanan karena ini tidak dapat disintesis dalam tubuh namun diperlukan untuk kesehatan. Ada dua keluarga EFA, omega-3 (ω -3) dan omega-6 (ω -6). Asam lemak omega-3 memiliki kesamaan ikatan rangkap karbon-karbon akhir pada posisi -3 yaitu ikatan ketiga dari ujung metil asam lemak sedangkan asam lemak -6 memilikinya pada posisi -6 yaitu keenam ikatan dari

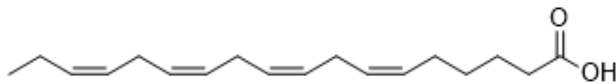
5.3.1 Asam Lemak Omega-3

Asam lemak omega-3 adalah termasuk asam lemak tidak jenuh yang dengan ikatan rangkap lebih dari satu, di mana ikatan rangkap pertama berada pada atom karbon yang ketiga dari gugus metil omega. Ikatan rangkap berikutnya terletak pada nomor atom karbon ketiga dari ikatan rangkap yang sebelumnya. Gugus metil omega adalah gugus terakhir dari rantai asam lemak. Beberapa contoh asam lemak omega-3 antara lain: asam α -linolenat (ALA; 18:3 ω -3), asam stearidonat (SDA; 18:4 ω -3), asam eikosapentaenoat (EPA; 20:5 ω -3), asam dokosapentaenoat (DPA; 22:5 ω -3), dan asam dokosaheksaenoat (DHA; 22:6 ω -3)

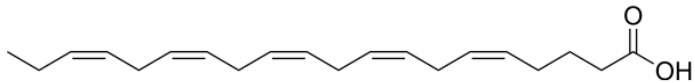
(Johnson, 2014). Adapun struktur masing-masing asam lemak omega-3 ditunjukkan pada gambar 5.2 :



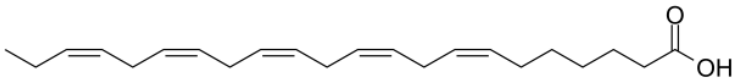
(a) α -linolenat (ALA; 18:3 ω -3)



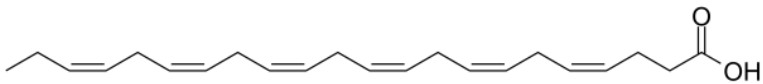
(b) Asam stearidonat (SDA; 18:4 ω -3)



(c) Asam eikosapentaenoat (EPA; 20:5 ω -3)



(d) Asam dokosapentaenoat (DPA; 22:5 ω -3)



(e) Asam dokosaheksaenoat (DHA; 22:6 ω -3)

Gambar 5.2. Struktur asam lemak omega-3
(Shahidi and Ambigaipalan, 2018)

Beberapa bahan pangan yang banyak mengandung asam lemak omega-3 adalah minyak nabati, ikan dan sebagian juga ditemukan dalam alga. Asam lemak tak jenuh PUFA seperti EPA dan DHA banyak terdapat pada daging dan hati ikan. Namun, saat

ini sudah banyak tersedia dalam bentuk minyak ikan dengan kandungan omega-3 yang sangat tinggi. Sedangkan alga, jamur, minyak sel tunggal, minyak biji borage dan minyak evening primrose baru-baru ini menjadi populer sebagai sumber asam lemak rantai panjang omega-3 yang baru dan terbarukan. Selain itu, minyak krill yang mengandung bentuk triasilgliserol (TAG) dan fosfolipid (PL) yang mengandung EPA dan DHA telah berhasil dikomersilkan (Hamam & Shahidi 2006, Senanayake & Shahidi 2002). Kedelai dan tanaman telah dimodifikasi secara genetik juga mengandung tingkat asam lemak omega-3 yang lebih tinggi (FAO, 2010). Biji rami, chia, dan kanola adalah sumber α -linolenat (ALA) yang baik.

Asam lemak omega-3 merupakan asam lemak esensial. Telah dilaporkan bahwa sintesis α -linolenat (ALA) dalam tubuh manusia kurang dari 4% dari jumlah yang dibutuhkan oleh tubuh, oleh sebab itu sangat penting untuk mengonsumsi makanan yang mengandung asam lemak omega-3. Asupan ALA yang dibutuhkan bervariasi antara 1,1 hingga 1,6 g/hari tergantung pada usia dan jenis kelamin. Selain itu, juga direkomendasikan untuk memenuhi asupan α -linolenat (ALA) setidaknya dengan mengonsumsi dua porsi ikan per minggu, sehingga menyediakan hampir 0,3–0,45 g EPA dan DHA per hari. FAO (2010) merekomendasikan setidaknya 0,5–0,6% ALA per hari untuk pencegahan gejala defisiensi pada orang dewasa, dengan total intake PUFA omega-3 sebesar 0,5–2%. Berikut beberapa sifat fungsional asam lemak omega-3 bagi kesehatan.

a. Penyakit Kardiovaskular

Sejumlah penelitian telah dilakukan mengenai efek asam lemak omega-3 terhadap kesehatan, terutama pada beberapa penyakit kardiovaskular, seperti infark miokard, stroke, penyakit jantung bawaan, fibrilasi atrium, aterosklerosis subklinis, penyakit jantung koroner, gagal jantung, kematian jantung mendadak, penyakit katup, dan penyakit arteri perifer.

Oleh karena itu, konsumsi rutin ikan yang mengandung ω -3 PUFA dapat menurunkan risiko kematian akibat penyakit kardiovaskular (Mozaffarian *et al.*, 2016)

b. Diabetes

Asam lemak omega-3 juga telah dilaporkan berperan dalam pengendalian diabetes. Konsumsi asam lemak omega-3 dalam meningkatkan sensitivitas insulin pada orang tua setelah delapan minggu dan secara signifikan. Telah diketahui bahwasanya resistensi insulin menyebabkan hiperglikemia postprandial, peningkatan kadar FFA, hiperinsulinemia, dan disfungsi sel β pankreas dan mengakibatkan obesitas, sindrom metabolik, dan diabetes tipe 2. Namun, masih ada kontroversi terkait dengan efek asam lemak omega-3 pada diabetes dan resistensi insulin, karena sebagian penelitian menunjukkan adanya peningkatan risiko diabetes tipe 2 dengan asupan asam lemak omega-3 yang lebih tinggi PUFA ($\geq 0,20$ g ω -3/hari atau ≥ 2 porsi ikan/hari) (Djousse *et al.*, 2011).

c. Kanker

Selama dekade terakhir beberapa studi eksperimental dan epidemiologi telah menunjukkan bahwa asam lemak omega-3 bersifat antikarsinogenik sehingga dapat mengurangi risiko kanker. Asam lemak omega-3 telah terbukti mempengaruhi berbagai jenis kanker, termasuk kanker prostat, usus besar, payudara, paru-paru, kolorektal, ovarium, pankreas, kulit, dan lambung. Selain itu, asam lemak omega-3 telah terbukti meningkatkan kemanjuran dan tolerabilitas kemoterapi (Mocellin *et al.*, 2017).

Kemungkinan mekanisme asam lemak omega-3 dalam menghambat sel kanker adalah sebagai berikut: (a) menurunkan biosintesis eikosanoid yang berasal dari asam arakidonat, yang menyebabkan perubahan respons imun terhadap sel kanker, modulasi inflamasi, proliferasi sel, apoptosis, metastasis, dan angiogenesis; (b) mempengaruhi

aktivitas faktor transkripsi yang menyebabkan perubahan metabolisme, pertumbuhan sel, dan diferensiasi; (c) mengubah aktivitas metabolisme estrogen yang diikuti dengan penurunan pertumbuhan sel yang distimulasi estrogen; (d) mengubah radikal bebas dan produksi oksigen reaktif; dan (e) modulasi sensitivitas insulin dan fluiditas membran (Larsson *et al.*, 2004).

d. Penyakit Alzheimer

Beberapa studi epidemiologi telah menunjukkan bahwa asupan ω -3 PUFA yang lebih rendah dikaitkan dengan peningkatan risiko penurunan kemampuan kognitif atau demensia, terutama untuk penyakit Alzheimer. Asam lemak omega-3 dapat mencegah penyakit Alzheimer. DHA adalah komponen utama PL membran di otak, khususnya di korteks serebral, mitokondria, sinaptosom, dan vesikel sinaptik. Mekanisme asam lemak omega-3 pada fungsi otak meliputi modifikasi pada (a) membran fluiditas, (b) aktivitas enzim yang terikat membran, (c) jumlah dan afinitas reseptor, (d) fungsi saluran ion, (e) produksi dan aktivitas neurotransmitter, dan (f) transduksi sinyal, yang mengontrol aktivitas neurotransmitter dan faktor pertumbuhan saraf (Yehuda, 2011).

e. Depresi

Mekanisme asam lemak omega-3 sebagai antidepresan antara lain : (a) sekresi inflamasi sitokin yang dapat memicu gangguan depresi; (b) meningkatkan fluiditas membran sehingga terjadi peningkatan transpor serotonin 5-HT (hidroksitriptamin) oleh sel endotel; (c) meningkatkan konsentrasi DHA di korteks frontal, yang dapat meningkatkan konsentrasi dopamin dan pengikatan reseptor D (dopamin) 2; dan (d) interaksi dengan reseptor membran sel saraf dan pembawa pesan kedua, yang menyebabkan perubahan suasana hati (Shahidi and Ambigaipalan, 2018).

f. Perkembangan Otak

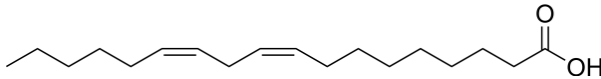
Beberapa penelitian telah melaporkan mengenai peran penting asam lemak omega-3 terhadap perkembangan otak. Asupan makanan asam lemak omega-3 yang rendah akan meningkatkan kebutuhan rasio AA/DHA otak selama perkembangan baik sebelum atau sesudah kelahiran. Perubahan rasio AA/DHA dalam otak akan mengalami keterlambatan migrasi neuron, neurogenesis, ekspansi lempeng kortikal embrionik, mengurangi penyerapan glukosa otak dan metabolisme, juga menyebabkan gangguan glutamat dan monoamina fungsi sinaptik (McNamara *et al.*, 2017). Seperti yang telah diketahui bahwasanya 70 % massa otak terdiri dari lemak, dan sejumlah hasil penelitian menyebutkan bahwa asam lemak DHA berfungsi untuk membangun 14 bilion sel otak manusia di masa kritis pertumbuhan, yakni di masa setelah kelahiran atau selama masa kehamilan sampai 18 bulan tumbuh kembang anak.

g. Kesehatan Ibu Hamil dan Anak

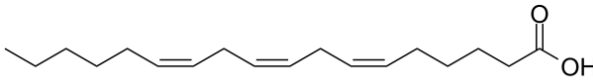
Banyak studi epidemiologi telah menunjukkan hubungan asam lemak omega-3 dengan kesehatan selama kehamilan dan kesehatan anak. Asam lemak omega-3 mempengaruhi lama kehamilan, kelahiran prematur, berat lahir anak, depresi peripartum, hipertensi gestasional/preeklampsia, pola pertumbuhan pascanatal, ketajaman visual, perkembangan neurologis, perkembangan kognitif, gangguan spektrum autisme, ADHD, gangguan belajar, dermatitis atopik, alergi, dan gangguan pernapasan. Sebuah penelitian juga menunjukkan manfaat dari peningkatan asam lemak omega-3 dalam makanan ibu hamil menghambat alergi di masa kanak-kanak (Newberry *et al.*, 2016)

5.3.2 Asam Lemak Omega-6

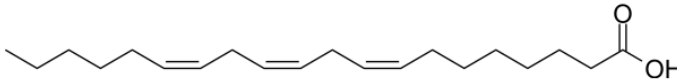
Asam lemak omega-6 adalah asam lemak tak jenuh ganda yang ditandai dengan adanya dua atau lebih ikatan rangkap dengan bentuk cis, di mana posisi rangkap pertama terdapat pada atom karbon keenam dari ujung metil. Berikut beberapa jenis asam lemak omega-6 :



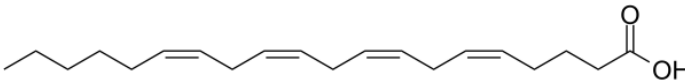
(a) Asam Linoleat (LA; 18:2 ω -6)



(b) γ -Linolenic acid (GLA; 18:3 ω -6)



(c) Dihomo- γ -linolenic acid (DGLA; 20:3 ω -6)



(d) Asam arakidonat (AA; 20:4 ω -6)

Gambar 5.3. Struktur asam lemak omega-6

(Johnson, 2014)

Sumber asam lemak omega-6 khususnya asam linoleat (LA; 18:2 ω -6) banyak ditemukan di minyak nabati seperti minyak jagung, kacang tanah, kedelai, dan biji kapas. Sedangkan asam arakidonat (AA; 20:4 ω -6) banyak terdapat pada daging, telur, produk susu. Asam linoleat (LA; 18:2 ω -6) merupakan asam lemak omega-6 yang dibutuhkan lebih besar oleh tubuh dibandingkan dengan jenis asam lemak omega-6 yang lainnya. Rata-rata asupan harian asam linoleat (LA) untuk orang dewasa yang berusia lebih dari 19 tahun adalah sekitar 11 gr atau setara dengan 4,4% dari total energi. Namun terdapat perbedaan pengaruh konsumsi antara asam lemak

omega-3 dan omega-6, di mana beberapa penelitian menyebutkan bahwa konsumsi asam lemak omega-6 justru dapat meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular, meningkatkan peradangan (*proinflamasi*) sehingga resiko kanker juga akan semakin tinggi (Johnson, 2014).

DAFTAR PUSTAKA

- Djousse, L. *et al.* (2011) 'Dietary Omega-3 Fatty Acids and Fish Consumption and Risk of Type 2 Diabetes', *Am. J. Clin. Nutr.*, 93.
- FAO (2010) *Fats and Fatty Acids in Human Nutrition: Report of an Expert Consultation*. Rome.
- Johnson, M. (2014) 'Omega-3, Omega-6 and Omega-9 Fatty Acids: Implications for Cardiovascular and Other Diseases', *Journal of Glycomics & Lipidomics*, 04(04), pp. 4–11. doi: 10.4172/2153-0637.1000123.
- Larsson, S. C. *et al.* (2004) 'Dietary long-chain n-3 fatty acids for the prevention of cancer: a review of potential mechanisms', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(6), pp. 935–945.
- McNamara, R. K. *et al.* (2017) 'Role of polyunsaturated fatty acids in human brain structure and function across the lifespan: An update on neuroimaging findings', *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 136, pp. 23–34.
- Mocellin, M. C. *et al.* (2017) 'Fish Oil effects on quality of life, body weight and free fat mass change in gastrointestinal cancer patients undergoing chemotherapy: a triple blind, randomized clinical trial.. 31:113–22', *Journal of Functional Foods*, 31, pp. 112–122.
- Mozaffarian, D. *et al.* (2016) 'Executive Summary: Heart Disease and Stroke Statistics-2016 Update: A Report from the American Heart Association.', *Circulation*, 133.
- Newberry, S. *et al.* (2016) 'Omega-3 Fatty Acids and Maternal and Child Health: An Updated Systematic Review', *Evidence Report/technology Assessment*, 224(1).
- O'Keefe, S. F. (2002) *Nomenclature and Classification of Lipids In Food Lipid, Chemistry, Nutrition, and Biotechnology*. Second edit. New York: Marcel Dekker Inc.

- Rustan, A. C. and Drevon, C. A. (2005) 'Fatty Acids: Structures and Properties', *Encyclopedia of Life Science*. New York: John Wiley & sons, Ltd. doi: 10.1038/npg.els.0003894.
- Shahidi, F. and Ambigaipalan, P. (2018) 'Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Their Health Benefits', *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, pp. 345–381. doi: 10.1146/annurev-food-111317-095850.
- Yehuda, S., Rabinovitz-Shenkar, S. and Carasso, R. L. (2011) 'Effects of essential fatty acids in iron deficient and sleep-disturbed attention deficit hyperactivity disorder (ADHD) children', *European Journal of Clinical Nutrition*, 65, pp. 1167–1169.

BAB 6

SIFAT FUNGSIONAL KATEKIN & ALLISIN

Oleh Euis Nurlaela

6.1 Pendahuluan

Tuntutan konsumen akan bahan pangan semakin meningkat. Masyarakat saat ini semakin sadar, bahwa hidup sehat sangat penting. Bahan makanan yang diminati bukan hanya memiliki kandungan gizi yang baik, penampilan serta citarasa yang menarik, akan tetapi harus mempunyai fungsi fisiologis tertentu bagi tubuh sehingga dapat memberi efek sehat bagi yang mengonsumsinya. (Widyaningsih *et al.*, 2017)

Salah satu komponen atau senyawa bioaktif non zat gizi dalam bahan pangan yang dapat memberikan efek fisiologis atau menimbulkan sifat fungsional diantaranya katekin dan allisin. Hal ini dapat dilihat dari berbagai hasil penelitian tentang manfaat suatu senyawa bioktif yang dikandungnya. (Widyaningsih *et al.*, 2017)

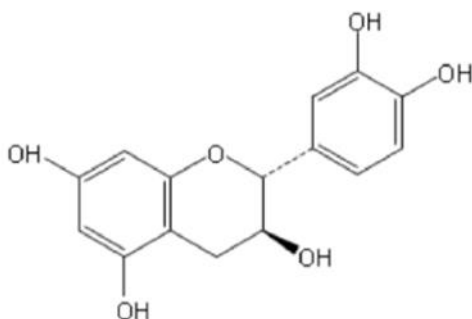
6.2 Katekin

6.2.1 Struktur Kimia

Katekin atau asam katekoat yaitu senyawa alami termasuk dalam metabolit sekunder tanaman yang memiliki aktivitas antikosidan dan antibakteri karena banyak mengandung gugus fenol dan sering disebut sebagai senyawa polifenol. Diarilpropan merupakan struktur utama katekin yang memiliki dua cincin

aromatik lingkaran enam diantaranya terdapat rantai beranggotakan tiga karbon lurus dan bercabang. (Kusnadi, 2018)

Katekin terdiri dari dua kelompok yaitu katekin bebas dan katekin teresterifikasi. Katekin non-esterifikasi meliputi katekin, gallokatekin, epikatekin, epigallokatekin, sedangkan katekin teresterifikasi meliputi epigallokatekin galat, epikatekin galat, gallokatekin galat. (Sari, 2019)



Gambar 6.1. Struktur Kimia Katekin
(Sumber : Lucida et al. 2007)

Katekin memiliki struktur flavonoid berwarna putih, dalam kondisi murni sangat mudah larut dalam air panas, akan tetapi sangat sulit larut dalam air dingin, larut dalam alkohol dan etil asetat. (Kusnadi, 2018)

6.2.2 Bahan Pangan Mengandung Katekin dan manfaatnya

Berikut adalah beberapa tanaman yang banyak mengandung katekin serta manfaatnya yaitu:

1. Teh (*Camellia Sinensis*). Teh merupakan salah satu minuman yang banyak dikonsumsi. Selain nikmat untuk dikonsumsi, zat-zat yang terkandung di dalam teh ternyata berkhasiat untuk kesehatan tubuh. Golongan fenol yang terkandung dalam daun teh adalah katekin. (Wulandari, 2022)

Tanaman ini mengandung empat polifenol utama yaitu epikatekin (EC), epikatekin galat (ECG), epigallokatekin (EGC), dan epigallokatekin galat (EGCG). EGCG merupakan katekin

membawa sekitar 10 – 50%, kandungan katekin pada daun teh dan merupakan katekin yang memiliki aktifitas antiosidan paling besar serta sebagai pemberi manfaat positif bagi tubuh. Para ahli dunia telah membuktikan bahwa terdapat aktivitas antibakteri pada daun teh hijau, salah satunya mampu menghambat aktivitas bakteri *salmonella typhi* dan juga bakteri *Escherichia coli* yang sensitif ampisilin.(Suraya, 2007)

Pertama kali penelitian dilakukan terhadap aktivitas antimikroba teh di laboratorium oleh McNaught (1906) seorang mayor di Korps Medis angkatan Darat Inggris, hasilnya menunjukkan teh hitam yang diseduh membunuh *salmonella typhi* dan *brucella melitensis* dan merekomendasikan agar botol air pasukannya diisi dengan teh untuk mencegah berjangkitnya infeksi akibat mikroba tersebut. sedangkan penelitian sistematis tentang aktivitas antimikroba teh hijau baru dimulai pada akhir 1980-an, hasil studi menunjukkan bahwa teh dapat menghambat dan membunuh berbagai bakteri patogen sedikit di bawah konsentrasi khas yang ditemukan dalam daun teh diseduh. (Taylor *et al.*, 2005)

Bakteri lain yang memiliki aktivitas antibakteri relatif lemah terhadap ekstrak daun teh hijau yaitu *helicobakter pylori* penyebab terjadinya risiko kanker lambung dan *α -haemolytic streptococci* penyebab utama karies gigi. Aktivitas melawan berbagai patogen mikroba lain atau faktor yang terlibat dalam virulensinya telah ditunjukkan yaitu termasuk virus hematitis, HIV, rotavirus, enterovirus dan virus influenza, ragi, jamur mikoplasma dan parasit. (Taylor *et al.*, 2005)

Dari hasil penelitian lainnya, teh hijau membantu melawan obesitas dengan meningkatkan laju pembakaran kalori, mengurangi kadar lemak tubuh dan mencegah penambahan berat badan berlebih. Konsumsi ekstrak teh

hijau dikaitkan dengan penurunan yang signifikan secara statistik pada kadar kolesterol total dan *Low Density Lipoprotein* (LDL) (Jigisha *et al.*, 2012)

2. Tanaman Gambir (*Uncaria Gambir Roxb*). Merupakan tanaman perdu dengan batang mencapai 3 meter yang memiliki antioksidan alami yaitu senyawa polipenol berupa katekin yang berperan sebagai senyawa antimikroba dan antioksidan. (Hidayat and Napitupulu, 2015)

Secara tradisional manfaat gambir sebagai pelengkap makan sirih dan obat-obatan, rebusan daun muda dan tunasnya digunakan sebagai obat diare, disentri dan obat kumur untuk sakit tenggorokan. Secara moderen tanaman gambir digunakan sebagai bahan baku industri farmasi dan makanan seperti bahan baku permen pelega tenggorokan bagi perokok di Jepang karena tanaman tersebut mampu menetralsir nikotin. Di Sigapura digunakan sebagai bahan baku obat sakit perut dan sakit gigi. (Marlinda, 2018)

3. Ekstrak daun kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). merupakan tumbuhan yang mengandung senyawa katekin beserta turunannya seperti *epicatechin*, *epicatechin gallate*, *epigallocatechin* dan *epigallocatechin gallate*. Laporan pertama tentang sifat antihipertensi in vivo dari katekin yang diekstraksi dari daun kelapa sawit digunakan sebagai pengobatan medis untuk hipertensi dan penyakit kardiovaskuler. Penggunaan ekstrak daun kelapa sawit pada penderita hipertensi dapat meminimalkan perubahan struktur arteri. Penelitian pada tikus normal yang diberi ekstrak daun kelapa sawit memiliki penampakan miokardium normal dan status antioksidan yang tidak berubah, hal ini menunjukkan ekstrak daun kelapa sawit tidak memberi efek kardiotoxik. (Jaffri *et al.*, 2011)

4. Almond (*Terminallia catappa*). Hasil eksperimen menggunakan daun dan kulit batang almond yang

diekstraksi, menunjukkan bahwa ekstrak tersebut mampu menghambat *Angiotensin-1-Converting Enzyme* (ACE), ekstrak kulit batang menunjukkan efek penghambatan yang lebih tinggi terhadap aktivitas ACE dibandingkan ekstrak daun almond. Dari studi ini menunjukkan bahwa ekstrak daun dan kulit batang almond memiliki kandungan fenolik dan flavonid yang tinggi dengan aktivitas antioksidan yang luar biasa dan potensi penghambat beberapa enzim yang terlibat dalam hipertensi. Studi ini juga menemukan adanya sejumlah polifenol dengan sifat anti oksidatif dan anti hipertensi, sehingga dapat dimanfaatkan untuk alternatif pengembangan formula bagi pemeliharaan kesehatan secara umum maupun *agen* antihipertensi yang efektif. (Oyeleye *et al.*, 2018)

5. Kulit pinus merah Korea (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) merupakan spesies tanaman berasal dari negara Korea, Jepang dan Rusia. Kulit pinus merah Korea merupakan produk sampingan dari industri kayu dan mengandung senyawa fenolik antioksidan tinggi termasuk flavonoid. Hasil penelitian terhadap hewan percobaan yaitu tikus hipertensi atau SHR (*Spontaneously Hypertensive Rat*) diketahui pemberian ekstrak kulit pinus merah dapat mengurangi tekanan darah pada SHR, Kondisi paru-paru, ginjal dan serum dari SHR menunjukkan aktivitas ACE terhambat, kandungan angiotensin II berkurang serta adanya penurunan peroksidasi lipid. Efek tersebut disebabkan oleh adanya berbagai senyawa fenolat, seperti *asam protocatechuic, procyanidin B1, catechin, asam caffeic, vanillin, dan taxifolin* pada ekstrak kulit pinus merah Korea. Dari penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak kulit pinus merah Korea kaya akan fenolik antioksidan sehingga dapat digunakan sebagai bahan fungsional untuk menurunkan hipertensi dengan menghambat komponen RAS (*Renin-*

Angiotensin System) dan menghambat peroksidasi lipid. (Kim *et al.*, 2020)

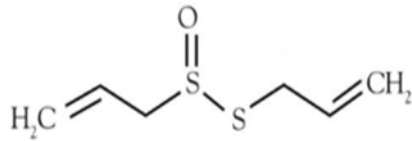
6. Raspberry Merah (*Rubus idaeus* L.). Raspberry merupakan tanaman yang banyak ditemukan di semua benua dari mulai dataran tinggi hingga dataran rendah kecuali Antratika. Di Indonesia ada sekitar 25 jenis raspberry yang tersebar di hutan pegunungan Indonesia. Raspberry diketahui mengandung antosianin. Senyawa ini berperan sebagai pewarna bahan pangan yang memiliki pH asam dan merupakan senyawa turunan polifenol. (Juliastuti *et al.*, 2021)

6.3 Allisin

6.3.1 Struktur Kimia

Allisin (allicin) merupakan komponen utama yang diduga merupakan komponen aktif allium, dibentuk dari prekursor alliin dengan bantuan enzim aline. (Soekarti Sunita, 2013)

Allisin memiliki gugus fungsi tiosulfinat R-(O)-S-R. Allisin merupakan produk yang dihasilkan oleh adanya kerja enzim *alliin alkyl-sulfenate-lyase* terhadap alliin yang merupakan asam amino non protein *S-allylcysteine S-oxide*. Asam amino dan enzim pada tanaman bawang putih disimpan dalam kompartemen seluler yang terpisah, pembatas kompartemen tersebut akan pecah apabila tanaman tersebut terluka, enzim *alliin lyase* menganalisis eliminasi beta dari alliin menghasilkan piruvat, amonia dan asam alilsulfenat, secara spontan dua molekul bereaksi membentuk alisin. (Subroto, 2008)



Gambar 6.2. Struktur Kimia Alisin
(Sumber : Soekarti Sunita 2013)

6.3.2 Manfaat Allisin bagi Kesehatan

Berbagai hasil penelitian yang menunjukkan efek allisin bagi kesehatan, diantaranya :

1. Efek allisin pada bakteri dan jamur. Senyawa aktif alisin terdapat pada umbi bawang putih, senyawa tersebut berfungsi sebagai antibakteri dan anti jamur. (Subroto, 2008). Fakta menunjukkan bahwa suatu senyawa memiliki aktivitas antimikroba didasarkan pada dua ciri utama. Pertama, senyawa tersebut harus mampu mencapai target potensial dan apabila bersifat intraseluler artinya harus dapat masuk ke dalam sel mikroba. Dalam kasus bakteri, antibiotik harus menembus dinding sel bakteri dan membran sel. Selain dua batas ini, lapisan lendir atau kapsul bakteri tertentu dapat menjadi lapisan tambahan resistensi. Setelah masuknya antibiotik ke dalam sel, ia harus memiliki target yang, jika diserang, menyebabkan ketidakaktifan sel atau kematian sel. (Borlinghaus *et al.*, 2014)

Hasil penelitian (Miron *et al.*, 2000) dalam kasus sel darah merah, tidak ada pembentukan pori – pori oleh allisin di membran plasma, temuan ini menunjukkan bahwa sistem biologis allisin dapat menembus dengan sangat cepat ke dalam kompartemen sel yang berbeda dan mengarahkan efek biologisnya. Dengan demikian, pentingnya allisin sebagai molekul efektor biologis tidak hanya disebabkan untuk reaktifitasnya yang tinggi, akan tetapi aksesibilitas yang dihasilkan dari permeabilitas membran yang tinggi.

Selain memiliki sifat antibakteri yang kuat, allisin juga memiliki efek toksik terhadap sel jamur secara *in vitro* mampu menghambat perkecambahan spora dan pertumbuhan hifa. Hasil penelitian (Curtis *et al.*, 2004) menunjukkan bahwa aktivitas *in vitro* ekstra bawang putih terhadap pertumbuhan jamur patogen diantaranya *Alternaria brassicicola*, *Botrytis cinerea*, *Magnaporthe grisea*, dan *Plectosphaerella cucumerina* (*Fusarium tabacinum*) dapat dihambat.

2. Efek Allisin pada Penyakit Kardiovaskuler. Gangguan kardiovaskuler bersifat kompleks, karena dipengaruhi oleh berbagai faktor. Studi epidemiologi menggali semakin banyak variabel yang berkontribusi pada perkembangan masalah kardiovaskuler pada tingkatan yang berbeda.

Peristiwa oksidatif secara umum seperti oksidasi *Low Density Lipoprotein (LDL)* sering berkorelasi dengan aterosklerosis, hasil eksperimen *in vivo* dan *in vitro* telah mengidentifikasi molekul, seperti ICAM-1, VCAM-1, dan P-selektin, yang dapat mendukung adhesi monosit dan limfosit. Selain itu, LDL teroksidasi, lysophosphatidyl-choline, dan asam lemak teroksidasi menginduksi ekspresi tidak hanya molekul adhesi ini tetapi juga reseptor pemulung, seperti CD-36, SR-A, dan LOX-1. (Kita *et al.*, 2001)

Salah satu contoh oksidasi faktor transkripsi redoks-sensitif oleh allisin elektrofil adalah sistem Nrf2 yang mengatur ekspresi berbagai enzim anti-oksidatif (antara lain *biosintesis glutathione*). Ekperimen terhadap tikus percobaan menunjukkan bahwa allisin dapat menginduksi sistem Nrf2, sehingga dapat mencegah perkembangan remodeling jantung dan perkembangan hipertrofi jantung menjadi disfungsi jantung yang disebabkan oleh peningkatan signal jalur antioksidan Nrf2. (Li *et al.*, 2012)

3. Efek allisin pada Penyakit Kanker. Penyakit kanker adalah penyakit yang disebabkan oleh rusaknya mekanisme pengaturan dasar perilaku sel khususnya mekanisme

pertumbuhan dan diferensiasi sel. Pertumbuhan sel abnormal pada kanker disebabkan oleh berbagai faktor yang merubah ekspresi gen dan menimbulkan disregulasi antara proliferasi sel dan kematian sel. (Kurniasari *et al.*, 2017)

Secara eksperimental menunjukkan bahwa mengonsumsi bawang putih dapat mengurangi risiko kanker dan ekstrak serta komponennya secara efektif mampu memblokir tumor yang diinduksi. allicin menghambat pertumbuhan sel kanker yang berasal dari murine dan manusia. Allicin menginduksi pembentukan badan apoptosis, kondensasi nukleus dan *DNA Ladder* yang khas dalam sel kanker. Selanjutnya, aktivasi caspases-3, -8 dan -9 serta pembelahan poli(ADP-ribosa) polimerase diinduksi oleh allicin, hasil ini yang menunjukkan apoptosis sel kanker yang diinduksi allicin.(Oommen *et al.*, 2004)

4. Efek Allisin pada Tekanan Darah. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak bawang putih (*Allium Sativum*) berpotensi menurunkan tekanan darah dengan berbagai jalur kompleks. Mekanisme pertama, adalah meningkatkan komponen vasodilatasi, yaitu nitrit oksida (NO). Hal ini terjadi dengan cara menyumbang kan arginin yang merupa kan prekursor NO. Arginin ini kemudian akan diubah oleh enzim nitrite oxidase men jadi nitrit oksida. Nitrit oksida kemudian akan menstimulasi guanylate cyclase yang kemudian mengubah GTP (guanosine triphosphate) menjadi cyclic-GMP. Cyclic-GMP mengaktifkan protein kinase G yang menyebabkan pengambilan ulang Ca^{2+} dan pembukaan saluran kalium yang diaktif kan oleh kalsium. Menurunnya konsentrasi Ca^{2+} memastikan bahwa myosin light-chain kinase (MLCK) tidak dapat memfosforilasikan lebih lama molekul miosin, sehingga menghentikan siklus jembatan silang dan menyebabkan relaksasi sel otot polos pembuluh darah sehingga terjadi vasodilatasi.

Mekanisme kedua, Allicin ternyata menyerupai ACE inhibitor. Allicin menghambat kerja ACE yang bekerja mengubah angiotensin I menjadi angiotensin II yang

merupakan vasokonstriktor poten. Tidak terbentuknya angiotensin II juga menyebabkan penurunan sekresi aldosteron pada kelenjar adrenal, mengurangi penyerapan Na dan air sehingga volume plasma akan turun yang berakibat pada penurunan tekanan darah. (Febyan *et al.*, 2015)

5. Efek Allisin pada Penyakit Diabetes Mellitus. Diabetes melitus adalah penyakit metabolik kompleks yang ditandai dengan hiperglikemia akibat gangguan sekresi insulin, kerja insulin, atau keduanya. Kelainan pada metabolisme karbohidrat, protein dan lemak juga merupakan faktor kunci terkait diabetes dan komplikasi. Bawang putih telah terbukti memainkan peran penting dalam mengontrol kadar glukosa darah dan mengurangi komplikasi terkait diabetes. Beberapa penelitian memberi gambaran tentang khasiat bawang putih dalam menurunkan kadar glukosa darah pada berbagai sampel hewan diabetes tipe 1 dan tipe 2. Pada penelitian menggunakan model tikus yang diinduksi streptozotocin kemudian diobati dengan minyak bawang putih dan dibandingkan dengan tikus diabetes sebagai kontrol, tikus normal dan tikus normal yang diberi minyak bawang putih. Pengobatan tikus diabetes dengan minyak bawang putih secara signifikan menurunkan fosfatase sel darah merah, *serum acid* dan *alkaline phosphatase* bila dibandingkan dengan tikus kontrol diabetes. Serum alanin dan *aspartate transferases* secara signifikan menurun serta serum amilase pada tikus diabetes yang diobati oleh minyak bawang putih dibandingkan dengan tikus kontrol diabetes. (Ohaeri, 2001) Penelitian pada manusia, yaitu pasien yang didiagnosa diabetes mellitus tipe 2 (n = 210) dibagi secara acak menjadi 7 kelompok: A, B, C, D, E, F dan G, masing-masing terdiri dari 30 pasien. Pasien kelompok A, B, C, D dan E diberikan tablet bawang putih dengan dosis 300, 600, 900, 1200 dan 1500 mg per hari dalam dosis terbagi masing-masing selama 24 minggu. Kelompok F diberikan tablet metformin 500 mg dua kali sehari selama 24 minggu sedangkan pasien pada kelompok G diberi plasebo. Bawang putih ditemukan efektif

dalam meningkatkan kontrol glikemik pada semua dosis. Perubahan yang sangat signifikan diamati pada dosis yang lebih tinggi dari 900, 1200 dan 1500 mg dibandingkan ketika bawang putih diberikan dengan dosis 300 atau 600 mg. Peningkatan kontrol glikemik ditemukan lebih banyak bila dibandingkan dengan plasebo dan setara bila dibandingkan dengan metformin agen antidiabetes standar. (Phil *et al.*, 2015)

6. Efek Allisin pada penyakit Perlemakan Hati (*Steatosis Hepatis*). Perlemakan hati merupakan kondisi yang ditandai oleh adanya peningkatan kandungan lemak di hati utamanya dalam bentuk trigliserida yang berlebih yaitu sekitar 5% dari total berat hati. Uji klinis terhadap pasien dewasa dengan NAFLD (*Nonalcoholic fatty liver disease*) yang telah didiagnosis melalui Ultrasonografi, dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok yang diberikan suplemen bawang putih dosis 400 mg (setara dengan 1,5 mg allicin) dua kali sehari dan kelompok suplemen plasebo berisi selulosa mikrokristalin diberikan intervensi selama 15 minggu. Hasil intervensi menunjukkan penggunaan bubuk bawang putih dalam bentuk suplemen dapat mengurangi perlemakan hati dan komorbiditas umum pada pasien dengan NAFLD. Asupan bawang putih memberikan efek positif pada konsentrasi LDL-C dan kolesterol total. Bawang putih mengandung spektrum senyawa organosulfur yang luas, beberapa enzim seperti allinase dan berbagai mineral. Allicin adalah senyawa organosulfur bawang putih terkenal yang memiliki aktivitas antioksidan dan anti-inflamasi melalui pemulungan radikal hidroksil, menghambat produksi anion superoksida dan oksida nitrat, menurunkan ekspresi NF- κ B (*Nuclear factor- κ B*), dan menekan Jalur JNK (*Jun N-terminal Kinase*). Pada percobaan menggunakan hewan, pengobatan dengan bawang putih dan turunannya juga dapat menurunkan regulasi ekspresi gen lipogenik seperti asam lemak sintase dan asetil koenzim A (CoA) karboksilase melalui SREBP1c, serta up-regulasi gen lipolitik ekspresi seperti PPAR α dan CPT-1,

sehingga dapat dimungkinkan efek terapeutik bawang putih terhadap penyakit perlemakan hati dalam berasal dari beberapa jalur. (Soleimani *et al.*, 2020)

DAFTAR PUSTAKA

- Borlinghaus, J. *et al.* (2014) 'Allicin: Chemistry and biological properties', *Molecules*, 19(8), pp. 12591–12618. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules190812591>.
- Curtis, H. *et al.* (2004) 'Broad-spectrum activity of the volatile phytoanticipin allicin in extracts of garlic (*Allium sativum* L.) against plant pathogenic bacteria, fungi and Oomycetes', *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 65(2), pp. 79–89. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2004.11.006>.
- Febyan *et al.* (2015) 'Peranan Allicin dari Ekstrak Bawang Putih sebagai Pengobatan Komplemen Alternatif Hipertensi Stadium I', *Fakultas Kedokteran Universitas Kristen Kridawacana*, 42(4), pp. 303–306.
- Hidayat, S. and Napitupulu, R.M. (2015) *Kitab Tumbuhan Obat*. AgriFlo.
- Jaffri, J.M. *et al.* (2011) 'Antihypertensive and cardiovascular effects of catechin-rich oil palm (*Elaeis guineensis*) leaf extract in nitric oxide-deficient rats', *Journal of Medicinal Food*, 14(7–8), pp. 775–783. Available at: <https://doi.org/10.1089/jmf.2010.1170>.
- Jigisha, A. *et al.* (2012) 'Green tea: A magical herb with miraculous outcomes Review Article Green Tea : A Magical Herb With Miraculous Outcomes', *International Research Journal of Pharmacy*, 3(May), pp. 139–148.
- Juliastuti, H. *et al.* (2021) *Sayuran Dan Buah Berwarna Merah, Antioksidan Penangkal Radikal Bebas*. Deepublish.
- Kim, K.J. *et al.* (2020) 'Antihypertensive effects of polyphenolic extract from korean red pine (*Pinus densiflora* sieb. et zucc.) bark in spontaneously hypertensive rats', *Antioxidants*, 9(4). Available at: <https://doi.org/10.3390/antiox9040333>.

- Kita, T. *et al.* (2001) 'Role of oxidized LDL in atherosclerosis.', *Annals of the New York Academy of Sciences*, 947, pp. 196–199. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb03941.x>.
- Kurniasari, F.N. *et al.* (2017) *Buku Ajar Gizi dan Kanker*. Universitas Brawijaya Press.
- Kusnadi, J. (2018) *Pengawet Alami untuk Makanan*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Li, X.-H. *et al.* (2012) 'Allicin ameliorates cardiac hypertrophy and fibrosis through enhancing of Nrf2 antioxidant signaling pathways.', *Cardiovascular drugs and therapy*, 26(6), pp. 457–465. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10557-012-6415-z>.
- Lucida, H. *et al.* (2007) 'Formulasi Sediaan Antiseptik Mulut dari Katekin Gambir', *Jurnal Sain Teknologi Farmasi*, 12(1), pp. 1–7.
- Marlinda (2018) 'Identifikasi Kadar Katekin pada Gambir (*Uncaria gambier* Roxb.)', 4(1), pp. 47–53.
- Miron, T. *et al.* (2000) 'The mode of action of allicin: its ready permeability through phospholipid membranes may contribute to its biological activity.', *Biochimica et biophysica acta*, 1463(1), pp. 20–30. Available at: [https://doi.org/10.1016/s0005-2736\(99\)00174-1](https://doi.org/10.1016/s0005-2736(99)00174-1).
- Ohaeri, O.C. (2001) 'Effect of garlic oil on the levels of various enzymes in the serum and tissue of streptozotocin diabetic rats.', *Bioscience reports*, 21(1), pp. 19–24. Available at: <https://doi.org/10.1023/a:1010425932561>.
- Oommen, S. *et al.* (2004) 'Allicin (from garlic) induces caspase-mediated apoptosis in cancer cells.', *European journal of pharmacology*, 485(1–3), pp. 97–103. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2003.11.059>.

- Oyeleye, S.I. *et al.* (2018) 'Phenolic profile and Enzyme Inhibitory activities of Almond (*Terminalia catappa*) leaf and Stem bark Phenolic profile and Enzyme Inhibitory activities of Almond (*Terminalia catappa*) leaf and Stem bark', *International Journal of Food Properties*, 00(00), pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1375945>.
- Phil, R.A.M. *et al.* (2015) 'Effects of garlic on blood glucose levels and HbA1c in patients with type 2 diabetes mellitus', (July 2011).
- Sari, L.M. (2019) *Aktivitas Antioksidan dan Sitotoksitas Biji Pinang pada Karsinoma Sel Skuamosa Mulut*. Syiah Kuala University Press.
- Soekarti Sunita, M. (2013) *Gizi Seimbang dalam Daur Kehidupan*. Gramedia Pustaka Utama. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=B0dODwAAQBAJ>.
- Soleimani, D. *et al.* (2020) 'Therapeutic Effects of Garlic on Hepatic Steatosis in Nonalcoholic Fatty Liver Disease Patients: A Randomized Clinical Trial.', *Diabetes, metabolic syndrome and obesity: targets and therapy*, 13, pp. 2389–2397. Available at: <https://doi.org/10.2147/DMSO.S254555>.
- Subroto, M.A. (2008) *Real Food True Health*. AgroMedia.
- Suraya, N. (2007) *Sehat dan Cantik Dengan Teh Hijau*. Niaga Swadaya.
- Taylor, P.W. *et al.* (2005) 'Antimicrobial properties of green tea catechins', *Food Science Technology Bulletin*, 2(7), pp. 71–81. Available at: <https://doi.org/10.1616/1476-2137.14184>.
- Widyaningsih, T.D. *et al.* (2017) *Pangan Fungsional*. 1st edn. Edited by T.U. Press. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Wulandari, R. (2022) *Manfaat Dan Khasiat Teh, Kopi, Susu, Dan Gula untuk Kesehatan dan Kecantikan*. Penerbit Andi.

BAB 7

PEMBENTUKAN RADIKAL BEBAS DAN SISTEM PERTAHANAN TUBUH TERHADAP RADIKAL BEBAS

Oleh Kencana Sari

7.1 Definisi Radikal Bebas

Radikal bebas merupakan suatu jenis molekul tidak stabil yang dibuat selama metabolisme sel normal (perubahan kimiawi yang terjadi di dalam sel) (National Cancer Institute, 2023). Radikal tidak stabil dan sangat reaktif yang dapat mendonorkan elektron atau menerima elektron dari molekul lain, sehingga berperilaku sebagai oksidan atau reduktor (Cheeseman and Slater, 1993). Radikal bebas dikatakan juga sebagai spesies kimia (atom, molekul, orion) yang mengandung satu atau lebih elektron tidak berpasangan di orbital eksternalnya dan umumnya menunjukkan reaktivitas yang luar biasa (Di Meo and Venditti, 2020).

Radikal bebas yang mengandung unsur oksigen adalah jenis radikal bebas yang paling umum diproduksi di jaringan hidup sebagai konsekuensi ketika oksigen digunakan untuk pembentukan energi. Nama lain untuk mereka adalah *reactive oxygen species* (ROS) (Diplock *et al.*, 1998; Valko *et al.*, 2007). Selain sebagai ROS, radikal bebas juga terdapat sebagai *reactive nitrogen species* (RNS). Kedua radikal bebas ini bersamaan dengan turunan reaktif non-radical biasa juga disebut sebagai oksidan (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008).

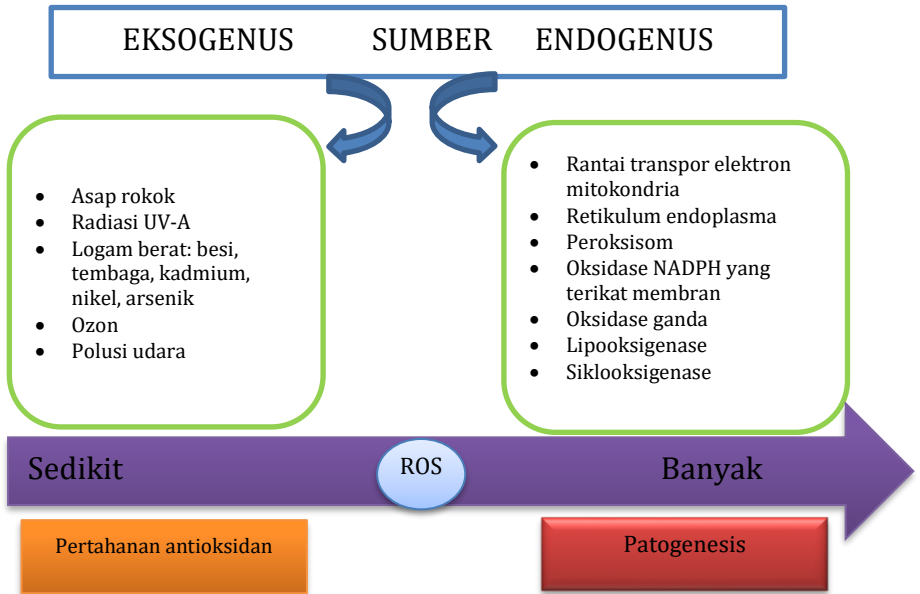
Radikal bebas yang paling penting dan mengandung oksigen yang terdapat dalam berbagai penyakit antara lain adalah radikal hidroksil, radikal anion superoksida, hidrogen peroksida, singlet oksigen, hipoklorit, radikal oksida nitrat, dan radikal peroksinitrit. Radikal bebas tersebut adalah spesies yang sangat reaktif dan mampu merusak molekul, yang relevan secara biologis seperti DNA, protein, karbohidrat, dan lipid (Young and Woodside, 2001; Lobo *et al.*, 2010).

Selama beberapa dekade lalu, radikal bebas dianggap menyebabkan efek yang sangat merusak. Gagasan ini terutama didukung oleh temuan bahwa radikal bebas oksigen mudah bereaksi dengan semua makromolekul biologis menginduksi modifikasi oksidatif dan hilangnya fungsi. Namun, setelah beberapa waktu, terjadi perubahan anggapan tentang radikal bebas bahwa sistem makhluk hidup tidak hanya telah disesuaikan hidup berdampingan dengan radikal bebas tetapi juga mengembangkan metode untuk mengubah zat beracun ini menjadi keuntungan dengan menggunakan proses fisiologis kritis. Oleh karena itu, radikal bebas memainkan peran ganda dalam sistem kehidupan: mereka adalah produk sampingan metabolisme aerobik yang beracun, menyebabkan kerusakan oksidatif dan kerusakan jaringan. disfungsi, disisi lain radikal bebas berfungsi sebagai sinyal molekuler yang mengaktifkan respons stres yang bermanfaat (Di Meo and Venditti, 2020).

Pada konsentrasi yang rendah, radikal bebas berfungsi untuk proses pematangan struktur sel dan dapat menjadi senjata dalam sistem pertahanan tubuh. Selain itu, radikal bebas juga bermanfaat dalam memberikan "signal" terhadap tubuh dan induksi respon metogenik (Genestra, 2007).

7.2 Pembentukan Radikal Bebas

Radikal bebas baik dari sumber endogen maupun eksogen. Radikal bebas terbentuk secara alami di dalam tubuh dan berperan penting dalam banyak proses seluler normal (Diplock et al., 1998) seperti Rantai transpor elektron mitokondria, retikulum endoplasma, peroksisom, oksidase NADPH yang terikat membran, oksidase ganda, lipooksigenase, siklooksigenase (Sharifi-Rad *et al.*, 2020). Radikal bebas dihasilkan dari aktivasi sel kekebalan, peradangan, tekanan mental, olahraga berlebihan, iskemia, infeksi, kanker, penuaan.



Gambar 7.1. Sumber radikal bebas dan efeknya pada tubuh manusia (Sumber: Sharifi-Rad *et al.*, 2020)

Selain itu, radikal bebas juga dapat bersumber dari eksogen/ lingkungan yang beracun, seperti dari polusi udara dan air, asap rokok, alkohol, logam berat atau transisi (Cd, Hg, Pb, Fe, As), obat-obatan tertentu (siklosporin, tacrolimus, gentamisin,

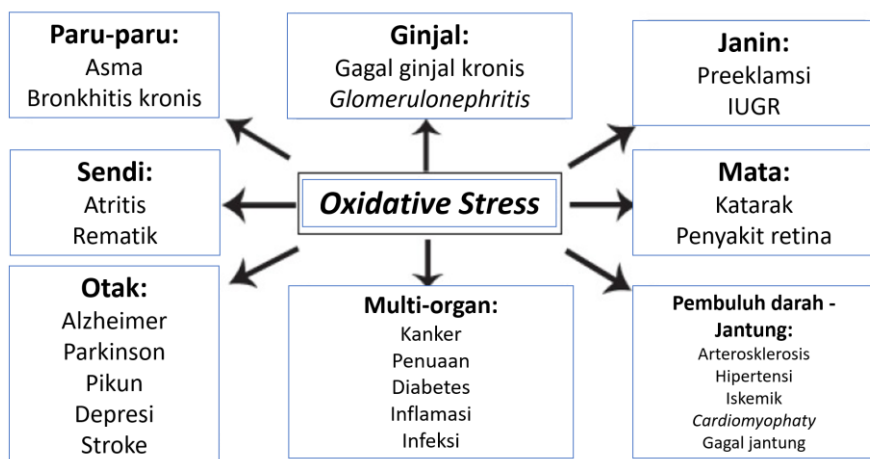
bleomisin), pelarut industri, memasak (memanggang daging, penggunaan minyak bekas, lemak), radiasi (Valko *et al.*, 2007; Sharifi-Rad *et al.*, 2020). Kesemuanya mungkin mengandung radikal bebas dalam jumlah besar atau merangsang sel-sel tubuh untuk memproduksi lebih banyak radikal bebas (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008). Setelah penetrasi ke dalam tubuh melalui rute yang berbeda, senyawa eksogen ini terurai atau dimetabolisme menjadi radikal bebas. Jumlah paparan sumber yang semakin masih dalam jumlah kecil akan mengaktifkan sistem pertahanan tubuh terhadap radikal bebas tetapi semakin banyak jumlah paparan yang ada maka akan meningkatkan risiko terjadinya penyakit (Gambar 7.1).

Jumlah radikal bebas yang sangat tinggi ini terus berada dalam tubuh dan tidak mudah dihilangkan, maka kemudian akan terkakumulasi di tubuh dan menyebabkan fenomena tubuh yang disebut sebagai *oxidative stress*. Radikal bebas yang menumpuk di dalam sel dapat menyebabkan stres akibat oksidasi dimana sel tidak dapat menghancurkan kelebihan radikal bebas yang terbentuk. Dengan kata lain, *oxidative stress* merupakan hasil dari ketidakseimbangan antara produksi dan netralisasi ROS/RNS (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008). Hal ini berisiko terhadap timbulnya kerusakan pada molekul, seperti DNA, lipid, protein, dan membran sel. Kerusakan ini, terutama pada DNA, dapat meningkatkan risiko kanker, artritis, penyakit autoimun, kardiovaskular, dan penyakit lainnya (National Cancer Institute, 2023).

***Oxidative Stress* dan penyakit**

Gambar 7.2 memberikan gambaran berbagai penyakit pada organ tubuh yang dapat dipicu oleh *oxidative stress* akibat jumlah radikal bebas yang terlalu tinggi didalam tubuh. Selain penyakit tersebut, *oxidative stress* juga dapat menyebabkan kanker dengan memicu pengaktifan onkogen. Onkogen adalah gen termodifikasi

yang dapat meningkatkan proliferasi sel dan menentukan keganasan suatu sel tumor (Hanahan and Weinberg, 2011). Pada penyakit syaraf seperti Alzheimer's, Parkinson's, dan hilang ingatan diketahui bahwa oksidasi memegang peran utama dalam kerusakan syaraf dan terjadinya demensia (Butterfield, 2002).



Gambar 7.2. Penyakit akibat stres oksidatif pada manusia (Sumber: Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008))

7.3 Sistem Pertahanan Tubuh terhadap Radikal Bebas

Proses oksidasi dalam tubuh merupakan hal yang normal tetapi jika tidak terkontrol akan menyebabkan kerusakan komponen dan kematian sel tubuh. Oleh karena itu, harus ada sistem kontrol yang dapat menyeimbangkan tingkat radikal bebas dan pertahanan tubuh dengan antioksidan. Radikal bebas maupun oksidan mempunyai dua peran yang dapat menguntungkan maupun meracuni tubuh karena keduanya bisa berbahaya tetapi juga bisa menguntungkan (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008).

7.3.1 Bagaimana tubuh bekerja menangkal radikal bebas

Tubuh manusia memiliki beberapa mekanisme sistem pertahanan untuk menangkal oxidative stress dengan memproduksi antioksidan baik yang diproduksi in situ/ endogen oleh tubuh maupun dari luar seperti asupan makanan atau suplemen yang mengandung antioksidan (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008).

7.3.2 Apa itu antioksidan

Antioksidan adalah bahan kimia yang berinteraksi dengan dan menetralkan radikal bebas, sehingga mencegahnya menyebabkan kerusakan. Antioksidan juga dikenal sebagai "pemulung radikal bebas" (National Cancer Institute, 2023). Keseimbangan antara radikal bebas dan antioksidan diperlukan untuk fungsi fisiologis yang tepat. Jika radikal bebas menguasai kemampuan tubuh untuk mengaturnya, suatu kondisi yang dikenal sebagai stres oksidatif akan terjadi (Lobo et al., 2010).

Antioksidan mencegah kerusakan jaringan akibat radikal bebas dengan mencegah pembentukan radikal, mengikisnya, atau dengan meningkatkan dekomposisinya (Young and Woodside, 2001).

Tubuh membuat beberapa antioksidan yang digunakannya untuk menetralkan radikal bebas. Antioksidan ini disebut antioksidan endogen. Antioksidan endogen dapat diklasifikasikan sebagai antioksidan enzimatik dan antioksidan non enzimatik. Non enzimatik antioksidan dibagi menjadi metabolic antioksidan yang diproduksi oleh proses metabolisme tubuh dan anrioksidan bersumber gizi yang tidak dapat diproduksi oleh tubuh dan harus dicukupi dari makanan atau suplemen (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008).

Tubuh bergantung pada sumber eksternal (eksogen), terutama makanan, untuk mendapatkan sisa antioksidan yang dibutuhkannya. Antioksidan eksogen ini biasa disebut

antioksidan diet. Buah-buahan, sayuran, dan biji-bijian merupakan sumber makanan antioksidan yang kaya ataupun sebagai suplemen makanan (Diplock et al., 1998; Bouayed and Bohn, 2010).

Contoh antioksidan makanan termasuk beta-karoten, likopen, dan vitamin A, C, dan E (alfa-tokoferol). Unsur mineral selenium sering dianggap sebagai antioksidan makanan, tetapi efek antioksidan selenium kemungkinan besar disebabkan oleh aktivitas antioksidan protein yang memiliki unsur ini sebagai komponen penting (yaitu, protein yang mengandung selenium), dan bukan selenium (Davis, Tsuji and Milner, 2012).

7.3.3 Upaya yang dapat dilakukan agar tubuh mampu menangkal radikal bebas

Gaya hidup seperti merokok, konsumsi alkohol, diet yang tidak memadai atau tidak tepat, olahraga, latihan/olahraga berat ataupun kondisi tubuh tidak terlatih, berkontribusi terhadap stres oksidatif.

Gaya hidup aktif dapat dilakukan untuk menangkal radikal bebas. Beberapa penelitian telah menunjukkan adanya spesies oksigen reaktif dan tingkat otot serta perannya dalam mengatur aktivitas otot. Serat otot rangka secara terus-menerus menghasilkan spesies oksigen reaktif pada tingkat rendah, yang meningkat selama kontraksi otot (Pingitore *et al.*, 2015). Latihan yang melelahkan, latihan yang lama, sindrom *overtraining*, dan mengatasi batas sebagai fase awal sindrom *overtraining*, memicu respons yang signifikan terhadap stres oksidatif. Sebaliknya, olahraga sedang, latihan intensitas rendah, dan latihan berkesinambungan, meningkatkan status antioksidan endogen (Antonioni *et al.*, 2019). Latihan fisik/ olahraga merupakan upaya perubahan gaya hidup untuk dapat mencegah penyakit kardiovaskular.

Gaya hidup lain seperti merokok dapat merugikan kesehatan dan meningkatkan tingkat radikal bebas dalam tubuh. Asap rokok terdiri dari serangkaian oksidan, radikal bebas, serta komponen organik (misalnya oksida nitrat dan superoksida nitrat) dimana tingkat paru-paru mengaktifkan akumulasi neutrofil dan makrofag, yang meningkatkan produksi oksidan secara lokal (Valavanidis, Vlachogianni and Fiotakis, 2009).

Konsumsi sumber antioksidan merupakan upaya lain yang dapat meningkatkan kadar antioksidan dalam tubuh. Antioksidan dari makanan kita berperan penting dalam membantu antioksidan endogen untuk menetralkan stres oksidatif. Kekurangan nutrisi antioksidan adalah salah satu penyebab penyakit kronis dan degeneratif (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008). Konsumsi setiap hari buah dan sayur yang mengandung anti oksidan sangat dianjurkan sebagai pertahanan terhadap radikal bebas. Walaupun juga dalam beberapa kasus, konsumsi suplemen antioksidan juga terjadi.

Penggunaan suplemen antioksidan telah dilirik dalam mengelola penyakit stres oksidatif. Namun, penggunaan suplemen antioksidan masih kontroversial karena beberapa penelitian menunjukkan kemungkinan efek berbahaya. Dengan demikian, ada kebutuhan untuk uji klinis acak lebih lanjut dengan dosis yang ditentukan dan ditentukan yang akan menggunakan kontrol dan biomarker yang sesuai untuk berbagai penyakit untuk memprediksi dengan lebih baik kemanjuran suplemen antioksidan di seluruh spektrum penyakit yang luas untuk menilai penggunaannya.

7.3.4 Sumber antioksidan

Berbagai zat gizi sumber antioksidan antara lain vitamin E, vitamin C, karotenoid, mangan, zinc, flavonoid, omega-3, asam lemak omega-6 (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008).

Vitamin E

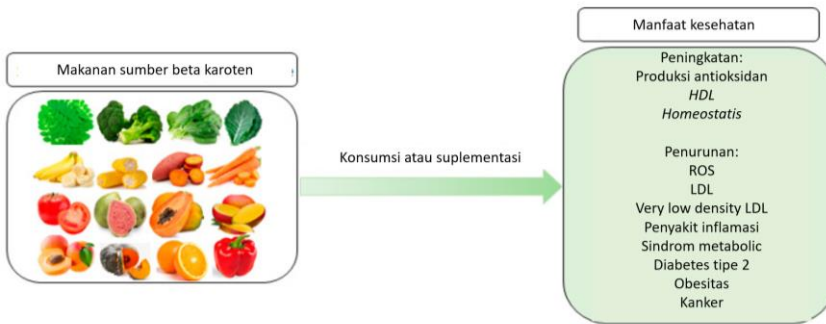
Vitamin E merupakan vitamin larut lemak dengan potensi antioksidan yang tinggi. Vitamin E dianggap dapat mencegah kanker usus besar, prostat dan payudara, beberapa penyakit kardiovaskular, iskemia, katarak, radang sendi dan gangguan neurologis tertentu. Meskipun kontroversial, penggunaan suplementasi vitamin E jangka panjang dalam dosis tinggi harus dengan hati-hati dan dalam pengawasan tenaga medis. Sumber makanan vitamin E adalah minyak nabati, minyak biji gandum, biji-bijian, kacang-kacangan, sereal, buah-buahan, telur, unggas, daging (Willcox, Ash and Catignani, 2004). Memasak dan penyimpanan juga harus diperhatikan agar tidak merusak kandungan vitamin E dalam makanan.

Vitamin C

Vitamin C biasa juga dikenal sebagai asam askorbat, yang merupakan vitamin larut air. Manfaat kesehatan dari vitamin C adalah antioksidan, anti-aterogenik, anti-karsinogenik, imunomodulator. Efek positif dari vitamin C berada dalam mengurangi kejadian kanker perut, dan mencegah kanker paru-paru dan kolorektal. Vitamin C bekerja secara sinergis dengan vitamin E untuk memadamkan radikal bebas dan juga meregenerasi bentuk vitamin E yang berkurang. Namun, asupan vitamin C dosis tinggi (2000mg atau lebih/hari) telah menjadi bahan perdebatan untuk pro-oksidan akhirnya. atau properti karsinogen (42-43). Sumber alami vitamin C adalah buah-buahan asam, sayuran hijau, tomat. Asam askorbat adalah molekul yang labil, oleh karena itu dapat hilang selama proses memasak.

Beta karoten

Beta karoten merupakan karoten yang larut lemak, dianggap sebagai provitamin karena dapat dikonversikan menjadi vitamin A. Beta karoten merupakan antioksidan yang baik yang terdapat dalam buah, sayur, minyak, dan biji-bijian (wortel, sayur hijau, pepaya, dll).



Gambar 7.3. Peran konsumsi beta karoten terhadap kesehatan (Sumber: β -Carotene: Preventive Role for Type 2 Diabetes Mellitus and Obesity: A Review (Marcelino et al., 2020))

Penelitian menunjukkan bahwa orang yang mengkonsumsi makanan sumber betakaroten seperti buah, sayur, lemak tak jenuh dapat meningkatkan produksi antioksidan dan menurunkan ROS sebagai radikal bebas, LDL, sindrom metabolik, diabetes tipe 2, kanker dan obesitas (Gambar 7.3) (Luisa Bonet et al., 2015; Marcelino et al., 2020).

Selenium (Se)

Se merupakan mikro mineral esensial agar organ tubuh dapat berfungsi dengan baik. Se dapat ditemukan di tanah, air dan sayuran (bawang putih, biji-bijian, kacang-kacangan, brokoli), sea food, telur, daging hati, susu, garam laut, coklat, ragi (Kieliszek, 2019). Jumlah total selenium dalam organisme manusia adalah $\sim 3\text{-}20\text{mg}$ (Kieliszek, 2019). Selenium pada kadar yang rendah dapat berfungsi sebagai antioksidan, anti karsinogenik, dan immunomodulator (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008). Pada tubuh manusia, dikatakan defisiensi selenium jika jumlah selenium pada plasma darah lebih rendah dari $85\ \mu\text{g/L}$ (Zwolak and Zaporowska, 2012). World Health Organization menganjurkan konsumsi selenium pada $55\ \mu\text{g}$ per hari pada orang dewasa (World Health Organization (WHO), 1996). Konsentrasi selenium yang rendah dalam tubuh berhubungan

dengan 4-5 kali lipat peningkatan risiko kanker prostat (Hsueh et al., 2017). Konsumsi selenium diatas ambang batas 400 μ Se/ hari dapat menyebabkan selenosis yang menyebabkan keracunan dengan gejala gangguan lambung, rambut rontok, kuku mudah patah, sirosis, bengkak pada paru dan kematian (Higdon, Drake and Whanger, 2007).

Tabel 7.1. Rekomendasi konsumsi selenium

Umur (tahun)	Selenium (μ g/hari) Laki-laki dan perempuan
1-3	15-20
4-13	30-40
14-50	55-70
51+	70-100

Sumber : (Compounds, 2000; Garms et al., 2009; Strand et al., 2018)

Flavonoids

Flavonoids adalah senyawa yang ada di produk alam, yang termasuk kelas metabolit sekunder tanaman yang memiliki struktur polifenol (Panche, Diwan and Chandra, 2016). Flavonoid digunakan oleh tumbuhan untuk pertumbuhan dan pertahanan terhadap penyakit (Havsteen, 2002). Flavonoid telah diidentifikasi dan diklasifikasikan menjadi flavanol, flavanon, katekin, antosianin, proantosianidin (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008), flavon, isoplavonoid, neoplavonoid, chalcon (Panche, Diwan and Chandra, 2016).

Flavonoid memiliki aktivitas antioksidan yang kuat untuk memerangi radikal bebas, anti peradangan, anti mutagenik, dan anti karsinogenik (Panche, Diwan and Chandra, 2016). Kapasitas flavonoid sebagai antioksidan *in vitro* telah dibuktikan di berbagai penelitian. Ren, et al menuturkan beberapa mekanisme peran flavonoid dalam sebagai anti kanker (Ren *et al.*, 2003). Flavonoid juga diketahui sebagai anti mikroba yaitu anti jamur, anti virus, dan antibakteri.

Lebih dari 6000 flavonoids yang terdapat di pigmen tanaman (Dixon and Pasinetti, 2010) dan terkandung dalam

bunga, sayuran, buah, teh, coklat, dan anggur dan minuman (Panche, Diwan and Chandra, 2016). Pada buah seperti jeruk, lemon, dan anggur biasanya terkandung flavon yang berdampak baik bagi kesehatan sebagai penangkal radikal bebas. Flavonoid yang terkandung dalam jeruk memberikan efek antioksidan, anti inflamasi, menurunkan tekanan darah, dan sebagai agen penurun kolesterol. Buah *cranbery*, *black currant*, anggur merah, rasberi, strawberi, bluberi, bilberri, dan blackberi mengandung antosianin yang mewarnai buah-buahan tersebut. Tomat, pir, strawberi mengandung *chalcon* (Panche, Diwan and Chandra, 2016).

Asam lemak omega 3 dan omega 6

Asam lemak omega 3 dan omega 6 memiliki rantai yang panjang yang tidak diproduksi oleh tubuh dan hanya dapat diperoleh dari makanan. Asam lemak omega 3 banyak terdapat antara lain pada lemak ikan (ikan salmon, tuna, sarden), alga, kacang-kacangan (*walnut*, *chia seed*), minyak sayur (kacang kedelai, minyak kanola), makanan fortifikasi (beberapa produk terfortifikasi dalam telur, yoghurt, susu, susu kedelai) (National Institutes of Health, 2023). Terdapat tiga jenis asam lemak omega 3 yang utama yaitu asam eicosapentaenoic (EPA), asam docosahexaenoic (DHA), dan asam alfa linoleat (ALA). EPA dan DHA banyak terdapat pada ikan dan dapat langsung digunakan oleh tubuh, sedangkan ALA ditemukan dalam kacang-kacangan dan harus diubah menjadi DHA dan EPA oleh tubuh (Pham-Huy, He and Pham-Huy, 2008).

Omega 3 adalah komponen penting dari membran yang mengelilingi setiap sel dalam tubuh. Pada retina mata, otak, dan sel sperma, konsentrasi omega 3 berupa DHA sangat tinggi. Omega 3 juga menyediakan kalori untuk memberi energi tubuh Anda dan memiliki banyak fungsi di jantung, pembuluh darah, paru-paru, sistem kekebalan tubuh, dan sistem endokrin

(jaringan kelenjar penghasil hormon) (National Institutes of Health, 2023).

Suplemen antioksidan

Suplemen antioksidan adalah senyawa yang diperoleh baik dengan ekstraksi dari makanan alami atau sintesis kimia walaupun komposisinya tidak akan sama dengan antioksidan alami dalam makanan. Masih terdapat perbedaan pendapat dan belum kuatnya bukti tentang apakah suplemen antioksidan memberikan manfaat yang sama seperti antioksidan dalam makanan atau tidak (Fusco *et al.*, 2007; Mason *et al.*, 2020; Martemucci *et al.*, 2023). Suplemen antioksidan dapat menjadi pro-oksidan misalnya dapat menjadi pemicu stres oksidatif jika dikonsumsi lebih dari nilai rekomendasi. Seperti halnya obat, konsumsi suplemen mungkin dapat menimbulkan efek samping tertentu. Namun, pada kondisi-kondisi tertentu mengkonsumsi multivitamin dan mineral atau minyak ikan diperlukan selama masih dalam konsentrasi yang tidak membahayakan tubuh. Yang paling baik adalah mendapatkan anti oksidan dari konsumsi buah dan sayur dibandingkan konsumsi suplemen.

DAFTAR PUSTAKA

- Antonioni, A. *et al.* (2019) 'Redox homeostasis in sport: do athletes really need antioxidant support?', *Research in Sports Medicine*, 27(2), pp. 147–165. doi: 10.1080/15438627.2018.1563899.
- Bouayed, J. and Bohn, T. (2010) 'Exogenous antioxidants - Double-edged swords in cellular redox state: Health beneficial effects at physiologic doses versus deleterious effects at high doses', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 3(4), pp. 228–237. doi: 10.4161/oxim.3.4.12858.
- Butterfield, D. A. (2002) 'Amyloid beta-peptide (1-42)-induced oxidative stress and neurotoxicity: implications for neurodegeneration in Alzheimer's disease brain. A review', *Free radical research*. *Free Radic Res*, 36(12), pp. 1307–1313. doi: 10.1080/1071576021000049890.
- Cheeseman, K. H. and Slater, T. F. (1993) 'An introduction to free radical biochemistry', *British Medical Bulletin*. Oxford Academic, 49(3), pp. 481–493. doi: 10.1093/OXFORDJOURNALS.BMB.A072625.
- Compounds, I. of M. (US) P. on D. A. and R. (2000) 'Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids', *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*. National Academies Press (US). doi: 10.17226/9810.
- Davis, C. D., Tsuji, P. A. and Milner, J. A. (2012) 'Selenoproteins and Cancer Prevention', <https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-071811-150740>. *Annual Reviews*, 32, pp. 73–95. doi: 10.1146/ANNUREV-NUTR-071811-150740.
- Diplock, A. T. *et al.* (1998) 'Functional food science and defence against reactive oxidative species', *British Journal of Nutrition*, 80(S1), pp. S77–S112. doi: 10.1079/BJN19980106.

- Dixon, R. A. and Pasinetti, G. M. (2010) 'Flavonoids and Isoflavonoids: From Plant Biology to Agriculture and Neuroscience', *Plant Physiology*, 154(2), pp. 453–457. doi: 10.1104/pp.110.161430.
- Fusco, D. *et al.* (2007) 'Effects of antioxidant supplementation on the aging process.', *Clinical interventions in aging*, 2(3), pp. 377–87. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18044188>.
- Garms, R. *et al.* (2009) 'The elimination of the vector *Simulium neavei* from the Itwara onchocerciasis focus in Uganda by ground larviciding', *Acta Tropica*, 111(3), pp. 203–210. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2009.04.001>.
- Genestra, M. (2007) 'Oxyl radicals, redox-sensitive signalling cascades and antioxidants', *Cellular signalling*. Cell Signal, 19(9), pp. 1807–1819. doi: 10.1016/J.CELLSIG.2007.04.009.
- Hanahan, D. and Weinberg, R. A. (2011) 'Hallmarks of cancer: The next generation', *Cell*. Elsevier, 144(5), pp. 646–674. doi: 10.1016/J.CELL.2011.02.013/ATTACHMENT/68024D79-3A9C-46C4-930B-640934F11E2E/MMC1.PDF.
- Havsteen, B. H. (2002) 'The biochemistry and medical significance of the flavonoids', *Pharmacology & Therapeutics*, 96(2–3), pp. 67–202. doi: 10.1016/S0163-7258(02)00298-X.
- Higdon, J., Drake, V. and Whanger, P. (2007) *Selenium | Linus Pauling Institute | Oregon State University*. Available at: <https://lpi.oregonstate.edu/mic/minerals/selenium> (Accessed: 8 June 2023).
- Hsueh, Y. M. *et al.* (2017) 'Levels of plasma selenium and urinary total arsenic interact to affect the risk for prostate cancer', *Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*. Food Chem Toxicol, 107(Pt A), pp. 167–175. doi: 10.1016/J.FCT.2017.06.031.

- Kieliszek, M. (2019) 'Selenium–Fascinating Microelement, Properties and Sources in Food', *Molecules*, 24(7), p. 1298. doi: 10.3390/molecules24071298.
- Lobo, V. *et al.* (2010) 'Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health', *Pharmacognosy Reviews*. Wolters Kluwer -- Medknow Publications, 4(8), p. 118. doi: 10.4103/0973-7847.70902.
- Luisa Bonet, M. *et al.* (2015) 'Carotenoids and their conversion products in the control of adipocyte function, adiposity and obesity', *Archives of biochemistry and biophysics*. Arch Biochem Biophys, 572, pp. 112–125. doi: 10.1016/J.ABB.2015.02.022.
- Marcelino, G. *et al.* (2020) 'β-Carotene: Preventive Role for Type 2 Diabetes Mellitus and Obesity: A Review', *Molecules*, 25(24), p. 5803. doi: 10.3390/molecules25245803.
- Martemucci, G. *et al.* (2023) 'Prevention of Oxidative Stress and Diseases by Antioxidant Supplementation', *Medicinal Chemistry*, 19(6), pp. 509–537. doi: 10.2174/1573406419666221130162512.
- Mason, S. A. *et al.* (2020) 'Antioxidant supplements and endurance exercise: Current evidence and mechanistic insights', *Redox Biology*, 35, p. 101471. doi: 10.1016/j.redox.2020.101471.
- Di Meo, S. and Venditti, P. (2020) 'Evolution of the Knowledge of Free Radicals and Other Oxidants', *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2020, pp. 1–32. doi: 10.1155/2020/9829176.
- National Cancer Institute (2023) *Comprehensive Cancer Information*. Available at: <https://www.cancer.gov/> (Accessed: 15 May 2023).

- National Institutes of Health (2023) *Omega-3 Fatty Acids*. Available at: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Omega3FattyAcids-Consumer/> (Accessed: 23 June 2023).
- Panche, A. N., Diwan, A. D. and Chandra, S. R. (2016) 'Flavonoids: an overview', *Journal of Nutritional Science*, 5, p. e47. doi: 10.1017/jns.2016.41.
- Pham-Huy, L. A., He, H. and Pham-Huy, C. (2008) 'Free Radicals, Antioxidants in Disease and Health', *International Journal of Biomedical Science : IJBS*. Master Publishing Group, 4(2), p. 89. Available at: </pmc/articles/PMC3614697/> (Accessed: 6 June 2023).
- Pingitore, A. *et al.* (2015) 'Exercise and oxidative stress: Potential effects of antioxidant dietary strategies in sports', *Nutrition*, 31(7–8), pp. 916–922. doi: 10.1016/j.nut.2015.02.005.
- Ren, W. *et al.* (2003) 'Flavonoids: Promising anticancer agents', *Medicinal Research Reviews*, 23(4), pp. 519–534. doi: 10.1002/med.10033.
- Sharifi-Rad, M. *et al.* (2020) 'Lifestyle, Oxidative Stress, and Antioxidants: Back and Forth in the Pathophysiology of Chronic Diseases', *Frontiers in Physiology*, 11. doi: 10.3389/fphys.2020.00694.
- Strand, T. *et al.* (2018) 'Assessment of Selenium Intake in Relation to Tolerable Upper Intake Levels', *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 8(4), pp. 155–156. doi: 10.9734/ejnfs/2018/42536.
- Valavanidis, A., Vlachogianni, T. and Fiotakis, K. (2009) 'Tobacco Smoke: Involvement of Reactive Oxygen Species and Stable Free Radicals in Mechanisms of Oxidative Damage, Carcinogenesis and Synergistic Effects with Other Respirable Particles', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(2), pp. 445–462. doi: 10.3390/ijerph6020445.

- Valko, M. *et al.* (2007) 'Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease', *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. Pergamon, 39(1), pp. 44–84. doi: 10.1016/J.BIOCEL.2006.07.001.
- Willcox, J. K., Ash, S. L. and Catignani, G. L. (2004) 'Antioxidants and Prevention of Chronic Disease', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44(4), pp. 275–295. doi: 10.1080/10408690490468489.
- World Health Organization (WHO) (1996) 'Trace elements in human nutrition and health World Health Organization', p. 360. Available at: <https://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/9241561734/en/>.
- Young, I. S. and Woodside, J. V. (2001) 'Antioxidants in health and disease', *Journal of clinical pathology*. J Clin Pathol, 54(3), pp. 176–186. doi: 10.1136/JCP.54.3.176.
- Zwolak, I. and Zaporowska, H. (2012) 'Selenium interactions and toxicity: a review. Selenium interactions and toxicity', *Cell biology and toxicology*. Cell Biol Toxicol, 28(1), pp. 31–46. doi: 10.1007/S10565-011-9203-9.

BAB 8

SISTEM PERTAHANAN TUBUH HUMORAL DAN SELULER

Oleh Dewi Syahidah

8.1 Pendahuluan

8.1.1 Sistem pertahanan tubuh

Risiko paparan bakteri, virus, jamur, parasit, radiasi matahari, dan polusi serta tekanan psikologis (stress) tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Namun tubuh manusia dirancang dengan sejumlah mekanisme bertahan hidup yang tercakup dalam sistem kekebalan tubuh (imun) untuk merespon patogen dan pengaruh lingkungan yang berbahaya seperti racun atau toksin (Fox, 2008; Irianto, 2012; Yulianto & Amaloyah, 2017). Selain itu, sistem imun juga merespon perubahan dari dalam tubuh yang berbahaya, seperti sel tumor atau kanker (Alberts et al., 2003; Abbas et al., 2022).

Ilmu imunologi berpusat pada pemeriksaan elemen molekuler dan seluler yang membentuk sistem kekebalan tubuh, serta peran dan interaksinya. Sistem kekebalan dibagi menjadi dua bagian yang berbeda, sistem kekebalan bawaan (*innate* atau *natural* atau *native*), yang lebih mendasar dan non-spesifik, dan sistem kekebalan yang didapat (*adaptive* atau *acquired*), yang spesifik atau adaptif dan memiliki komponen humoral dan selular (Janeway et al., 2001; Fox, 2008; Suardana, 2018).

Tubuh kita biasanya memiliki semua kebutuhan nutrisi untuk menjaga kesehatan dan dilindungi oleh sistem kekebalan tubuh, terutama makrofag. Namun tantangan yang terlalu berbahaya dapat melemahkan sistem kekebalan tubuh dan menyebabkan sejumlah penyakit serius (Irianto, 2012).

8.1.2 Peran sistem pertahanan tubuh humoral dan selular

Sistem pertahanan atau kekebalan tubuh dibagi menjadi dua bagian: kekebalan humoral, yang meliputi sekresi tubuh seperti air liur, air mata, serumen, keringat, asam lambung, pepsin, dan antibodi (Ab) atau imunoglobulin (Ig). Sedangkan makrofag, limfosit, dan neutrofil, yang memiliki peran protektif terkait sel, membentuk kekebalan tubuh yang kedua yang disebut kekebalan selular (Pagaya & Que, 2018).

Setelah infeksi terjadi, sistem kekebalan adaptif muncul sebagai garis pertahanan terakhir ketika sistem kekebalan bawaan tidak mampu menanganinya. Sistem imun ini terbagi menjadi reaksi imun humoral dan reaksi imun yang diperantarai sel (Janeway, 2001) dan berfungsi secara spesifik atau adaptif, seperti beberapa prajurit untuk menghadapi patogen tertentu dengan kerja ekstra karena patogen yang masuk ke dalam tubuh juga sulit untuk dihancurkan alias kuat (Abbas & Lichtman, 2014).

Bab 8 membahas komponen utama dan peran sistem pertahanan humoral dan seluler serta mekanisme kerja sama antara sistem pertahanan humoral dan selular, yang bersama-sama memainkan peran penting dalam menjaga kelangsungan hidup manusia. Penjelasan singkat tentang beberapa penyakit yang disebabkan oleh sistem kekebalan tubuh yang lemah ditampilkan pada subbab selanjutnya. Sedangkan pada subbab terakhir menjelaskan beberapa perkembangan imunoterapi.

Bab buku ini diharapkan memberikan pemahaman menyeluruh tentang mekanisme pertahanan humoral dan seluler tubuh dalam hubungannya dengan respons imun manusia serta meningkatkan pemahaman kita tentang pertahanan tubuh terhadap penyakit dan menjaga kesehatan masyarakat secara umum.

8.2 Sistem Pertahanan Tubuh Humoral

Sistem pertahanan humoral adalah komponen kekebalan yang melibatkan zat dalam humor, atau cairan tubuh, melalui makromolekul yang ditemukan dalam cairan ekstraseluler, seperti antibodi yang disekresikan (Abs), protein komplemen, dan peptida antimikroba spesifik. Selain itu, imunitas humoral mengacu pada proses aksesori yang menyertainya, seperti aktivasi TH2 dan produksi sitokin, pembentukan pusat germinal dan pengalihan isotipe, pematangan afinitas dan generasi sel memori. Imunitas humoral juga merujuk pada fungsi efektor dari Ab, yang meliputi patogen dan netralisasi toksin, aktivasi komplemen klasik, dan promosi opsonin untuk fagositosis dan eliminasi patogen (Janeway et al., 2001; Abbas & Lichtman, 2014).

8.2.1. Komponen utama sistem pertahanan humoral

Sel B dan antibodi (juga dikenal sebagai imunoglobulin atau Ig) adalah dua blok bangunan utama dari sistem pertahanan humoral. Sel B dalam sistem kekebalan menghasilkan protein Ab atau Ig sebagai respons terhadap keberadaan antigen (Ag). Antibodi (Ab) memiliki struktur unik yang memungkinkannya berinteraksi dengan berbagai patogen dan membantu dalam pengobatan infeksi (Alberts et al., 2003; Abbas et al., 2022).

Dua rantai berat dan dua rantai ringan bergabung bersama untuk membentuk struktur Y membentuk struktur dasar Ab. Domain Ig, yang berulang, membentuk setiap rantai. Sementara

Y-terminus Ab, juga dikenal sebagai fragmen Fab, berinteraksi dengan Ag tertentu, Y-terminus Ab, juga dikenal sebagai fragmen Fc, berinteraksi dengan sel efektor dalam sistem kekebalan (Murphy & Weaver, 2016; Suardana, 2017).

Beberapa mekanisme digunakan oleh antibodi (Ab) untuk berkontribusi pada respon imun humoral. Melalui netralisasi, Ab mampu mengikat patogen secara khusus dan menghambat aktivitasnya dan juga dapat mempercepat penghilangan patogen dengan mengaktifkan komplemen, yang menyebabkan reaksi peradangan dan lisis sel patogen. Sel fagosit (seperti makrofag), yang diaktifkan oleh Ab, menelan dan menghancurkan patogen yang diikat oleh Ab melalui proses fagositosis (Janeway et al., 2001; Murphy & Weaver, 2016).

Sel B adalah jenis sel tertentu yang dapat mengenali dan mengikat Ag tertentu berkat permukaan selnya yang ditutupi reseptor Ag tertentu. Proliferasi sel B, di mana mereka mulai tumbuh dan membelah secara berlebihan, terjadi ketika sel B diaktifkan oleh Ag yang tepat. Setelah aktivasi, sel B yang teraktivasi dapat berdiferensiasi menjadi sel plasma, yang terutama memproduksi dan melepaskan Ab ke dalam aliran darah, atau menjadi sel B memori, yang dapat mempertahankan memori imunologi yang diperpanjang dari Ag tertentu (Murphy & Weaver, 2016).

Sel B dan sel T dapat berkolaborasi selama respon imun. Sel T kerap disebut dengan limfosit T, karena merupakan salah satu jenis limfosit sel darah putih bersama dengan sel B. Sel T dibuat oleh sel punca dalam sumsum tulang belakang. Melalui mekanisme seperti pengenalan Ag dan pensinyalan ke sel B, sel T mendukung aktivasi dan diferensiasi sel B (Janeway et al., 2001; Alberts et al., 2003; Murphy & Weaver, 2016).

8.2.2 Peran dan mekanisme kerja sistem pertahanan humoral

Fungsi dan mekanisme sistem pertahanan humoral meliputi produksi Ab, pengikatan dan netralisasi patogen, aktivasi komplemen, dan proses fagositosis untuk menghancurkan patogen.

8.2.2.1 Pembentukan antibodi (Ab)

Proses pembentukan Ab dalam tubuh manusia terjadi secara alami dan terjadi melalui Ag. Secara alami, terbentuknya Ab terjadi dimana substansi Ab tersebut diwariskan dari ibu ke janinnya melalui plasenta. Sistem kekebalan bawaan memberikan pertahanan umum terhadap kuman dan zat berbahaya yang masuk ke tubuh, misalnya melalui sistem pencernaan atau kulit (Suardana, 2017).

Sedangkan respon imun akan ditimbulkan oleh pembentukan Ab setelah terpapar Ag. Antigen (Ag) memicu tubuh untuk memproses seluruh urutan ketika berikatan dengan reseptor spesifik pada sel imun. Tubuh biasanya mengingat informasi tentang mikroba penyebab penyakit dan cara melawannya setelah pertama kali bersentuhan dengannya. Tubuh kemudian akan langsung mengenali kuman dan merespons lebih cepat jika Anda bersentuhan lagi dengannya (Murphy & Weaver, 2016).

8.2.2.2 Pengikatan dan netralisasi patogen

Patogen yang mengancam kesehatan manusia harus diikat dan dinetralkan oleh pertahanan humoral untuk mencegah penyebaran infeksi. Untuk menjaga kontinuitas dan integritas sistem imun, proses ini berperan penting dalam respon imun humoral dan bekerja sama dengan mekanisme pertahanan tubuh lainnya (Suardana, 2017).

Sistem pertahanan humoral menggunakan Ab yang diproduksi sel B untuk mengikat dan menetralkan patogen. Ab yang diproduksi oleh sel B secara khusus berinteraksi dengan Ag pada permukaan patogen untuk mengikatnya. Ab dapat mengikat Ag yang tepat karena mereka memiliki situs pengikatan Ag yang sangat spesifik. Ab yang dihasilkan akan mengidentifikasi dan mengikat setiap individu Ag yang dimiliki oleh setiap jenis patogen (Pagaya & Que, 2018).

Untuk mencegah patogen merusak sel-sel tubuh, Ab menghambat fungsi patogen selama proses netralisasi selanjutnya. Mekanisme netralisasi memerlukan tiga tahap, termasuk mencegah patogen menginfeksi jaringan sehat dengan menghalangi kemampuan patogen untuk berikatan dengan reseptor sel target atau berinteraksi dengan sel inang dengan Ab. Patogen kemudian diaglutinasi (digumpalkan) oleh Ab, membentuk kompleks besar yang dapat dikenali dan disingkirkan oleh sel fagosit seperti makrofag. Kemudian datanglah netralisasi toksin, di mana Ab mempertahankan sel-sel tubuh dengan mengikat dan menetralkan toksin patogen untuk menghentikan kerusakan lebih lanjut (Janeway et al., 2001; Suardana, 2017)

8.3 Sistem Pertahanan Tubuh Seluler

8.3.1 Komponen utama sistem pertahanan seluler

Sel T dan sel pembunuh alami (sel NK) merupakan mayoritas dari sistem kekebalan seluler. Bersama-sama, kedua jenis sel ini dapat mencegah infeksi dan menjaga keseimbangan sistem kekebalan tubuh. Mereka bekerja sama dengan sel kekebalan lain, seperti sel fagositik dan dendritik, untuk mengidentifikasi dan menghilangkan patogen dan sel yang terinfeksi. Sel T dan sel NK sangat penting untuk pertahanan tubuh melawan infeksi virus, pemantauan tumor, dan kontrol respons imun (Murphy & Weaver, 2016).

Contoh jenis sel yang terlibat dalam respons imun seluler adalah sel T. Sel T dapat bersifat sitotoksik (CD8+) atau penolong (CD4+), dan kedua jenis ini membentuk sebagian besar sistem kekebalan tubuh. Sel T sitotoksik penting untuk mengidentifikasi dan menghilangkan sel kanker atau yang terinfeksi virus. Ketika mereka mendeteksi Ag yang disajikan oleh molekul *Major Histocompatibility Complex-I* (MHC-I) pada permukaan sel target, mereka melepaskan racun untuk membunuh sel tersebut. Melalui aktivasi sel T sitotoksik melalui sinyal sitokin dan dukungan sel B dalam produksi antibodi, sel T pembantu memainkan peran penting dalam koordinasi respon imun. Sel T pembantu mampu mengidentifikasi Ag pada permukaan sel penyaji Ag berkat molekul MHC-II (Janeway et al., 2001; Suardana, 2017).

Tidak seperti sel T, yang pertama-tama harus mengenali Ag tertentu, sel NK, subtipe limfosit, memiliki kemampuan untuk mengenali dan menghancurkan sel kanker atau sel yang terinfeksi virus. Sel target dirugikan oleh bahan kimia berbahaya yang dilepaskan oleh sel NK, seperti perforin dan granzim, sebagai respons terhadap perubahan ekspresi molekul permukaan sel target yang dapat mereka deteksi. Sel NK juga menghasilkan sitokin yang memengaruhi aksi sel imun lainnya (Murphy & Weaver, 2016).

8.3.2 Peran dan mekanisme kerja sistem pertahanan seluler

Mekanisme kerja sistem pertahanan seluler meliputi pengenalan Ag, diferensiasi, aktivasi, dan proses sel T efektor, serta peran sel NK dalam mengidentifikasi dan mengeliminasi sel yang terinfeksi. Unsur-unsur ini bergabung untuk membentengi respon imun seluler, melindungi tubuh dari infeksi, dan mencegah pertumbuhan sel yang tidak terkendali (Ghani, 2022).

Reseptor sel-T (TCR), yang terdapat pada permukaan sel T, memungkinkan mereka untuk mendeteksi Ag yang disediakan oleh sel inang. Ag yang telah disandi oleh gen kompleks MHC pada permukaan sel inang dikenali dan diikat secara khusus oleh sel T,

yang kemudian mentranskripsinya. Patogen yang menghasilkan Ag tertentu, seperti virus, bakteri, atau sel tumor, dapat menjadi sumber Ag yang dikenali (Janeway et al., 2002; Ghani, 2022).

Sel T berdiferensiasi dan menjadi aktif setelah terpapar Ag. Sel T pembantu atau sel T CD4+ berinteraksi dengan sel yang menyajikan Ag (seperti sel dendritik atau makrofag) dengan mengenali Ag yang disajikan pada kompleks MHC-II. Sel T menerima sinyal aktivasi, yang menyebabkannya berkembang biak dan berdiferensiasi menjadi berbagai subpopulasi seperti sel T-helper, sel T sitotoksik, dan sel T pengatur. Sel T pembantu menghasilkan sinyal sitokin yang mengaktifkan sel T sitotoksik dan sel B, meningkatkan produksi Ab dan efektor lainnya (Abbas et al., 2022).

Selain itu, kompleks MHC-I sel yang terinfeksi mengandung Ag yang dapat dikenali oleh sel T sitotoksik (CD8+). Perforin dan granzim, yang merusak membran sel target dan menyebabkan kematian sel, adalah bahan kimia beracun yang dikeluarkan oleh sel T sitotoksik. Melalui metode ini, sel yang terinfeksi virus, sel tumor dengan sifat yang berubah, atau sel lain yang telah diidentifikasi bermasalah dapat dihilangkan secara selektif oleh sel T sitotoksik (Murphy & Weaver, 2016; Abbas et al., 2022).

Dengan mendeteksi modifikasi ekspresi molekul permukaan sel, seperti penurunan ekspresi kompleks MHC-I pada sel yang terinfeksi, sel NK dapat mengidentifikasi sel yang terinfeksi atau sel tumor. Zat beracun seperti perforin dan granzim dilepaskan oleh sel NK sebagai respons, merusak sel target dan menyebabkan kematian sel. Sel NK juga dapat menghasilkan sitokin yang memengaruhi aktivitas sel kekebalan lain seperti sel T dan sel B (Alberts et al., 2003; Abbas et al., 2022).

8.4 Interaksi Antara Sistem Pertahanan Humoral Dan Seluler

8.4.1 Aktivasi sistem pertahanan humoral dan seluler secara bersamaan

Koordinasi respon imun, yang penting untuk meningkatkan potensinya dalam melawan infeksi dan penyakit, terjadi ketika sistem pertahanan humoral dan seluler (imun) diaktifkan secara bersamaan (sinergis). Kedua sistem kekebalan ini dapat diaktifkan secara bersamaan sebagai respons terhadap infeksi atau paparan Ag, dan keduanya bekerja sama untuk melindungi tubuh (Ghani, 2022).

Proses pengenalan Ag dan pengaktifan sel T, yang berperan penting dalam respons imun seluler, adalah dua dari banyak aspek penting aktivasi kedua sistem imun. Sel T pembantu kemudian menginduksi dan mengaktifkan sel B untuk menghasilkan Ab. Sel T dan B yang telah diaktifkan berkembang menjadi sel efektor yang menggunakan berbagai strategi pertahanan untuk melawan infeksi. Respon imun melibatkan interaksi antara sel T dan sel B. Selain membantu aktivasi sel B, sel T pembantu juga meningkatkan produksi antibodi yang lebih kuat. Sel B juga dapat berkembang menjadi *Ag-presenting cell* (APC) yang menggunakan kompleks MHC-II untuk menghadirkan Ag di permukaannya. Ini membantu aktivasi sel T dan meningkatkan respons imun seluler (Murphy & Weaver, 2016; Ghani, 2022).

8.4.2 Komunikasi seluler dalam respon imun

Sistem kekebalan bergantung pada komunikasi yang efisien antara berbagai jenis sel untuk mengoordinasikan dan memperkuat respons kekebalan terhadap patogen atau zat asing. Komunikasi seluler di antara sitokin, reseptor seluler, interaksi antara sel-sel kekebalan, stimulasi biaya, umpan maju, dan

umpan balik semuanya berperan dalam komunikasi ini. (Suega, 2006; Ghani, 2022).

Sel kekebalan menghasilkan sitokin, yaitu protein yang mengontrol komunikasi seluler. Sitokin dapat bertindak sebagai sinyal kemotaktik yang memandu sel kekebalan ke area yang terinfeksi atau meradang. Selain itu, sitokin mengontrol produksi Ab, respons inflamasi, dan aktivasi serta diferensiasi sel imun (Suega, 2006).

Untuk berinteraksi dengan molekul pensinyalan, seperti sitokin, sel imun dari setiap jenis memiliki reseptor permukaan. Reseptor ini mengambil sinyal dari dunia luar dan memicu sistem pensinyalan internal yang mempengaruhi bagaimana sel berperilaku dan berfungsi. Sebagai gambaran, pengenalan Ag dan pemicuan respon imun terhadapnya merupakan fungsi penting dari reseptor sel-T dan sel-B (Suega, 2006, Murphy & Weaver, 2016).

Sel kekebalan dapat berinteraksi satu sama lain secara langsung atau dengan melepaskan sitokin dan molekul pensinyalan lainnya. Untuk membantu sel B dan sel T sitotoksik (CD8+) mengaktifkan dan berdiferensiasi, sel T helper (CD4+) berinteraksi dengannya. Selain itu, sel dendritik berfungsi sebagai APC yang melibatkan sel T dan sel B untuk memulai respons imun (Janeway et al., 2001; Murphy & Weaver, 2016).

Ko-stimulasi adalah komponen penting dari komunikasi seluler yang menjamin aktivasi sel kekebalan yang tepat dan respons yang tepat terhadap Ag yang benar. Molekul permukaan sel kekebalan dan reseptor permukaan sel berinteraksi untuk menyebabkan stimulasi biaya. Interaksi molekul CD80 atau CD86 pada sel dendritik dan pensinyalan CD28 pada sel T, misalnya, memungkinkan aktivasi sel T sebaik mungkin (Murphy & Weaver, 2016; Ghani, 2022).

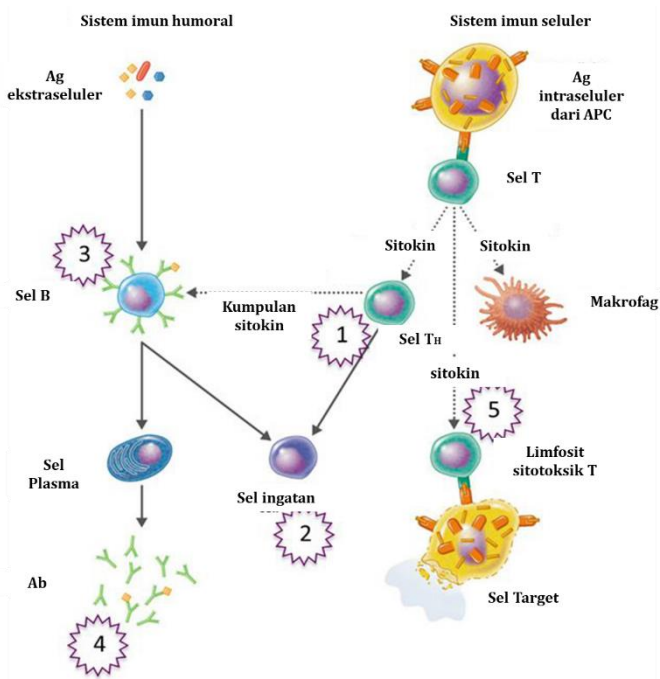
Mekanisme umpan balik positif dan negatif juga merupakan bagian dari komunikasi seluler. Respon imun terhadap patogen dapat diperkuat atau ditingkatkan dengan umpan balik positif, sedangkan respon imun yang terlalu aktif dapat diatasi atau dihentikan dengan umpan balik negatif. Sistem kekebalan tubuh harus tetap dalam keadaan seimbang (Murphy & Weaver, 2016).

8.4.3 Keberhasilan respons imun

Sel imun adaptif siap menerima dan memerangi patogen ketika sel imun bawaan gagal menghentikannya memasuki tubuh. Efektivitas respon imun tergantung pada koordinasi mekanisme pertahanan humoral dan seluler (Gambar 8.1).

Makrofag dalam cairan ekstraseluler, seperti Ab yang disekresikan, protein komplemen, dan peptida antimikroba spesifik, merupakan mediator imun dari respon imun humoral. Produksi antibodi dan proses terkait lainnya disebut sebagai respons imun ini. Prosedurnya melibatkan produksi sitokin dan aktivasi TH2, pengembangan pusat germinal, peralihan isotipe maturasi afinitas, dan produksi sel memori. Dalam istilah awam, respon imun humoral akan mengeliminasi patogen yang berada di luar sel (Gambar 8.1).

Adanya Ag oleh pengenalan antigen APC oleh helper T melalui NHC II - CD4 helper T menghasilkan sitokin untuk mengaktifkan sel B, sel T sitotoksik berkembang biak dan berdiferensiasi menjadi sel B plasma, dan memori B sel plasma B menghasilkan antibodi yang dikirim ke cairan tubuh darah, dan jaringan yang terinfeksi (Gambar 8.1).



Gambar 8.1. Proses respon imun humoral dan seluler
(Sumber : Ghani, 2022)

Aktivasi makrofag, sel NK, sel T sitotoksik yang berikatan dengan antigen spesifik, dan sekresi sitokin sebagai respons terhadap Ag semuanya berkontribusi pada kemampuan respons imun yang diperantarai sel untuk membunuh patogen yang sudah ada di dalam sel (Gambar 8.1).

Respon imun yang diperantarai sel ditandai oleh adanya Ag oleh APC; pengakuan Ag oleh pembantu T melalui NHC II-CD4; helper T menghasilkan sitokin untuk mengaktifkan sel B dan sitotoksik T; T sitotoksik berlipat ganda dan berdiferensiasi menjadi T memori; T sitotoksik bermigrasi ke jaringan yang terinfeksi atau sel tumor; dan T sitotoksik melisis sel yang terinfeksi atau sel tumor (Gambar 8.1).

Ketika patogen berhasil dilawan oleh sistem kekebalan tubuh, patogen musnah. Kemudian, patogen akan disimpan dalam sel limfatik sebagai sel T helper, sel B memori, dan sel T sitotoksik memori oleh sel tubuh. Sel-sel kekebalan akan lebih siap untuk memerangi patogen jika ada infeksi berikutnya yang disebabkan oleh patogen yang sama (Alberts et al., 2003; Murphy & Weaver, 2016).

8.5 Gangguan Sistem Pertahanan Tubuh

8.5.1. Autoimunitas

Autoimunitas adalah suatu kondisi di mana sistem kekebalan tubuh menyerang dan merusak jaringan sehat. Berbagai organ atau jaringan tubuh, seperti kulit, persendian, organ dalam, sistem saraf, dan lainnya, dapat terkena penyakit autoimun. Meskipun belum ada informasi yang pasti mengenai prevalensi penyakit autoimun di Indonesia, kita dapat melihat laporan global dan penelitian terkait untuk mendapatkan gambaran umum tentang keadaan autoimun (Komalig et al., 2008; Yulianto & Amaloyah, 2017).

Studi epidemiologis yang dilakukan di beberapa negara mengungkapkan bahwa penyakit autoimun, termasuk di Indonesia, secara signifikan lebih umum di seluruh dunia dan prevalensinya meningkat. Lupus eritematosus sistemik (LES), rheumatoid arthritis (RA), kondisi autoimun tiroid seperti penyakit Graves dan hipotiroidisme Hashimoto, dan multiple sclerosis (MS) adalah beberapa penyakit autoimun yang banyak terjadi di Indonesia (Juarranz, 2021).

Kecenderungan genetik, faktor lingkungan, dan faktor imunologi merupakan kontributor potensial munculnya penyakit autoimun. Paparan infeksi, polusi udara, merokok, paparan bahan kimia tertentu, dan kekurangan vitamin D adalah beberapa faktor risiko lingkungan yang diduga berkontribusi terhadap

munculnya penyakit autoimun. Selanjutnya, prevalensi penyakit autoimun dapat dipengaruhi oleh perubahan pola makan dan gaya hidup yang terjadi (Komalig et al., 2008; Juarranz, 2021).

Diagnosis dan pengobatan penyakit autoimun di Indonesia masih sulit. Ruang untuk peningkatan ketersediaan perawatan medis yang memadai, termasuk autoimunologi khusus, diagnosis yang cepat, dan pengobatan yang efisien terbuka luas. Namun demikian, Pemerintah terus melakukan upaya untuk meningkatkan kesadaran, mengedukasi masyarakat, dan melakukan penelitian terkait penyakit autoimun (Komalig et al., 2008).

8.5.2 Imunodefisiensi

Seseorang dengan imunodefisiensi memiliki sistem kekebalan tubuh yang terganggu, membuat mereka lebih rentan terhadap penyakit dan infeksi. Seseorang dapat dilahirkan dengan imunodefisiensi atau mengembangkannya selama hidup mereka. Gambaran umum dari kondisi ini dapat kita lihat meskipun belum ada statistik yang pasti mengenai prevalensi imunodefisiensi di Indonesia (Abbas et al., 2014; Abbas et al., 2020; Mahendra, 2021).

Imunodefisiensi dapat bermanifestasi dalam berbagai cara, dari imunodefisiensi primer yang diwariskan secara genetik hingga imunodefisiensi sekunder yang disebabkan oleh faktor lain seperti infeksi, pengobatan, atau kondisi medis tertentu. Imunodefisiensi yang sering dijumpai antara lain humoral, seluler, dan gabungan (van der Burg & Gennery, 2011; Leung et al., 2020).

Identifikasi dan pengelolaan imunodefisiensi di Indonesia mungkin terhambat oleh masalah seperti kurangnya akses ke layanan kesehatan yang memadai, khususnya di daerah pedesaan, serta kurangnya pengetahuan umum tentang kondisi tersebut. Kondisi pasien dengan imunodefisiensi juga dapat

dipengaruhi oleh keterlambatan diagnosis, kurangnya fasilitas khusus, dan tingginya biaya pengobatan (Tambayong, 2000; Chan et al., 2023).

Masyarakat, komunitas medis, dan pemerintah semua perlu dibuat lebih sadar akan imunodefisiensi. Akses ke diagnosis yang tepat, pengobatan, dan pemantauan pasien secara teratur bagi mereka yang mengalami defisiensi imun semuanya harus ditingkatkan. Penting juga untuk meningkatkan kesadaran akan tanda dan gejala peringatan imunodefisiensi serta nilai perawatan multidisiplin yang terkoordinasi (Mahendra, 2021).

8.5.3 Alergi atau hipersensitivitas

Alergi dan hipersensitivitas merupakan kondisi yang tersebar luas. Ketika sistem kekebalan tubuh bereaksi terhadap unsur-unsur yang seharusnya tidak berbahaya, seperti serbuk sari, tungau debu, makanan, atau obat-obatan, alergi berkembang. Mulai dari ruam kulit, bersin, mata berair, dan sesak napas yang parah, respons imun yang meningkat ini dapat menimbulkan berbagai gejala (WAO, 2013; Yulianto & Amaloyah, 2017).

Alergi debu, alergi makanan (seperti telur, susu, atau kacang), alergi serbuk sari, alergi hewan peliharaan, dan alergi obat adalah beberapa jenis alergi yang lebih umum di Indonesia. Riwayat alergi keluarga, gaya hidup dan lingkungan seseorang, dan paparan alergen di lingkungan terdekat merupakan faktor risiko alergi (Hikmah & Dewanti, 2010; Sicherer & Sampson, 2017).

Prevalensi alergi di sejumlah negara cenderung meningkat karena perubahan pola makan, urbanisasi, polusi udara, dan gaya hidup semuanya dapat berkontribusi pada hal ini. Selain itu, mungkin sulit untuk mengelola alergi jika tidak ada akses ke perawatan medis yang berkualitas, terutama di daerah pedesaan (WAO, 2013; Soegiarto et al., 2013; Savitri et al., 2019).

Pemeriksaan dan konsultasi yang tepat dengan ahli alergi atau imunologi sangat penting untuk mengidentifikasi alergi dengan benar. Langkah penting untuk mengelola alergi termasuk menghindari paparan alergen yang diketahui, seperti menjaga rumah bebas dari debu dan tungau, menghindari makanan yang memicu reaksi alergi, dan mengobati alergi dengan obat atau terapi imunologi tertentu (WAO, 2013; Munasir & Muktiarti, 2013).

8.6 Pengembangan Imunoterapi

Perkembangan imunoterapi telah meningkatkan pencegahan dan pengobatan penyakit. Kolaborasi di bidang ini masih didukung oleh pemerintah Indonesia, akademisi, peneliti, dan industri farmasi.

Untuk mengobati penyakit, imunoterapi merangsang atau menghambat sistem kekebalan tubuh. Imunoterapi supresif didefinisikan sebagai mengurangi atau menekan respon imun, sedangkan mengaktifkan imunoterapi bertujuan untuk memperoleh atau memperkuat respon imun (Syn, et al., 2017).

Antibodi monoklonal (mAb), terapi sel T untuk kanker, dan pembuatan vaksin baru merupakan kemajuan terbaru dalam imunoterapi sejak beberapa dekade lalu. Untuk mengenali dan secara khusus mengikat target spesifik dalam tubuh, seperti sel kanker atau protein patogen, mAb adalah Ab yang dibuat di laboratorium (Waldmann, 1991; O'Mahony & Bishop, 2006).

mAb sekarang lebih sering digunakan dalam pengobatan di Indonesia. Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Indonesia telah mengizinkan penggunaan beberapa mAb dalam pengaturan klinis, terutama untuk pengobatan kondisi inflamasi, autoimun, dan kanker (Singjie, et al., 2020). Penggunaan mAb dalam pengobatan kanker, seperti trastuzumab dan rituximab, telah memberikan dampak positif yang signifikan terhadap hasil

terapi dan tingkat kelangsungan hidup pasien (Saffari dkk., 2018).

Terapi sel T, yang secara genetik mengubah sel T pasien untuk meningkatkan kapasitasnya dalam mengidentifikasi dan memberantas sel kanker, merupakan kemajuan lain dalam imunoterapi. Berbeda dengan modalitas terapi ekstrinsik, imunoterapi untuk kanker berfokus pada modulasi dan memanfaatkan sistem kekebalan tubuh pasien untuk menargetkan sel kanker (Mancikova & Smida, 2021; Mahendra, 2022).

Tujuan imunoterapi kanker adalah mengaktifkan atau meningkatkan kemampuan sistem kekebalan tubuh untuk mengenali dan membunuh sel kanker. Ada banyak strategi imunoterapi yang tersedia, termasuk vaksin kanker, virus onkolitik, transfer sel adopsi, CTLA-4, mAb penghambatan PD-1, dll. FDA AS telah memberikan persetujuannya untuk sejumlah terapi ini untuk pengobatan kanker (Lawrenti, 2018).

Penelitian dan pengembangan saat ini sedang dilakukan pada terapi sel-T. Untuk menentukan kemanjuran terapi sel-T dalam mengobati berbagai jenis kanker, termasuk leukemia limfositik akut dan kanker payudara, banyak penelitian dan uji klinis sedang dilakukan. Terapi sel-T, meski masih dalam tahap awal, diantisipasi untuk menawarkan pasien kanker di Indonesia sebagai terapi alternatif yang inovatif dan efisien (Mahendra, 2022).

Berkat penelitian dan upaya untuk mengembangkan vaksin yang aman dan efektif terhadap penyakit menular, perkembangan imunoterapi di Indonesia telah mengarah pada pengembangan vaksin baru. Misalnya, dalam upaya memerangi pandemi yang mendunia, para peneliti dan industri farmasi Indonesia mengembangkan vaksin COVID-19 (Ophinni et al., 2020).

Indonesia juga berkontribusi dalam pembuatan vaksin untuk penyakit tropis yang spesifik di daerah ini, seperti demam berdarah, malaria, dan penyakit menular lainnya yang mengancam kesehatan masyarakat di Indonesia (Wasilah dkk., 2019).

8.7 Kesimpulan

Pembahasan dalam bab ini telah mengarah pada kesimpulan bahwa mekanisme pertahanan humoral dan seluler tubuh sangat penting untuk menjaga keseimbangan dan kesehatannya. Untuk bertahan melawan serangan patogen, kedua sistem pertahanan tubuh tersebut sangat penting. Sementara sel T dan NK terlibat dalam identifikasi dan eliminasi sel yang terinfeksi, produksi antibodi sel B membantu mengikat dan menghilangkan patogen. Kemajuan terbaru dalam imunoterapi, seperti penggunaan mAbs, terapi sel-T, dan pembuatan vaksin baru, berpotensi meningkatkan diagnosis, perawatan, dan pencegahan penyakit yang memengaruhi sistem pertahanan tubuh secara signifikan. Untuk memaksimalkan sistem pertahanan tubuh dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat, sangat penting dilakukan upaya peningkatan pemahaman, akses pengobatan, dan penelitian imunologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. 2022. *Cellular and molecular immunology*. 3rd Edition. Elsevier. 1735 pp.
- Abbas, A.K. & Lichtman, A.H. 2014. Basic Immunology: Functions and Disorders of the Immune System. Saunders Elsevier.
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. 2003. Molecular biology of the cell 4th edn. *Annals Botany*, 91(3): 401. doi: 10.1093/aob/mcg023
- Chan, C.M., Mahlaoui, N., Sánchez–Ramón, S., Pergent, M., Solis, L., Prevot, J., & Ali, A. 2023. Primary immunodeficiencies (PID) Life Index in Southeast Asia: A comparative analysis of PID Principles of Care (PoC). *Frontiers in Immunology*, 14, 1151335. doi: 10.3389/fimmu.2023.1151335
- Fox, S.I. 2008. Human physiology tenth edition. New York: McGraw-Hill.
- Ghani. M.I. 2022. Mengenal Sistem Imun dan Imunisasi. <https://www.zenius.net/blog/mengenal-sistem-imun-dan-imunisasi>, 14 April 2022. Diakses pada 25 Juni 2023.
- Ghassani, N.G., Hamijoyo, L., & Hadi, S. 2017. Early Detection of Suspected Systemic Lupus Erythematosus in Community-Dwellings in West Java Indonesia. *Althea Medical J*, 4(3), 358–362. doi: <http://dx.doi.org/10.15850/amj.v4n3.1181>
- Hikmah, N. & Dewanti, I.D.A.R. 2010. Seputar reaksi hipersensitivitas (alergi). *Stomatognatic*, 7 (2), 108-112
- Irianto, K. 2012. Anatomi dan fisiologi. Bandung: Alfabeta
- Janeway, C., Travers, P., Walport, M., & Shlomchik, M. J. 2001. *Immunobiology: the immune system in health and disease*. Garland Science. 600 pp
- Juarranz, Y. 2021. Molecular and Cellular Basis of Autoimmune Diseases. *Cells*, 10(2), 474. doi: 10.3390/cells10020474

- Komalig, F.M., Hananto, M., Sukana, B., & Pardosi, J.F. 2008. Lingkungan Yang Dapat Meningkatkan Risiko Penyakit Lupus Eritematosus Sistemik. *Indonesian J of Health Ecology*, 7 (2), 747-757. DOI: 10.22435/jek.v7i2 Agt.1651.
- Lawrenti, H. 2018. Perkembangan Imunoterapi untuk Kanker: Imunoterapi. *Cermin Dunia Kedokteran*, 45(8), 616-622. <https://doi.org/10.55175/cdk.v45i8.743>
- Leung, D., Chua, G.T., Mondragon, A.V., Zhong, Y., Le Nguyen-Ngoc-Quynh, Imai, K., Vignesh, P., Suratannon, N., Mao, H., Lee, W., Kim, Y., Godfrey C. F. Chan, Liew, W.K., Huong, L.T.M., Hirokazu Kanegane, H., Muktiarti, D., Zhao, X., Santos-Ocampo, F.J., Latiff, A.H.A., Seger, R., Ochs, H.D., Singh, S., Lee, P.P., & Lau, Y.L. 2020. Current Perspectives and Unmet Needs of Primary Immunodeficiency Care in Asia Pacific. *Frontiers in Immunology*, 11, 1605. doi: 10.3389/fimmu.2020.01605
- Mahendra, C. 2021. Imunodefisiensi primer dan deteksi dininya. *Jambi Medical Journal*, (9) 2, 159-167
- Mahendra, C. 2022. Terapi Berbasis Sel: Perkembangan Terkini. *CDK-302* 49 (3), 138-142
- Mancikova, V. & Smida, M. 2021. Current State of CAR T-Cell Therapy in Chronic Lymphocytic Leukemia. *International J Molecular Science*, 22(11), 5536. doi: 10.3390/ijms22115536
- Munasir, Z & Muktiarti, D. 2013. The management of food allergy in Indonesia. *Asia Pacific Allergy*, 3(1), 3-28. doi: 10.5415/apallergy.2013.3.1.23
- Murphy, K., & Weaver, C. 2016. *Janeway's immunobiology*. Garland Science. 927 pp
- O' Mahony, D. & Bishop, M.R. 2006. Monoclonal antibody therapy. *Frontiers in Bioscience*, 11, 1620-1635

- Ophinni, Y., Anshari S. Hasibuan, Widhani A., , Maria, S., Koesnoe, S., Yuniastuti, E., Karjadi, T.H., Rengganis, I., Djauzi, S. 2020. COVID-19 Vaccines: Current Status and Implication for Use in Indonesia. *Acta Medica Indonesiana*, 52 (4), 388-412
- Pagaya, J., & Que, B.J. 2018. Respons imun seluler dan humoral terhadap infeksi HIV. *Molucca Medica* 11(2), 41-49. <http://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/moluccamed>
- Pradana, K.A., Widjaya, M.A., & Wahjudi, M. 2020. Indonesians Human Leukocyte Antigen (HLA) Distributions and Correlations with Global Diseases. *Immunological investigations*, 49 (3), 333-363 <https://doi.org/10.1080/08820139.2019.1673771>
- Saffari F, Jafarzadeh A, Kalantari Khandani B, Saffari F, Soleimanyamoli S, et al. 2018. Immunogenicity of Rituximab, Trastuzumab, and Bevacizumab Monoclonal Antibodies in Patients with Malignant Diseases. *International J Cancer Management*, 11(11), e64983. <https://doi.org/10.5812/ijcm.64983>
- Savitri, C.M.A., Lubis, A.M.P., & Soegiarto, G. 2019. Food allergies in children: a comparison of parental reports and skin prick test results. *Paediatrica Indonesiana*, 58 (2), 59-65; doi: <http://dx.doi.org/10.14238/pi58.2.2018.59-65>
- Sicherer, S.H., & Sampson, H.A. 2017. Food allergy: A review and update on epidemiology, pathogenesis, diagnosis, prevention, and management. *J Allergy & Clinical Immunology*, 141(1), 41-58. doi: 10.1016/j.jaci.2017.11.003.
- Singjie, L., Felix, I., & Siregar, R. 2020. Penggunaan antibodi monoklonal sebagai terapi pilihan pada penderita artritis reumatoid untuk mencegah komplikasi kardiovaskuler. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kedokteran Indonesia*, 7(2), 115-121. <https://doi.org/10.53366/jimki.v7i2.85>

- Soegiarto, G., Abdullah, M.S., Damayanti, L.A., Suseno, A., & Effendi, C. 2019. The prevalence of allergic diseases in school children of metropolitan city in Indonesia shows a similar pattern to that of developed countries. *Asia Pacific Allergy*, 9(2), e17. <https://doi.org/10.5415/apallergy.2019.9.e17>
- Suardana, I.B.K. 2017. Diktat Imunologi Dasar. Universitas Udayana, Bali. 36 pp
- Suega, K. 2006. Hubungan besi dan produksi sitokin. *J Penyakit Dalam*, 7 (2), 149-158
- Syn, N.L, Michele, T. W.L, Tony, M.S.K., Ross, S. A. 2017. De-novo and acquired resistance to immune checkpoint targeting. *The Lancet Oncology*, 18 (12), e731–e741. doi:10.1016/s1470-2045(17)30607-1
- Tambayong. J. 2000. Patofisiologi untuk Keperawatan. Penerbit Buku Kedokteran EGC, 58-60
- van der Burg M, & Gennery AR. 2011. Educational paper. The expanding clinical and immunological spectrum of severe combined immunodeficiency. *European J Pediatric*. 2011;170(5):561-571
- Waldmann, T.A. 1991. Monoclonal Antibodies in Diagnosis and Therapy. *Science*, 252 (5013), 1657-1662. DOI: 10.1126/science.2047874
- Wasilah, U., Rohimah, S., & Su'udi, M., 2019. Perkembangan Bioteknologi di Indonesia. *Rekayasa*, 12(2), 85-90. doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v12i2.5469>
- World Allergy Organization (WAO) 2013. White Book on Allergy: Update 2013. USA. 248 pp
- Yulianto, B.E., & Amaloyah, N. 2017. Toksikologi Lingkungan. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 213 pp

BAB 9

SIFAT FUNGSIONAL SERAT PANGAN

Oleh Khartini Kaluku

9.1 Pendahuluan

Serat yang terkandung dalam bahan pangan berdampak positif dalam proses metabolisme. Serat biasanya berfungsi sebagai pencahar saja, namun dengan berbagai penelitian, membuktikan asupan makanan rendah serat dapat mengakibatkan berbagai penyakit kronis misalnya seperti apendikitis, jantung koroner, kanker kolon dan divertikulosis. Serat pangan dengan efek fisiologis biasa disebut dengan *dietary fiber*.

Serat pangan mudah ditemukan pada sayur dan buah hampir pada setiap menu yang dihidangkan, baik yang telah diolah maupun masih mentah (lalapan). Di Indonesia mulai terjadi perubahan pola konsumsi buah dan sayur, yang menyebabkan tingginya angka morbiditas dan mortalitas serta perubahan dan perkembangan penyakit infeksi menjadi penyakit metabolik dan degeneratif (Nainggolan, 2005)

Saat ini fenomena pergeseran pola makan terjadi di wilayah perkotaan, yaitu tinggi karbohidrat, tinggi serat serta rendah lemak beralih ke pola konsumsi rendah serat, protein dan karbohidrat namun tinggi lemak. Makanan rendah serat melalui konsumsi makanan siap saji dapat menyebabkan tingginya kejadian penyakit degeneratif seperti kanker kolon, jantung koroner dan lainnya (Kemenkes, 2020).

9.2 Pengertian Serat Pangan

Serat diet terdapat dalam pangan disebut juga *dietary fiber* merupakan golongan poligosakarida, oligosakarida, lignin, dan substansi lainnya dari tumbuhan (AACC Report, 2001). Sumber serat pangan bersumber dari karbohidrat yang bersifat resisten terhadap proses penyerapan dan pencernaan yang terjadi pada usus halus. Pangan dengan kandungan komponen aktif merupakan pangan fungsional yang bermanfaat bagi Kesehatan melalui unsur gizi yang terkandung didalamnya berupa nutrisi, sensori dan fisiologis.

Sumber pangan di Indonesia kaya kandungan bioaktif yang potensial untuk dikembangkan. Komponen bioaktif pangan fungsional seperti serat pangan, antioksidan, FOS, inulin, prebiotik, PUFA dan probiotik menentukan sifat fisiologis dari pangan itu sendiri. Pangan fungsional mampu mencegah dan menurunkan resiko penyakit degeneratif. Bahan pangan yang tidak aman merupakan efek dari pemakaian pestisida secara intensif ketika proses produksi pangan, menggunakan bahan kimia secara tidak terkendali saat pengolahan. Ketika masyarakat meningkat kesejahteraannya maka di masa depan prediksi permintaan pangan fungsional dapat mengalami peningkatan. Pengembangan penelitian dan riset pangan fungsional sudah dilakukan, salah satunya adalah teknologi pangan yang menjadi landasan pengembangan pangan fungsional.

Pesatnya perkembangan pangan fungsional dimasa mendatang meliputi berbagai aspek pangan yang erat kaitannya dengan penampilan fisik seseorang yaitu berfungsi menghambat proses penuaan, meningkatkan kebugaran, immunitas, menjaga kesehatan kulit dan wajah. Perkembangan ini menunjukkan bahwa harapan secara prospektif dan peningkatan mutu pangan fungsional di Indonesia sedang marak terjadi khususnya pengembangan industri pangan yang tidak hanya memberikan dampak positif serta menguntungkan, namun berdampak juga

bagi kesehatan dan kesejahteraan manusia serta memajukan industri pangan untuk pemerintah.

9.3 Sumber Dan Jenis Serat Pangan

Sumber serat pangan banyak ditemukan dalam bahan makanan. Golongan bahan pangan tersebut bersumber dari sayur dan buah. Sayuran bisa dikonsumsi melalui proses pemasakan, perebusan, maupun masih dalam keadaan mentah. Sedangkan buah-buahan sering dikonsumsi dalam keadaan mentah. Indonesia adalah negara yang kaya dan menghasilkan berbagai macam buah-buahan. Namun beberapa hasil riset menunjukkan bahwa masyarakat Indonesia rata-rata mengkonsumsi serat rendah dari anjuran yaitu sebanyak 30 gram/hari, penelitian menunjukkan tingkat rata-rata konsumsi serat berkisar pada 9,9 – 10,7 gram/hari (Nainggolan, 2005).

Sayuran adalah bahan pangan dari tumbuhan dengan kadar air yang cukup tinggi. Kandungan zat gizi yang terdapat pada sayuran yaitu vitamin, serat pangan dari sumber karbohidrat dan mineral. Sayuran mengandung asam folat, vitamin A, C dan E. Sedangkan kandungan mineral dalam sayuran yaitu berupa kalium, potasium, kalsium, dan lainnya. Selain zat gizi, terdapat juga senyawa bioaktif diantaranya adalah alicin, karoten, antioksidan dan lain-lain. Komponen yang didominasi sayuran adalah serat pangan (Kemenkes, 2020).

Serat pangan hanya bisa diolah atau dicerna oleh bakteri yang terdapat pada usus besar menjadi produk lebih sederhana. Berdasarkan sifat larut air, serat terbagi atas serat tidak larut air dan serat yang larut dalam air.

Serat yang tidak larut dalam air adalah bagian dari dinding sel tanaman yang bertekstur keras seperti Selulosa, beberapa hemiselulosa, pati resisten dan lignin (Ciudad, 2019). Serat ini bersumber dari kulit buah, gandum utuh, polong-

polongan, tomat, mentimun dan kulit ari padi dan kacang-kacangan (Suharoschi, 2019).

Serat yang larut dalam air bukan bagian dari dinding sel pada tanaman seperti gum, inulin, β -glukan, pektin, arabinoxylans (AX) dan beberapa hemiselulosa. Sumber serat larut air biasanya terdapat pada buah-buahan. (Ciudad, 2019).

Meskipun jenis serat berbeda, namun ada kemungkinan salah satu bahan pangan mengandung kedua jenis serat. Misalnya sayuran yang didominasi oleh selulosa, sedangkan biji-bijian memiliki banyak kandungan β -glukan dan arabinoxylans (Suharoschi, 2019). Berikut adalah jenis dan sumber serat pangan:

9.3.1. Pati Resisten

Pati resisten merupakan bagian dari serat yang bersumber dari pangan yang tak dapat dicerna oleh enzim pencernaan terutama sumber dari golongan lignin, polisakarida dan bukan pati (Marsono, 2007). Adapun komponen serat terdiri dari karbohidrat analog, polisakarida, lignin, oligosakarida dan komponen lainnya yang terkait dengan dinding sel pada tanaman (suberin, cutin, waxes). Karbohidrat analog dari serat pangan meliputi pati resisten, dekstrin yang tidak dapat dicerna, dan senyawa sintesis dari karbohidrat (metil selulosa, polydekstrosa dan hydroxypropyl methyl selulosa).

Definisi pati resisten secara fisiologis adalah jumlah pati dengan hasil pencernaan yang tak terserap di dalam usus halus (Lattimer, 2010; Marsono, 2007). Makanan fungsional yang mengandung pati resisten dan sumber serat berdampak bagi kesehatan melalui efek fisiologis dari serat itu sendiri. Serat mendukung tingkat viskositas tinggi pada fungsi digesta. Sifat inilah yang menghambat penyerapan kolesterol dan glukosa. Asupan serat tinggi bisa mencegah terjadinya hiperkolesterol dan penyakit diabetes. Proses fermentasi serat pangan yang terjadi

didalam kolon akan menghasilkan asam lemak rantai pendek atau *short chain fatty acids* (SCFA) diantaranya propionate, asetat dan butirrat. Propionat dapat mencegah peningkatan kolesterol sedangkan butirrat dapat mencegah terjadinya kanker kolon.

Pati resisten dapat berkembang saat pendinginan dan pemanasan makanan seperti nasi dan kentang. Pati resisten tinggi dalam makanan mempunyai indeks glikemik yang rendah. Serat tidak larut air ada pada makanan seperti kacang-kacangan, dedak gandum, roti gandum dan sayuran.

Kapasitas air diikat oleh serat pangan dapat mengakibatkan ruahnya isi usus (digesta) sehingga mampu mencegah terjadinya divertikulus maupun konstipasi. Kemampuan serat pangan yang mengikat molekul organik menyebabkan terikatnya empedu hingga berdampak pada penurunan kolesterol. Hal ini menggambarkan bahwa serat mampu menyehatkan kolon dan mencegah terjadinya penyakit diabetes mellitus (divertikulus mencegah kanker kolon dan konstipasi) serta mencegah hiperkolesterolemia (Santosa, 2011; Marsono, 2007; Kusharto, 2006; Muchtadi, 2001). Sumber serat dari pati resisten berasal dari sayur, bekatul, sereal, buah, dan rumput laut.

9.3.2 Inulin dan FOS

Inulin merupakan sumber serta pangan jenis oligosakarida dengan kandungan fruktosa yang bersumber dari tanaman. Senyawa inulin terdiri dari gugus terminal seperti glukosa, glikosida dan berbagai unit fruktosa (dengan ikatan α (2-1)). Kandungan tanaman dengan unsur inulin sebanyak 2 – 150 unit fruktosa.

FOS merupakan salah satu oligosakarida dengan kandungan 2-10 unit fruktosa. Jika inulin dan FOS dihubungkan bersama ikatan glikosidik, maka tidak dapat dicerna pada organ usus halus, ini mempengaruhi rendahnya kalori. Proses fermentasi mikroflora terjadi di kolon yang mampu menstimulir

bifidobacterial. Ikatan glikosida dan fruktosa $\alpha(2-1)$ merupakan sifat spesifik dari inulin yang tahan terhadap enzim pencernaan. Efek kesehatan yang ditimbulkan dari FOS dan inulin adalah meningkatkan *bifidobakteri*, mengurangi *Clostridium perfringen*, menurunkan *Enterobakteri*, meningkatkan kadar air pada feses, melunakkan feses, mengurangi konstipasi dan meningkatkan *laktobasili*. Sumber bahan makanan yang mengandung FOS dan Inulin terdapat dalam pisang, asparagus, bawang putih dan bawang merah (Marsono, 2007; Kusharto, 2006).

9.3.3 Antioksidan

Bahan pangan yang mengandung antioksidan alami banyak terdapat di beberapa jenis bahan makanan, yaitu kelompok flavonoid dan karotenoid (Subroto, 2008; Marsono, 2007). Beberapa jenis karotenoid, yang terdapat pada bahan makanan seperti wortel, labu kuning, dan ketela rambat mengandung beta karoten; jeruk, jagung, telur mengandung *lutein*, *zeaxantine*; serta buah anggur, tomat dan semangka yang mengandung *lycopene*. Antioksidan jenis karotenoid memiliki efek yang menyehatkan diantaranya adalah (i) sebagai radikal bebas yang mampu menetralkan senyawa perusak sel yang dapat menyebabkan timbulnya kanker, (ii) menjaga kesehatan mata, (iii) menjaga pertahanan dalam proses oksidasi, (iv) mencegah penyakit jantung (v) menjaga kesehatan prostat (Marsono, 2007).

Flavonoid merupakan bagian dari antioksidan yang terdiri dari berbagai senyawa seperti flavonones, flavonols, antosianin, flavanols dan proanthocyanidin. Sumber antioksidan terdapat pada beberapa buah seperti anggur, berry, cerry, dan apel, juga terdapat pada coklat, kacang tanah, teh, brokoli dan bawang merah. Fungsi flavonoid bagi kesehatan adalah (i) menjaga kesehatan jantung, (ii) membantu memperbaiki dan menjaga fungsi otak, (iii) meningkatkan pertahanan dan kestabilan antioksidan tubuh, (iv) menetralkan senyawa radikal bebas. Jenis

bahan pangan yang banyak mengandung isoflavon (daidzein, genistein) terdapat pada kedelai yang mampu membantu meningkatkan kekebalan, menjaga Kesehatan otak dan mempertahankan kesehatan tulang.

Antioksidan juga terdapat dalam Vitamin yaitu Vitamin C dan E. Jenis bahan pangan dari vitamin C yang mengandung antioksidan banyak terdapat pada biji-bijian dan buah-buahan yang sangat baik dalam menetralkan senyawa radikal bebas dalam tubuh, menjaga Kesehatan jantung dan tulang serta meningkatkan sistem kekebalan tubuh. Vitamin E berfungsi sebagai antioksidan pada lipoprotein dan membran sel.

Antioksidan yang terdapat dalam mineral adalah selenium (Se) terdapat dalam bahan makanan seperti daging merah, ikan, hati, telur, biji-bijian dan bawang putih yang berfungsi meningkatkan sistem kekebalan tubuh dan menetralkan senyawa radikal bebas sehingga dapat terhindar dari kerusakan sel (Subroto, 2008). Komponen bioaktif dari antioksidan yang paling dominan dalam tubuh dan bermanfaat untuk kesehatan adalah *Epigallocatechin gallate* (EGCG). Sebagai komponen antioksidan kuat, EGCG memiliki kemampuan menangkal senyawa radikal bebas serta berfungsi sebagai *antithrombotic antiatherogenic* dan *antimicrobial*. (Khomsan, 2006).

9.3.4. PUFA

Salah satu komponen bioaktif dari serat adalah PUFA yang banyak terdapat pada hewan. Komponen ini secara khusus mengandung asam lemak dan Omega 3 terdapat pada bahan pangan minyak ikan, ikan tuna, salmon, tiram dan kenari yang dapat berpotensi menghambat resiko terjadinya penyakit jantung koroner, membantu fungsi penglihatan dan memperbaiki kesehatan mental (Marsono, 2007; Subroto, 2008)

9.3.5. Prebiotik, Probiotik dan Sinbiotik

Prebiotik merupakan salah satu bagian pangan yang tidak bisa dicerna. Prebiotik berfungsi dalam proses stimulasi pertumbuhan serta membantu aktivitas lebih dari satu bakteri didalam usus besar. Stimulasi ini mampu memperbaiki sistem inang (Neha *et.al*, 2012; Sekhon dan Jairath, 2010). Berbagai serat memiliki aktivitas prebiotik khususnya yang mengandung oligosakarida dan polisakarida, meskipun sebagian prebiotik adalah bagian dari karbohidrat pangan. Inulin, FOS dan oligofruktosa merupakan bagian prebiotik yang ditambahkan pada suplemen dan pangan olahan (Sekhon, 2010). Riset terkait pengaruh prebiotik maupun probiotik terhadap profil lemak mengungkapkan hanya senyawa prebiotik (inulin) pada jenis tertentu dan unsur probiotik (*L.plantarum*) mampu menurunkan nilai kolesterol dalam darah. (Ooi dan Liong, 2010).

Probiotik merupakan mikroba hidup pada makanan yang ditambahkan sebagai kebutuhan diet yang dapat memberi dampak kesehatan bagi inangnya. Hal ini terjadi melalui peningkatan keseimbangan pada mikroflora usus (Neha *et al*, 2012). Probiotik merupakan mikroba yang hidup antara 10^6 - 10^8 cfu/ml. Hal ini bermanfaat bagi kesehatan inang (Marsono, 2007). Diharapkan probiotik mampu berkembang hingga 10^{12} cfu/ml didalam kolon. Sumber probiotik pada bakteri berasal dari asam laktat. Jenis-jenis bakteri probiotik adalah Bifidobacteria (*Bifidobacterium bifidum*, *B. breve*) dan Lactobacilli (*Lactobacillus casei*, *L. plantarum*) (Neha *et al*, 2012; Grajek *et al*, 2005).

Golongan probiotik yang diperoleh dari bakteri asam laktat, dikatakan memenuhi syarat jika sesuai pernyataan berikut:

1. Probiotik masih aktif dalam kondisi asam lambung, dalam usus halus mengandung kadar garam empedu konsentrasi tinggi, serta probiotik non-patogenik mewakili mikroflora normal di dalam usus dari inang tertentu.
2. Probiotik dikatakan baik jika mampu bermetabolisme

- secara cepat, dapat tumbuh dalam usus dengan jumlah yang tinggi.
3. Probiotik bersifat antimikroba bagi bakteri merugikan dan secara efisien dapat membantu memproduksi asam organik.
 4. Probiotik dapat tumbuh pada sistem reproduksi berskala besar, mudah diproduksi, dan mampu hidup selama penyimpanan.

Sinbiotik merupakan kombinasi probiotik dan prebiotik yang memberikan keuntungan bagi inang melalui peningkatan pertahanan serta implantasi suplemen dengan mikroba yang hidup didalam saluran pencernaan sehingga memicu pertumbuhan serta mengaktifkan metabolisme beberapa bakteri baik dan meningkatkan kesehatan inangnya (Neha *et al.*, 2012; Sekhon dan Jairath, 2010).

Aplikasi farmasi potensial dimiliki oleh probiotik, prebiotik dan sinbiotik. Ketiga unsur tersebut dapat meningkatkan level pertumbuhan bakteri tertentu sebagai wujud implikasi pertahanan yang berfungsi untuk mencegah kerusakan usus dan sistem sistemik dalam saluran pencernaan. Yoghurt adalah pangan sinbiotik populer dari hasil fermentasi susu dari bakteri *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus* dengan penambahan sumber probiotik seperti inulin, FOS dan galaktooligosakarida (GOS).

Contoh probiotik dengan komponen aktif yang terdapat dalam bahan pangan diantaranya adalah :

1. Linalool dan Nerodiol dalam teh hijau yang berfungsi untuk mencegah kanker dan karies gigi.
2. Sulfur pada jenis bawang-bawangan berperan menurunkan kadar kolesterol dan mencegah agregasi pada platelet;
3. l-tumeron dalam rimpang temulawak dan kurkumin dalam rimpang kunyit yang berfungsi dalam pengobatan;
4. *Genestein* dan *Daidzein* pada tempe berfungsi mencegah kanker dan menurunkan kolesterol;

5. Serat pada buah-buahan, sayuran, sereal dan kacang-kacangan bermanfaat mencegah timbulnya penyakit pada sistem pencernaan;
6. Volatil pada chrysan, jasmin (bunga melati), dan chamomile sering dipakai sebagai aromaterapi.

Anjuran konsumsi serat menurut WHO adalah 25-30 gram/hari. Sedangkan menurut *Dietary Reference Intake (DRI)*, National Academy of Sciences, anjuran asupan berkisar antara 19-38 gram/hari sesuai golongan umur. Rata-rata penduduk Indonesia mengkonsumsi serat sebesar 10,5gr/hr. Hal ini memperlihatkan bahwa masyarakat Indonesia hanya memenuhi sepertiga kebutuhan serat sebesar 30 gr/hr.

Tabel 9.1. Komponen Serat

Jenis Bahan Pangan	Jenis Jaringan	Komponen Serat Pangan	Kandungan
Buah-buahan & Sayuran	Terutama Jaringan Parenkim	Selulosa, Substansi pektat, hemiselulosa dan beberapa glikoprotein	
	Beberapa jaringan terlignifikasi	Selulosa, lignin, hemiselulosa dan beberapa jenis glikoprotein	
Sereal & Hasil Olahannya	Jaringan Parenkim	Hemiselulosa, selulosa, ester-esterfenolik dan glikoprotein.	
	Jaringan terlignifikasi	Selulosa, substansi pektat dan glikoprotein.	

Jenis Bahan Pangan	Jenis Jaringan	Komponen Serat Pangan	Kandungan
Biji - bijian selain serealia	Jaringan Parenkim	Selulosa, substansi glikoprotein.	hemiselulosa, pektat dan
	Jaringan dengan penebalan dinding endosperma	Galaktomanan, sesulosa	sejumlah
Aditif pangan		Gum guar, gum alginat, xanthan, termodifikasi, termodifikasi, dll.	gum arabik, karagenan, gum selulosa pati

Sumber dikutip dari : Santoso, 2011

Tabel 9.2. Kadar Serat dalam Sayuran, Buah, Kacang-Kacangan serta Produk Olahannya

Jenis Sayuran / Buah / Kacang - Kacangan	Jumlah serat/100 gr (gr)	Jenis Sayuran / Buah / Kacang - Kacangan	Jumlah serat/ 100 gr (gr)
a. Sayuran			
Wortel rebus ¹⁾	3,3	Daun pepaya ²⁾	2,1
Kubis rebus	1,7	Daun kelor	2,0
Brokoli rebus	2,9	Asparagus	0,6
Daun bayam	2,2	Buncis	3,2
Tomat	1,1	Terong	0,1
Kol kembang	2,2	Jamur	1,2
Labu	2,7	Nangka muda	1,4

Jenis Sayuran / Buah / Kacang - Kacangan	Jumlah serat/100 gr (gr)	Jenis Sayuran / Buah / Kacang - Kacangan	Jumlah serat/ 100 gr (gr)
Kentang rebus	1,8	Daun singkong	1,2
Kangkung	3,1	Brokoli	0,5
Jagung manis	2,8	Sawi	2,0
b. Buah - Buahan ²⁾			
Mangga	0,4	Pisang	0,6
Anggur	1,7	Pepaya	0,7
Jeruk bali	0,4	Nenas	0,4
Jambu biji	5,6	Semangka	0,5
Belimbing	0,9	Strawberi	6,5
Apel	0,7	Srikaya	0,7
Jeruk sitrun	2,0	Sirsat	2,0
Alpukat	1,4	Pear	3,0
Melon	0,3		
c. Kacang - kacang dan Produk olahannya ²⁾			
Tauge	0,7	Tahu	0,1
Kacang tanah	2,0	Kecap kental	0,6
Kacang panjang	3,2	Kedelai bubuk	2,5
Kacang hijau	4,3	Tempe kedelai	1,4
Kacang kedelai	4,9	Susu kedelai	0,1

Sumber dikutip dari :

Berbagai sumber dalam Olwin Nainggolan dan Cornelis Adimunca (2005)

Menurut jenis kelarutan, serat terdiri dari :

1. Serat terlarut (*soluble dietary fiber*), adalah bagian dalam pada sel nabati seperti gum dan pektin.
2. Serat tidak terlarut (*insoluble dietary fiber*), banyak ditemukan pada kacang-kacangan, sereal, dan sayuran seperti hemiselulosa, selulosa, dan lignin.

Menurut fungsinya serat dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Non-polisakarida struktural banyak terdapat pada lignin.
2. Polisakarida non-struktural, terdapat pada agar-agar dan gum
3. Polisakarida struktural pada dinding sel seperti substansi pekat, hemiselulosa dan selulosa.

9.4 Manfaat Serat Untuk Kesehatan

Serat bermanfaat untuk kesehatan setelah adanya penelitian para ahli terkait konsumsi serat yang tinggi di negara berkembang (seperti di pedalaman Afrika) dibandingkan dengan konsumsi rendah serat di negara maju yang mengakibatkan tingginya kejadian kanker kolon. Para peneliti mengemukakan manfaat serat untuk kesehatan antara lain :

9.4.1. Mengontrol kegemukan (*obesitas*)

Pektin dan beberapa hemiselulosa merupakan jenis serat larut air (*soluble fiber*), yang mampu menahan air sehingga dapat mengentalkan cairan pada saluran pencernaan. Makanan kaya serat mencerna lebih lama didalam lambung, menyerap air dan mempertahankan rasa kenyang lebih lama. Oleh karena itu, serat mencegah mengkonsumsi lebih banyak. Tingginya kadar serat kasar pada makanan memiliki kadar gula, kalori dan lemak yang rendah, sehingga dapat mengurangi terjadinya obesitas (Lestari, 2015; Amalia, 2019; Yuniarti, 2023)

9.4.2. Mencegah Penyakit Diabetes Mellitus

Serat pangan yang mengikat glukosa mampu menyerap air dan mengurangi persediaan glukosa. Penerapan diet cukup serat menjaga kestabilan serat dan karbohidrat. Hal ini menyebabkan berkurangnya daya cerna karbohidrat hingga menghalangi kenaikan glukosa darah sehingga menjadikan glukosa darah tetap terkontrol (Prihatin, 2008). Perjalanan serat melalui lambung ke usus halus, terjadi penyerapan oleh serat larut air

kemudian berubah menjadi struktur seperti gel yang dapat menghambat pengosongan lambung hingga meningkatkan rasa kenyang. Hal ini mengakibatkan kadar glukosa darah turun secara perlahan (Dhital, 2014).

9.4.3. Mencegah Gangguan Gastrointestinal

Serat difermentasi di usus besar oleh bakteri saluran cerna. Kemudian proses fermentasi berhubungan dengan keasaman penurunan pH, pengurangan bakteri berbahaya, meningkatkan bakteri baik, serta menstimulus imun tubuh (Suharoschi, 2019).

Fermentasi pada serat tidak terlarut sulit terjadi karena rendahnya kandungan air. Namun, serat mampu mengurangi waktu singgah bagi sisa makanan kemudian mengencerkan senyawa karsinogen penyebab kanker dan racun. Sedangkan didalam usus besar mudah menguraikan serat larut air menjadi sumber energi bagi bakteri saluran cerna atau mikrobiota. Hasil fermentasi tersebut menghasilkan amina, gas, ammonia air, fenol dan asam lemak rantai pendek atau SCFA (*short chain fatty acid*). SCFA mampu menyerap ion tubuh dan menurunkan tingkat asam pada usus. Penurunan pH dapat menghambat bakteri berbahaya pada saluran cerna (Suharoschi, 2019; Hartati, 2009).

Pektin merupakan serat terlarut mengurangi terjadinya infeksi akut pada saluran cerna serta meringankan diare. Perombakan pektin oleh bakteri saluran cerna meningkatkan kadar asetat. Senyawa asetat masuk aliran darah mampu menjaga kesehatan usus, meminimalisir factor risiko terjadinya penyakit kardiovaskular, menghambat resistensi insulin, mengurangi timbulnya diabetes mellitus tipe 2, serta menjaga kestabilan pergerakan usus (Suharoschi, 2019).

9.4.4. Mencegah Terjadinya Kanker Kolon

Beberapa senyawa karsinogen berkonsentrasi tinggi dalam waktu lebih lama dan terjadi kontak sel dalam usus besar dapat menyebabkan kanker kolon. Penyebabnya diduga karena rendahnya konsumsi serat pangan. Kanker kolon dapat dicegah dengan meningkatkan konsumsi serat pangan sehingga dapat memperpendek waktu transit makanan di usus. Mikroflora usus berperan melalui serat pangan yang mempengaruhi menghambat pembentukan senyawa karsinogen. Serat bersifat mengikat air menjadi lebih rendah sehingga berdampak pada rendahnya konsentrasi senyawa karsinogen.

9.4.5. Mengurangi Penyakit Kardiovaskuler dan Kolesterol

Serat terlarut mampu menjerat lemak di usus halus dan mampu mengurangi kolesterol darah hingga 5% atau lebih. Serat mengikat garam empedu sebagai produk akhir kolesterol dalam saluran pencernaan kemudian dieksresi bersama feses. Serat berfungsi mengurangi kadar kolesterol sehingga mengurangi resiko terjadinya penyakit kardiovaskuler (Fairudz, 2015).

9.5 Pengaruh Serat Pangan Yang Merugikan

Di samping berpengaruh menguntungkan, serat juga memberikan efek merugikan yaitu menjadi (i) penyebab ketidaktersediaan vitamin larut lemak (vitamin D dan E) (Espinosa-Nava, 1982; Leveile, 1977 dalam Muchtadi, 2001, (ii) dapat mempengaruhi aktivitas enzim protease (Jansen dan Netty, 2010) dan (iii) dapat mengurangi penyerapan zat gizi serta menyebabkan flatulen. Hal ini juga berpengaruh terhadap besarnya penyerapan mineral yang menyebabkan kekurangan mineral sehingga pada usia lanjut dapat meningkatkan resiko osteoporosis (Tensiska, 2008). Oleh karena itu serat sebaiknya tidak dikonsumsi berlebihan. Anjuran asupan serat adalah 30 gram/hari.

DAFTAR PUSTAKA

- AACC Report. 2001. *"The Definition of Dietary Fibre"* (PDF). Cereal Foods World (dalam bahasa English). 46: pp. 89–148. ISSN 0146-6283. Diarsipkan dari *versi asli* (PDF) tanggal 2007-09-28.
- Amalia, F. Z. R. 2019. Hubungan Asupan Lemak, Serat dan Kegemukan terhadap Kejadian Hipertensi Remaja Putri SMK Kota Bekasi in *First International Confrence on Health Development*.
- Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Matallana-González, M. C., & Morales, P. (2019). Dietary fiber sources and human benefits: The case study of cereal and pseudocereals. In *Advances in food and nutrition research* (Vol. 90, pp. 83-134). Academic Press.
- Dhital, S., et al. (2014). Enzymatic hydrolysis of starch in the presence of cereal soluble fibre polysaccharides. *Food & Function*, 5(3), 579–586.
- Fairudz, A. (2015). Pengaruh serat pangan terhadap kadar kolesterol penderita overweight. *Jurnal Majority*, 4(8), 121-126.
- Grajek W, Olejnik A and Sip A. 2005. Probiotics, Prebiotics and Antioxidants as Functional Foods. *Acta Biochimica Polonica*. 52 (3) : 665-671
- Hartati, Sri Reny (2009). "Pemanfaatan Sawi (*Brassica juncea L.*) Sebagai Bahan Produk Serat Pangan Tidak Larut" (PDF). Skripsi Universitas Sumatera Utara: 15.
- Jansen Silalahi dan Netty Hutagalung, 2010. Komponen-komponen Bioaktif dalam Makanan dan Pengaruhnya Terhadap Kesehatan. Jurusan Farmasi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara, Medan

- Kemenkes. 2020. Panduan Gizi Seimbang Pada Masa Pandemi Covid-19. Jakarta : Kementrian Kesehatan RI.
- Khomsan, Ali. 2006. Solusi Makanan Sehat. PT Rajagrafindo Persada, Jakarta.
- Kusharto CM. 2006. Serat Makanan dan Peranannya Bagi Kesehatan. *Jurnal Gizi dan Pangan*. 1 (2) : 45-54
- Lattimer, James M.; Haub, Mark D. (2010-12-15). "*Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health*". *Nutrients* (dalam bahasa Inggris). 2 (12): 1266–1289. doi:10.3390/nu2121266. ISSN 2072-6643.
- Lestari, S. (2015). *Hubungan Asupan Serat Terhadap Indeks Massa Tubuh Menurut Umur (Kegemukan) pada Anak SD Cimahi Mandiri 2 dan SD Purnama di Kota Cimahi* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Leveille, G.A. 1977. The role of dietary fiber in nutrition and health, In L.F. Hood, E.K. Wardrip and G.N. Bollenback (Eds.). *Carbohydrates and Health*. The AVI Publ. Co., Inc., Westport, Connecticut.
- Marsono Y. 2007. Prospek Pengembangan Makanan Fungsional. Makalah disampaikan pada Seminar Nasional dalam rangka "National Food Technology Competition (NFTC)"
- Muchtadi, Deddy. 2001. Sayuran Sebagai Sumber Serat Pangan Untuk Mencegah Timbulnya Penyakit Degeneratif. *Jurnal Teknol dan Industri Pangan*. 12 (1) : 61-71
- Neha A, Kamaljit S, Ajay B and Tarun G. 2012. Probiotic : As Effective Treatment of Diseases. *IRJP*, 3 (1) ; 96 – 101.
- Nainggolan, Olwin dan Cornelis Adimunca. 2005. Diet Sehat Dengan Serat. *Cermin Dunia Kedokteran* No. 147, 2005 Departemen Kesehatan RI, Jakarta.
- Ooi LG and Liong MT. 2010. Cholesterol-Lowering Effects of Probiotics and Prebiotics: A Review of *in Vivo* and *in Vitro* Findings. *Int. J. Mol. Sci*. 11 : 2499-2522

- Prihatin, U. W. (2008). Hubungan Tingkat Pengetahuan, Asupan Karbohidrat Dan Serat Dengan Pengendalian Kadar Glukosa Darah Pada Penderita Diabetes Melitus Tipe II Rawat Jalan Di RSUD Dr. Moewardi Surakarta (Doctoral Dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Sekhon BS and Jairath S. 2010. Prebiotics, Probiotics and Synbiotics : An Overview. *JPharm Educ Res.* 1 (2) : 13 - 28
- Subroto MA. 2008. Real Food, True Health. Makanan Sehat Untuk Hidup Lebih Sehat. PT Agro Media Pustaka, Jakarta.
- Santoso, Agus. 2011. "Serat Pangan (Dietary Fiber) dan Manfaatnya bagi Kesehatan" (PDF). *Magistra.* XXIII (75): 35-40.
- Suharoschi, R., Pop, O.L., Vlaic, R.A., Muresan, C.I., Muresan, C.C., Cozma, A., Sitar-Taut, A.V., Vulturar, R., Heghes, S.C., Fodor, A. and Iuga, C.A., 2019. Dietary fiber and metabolism. In *Dietary fiber: Properties, recovery, and applications* (pp. 59-77). Academic Press.
- Trowell HC (192). "*Definition of dietary fiber and hypotheses that it is a protective factor in certain diseases*". *The American Journal of Clinical Nutrition* (dalam bahasa English). American Society for Nutrition. 29: 417-427. *PMID 773166.*
- Trowell HC, Southgate D, Wolever T, Leeds A, Gassull M, Jenkins D (1976). "*Dietary fiber re-defined*". *Lancet* (dalam bahasa English). 307 (7966): 967. *doi:10.1016/S0140-6736(76)92750-1.*
- Tensiska, 2008. Serat Makanan. Jurusan Teknologi Industri Pangan. Fakultas Teknologi Industri Pertanian. Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Yuniarti, E. (2023). Hubungan Konsumsi Sayur dan Buah dengan Kegemukan Remaja di Kota Padang. *Jurnal Sehat Mandiri*, 18(1), 137-145.

BAB 10

SIFAT FUNGSIONAL PATI RESISTEN

Oleh Dini Wulan Dari

10.1 Pendahuluan

Pati resisten adalah jenis serat makanan yang memiliki sifat fungsional unik, menjadikannya komponen penting dari diet sehat (Tandhanskul *et al.*, 2021). Pati resisten merupakan pati yang dimodifikasi atau fraksi pati yang mirip dengan serat makanan yang memiliki banyak manfaat kesehatan seperti mengontrol peningkatan glikemik, kesehatan saluran cerna, manajemen berat badan, dan pencegahan penyakit seperti kanker usus besar, hiperglikemia, hiperinsulinemia, diabetes melitus, dan obesitas (Biselli *et al.*, 2019). Semua jenis pati dan produk degradasinya yang menahan pencernaan dan penyerapan di usus kecil saat dikonsumsi, dan masuk ke usus besar (Shim *et al.*, 2022). Sifat fungsional pati resisten ditentukan oleh ketahanannya terhadap hidrolisis enzimatis di usus halus dan daya fermentasinya oleh mikroflora di usus besar (Tai *et al.*, 2022).

Pati resisten diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain pati yang tidak dapat diakses secara fisik, granula pati kasar dan pati yang kaya akan amilosa, pati tergelatinisasi retrograded, dan pati yang dimodifikasi secara kimiawi (Wang *et al.*, 2022). Pati yang tidak dapat diakses secara fisik termasuk pati yang tertutup dinding sel tanaman, sedangkan butiran pati kasar dan pati kaya amilosa bersifat resisten karena sifat strukturalnya (Shim *et al.*, 2022). Pati resisten mengacu pada bagian pati yang menolak hidrolisis oleh enzim pencernaan di usus kecil, tetapi dapat difermentasi oleh mikroflora di usus besar. (Scarton dan

Clerici, 2022). Pati yang tidak dapat dicerna ini masuk ke usus besar di mana fungsinya mirip dengan serat makanan. (Charoen *et al.*, 2020). Pati normal adalah mudah dimetabolisme menjadi monosakarida dan diserap ke dalam tubuh, tetapi beberapa tahan terhadap hidrolisis enzimatik, melewati usus kecil, dan dibiarkan fermentasi di usus besar di mana mereka bertindak sebagai makanan serat untuk meningkatkan kesehatan sistem pencernaan (Arp *et al.*, 2018).

Salah satu sifat fungsional utama dari pati resisten adalah kemampuannya untuk menahan pencernaan di usus kecil (Tandhanskul *et al.*, 2021). hal ini menandakan bahwa pati melewati usus kecil utuh dan mencapai usus besar di mana pati difermentasi oleh bakteri usus (Roupar *et al.*, 2022). Pati resisten dikenal dengan indeks glikemiknya yang rendah, karena tidak menyebabkan peningkatan kadar gula darah secara cepat setelah dikonsumsi (Amagloh *et al.*, 2021). Selain itu, pati resisten telah ditemukan untuk meningkatkan rasa kenyang dan membantu dalam manajemen berat badan (Tzeng *et al.*, 2022). Selain itu, pati resisten terbukti berdampak positif pada kesehatan usus karena bertindak sebagai prebiotik, memberikan nutrisi bagi bakteri usus yang menguntungkan dan mendorong pertumbuhannya (Lemieszek *et al.*, 2022; Roupar *et al.*, 2022). Hal ini dapat membantu meningkatkan kesehatan usus secara keseluruhan dan berkontribusi pada mikrobioma yang seimbang. Proses fermentasi ini menghasilkan asam lemak rantai pendek, seperti butirat, yang dikaitkan dengan peningkatan kesehatan pencernaan dan penurunan risiko penyakit usus (Zhou *et al.*, 2021). Selanjutnya, pati resisten telah ditemukan memiliki dampak positif pada sensitivitas insulin (Nurdjanah *et al.*, 2022).

10.2 Pati Resisten

Pati merupakan salah satu bentuk utama karbohidrat dalam makanan, dan makanan yang kaya pati seperti produk sereal dan kentang merupakan komponen penting dalam sebagian besar diet. Secara kimia, pati terdiri dari amilosa dan amilopektin, yang merupakan polisakarida glukosa. Amilosa adalah rantai molekul linier dengan sedikit percabangan, sementara amilopektin adalah polimer bercabang yang terdiri dari sekitar 95% ikatan α -1,4 dan 5% ikatan α -1,6 (Bendiks *et al.*, 2020; Dupuis *et al.*, 2014).

Dalam hal daya cerna, pati dapat diklasifikasikan menjadi tiga tipe: pati yang dicerna dengan cepat (RDS), pati yang dicerna dengan lambat (SDS), dan pati resisten (RS). Pati RDS dan SDS dipecah menjadi dekstrin oleh enzim α -amilase dalam rentang waktu 20-120 menit setelah dikonsumsi. Sebaliknya, RS, yang pertama kali dijelaskan oleh Englyst *et al.* (1982), adalah fraksi pati yang tahan terhadap hidrolisis oleh enzim α -amilase dan pullulanase dalam kondisi laboratorium. RS dapat didefinisikan sebagai bagian dari pati yang tidak diabsorpsi dan tidak dipecah menjadi glukosa di usus kecil individu yang sehat. Sebagian besar RS mengalami fermentasi di usus besar dalam waktu 120 menit setelah dikonsumsi (Dupuis *et al.*, 2014; Sanz *et al.*, 2009; Fuentes-Zaragoza *et al.*, 2011). Oleh karena itu, RS memenuhi definisi serat makanan menurut Codex Alimentarius, yaitu polimer karbohidrat yang terdiri dari sepuluh unit monomer atau lebih, dan tidak dipecah oleh enzim endogen di usus kecil manusia (Codex Alimentarius, 2021).

RS yang mencapai usus besar berperan sebagai substrat untuk fermentasi oleh mikroba, menghasilkan gas seperti hidrogen, karbon dioksida, dan metana, serta senyawa lain seperti laktat, suksinat, biomassa bakteri, dan asam lemak rantai pendek (SCFA) seperti asetat, propionat, dan butirat. Senyawa-senyawa ini dapat memiliki dampak positif pada kesehatan usus (Jiang *et al.*, 2020). Fermentasi yang terjadi di usus besar juga

dapat mengurangi kadar asam empedu sekunder, fenol, dan amonia, yang mungkin memberikan manfaat kesehatan tambahan (Martinez *et al.*, 2010). Selain itu, RS juga diklasifikasikan sebagai serat yang dapat difermentasi secara signifikan. Sifat fisikokimia RS meliputi viskositas dan kelarutannya yang umumnya rendah.

10.3 Klasifikasi Pati Resisten

Berdasarkan Birkett dan Brown (2007), pati resisten diklasifikasikan menjadi 4 tipe, yaitu:

1. Pati resisten tipe 1 (RS1): Jenis pati ini tahan karena terperangkap di dalam matriks makanan. Enzim tidak dapat mencapai pati karena terhalang secara fisik. Pati ini dapat dilepaskan saat makanan digiling atau digiling, sehingga lebih mudah dicerna.
2. Pati resisten tipe 2 (RS2): Jenis pati ini secara alami tahan karena sifat granula pati. RS2 terdapat pada makanan mentah yang mengandung pati (seperti pisang mentah) atau pada makanan yang patinya tidak tergelatinisasi selama dimasak (seperti pati jagung dengan kandungan amilosa tinggi).
3. Pati resisten tipe 3 (RS3): Jenis pati ini terbentuk saat pati yang telah tergelatinisasi dimasak dan didinginkan. RS3 dapat terbentuk secara alami saat makanan diproses secara normal (seperti kentang yang dimasak dan didinginkan) atau saat pembuatan bahan makanan yang kaya akan pati resisten.
4. Pati resisten tipe 4 (RS4): Jenis pati ini dibuat dengan memperkenalkan ikatan kimia pada polimer pati, yang mengganggu kerja enzim pencernaan yang disebut amilase. Penghambatan ini tergantung pada jenis dan tingkat ikatan kimia yang digunakan. Beberapa jenis ikatan kimia yang dapat menghambat amilolisis meliputi dekstrinisasi, eterifikasi, esterifikasi, oksidasi, dan ikatan silang dengan reagen difungsional. Pati resisten tipe 4 dapat mempengaruhi sifat dan fungsi makanan yang mengandung pati, seperti kelarutan dan toleransi terhadap proses pengolahan.

Tabel 10.1. Tipe-Tipe Pati Resisten

Tipe Pati	Contoh	Kemungkinan pencernaan di usus kecil
Pati yang mudah dicerna	Makanan bertepung yang baru dimasak	Cepat
Pati yang mudah dicerna	Kebanyakan sereal mentah	Lambat, tapi lengkap
Pati resisten RS1: tidak dapat diakses secara fisik	Biji-bijian dan benih yang digiling sebagian	Tahan
RS2: <i>resistant granules</i>	Kentang mentah, pisang hijau, beberapa kacang-kacangan, dan pati jagung tinggi amilosa	Tahan
RS3: <i>retrograded starch</i>	Kentang yang dimasak dan didinginkan, roti dan cornflake	Tahan
RS4: pati yang dimodifikasi secara kimia	Pati eter, ester dan ikatan silang	Tahan

10.4 Sifat Fungsional Pati Resisten

Serat makanan, termasuk RS, telah menunjukkan efek yang menjanjikan dalam penelitian intervensi gizi untuk mengurangi risiko faktor penyakit metabolik. RS memiliki dampak positif pada beberapa biomarker yang terkait dengan penyakit metabolik, seperti metabolisme glukosa dan biomarker lipid dalam darah (Wang et al., 2019; Yuan et al., 2018). Penambahan RS ke dalam diet juga dapat meningkatkan rasa kenyang dan berpengaruh positif pada mikrobioma usus dengan merangsang efek prebiotik dan meningkatkan keragaman mikroba.

10.4.1 Klaim Kesehatan

Saat ini, telah ada satu klaim kesehatan yang disetujui untuk pati resisten oleh EFSA (2011) dan FDA untuk pati jagung amilosa tinggi (RS2) di Amerika Serikat.

Tabel 10.2. Ringkasan klaim kesehatan yang disetujui untuk patiresisten (RS)

Organisasi	Tipe RS	Klaim Kesehatan	Penerapan
EFSA (2011)	Semua tipe RS	Menggantikan pati yang dapat dicerna dengan RS menginduksi lebih rendah kenaikan gula darah setelah makan	Makanan panggang berkarbohidrat tinggi harus mengandung setidaknya 14% dari pati total sebagai RS, dalam menggantikan untuk dicerna pati
FDA (2016)	Hi-Maize®260; mengandung RS tipe 2 yang diturunkan dari amilosa tinggi pada pati jagung	RS-amilosa tinggi dapat mengurangi risiko tipe 2 diabetes	Dapat digunakan pada kemasan makanan konvensional seperti yang didefinisikan oleh Peraturan Kode Federal 101.14 (klaim Kesehatan : persyaratan umum)

sumber : Douglas (2016)

10.4.2 Metabolisme Glukosa

Efek kesehatan yang paling banyak diteliti dari RS adalah kemampuannya dalam meningkatkan homeostasis glukosa. Hal ini telah dibuktikan oleh EFSA (2011) dengan klaim kesehatan yang disetujui bahwa "penggantian pati yang dapat dicerna dengan RS menyebabkan peningkatan glukosa darah yang lebih rendah setelah makan," dan juga klaim kesehatan yang disetujui oleh FDA untuk mengurangi risiko diabetes tipe 2. Sebagian besar penelitian mendukung klaim kesehatan EFSA ini dengan mengevaluasi respons glikemik dan insulinemik pasca makan setelah mengonsumsi makanan umum seperti kerupuk, roti, dan muffin. Panel EFSA tentang Produk Diet, Nutrisi, dan Alergi menyimpulkan bahwa berdasarkan bukti yang ada, terdapat hubungan sebab-akibat yang telah terbukti antara konsumsi RS dari berbagai sumber dan penggantian pati yang dapat dicerna dalam makanan panggang dengan pengurangan respons glikemik pasca makan (EFSA, 2011).

Bukti yang mendukung temuan ini termasuk hasil dari tinjauan sistematis dan meta-analisis terbaru (Wang *et al.*, 2019) dari 13 percobaan intervensi klinis dengan partisipan dewasa yang kelebihan berat badan atau obesitas (jumlah partisipan sebanyak 428), yang melibatkan suplementasi RS (dalam rentang 10 hingga 45 g per hari) untuk mengamati efeknya terhadap glukosa, insulin, dan resistensi insulin. Studi ini menunjukkan penurunan konsentrasi insulin puasa dan glukosa plasma puasa, baik pada partisipan dengan diabetes maupun tanpa diabetes. Analisis keseluruhan menunjukkan bahwa suplementasi RS mengurangi HOMA-B dan kadar HbA1c. Meta-analisis oleh Wang *et al.* (2019) mendukung klaim kesehatan yang diajukan oleh EFSA dan FDA, serta menyoroti bahwa suplementasi RS dapat meningkatkan glukosa puasa, resistensi insulin puasa, dan sensitivitas pada individu dengan diabetes dan yang tidak memiliki diabetes namun kelebihan berat badan atau obesitas.

Secara umum, diketahui bahwa pencernaan makanan yang mengandung RS di usus kecil jauh lebih lambat daripada makanan yang mengandung pati yang mudah dicerna (RDS). Oleh karena itu, konsumsi makanan yang mengandung RS tinggi menyebabkan pelepasan glukosa yang lebih lambat, yang tercermin dari nilai indeks glikemik yang lebih rendah yang terkait dengan makanan tersebut (Wong & Louie, 2017). Efek ini dapat diamati melalui indeks glikemik makanan, yang mengklasifikasikan makanan berdasarkan perubahan respons glikemik setelah dikonsumsi. Penurunan tingkat pencernaan pati dalam makanan berkontribusi pada peningkatan glukosa darah yang lebih lambat.

Studi mekanistik pada model hewan telah mendukung efek penurunan glukosa darah dari RS. Dalam penelitian oleh Zhou *et al.* (2015), diketahui bahwa pemberian RS2 (sekitar 2 g per hari, sekitar 8% dari total diet) kepada tikus diabetes yang diinduksi dengan streptozotocin secara signifikan mengurangi kadar glukosa darah dibandingkan dengan kelompok kontrol. Efek ini dapat dikaitkan dengan peningkatan ekspresi gen yang terlibat dalam metabolisme glukosa, termasuk gen sintesis glikogen GS2 dan GYG1, serta gen yang diinduksi insulin, Insig-1 dan Insig-2, yang dapat meningkatkan sintesis glikogen dan menghambat produksi glukosa baru dalam tubuh, sehingga mengurangi kadar glukosa darah terkait (Zhou *et al.*, 2015).

Hasil penelitian ini menunjukkan potensi penggunaan RS dalam meningkatkan pengaturan glukosa darah dan insulin dalam makanan. Suplementasi RS dapat menjadi terapi yang aman untuk mempertahankan metabolisme glukosa normal dan sebagai terapi pencegahan untuk diabetes tipe 2 dan gejala sindrom metabolik. Pengembangan produk yang diperkaya dengan RS menggunakan formulasi yang tepat dapat secara signifikan mengurangi indeks glikemik makanan dibandingkan dengan produk konvensional sejenis.

10.4.3 Pengaturan Rasa kenyang dan Nafsu Makan

Nafsu makan adalah pengalaman subjektif yang tidak dapat diukur secara langsung. Untuk mengukur nafsu makan, digunakan metode pengukuran tidak langsung seperti pengamatan pola makan/asupan makanan, kuesioner, dan biomarker biologis. Nafsu makan terdiri dari tiga komponen, yaitu kelaparan, kenyang, dan rasa kenyang (Mattes, 2007). Kelaparan merupakan dorongan untuk makan dan dapat dipengaruhi oleh metabolisme, sensorik, dan faktor kognitif. Kekenyangan adalah perasaan puas setelah makan yang menentukan seberapa banyak makanan yang dikonsumsi dan berapa lama makan berlangsung. Sedangkan rasa kenyang mengacu pada penekanan kelaparan setelah makan (Slavin dan Green, 2007) dan menentukan jarak antara waktu puasa.

Serat makanan dapat mempengaruhi rasa kenyang dengan menambahkan kekenyalan dan mempengaruhi rasa kenyang karena viskositasnya. Diet rendah kalori dan rendah lemak, yang sering direkomendasikan untuk individu yang mengalami kelebihan berat badan (Slavin dan Green, 2007), cenderung tidak memberikan rasa kenyang yang memadai. Penambahan serat isolat, seperti RS, ke dalam makanan rendah kalori/rendah lemak dapat meningkatkan rasa kenyang dan berpotensi sebagai terapi untuk menurunkan berat badan pada individu dengan kelebihan berat badan dan obesitas yang berisiko mengalami penyakit kronis.

Dalam tinjauan sistematis dan meta-analisis terbaru dari empat uji klinis acak, terkontrol plasebo ($n = 174$) oleh Amini *et al.* (2021), terdapat penurunan nafsu makan secara akut dalam kelompok yang diberi suplemen RS (RS 1, 2, atau 3) dibandingkan dengan kelompok kontrol (dengan mengukur area di bawah kurva [AUC] dari peringkat nafsu makan peserta). Meta-analisis ini juga mencakup studi yang membandingkan plasebo dengan

intervensi makan/makanan dalam hal komposisi nutrisi lain dan melaporkan AUC pada titik waktu 0 hingga 240 menit setelah konsumsi. Secara keseluruhan, pengaruh RS pada nafsu makan tercatat lebih signifikan ketika dosis akut ≥ 25 g per makanan uji. Namun, meta-analisis ini memiliki beberapa keterbatasan, termasuk ukuran sampel yang kecil, pengukuran nafsu makan yang dilaporkan sendiri, dan sifat akut dari uji coba yang disertakan. Telah disarankan bahwa RS dapat menekan nafsu makan dengan beberapa mekanisme, termasuk penundaan pengosongan lambung, modulasi hormon gastrointestinal, dan penundaan penekanan glukosa darah postprandial (Amini *et al.*, 2021). Konsumsi RS juga dapat berkontribusi pada pengurangan nafsu makan dengan meningkatkan produksi asam lemak rantai pendek (SCFA) melalui fermentasi.

Studi oleh Zhou *et al.* (2008) menunjukkan peningkatan regulasi glukagon-like peptide-1 (GLP-1) dan peptida YY (PYY) secara berkelanjutan sepanjang hari pada hewan pengerat yang diberi RS. Studi tersebut juga mencatat peningkatan ekspresi gen proglukagon dan PYY yang terkait dengan fermentasi dan pelepasan SCFA di usus bagian bawah. Tikus yang diberi diet RS (30% w/w RS2) selama 10 hari juga memiliki lemak tubuh yang lebih rendah dibandingkan dengan tikus yang diberi makan kontrol (diet dengan kepadatan energi yang sama), meskipun asupan makanan mereka serupa.

Studi intervensi pada manusia yang melihat efek suplemen RS selama jangka waktu yang lebih lama juga telah dilakukan. Sebagai contoh, dalam uji coba ganda buta, paralel, terkontrol plasebo pada orang dewasa sehat ($n = 22$) oleh Hoffmann Sarda *et al.* (2016), efek mengonsumsi sup siap saji yang mengandung tepung pisang mentah (UBF) dengan kandungan RS2 (5 g/8 g UBF) tiga kali seminggu selama 6 minggu dibandingkan dengan kelompok kontrol (sup siap saji dengan plasebo, mengandung 2 g maltodekstrin) diinvestigasi. Setelah pencairan dan pemanasan, suplemen UBF atau plasebo (maltodekstrin) ditambahkan ke sup

beku. Asupan UBF sebanyak 15 g/minggu secara signifikan mengurangi rasa lapar dan meningkatkan parameter rasa kenyang (dinilai menggunakan skala visual analog [VAS] dan area di bawah kurva ghrelin plasma dan peptida YY plasma) dibandingkan dengan sebelum intervensi. Selain itu, kelompok suplemen mencatat penurunan asupan energi sebesar 14% (sekitar 150 kkal) dalam dua makanan dibandingkan dengan kelompok kontrol.

Secara keseluruhan, efek suplementasi RS terhadap rasa kenyang cukup bervariasi. Meskipun beberapa penelitian menunjukkan hasil positif dalam meningkatkan indikator kenyang dan mengurangi konsumsi energi, diperlukan lebih banyak penelitian intervensi pada manusia untuk menentukan dosis dan jenis RS yang secara signifikan memengaruhi parameter rasa kenyang. Makanan yang mengandung RS mungkin memiliki efek yang lebih rendah pada rasa kenyang dibandingkan dengan serat larut yang lebih kental, seperti β -glucan, guar gum, dan psyllium, yang dapat meningkatkan pengaturan nafsu makan melalui distensi lambung dan peningkatan rasa kenyang (Jovanovski et al., 2021).

10.4.4 Profil Lipid Darah

Secara umum, penyakit kardiovaskular (CVD) merupakan penyebab utama kematian. Kolesterol lipoprotein densitas rendah (LDL-C) yang tinggi dan kolesterol lipoprotein densitas tinggi yang rendah (HDL-C) merupakan faktor risiko aterosklerosis yang meningkatkan risiko terkena CVD. Suplementasi Resistant Starch (RS) telah terbukti meningkatkan profil lipid darah. Hasil meta-analisis dari 20 studi klinis terkontrol menunjukkan bahwa suplementasi RS memiliki efek menurunkan kolesterol total (TC) dan LDL-C. Dalam rata-rata TC, terdapat perbedaan sebesar -7,33 mg/dl dan dalam LDL-C, terdapat perbedaan sebesar -3,40 mg/dl. Rata-rata dosis RS yang digunakan adalah 16,1 g selama rata-rata 3,5 minggu masa

pengobatan. Namun, suplementasi RS tidak tampak mempengaruhi kadar kolesterol HDL dibandingkan dengan kelompok kontrol. Efek penurunan lipid yang lebih signifikan teramati pada periode suplementasi lebih dari 4 minggu dan pada dosis RS lebih dari 20 g/hari. Perbaikan profil lipid darah kemungkinan disebabkan oleh fermentasi RS di usus besar yang menghasilkan *Short-Chain Fatty Acids* (SCFA) seperti asetat, propionat, dan butirrat. SCFA ini mudah diserap dan terkonsentrasi di hati, dan propionat juga dapat memiliki efek penghambatan terhadap kolesterol.

Studi mekanistik pada tikus telah menunjukkan penurunan yang signifikan dalam konsentrasi triasilgliserol, trigliserida, dan kolesterol HDL setelah pemberian RS2. Studi tersebut juga mengamati peningkatan ekspresi gen yang terlibat dalam jalur metabolisme lipid dan penurunan gen yang terkait dengan sintesis dan metabolisme asam lemak dan trigliserida. Selain itu, RS retrograde dapat berikatan dengan garam empedu, meningkatkan ekskresi tinja, dan merangsang sintesis asam empedu hati dari kolesterol, sehingga menurunkan kadar kolesterol.

Secara keseluruhan, meta-analisis dan studi mekanistik pada hewan pengerat menunjukkan potensi manfaat suplementasi RS dalam meningkatkan profil lipid darah dengan menurunkan kolesterol total dan LDL. Temuan ini menunjukkan potensi suplementasi RS sebagai pengobatan pencegahan untuk dislipidemia, faktor risiko signifikan untuk CVD. Namun, efek yang menjanjikan ini belum dibuktikan oleh otoritas kesehatan seperti *European Food Safety Authority* (EFSA) untuk mendapatkan klaim kesehatan, seperti yang telah diberikan kepada serat larut β -glucan, pektin, hidroksipropil metilselulosa (HPMC), dan guar gum.

10.4.5 Mikrobioma Usus

Suplemen makanan yang mengandung Resistant Starch (RS) telah terbukti memiliki pengaruh signifikan pada mikrobioma usus, baik dalam perubahan kualitatif maupun kuantitatif pada populasi mikroba usus manusia. Data dari uji klinis acak menunjukkan bahwa suplementasi RS dapat meningkatkan produksi produk samping fermentasi, seperti *Short-Chain Fatty Acids* (SCFA), yang memiliki potensi manfaat kesehatan yang banyak. Bukti-bukti ini menunjukkan bahwa mikrobioma usus merupakan "hubungan kesehatan", dan perubahan dalam komposisi filogenetik dan fungsi mikrobioma dapat menyediakan terapi yang aman. Pola makan Barat yang rendah serat, termasuk RS, dilaporkan dapat mengurangi keanekaragaman bakteri, menyebabkan lapisan lendir yang lebih tipis, merusak integritas epitel usus, dan meningkatkan kerentanan terhadap patogen. Oleh karena itu, efektivitas RS sebagai agen terapeutik mungkin sangat tergantung pada komposisi mikrobioma individu dan sumber RS yang digunakan.

RS adalah jenis karbohidrat yang dapat dicerna oleh mikrobioma, dan telah terbukti mempengaruhi populasi mikroba usus dengan signifikan. Sebagian besar varietas RS dapat difermentasi oleh mikrobiota usus manusia dan menyediakan sumber karbon dan energi bagi spesies bakteri yang ada, yang dapat mengubah komposisi dan aktivitas metabolik mikrobiota usus. Perbedaan antarindividu dalam komposisi mikrobioma dipengaruhi oleh faktor genetik, lingkungan, dan faktor stokastik seperti diet, obat-obatan, dan pengukuran antropometri. Hal ini dapat memainkan peran penting dalam menentukan hasil konsumsi RS.

Usus besar merupakan ekosistem mikroba yang kompleks, di mana degradasi primer, degradasi sekunder, dan pertukaran makanan lintas mampu tumbuh dan memanfaatkan *Resistant Starch* (RS) serta produk sampingannya melalui fermentasi yang menguntungkan secara termodinamika. Bakteri seperti

Ruminococcus bromi dan *Bifidobacterium adolescentis* (serta beberapa spesies *Bifidobacterium* lainnya) telah diidentifikasi sebagai mikroorganisme usus manusia dengan kemampuan rendah dalam mengikat RS. *R. bromi* dan *B. adolescentis* adalah pengurai utama yang mampu memecah oligosakarida dari RS dan menghasilkan metabolit seperti laktat dan asetat.

Bakteri pengurai sekunder seperti *Eubacterium rectale* dan spesies butirogenik lainnya dari genus *Roseburia* dan *Butyrivibrio* memiliki enzim amilase ekstraseluler yang dapat mengurai produk sampingan pati. Studi *in vitro* menunjukkan bahwa kombinasi pengurai primer dan sekunder dapat menghasilkan butirir dari RS melalui pertukaran makanan. Misalnya, meskipun *Bifidobacterium thetaiotaomicron* tidak langsung menghasilkan butirir, metabolitnya (laktat, asetat, dan propionat) memungkinkan produksi butirir oleh bakteri lain melalui pertukaran makanan.

Berbagai jenis RS telah terbukti mengubah komposisi mikrobiota usus dengan variasi tertentu. Suplementasi dengan *Resistant Potato Starch* (RPS) (RS2) meningkatkan kelimpahan urutan *B. fecal/adolescentis/stercoris* sebanyak 6,5 kali lipat, sedangkan suplementasi dengan *Resistant Maize Starch* (RMS) (RS2) meningkatkan kelimpahan urutan *R. bromi* sebanyak 2,5 kali lipat. Studi lain yang menggunakan desain *cross-over double-blind* menunjukkan bahwa suplementasi RS4 secara signifikan meningkatkan kelimpahan Actinobacteria dan Bacteroidetes sambil menurunkan kelimpahan Firmicutes. Suplementasi RS4 juga menyebabkan peningkatan populasi *B. adolescentis* dan *Parabacteroides distasonis*, yang merupakan bakteri yang menguntungkan dan dapat mempengaruhi gangguan metabolisme lipid.

Secara keseluruhan, terdapat bukti yang cukup kuat tentang banyak manfaat kesehatan yang terkait dengan konsumsi dan suplementasi *Resistant Starch* (RS). Efek kesehatan yang paling banyak diteliti dan didukung oleh klaim kesehatan EFSA adalah

kemampuan suplementasi RS dalam mengurangi respons glikemik setelah makan dan meningkatkan metabolisme glukosa. Selain itu, ada bukti positif tentang potensi peran suplementasi RS dalam mengatur nafsu makan, menjaga profil lipid darah normal, dan mengubah komposisi mikrobiota usus. Meskipun perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan hubungan dosis-respons yang spesifik antara jenis RS yang berbeda dan manfaat kesehatannya, menggabungkan makanan yang kaya akan RS ke dalam pola makan sehari-hari (misalnya, makanan yang dipanggang) dapat berperan sebagai makanan fungsional yang memberikan perlindungan primer yang aman dan pencegahan untuk berbagai penyakit kronis yang umum terjadi di masyarakat Barat.

DAFTAR PUSTAKA

- Amagloh, F. C., Yada, B., Tumuhimbise, G. A., Amagloh, F. K., & Kaaya, A. N.. (2021, May 17). The Potential of Sweetpotato as a Functional Food in Sub-Saharan Africa and Its Implications for Health: A Review. <https://scite.ai/reports/10.3390/molecules26102971>
- Amini, S., Mansoori, A., & Maghsumi-Norouzabad, L. (2021). The effect of acute consumption of resistant starch on appetite in healthy adults; a systematic review and meta-analysis of the controlled clinical trials. *Clinical Nutrition ESPEN*, 41, 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.12.006>
- Arp, C.G., Correa, M.J. and Ferrero, C. (2018). Highamylose resistant starch as a functional ingredient in breads: A technological and microstructural approach. *Food and Bioprocess Technology*, 11(12), 2182–2193. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2168-4>
- Bendiks, Z. A., Knudsen, K. E. B., Keenan, M. J., & Marco, M. L. (2020). Conserved and variable responses of the gut microbiome to resistant starch type 2. *Nutrition Research*, 77, 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2020.02.009>
- Biselli, Chiara et al. (2019, August 19). GWAS for Starch-Related Parameters in Japonica Rice (*Oryza sativa* L.). *Plants*, 8(8), 292. <https://doi.org/10.3390/plants8080292>
- Birkett AM, I.L. Brown IL. 2007. Resistant starch. *Novel Food Ingredients for Weight Control*, 2007. Woodhead Publishing. ISBN 978-1-84569-030-4
- Charoen, R., Tasana, S., Somprasong, W., Rittisak, S., & Saveboworn, W.. (2020, January 1). Resistant Starch from Mixed Flours (Banana, Jackfruit Seed and Job's Tear) and The Application in Food Product. *E3s Web of Conferences*, 141, 02004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014102004>

- Codex Alimentarius (2021). Guidelines on nutrition labelling. CXG 2-1985. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/es/?lnk=1&&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXG%2B2-1985%252FCXG_002e.pdf
- Douglas, B. (2016). HAM and Diabetes ED Letter. FDA. <https://www.fda.gov/media/103626/download>
- Dupuis, J. H., Liu, Q., & Yada, R. Y. (2014). Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(6), 1219–1234. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12104>
- EFSA. (2011). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to resistant starch and reduction of post-prandial glycaemic responses (ID 681), “digestive health benefits” (ID 682) and “favours a normal colon metabolism” (ID 783) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal*, 9(4), <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2011.2024>
- Fuentes-Zaragoza, E., Sánchez-Zapata, E., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A. (2011). Resistant starch as prebiotic: A review. *Starch—Stärke*, 63(7), 406–415. <https://doi.org/10.1002/star.201000099>
- Hoffmann Sardá, F. A., Giuntini, E. B., Gomez, M. L. P. A., Lui, M. C. Y., Negrini, J. A. E., Tadini, C. C., Lajolo, F. M., & Menezes, E. W. (2016). Impact of resistant starch from unripe banana flour on hunger, satiety, and glucose homeostasis in healthy volunteers. *Journal of Functional Foods*, 24, 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.04.001>

- Haini, N., Jau-Shya, L., Mohd Rosli, R. and Mamat, H. (2021). The effect of resistant starch on the physicochemical, nutritional, in vitro starch digestibility and estimated glycaemic properties of Chinese steamed bun. *Journal of Cereal Science*, 98, 103176. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103176>
- Jiang, F., Du, C., Jiang, W., Wang, L., & Du, S.-K. (2020). The preparation, formation, fermentability, and applications of resistant starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 1155–1161. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.124>
- Jovanovski, E., Mazhar, N., Komishon, A., Khayyat, R., Li, D., Blanco Mejia, S., Khan, T., Jenkins, A. L., Smircic-Duvnjak, L., Sievenpiper, J. L., & Vuksan, V. (2021). Effect of viscous fiber supplementation on obesity indicators in individuals consuming calorie-restricted diets: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *European Journal of Nutrition*, 60(1), 101–112. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02224-1>
- Lemieszek, M. K., Komaniecka, I., Chojnacki, M., Choma, A., & Rzeski, W.. (2022, March 7). Immunomodulatory Properties of Polysaccharide-Rich Young Green Barley (*Hordeum vulgare*) Extract and Its Structural Characterization. *Molecules*, 27(5), 1742. <https://doi.org/10.3390/molecules27051742>
- Martínez, I., Kim, J., Duffy, P. R., Schlegel, V. L., & Walter, J. (2010). Resistant starches types 2 and 4 have differential effects on the composition of the fecal microbiota in human subjects. *PLoS One*, 5(11), e15046. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015046>
- Mattes, R. D. (2007). The role of macronutrients in appetite regulation. *Canadian Journal of Dietetic Practice and Research*, 68(2), S1– S3.

- Nurdjanah, S., Nurdin, S. U., Astuti, S., & Manik, V.. (2022, April 15). Chemical Components, Antioxidant Activity, and Glycemic Response Values of Purple Sweet Potato Products. *International Journal of Food Science*, 2022, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2022/7708172>
- Roupar, Dalila et al. (2022, March 25). Evaluation of Microbial-Fructo-Oligosaccharides Metabolism by Human Gut Microbiota Fermentation as Compared to Commercial Inulin-Derived Oligosaccharides. *Foods*, 11(7), 954. <https://doi.org/10.3390/foods11070954>
- Sanz, T., Salvador, A., Baixauli, R., & Fiszman, S. (2009). Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response. *European Food Research and Technology*, 229, 197–204. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1040-1>
- Shim, Kyu-Chan et al. (2022, August 5). Interaction of starch branching enzyme 3 and granule-bound starch synthase 1 alleles increases amylose content and alters physico-chemical properties in japonica rice (*Oryza sativa* L.). <https://scite.ai/reports/10.3389/fpls.2022.968795>
- Scarton, M., & Clerici, M. T. P. S.. (2022, January 1). Gluten-free pastas: ingredients and processing for technological and nutritional quality improvement. <https://scite.ai/reports/10.1590/fst.65622>
- Slavin, J., & Green, H. (2007). Dietary fibre and satiety. *Nutrition Bulletin*, 32(s1), 32–42. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2007.00603.x>
- Tai, N. V., Kusumawardani, S., Konyanee, K., & Luangsakul, N.. (2022, October 27). Polyphenol-Modified Starches and Their Applications in the Food Industry: Recent Updates and Future Directions. *Foods*, 11(21), 3384. <https://doi.org/10.3390/foods11213384>
- Tandhanskul, Atittaya et al. (2021, January 1). Utilization of RS-3 Rice Starch into Development of Food for Elderly: A Ready-

- to-mix Beverage Case.
<https://scite.ai/reports/10.1051/e3sconf/202130202003>
- Tzeng, H., Chiu, C., Liu, S., & Chiang, M.. (2022, July 26). Improvement of Glycemic Control by a Functional Food Mixture Containing Maltodextrin, White Kidney Bean Extract, Mulberry Leaf Extract, and Niacin-Bound Chromium Complex in Obese Diabetic db/db Mice. *Metabolites*, 12(8), 693. <https://doi.org/10.3390/metabo12080693>
- Wang, Hong-Pan et al. (2022, February 21). Dynamic Resistant Starch Accumulation in Contrasting Wheat Genotypes Highlights the Lipid Metabolic Pathway Related to Resistant Starch Synthesis. *Agriculture*, 12(2), 308. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020308>
- Wong, T. H. T., & Louie, J. C. Y. (2017). The relationship between resistant starch and glycemic control: A review on current evidence and possible mechanisms. *Starch/Staerke*, 69(7–8), 1–9. <https://doi.org/10.1002/star.201600205>
- Zhou, Caibi et al. (2021, February 9). Effect of Duyun Compound Green Tea on Gut Microbiota Diversity in High-Fat-Diet-Induced Mice Revealed by Illumina High-Throughput Sequencing. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2021, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2021/8832554>
- Yuan, H. C., Meng, Y., Bai, H., Shen, D. Q., Wan, B. C., & Chen, L. Y. (2018). Meta-analysis indicates that resistant starch lowers serum total cholesterol and low-density cholesterol. *Nutrition Research*, 54, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.02.008>
- Zhou, Z. K., Wang, F., Ren, X. C., Wang, Y., & Blanchard, C. (2015). Resistant starch manipulated hyperglycemia/hyperlipidemia and related genes expression in diabetic rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 75, 316–321. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.01.052>

BAB 11

SISTEM FUNGSIONAL PREBIOTIK, PROBIOTIK, DAN SINBIOTIK

Oleh Suci Apsari Pebrianti

11.1 Keterkaitan antara Prebiotik, Probiotik dan Sinbiotik

Selama lebih dari 20 tahun, konsep prebiotik dan probiotik dikenal secara luas di dunia. Berdasarkan hasil konsensus *The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics* (ISAPP) tahun 2016, prebiotik didefinisikan sebagai substrat yang secara selektif dimanfaatkan oleh mikroba inang sehingga bisa memberikan manfaat kesehatan (Gibson *et al.*, 2017a). Pasangan prebiotik, yaitu mikroba yang bisa memanfaatkan prebiotik disebut dengan probiotik. Organisasi WHO/FAO mendefinisikan probiotik sebagai mikroba hidup yang jika dikonsumsi dengan jumlah yang cukup dapat memberikan manfaat kesehatan.

Probiotik didefinisikan secara lebih eksklusif melalui konsensus ISAPP tahun 2014 yang menyepakati bahwa istilah probiotik ditujukan tidak hanya untuk mikroba yang hidup saja melainkan untuk strain/galur yang sudah teridentifikasi dengan baik (*well-defined strain*) dan secara ilmiah terbukti mampu memberikan manfaat kesehatan (Hill *et al.*, 2014). Artinya, tidak semua galur dalam satu spesies memiliki peran dan manfaat yang sama sebagai probiotik. Misalnya, *Lactobacillus plantarum* merupakan spesies mikroba sebagai kandidat probiotik yang sudah banyak dikaji, tetapi tidak semua galur dari *L. plantarum* memberikan manfaat probiotik yang serupa terhadap kesehatan.

Misalnya, galur *L. plantarum* Dad-13 yang berasal dari dadih susu kerbau memberikan manfaat probiotik yang berbeda dengan galur *L. plantarum* Mut-17 yang berasal dari gatot atau gaplek (pangan tradisional hasil fermentasi singkong). Meskipun keduanya berasal dari satu spesies yang sama, yaitu *L. plantarum* tetapi keduanya merupakan galur yang berbeda sehingga manfaat probiotik yang dihasilkan juga berbeda (Suroto, Hasan dan Rahayu, 2021).

Pemanfaatan prebiotik dan probiotik secara terpisah lebih banyak dikenal masyarakat, tetapi sebetulnya, keduanya bisa dikombinasikan dalam satu sistem pangan yang sama. Campuran yang berisi kombinasi antara probiotik dan prebiotik dikenal sebagai sinbiotik. Sinbiotik harus bisa dimanfaatkan secara selektif oleh mikroba inang sehingga bisa memberikan manfaat kesehatan ketika dikonsumsi. Mikroba inang yang dimaksud adalah mikroba *autochthonous* atau indigenos yang terdapat pada saluran cerna manusia maupun mikroba *allochthonous* yang berasal dari luar saluran cerna seperti probiotik yang keduanya dapat menjadi target untuk prebiotik sebagai substrat yang terkandung dalam sinbiotik (Swanson *et al.*, 2020).

Ragam produk pangan dimanfaatkan sebagai bahan pembawa (*food carrier*) bagi prebiotik, probiotik, maupun sinbiotik. Pilihan untuk mengonsumsi produk pangan prebiotik, probiotik maupun sinbiotik bisa didasari oleh manfaat kesehatan yang ingin diperoleh atau kebutuhan tertentu yang berkaitan dengan kondisi kesehatan. Studi membuktikan bahwa konsumsi pangan prebiotik, probiotik, dan sinbiotik memberikan dampak positif terhadap kesehatan saluran cerna, sistem imun, dan beberapa penyakit tidak menular seperti kanker, obesitas, diabetes, dan kardiovaskuler.

11.2 Sifat Fungsional Prebiotik

Sebagai substrat selektif, prebiotik tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan tetapi bisa difermentasi oleh mikroba tertentu pada saluran cerna sehingga bisa mempengaruhi komposisi mikrobiota didalamnya. Sebagian besar prebiotik merupakan serat pangan tetapi perlu ditekankan bahwa tidak semua serat pangan adalah prebiotik. Kategorisasi serat pangan sebagai prebiotik juga tidak bisa disamakan untuk setiap inang karena terdapat serat pangan yang bersifat prebiotik pada satu inang tetapi pada saat diaplikasikan pada inang lain, sifat prebiotiknya menjadi hilang. Misalnya, selulosa merupakan prebiotik bagi hewan ruminansia tetapi ternyata tidak bagi manusia karena mikroba pada saluran cerna manusia tidak bisa menghidrolisis ikatan β (1-4) pada selulosa dengan baik (Ben David *et al.*, 2015).

Meskipun mayoritas prebiotik berasal dari karbohidrat, beberapa prebiotik bisa diperoleh dari komponen non-karbohidrat, yaitu senyawa polifenol dan turunannya seperti flavanol dan antosianin. Cokelat menjadi salah satu sumber polifenol dan flavanol yang secara *in vitro* dan *in vivo* terbukti bisa mempengaruhi komposisi mikroba tertentu pada saluran cerna serta memberikan dampak positif bagi kesehatan. Hanya berkisar antara 5-10% polifenol dari cokelat yang mampu tercerna dalam usus dan 90% lainnya bisa sampai di saluran cerna bagian atas dan akhirnya dimanfaatkan untuk metabolisme mikroba (Tzounis *et al.*, 2011; Oracz *et al.*, 2020; Sorrenti *et al.*, 2020).

Terdapat beberapa kondisi yang harus dipenuhi dan dibuktikan secara ilmiah agar serat pangan atau suatu komponen dapat diklasifikasikan sebagai prebiotik diantaranya: (1) dapat menstimulasi pertumbuhan dan aktivitas dari galur mikroba tertentu yang bermanfaat bagi kesehatan; (2) menurunkan pH saluran cerna; (2) resisten terhadap enzim pencernaan atau tidak terhidrolisis; (3) tidak tercerna maupun terserap pada saluran

cerna bagian atas (lambung, duodenum); (4) dapat dimanfaatkan sebagai media atau substrat untuk setidaknya satu jenis mikroba yang menguntungkan bagi saluran cerna; dan (5) bersifat stabil atau tidak mudah rusak selama pengolahan pangan. Prebiotik juga dicirikan dengan derajat polimerisasinya yang rendah, yaitu hanya tersusun antara 2 sampai 20 unit monomer dalam satu rantainya. Monomer yang mendominasi prebiotik diantaranya adalah glukosa, galaktosa, fruktosa, dan xylosa (Gibson *et al.*, 2017a).

Secara alami, lebih dari 36.000 tanaman mengandung prebiotik diantaranya pisang, bawang merah, bawang putih, daun bawang, gandum, asparagus, kedelai, dan artichoke. Selain dari konsumsi pangan, prebiotik juga bisa ditambahkan ke dalam pangan secara artifisial sehingga bisa meningkatkan nilai gizi dan kesehatan dari pangan tersebut. Keberadaan prebiotik bisa meningkatkan pertumbuhan bakteri baik saluran cerna terutama dari genus *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Bacteroidetes*, dan *Firmicutes*. Pertumbuhan bakteri baik beserta produk metabolit sekunder yang dihasilkan pada akhirnya bisa memberikan dampak positif bagi kesehatan (Gibson *et al.*, 2017b; Davani-Davari *et al.*, 2019).

11.2.1 Jenis dan Sumber Prebiotik

Prebiotik yang diakui ISAPP adalah inulin, fruktooligosakarida (FOS), galaktooligosakarida (GOS), mannanoligosakarida (MOS), xilooligosakarida (XOS), dan beberapa *emerging prebiotic* seperti isomaltooligosakarida, chitooligosakarida, dan laktosukrosa. Komponen lain yang berpotensi sebagai prebiotik tetapi masih perlu banyak dikaji adalah oligosakarida ASI, polifenol, PUFA, beberapa protein dan peptida. Pada sub-bab ini hanya membahas inulin, FOS, GOS, dan beberapa *emerging prebiotic*.

a) Fruktan

Fruktan merupakan polimer dari fruktosa yang diantaranya tergolong sebagai prebiotik adalah inulin dan FOS. Secara alami, inulin dan FOS banyak diperoleh melalui diet pangan yang berasal dari tanaman pangan seperti sayuran, buah-buahan serta umbi-umbian seperti tercantum pada Tabel 11.1.

Tabel 11.1. Kandungan inulin dan FOS (g/100 gr) pada berbagai bahan pangan.

Bahan pangan ^{a,b,c}	Inulin	Bahan Pangan ^d	FOS
Jerusalem artichoke	18	Daun bawang	3,32
Akar chicory	17,5	Bawang bombai	2,01
Umbi dahlia	15	Bawang putih	1,20
Umbi uwi gembili	14,7	Bawang prei	1,07
Umbi uwi putih kulit cokelat	14,5	Nectarine	0,89
Umbi uwi kuning	13	Jerusalem artichoke	0,84
Bawang putih	12,5	Kecambah brussel	0,82
Umbi bengkoang	12,3	Kol	0,82
Umbi uwi gembolo	11	Semangka	0,81
Umbi uwi kuning kulit ungu	9	Brokoli	0,78
Bawang prei	6,5	Kol merah	0,61
Bawang bombai	4,3	Pir	0,56
Umbi uwi katak	2,9	Kubis	0,51
Asparagus	2,5	Rasberi	0,51
Gandum	2,5	Akar chicory	0,39

^a(Schaafsma and Slavin, 2015), ^b(Wimala et al., 2015), ^c(Winarti et al., 2011), ^d(Jovanovic-Malinovska et al., 2014).

Inulin tersusun dari fruktosa dan glukosa yang dihubungkan melalui ikatan glikosidik β (2-1) dan α (1-2). Sementara itu, FOS tersusun dari 3 sampai dengan 10 unit monosakarida, yaitu fruktosa dan glukosa yang saling terhubung melalui ikatan glikosidik β (2-1). Keberadaan ikatan glikosidik β (2-1) menjadikan kedua prebiotik tidak mampu dipecah oleh enzim pencernaan manusia yang bersifat spesifik hanya bisa

memecah ikatan glikosidik α . Sebaliknya, ikatan glikosidik β (2-1) bisa dipecah oleh enzim β -fruktofuranosidase yang dihasilkan oleh *Bifidobacterium* sehingga bisa dimanfaatkan untuk mendukung aktivitas pertumbuhan bakteri yang menguntungkan bagi kesehatan (Schaafsma dan Slavin, 2015).

b) Galaktooligosakarida (GOS)

Kelompok kacang-kacangan, polong-polongan, dan buncis menjadi sumber utama α -GOS yang tersusun dari 1-3 unit glukosa yang berikatan α -1,6 dengan sukrosa. Ikatan tersebut tidak dapat terhidrolisis oleh enzim saluran cerna manusia melainkan difermentasi oleh mikroba di dalamnya. Konsumsi GOS dapat dengan baik menstimulasi pertumbuhan *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Bacteroidetes*, dan *Firmicutes* secara berurutan (Davani-Davari *et al.*, 2019). Total GOS pada *fenugreek* (kelabat), kacang lentil, *chickpea* (garbanzo), *faba bean* (kacang babi) dalam mg/100 gr berturut-turut adalah 4463, 2962, 2487, dan 3504 (Njoumi *et al.*, 2019).

c) Emerging Prebiotic

Lactosucrose merupakan trisakarida yang tersusun dari glukosa, galaktosa, dan fruktosa. *Lactosucrose* tidak ditemukan secara alami pada bahan pangan apapun dan diproduksi melalui reaksi kimia maupun enzimatik yang umumnya menggunakan β -galactosidases. Untuk memperoleh manfaat fungsionalnya, *lactosucrose* dikonsumsi sebagai suplemen prebiotik atau ditambahkan ke dalam pangan seperti es krim, *dessert*, yogurt, permen, roti, kue, susu formula, air mineral, sup dan jus kemasan. Studi *in vivo* menunjukkan efek prebiotik dari *lactosucrose* diantaranya adalah peningkatan populasi *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus* serta penurunan patogen seperti *Clostridia* sp, mengatasi konstipasi dan diare serta dapat meningkatkan penyerapan mineral (Ca, Mg, P) (Silvério *et al.*, 2015; Cardoso *et al.*, 2021)

Rafinosa tersusun dari galaktosa, glukosa, dan fruktosa yang terkandung dalam susu kedelai dan kacang lupin. Di Jepang, *lactosucrose*, dan rafinosa sudah dikategorikan sebagai FOSHU (*food for specified health use*) dan ditambahkan pada beragam

produk pangan fungsional. Akan tetapi, kedua prebiotik ini belum diakui secara resmi oleh FDA maupun EFSA (*The European Food Safety Authority*) sehingga masih tergolong sebagai *emerging prebiotic*.

11.2.2 Mekanisme Aksi dan Manfaat Kesehatan Prebiotik

Prebiotik tidak mengalami perubahan sampai mencapai usus besar karena tidak terhidrolisis oleh enzim pencernaan manusia dan selanjutnya akan terfermentasi oleh mikroba yang hidup dalam saluran cerna. Asam lemak rantai pendek (*short chain fatty acid/SCFA*) diantaranya asam butirat, propionat, asetat, dan laktat adalah produk hasil fermentasi prebiotik yang masing-masing memiliki peranan penting dalam fungsi kerja usus dan secara parsial mempengaruhi kesehatan tubuh.

Tabel 11.2. Manfaat kesehatan prebiotik.

Manfaat kesehatan	Jenis prebiotik
<i>Irritable bowel syndrome</i>	FOS, GOS, inulin
Peningkatan sistem imun	
Kelebihan BB, obesitas, diabetes melitus tipe 2, dislipidemia dan inflamasi,	
Penyerapan mineral dan kesehatan tulang	
<i>Inflammatory bowel diseases</i>	FOS, inulin
Kardiovaskuler	GOS, inulin
Kesehatan urogenital	GOS
Konstipasi	Inulin

(Gibson et al., 2017b; Carlson et al., 2018; Martyniak et al., 2021).

Sebagian besar hasil fermentasi prebiotik termasuk SCFA merupakan mikromolekul yang dengan mudah terdifusi melalui enterosit usus dan masuk ke peredaran darah. Oleh karena itu, prebiotik tidak hanya mempengaruhi kesehatan saluran cerna tetapi juga pada organ dan sistem lain pada tubuh. SCFA dapat memodulasi aktivitas metabolisme tubuh tertentu seperti homeostasis saluran cerna, nafsu makan, asupan energi,

penyerapan zat gizi, regulasi kolesterol, dan sistem imun (den Besten *et al.*, 2013; Ben David *et al.*, 2015). Prebiotik juga mampu menurunkan populasi patogen melalui mekanisme penurunan pH akibat dihasilkannya SCFA sehingga pH saluran cerna tidak lagi mendukung pertumbuhan patogen, kompetisi sumber nutrisi, dihasilkannya produk metabolit lain yang bersifat antagonis, dan adanya peningkatan sistem imun (Carlson *et al.*, 2018).

11.3 Sifat Fungsional Probiotik

Kesehatan saluran cerna sangat dipengaruhi oleh populasi mikroba di dalamnya yang ditinggali oleh beragam mikroba yang memiliki peran positif dan negatif bagi kesehatan. Aktivitas metabolisme manusia tidak bisa lepas dari keberadaan mikroba saluran cerna yang diantaranya berperan dalam sintesis vitamin B, proses digesti, modulasi sistem imun, dan kompetisi melawan patogen (Martyniak *et al.*, 2021). Perubahan komposisi mikroba saluran cerna sangat mudah dipengaruhi oleh karena adanya perubahan pola diet ataupun perubahan kondisi kesehatan tubuh. Hal itu kemudian digunakan untuk memanfaatkan mikroba tertentu yang memberikan efek positif bagi kesehatan atau disebut probiotik. Probiotik ditujukan untuk mikroba galur tertentu (*well-defined strain*) yang jika dikonsumsi pada dosis fungsional, baik pada pangan maupun sebagai suplemen dan bukan dalam bentuk obat, bisa memberikan efek positif bagi kesehatan.

Efek probiotik bisa diperoleh hanya jika mikroba tersebut bisa sampai ke usus tanpa mengalami kematian atau penurunan populasi yang signifikan sehingga masih bisa untuk berkembang biak pada saluran cerna. Jumlah koloni probiotik yang disarankan ditambahkan pada pangan adalah minimal sebanyak 1×10^7 CFU (sel mikroba hidup) per porsi produk pangan. Regulasi tersebut bisa diterapkan untuk pangan dengan klaim spesifik probiotik

non-galur yang berasal dari genus *Bifidobacterium* (*adolescentis*, *animalis*, *bifidum*, *breve* dan *longum*) dan genus *Lactobacillus* (*acidophilus*, *casei*, *fermentum*, *gasseri*, *johnsonii*, *paracasei*, *plantarum*, *rhamnosus* dan *salivarius*) (Hill et al., 2014).

Pada saat difortifikasikan ke dalam pangan, probiotik harus tahan terhadap beragam proses pengolahan tanpa mengubah karakteristik sensori produk pangan serta tetap bertahan hidup selama penyimpanan sehingga pada saat tepat akan dikonsumsi, jumlah sel hidup probiotik tersebut masih memenuhi syarat minimalnya untuk dapat mengeluarkan efek probiotiknya dalam saluran cerna. Probiotik juga harus mampu bertahan hidup selama proses digesti, yaitu resisten terhadap pH rendah dan enzim-enzim pencernaan, mampu berkolonisasi pada permukaan mukosa serta tahan terhadap antibiok (Fijan, 2014).

11.3.1. Jenis dan Manfaat Kesehatan Probiotik

Probiotik diperoleh dari mikroba yang bukan patogen, tidak memproduksi toksin atau produk metabolit lain yang membahayakan kesehatan, Probiotik bisa diperoleh dari bakteri maupun khamir yang bisa dicirikan dari galurnya yang spesifik dimulai dari genus, spesies, subspecies (jika ada), dan penamaan secara alfanumerik. Genus bakteri yang paling banyak dimanfaatkan sebagai probiotik adalah *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus*, *Bacillus*, *Leuconostoc*, dan *Escherichia* (Fijan, 2014). Perlu diingat bahwa tidak setiap spesies dalam satu genus memiliki sifat probiotik. Seperti diketahui, beberapa spesies *Bacillus* dan *Escherichia* adalah patogen sehingga perlu ketelitian untuk melakukan klaim mikroba probiotik.

Sementara probiotik komersil dari khamir masih terbatas hanya *Saccharomyces cerevisiae* var. *bouardii*. Beberapa khamir lain yang berpotensi sebagai probiotik yang secara klinis terbukti aman dikonsumsi dan sudah diakui oleh EFSA tetapi masih perlu dikaji kontribusinya terhadap kesehatan adalah *Kluyveromyces*

marxianus var. *lactis*, *K. marxianus* var. *fragilis*, dan *Debaryomyces hansenii*. Khamir lain yang juga dilaporkan berpotensi sebagai probiotik adalah *Pichia kudriavzevii* galur 1003 dan 1200, *P. anomala* galur 1082 dan 1090, *Candida vini* galu 2063, dan *Lachancea thermotolerans* galur 1039 (Fernández-Pacheco et al., 2021)

Tabel 11.3. Manfaat kesehatan probiotik dalam produk pangan fungsional.

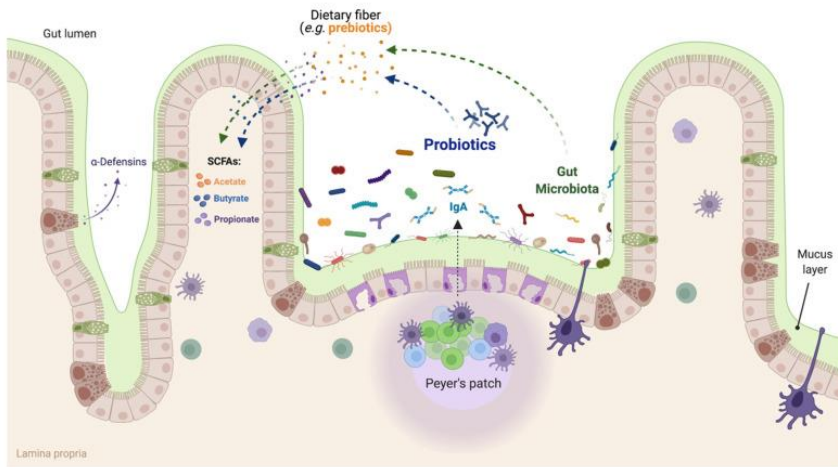
Produk pangan	Probiotik	Manfaat kesehatan / penanganan penyakit
Susu	<i>Bifidobacterium breve</i>	Kolitis useratif (radang kolon/usus besar)
	<i>L. rhamnosus</i> NCDC 17 <i>L. rhamnosus</i> GG	Diabetes
	<i>L. acidophilus</i> , <i>L. casei</i>	Intoleransi laktosa
	<i>L. fermentum</i> NCDC 400, <i>L. rhamnosus</i> NCDC 610	Obesitas dan sindrom metabolik
	<i>L. rhamnosus</i> MTCC 5897	Hiperkolesterolemia
Susu skim	<i>Lactococcus lactis</i> strain NRRL B-50571	Antihipertensi
Yogurt	<i>L. rhamnosus</i> GG (ATCC 53013)	Diare
Kefir	<i>L. lactis</i> subs., <i>Leuconostoc</i> subs., <i>Streptococcus thermophilus</i>	<i>Inflammatory bowel disease</i>
Keju cheddar	<i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i> and <i>Lc. paracasei</i>	Memperlancar pencernaan
Kimchi	<i>L. plantarum</i>	Kanker usus
Jus buah	<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>S. cerevisiae</i> , <i>S. boulardii</i>	Penyerapan mineral (Ca, Fe, Mg) dan antioksidan,

(Dimidi et al., 2019; Damián et al., 2022; Kaur et al., 2022).

Pangan yang umum difortifikasi probiotik adalah produk fermentasi, produk berbasis susu, produk berbasis sereal, dan minuman. Fortifikasi probiotik ke dalam bahan pangan bisa dilakukan secara *single strain* ataupun *multiple strain*. Manfaat kesehatan dari probiotik yang terkandung dalam pangan fungsional dapat dilihat pada Tabel 11.3 di bagian atas. Selain difortifikasi, probiotik secara alami juga ditemukan pada beberapa produk fermentasi seperti tempe, miso, natto, kefir, kombucha, sauerkraut, dan kimchi (Dimidi et al., 2019).

10.3.2 Mekanisme Aksi Probiotik

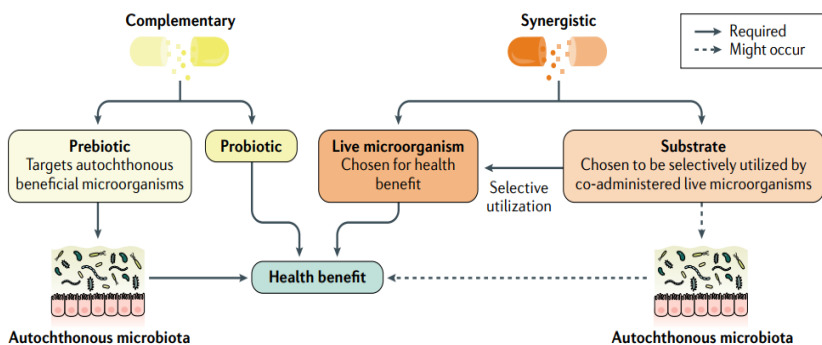
Manfaat kesehatan konsumsi probiotik salah satunya adalah reduksi patogen dalam saluran cerna. Metabolisme probiotik diantaranya menghasilkan SCFA yang mengakibatkan penurunan pH usus sehingga tidak lagi mendukung pertumbuhan patogen. Produk metabolit lainnya yang memiliki aktivitas antibakteri seperti bakteriosin, peptida, hidroperoksida juga menjadi penghambat pertumbuhan patogen (Damián et al., 2022). Dengan jumlah substrat dan nutrisi yang terbatas dalam saluran cerna, populasi probiotik dan mikroba baik akan mendominasi sehingga kompetisi nutrisi semakin menekan pertumbuhan patogen (Martyniak et al., 2021). Metabolit probiotik juga bertindak sebagai antioksidan yang menetralkan radikal bebas, mencegah stres oksidatif dan kerusakan sel sehingga bisa mencegah inflamasi. Probiotik juga bisa menempel pada dinding mukosa usus dan menstimulasi sistem imun. Secara ringkas, mekanisme aksi probiotik dalam mempengaruhi kesehatan ditunjukkan pada Gambar 11.1.



Gambar 11.1. Mekanisme aksi probiotik (Damián et al., 2022).

10.4 Sifat Fungsional Sinbiotik

Pemanfaatan prebiotik dan probiotik dilakukan juga melalui kombinasi dengan menambahkan keduanya secara bersamaan pada suatu produk pangan yang dikenal dengan sinbiotik. secara bersamaan pada suatu produk pangan yang dikenal dengan sinbiotik. Pada praktiknya, sinbiotik bisa bekerja dengan memberikan efek sinergis dan komplemen. Perbedaan keduanya terletak pada penggunaan prebiotik sebagai substrat. Efek sinergis terjadi jika prebiotik yang terkandung ditujukan sebagai substrat selektif hanya untuk mikroba probiotik yang dicampurkan/dimasukkan bersama dalam produk sinbiotik. Hal itu berarti, mikroba lain pada saluran cerna tidak bisa memanfaatkan prebiotik yang terkandung pada produk sinbiotik (Swanson *et al.*, 2020).



Gambar 11.2. Perbedaan efek sinergis dan komplementer dari sinbiotik (Swanson et al., 2020).

Sinbiotik sinergis dilakukan jika manfaat kesehatan yang diperoleh dari mengkombinasikan prebiotik dan probiotik terbukti lebih menguntungkan dibandingkan jika prebiotik dan probiotik tersebut dikonsumsi secara terpisah. Efek komplementer dari sinbiotik terjadi jika prebiotik yang terkandung didalamnya tidak bersifat sebagai substrat selektif dan ditargetkan untuk bisa dimetabolisme oleh mikroba saluran cerna (*autochthonous*) (Swanson et al., 2020).

Produksi pangan sinbiotik perlu memperhatikan tingkat ketahanan probiotik agar tetap bisa hidup dalam matriks pangan yang kompleks dengan keberadaan komponen lain selain prebiotik sampai produk pangan sinbiotik siap dikonsumsi. Guna menjaga viabilitas probiotik, maka pengemasan dan kondisi penyimpanan selama distribusi dan penyimpanan termasuk di ketika sudah sampai di tangan konsumen menjadi faktor kritis yang harus diperhatikan. Konsumsi pangan sinbiotik berdampak positif bagi kesehatan dengan meningkatkan populasi mikroba baik dalam saluran cerna (*Lactobacillus* dan *Bifidobacterium*), menekan populasi patogen, modulasi sistem imun, bertindak sebagai antioksidan, berperan dalam regulasi berat badan dan penanganan obesitas serta peran positif lainnya seperti tercantum pada Tabel 11.4.

Tabel 11.4. Manfaat kesehatan produk pangan sinbiotik.

Pangan	Sinbiotik	Manfaat Kesehatan / Penanganan Penyakit
Yogurt (Cornes <i>et al.</i> , 2022)	<i>Lactobacillus GG</i> dan inulin	Penyerapan kalsium
Yogurt (Li <i>et al.</i> , 2021)	<i>Konjac manna oligosaccharides</i> (KMOS) dan <i>B. animalis ssp. Lactis</i> BB12	Konstipasi
Yogurt pisang (Rahmawati, Djamiatun and Suci, 2017)	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> dan <i>Streptococcus thermophilus</i> dan FOS	Penurunan kadar glukosa darah dan insulin
Susu (Gyawali <i>et al.</i> , 2019)	<i>L. acidophilus</i> dan FOS	Penurunan kolesterol, LDL-kolesterol dan rasio LDL/HDL
Susu fermentasi (Gyawali <i>et al.</i> , 2019)	<i>Bacillus lactis Bi-07</i> , <i>L. acidophilus NCFM</i> , dan <i>isomaltooligosakarida</i>	Peningkatkan Bifidobacterium dan Lactobacillus (fekal) dan penurunan Ent enterobacilli
Susu fermentasi (Helmyati <i>et al.</i> , 2021)	<i>L. plantarum</i> dan FOS dengan fortifikasi ganda Fe dan Zn	Pertumbuhan anak <5 tahun
Jus delima (Esmaeilinezhad <i>et al.</i> , 2019)	<i>L. rhamnosus</i> dan inulin	Metabolisme insulin, BMI
Roti (Tajadadi-Ebrahimi <i>et al.</i> , 2014)	<i>L. sporogenes</i> dan inulin	Penurunan kadar insulin
Roti (Shakeri <i>et al.</i> , 2014)	<i>L. sporogenes</i> dan inulin	Penurunan kadar triasilgliserol dan peningkatan HDL

DAFTAR PUSTAKA

- den Besten, G. *et al.* (2013) 'The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism', *Journal of Lipid Research*, 54(9), pp. 2325–2340. Available at: <https://doi.org/10.1194/jlr.R036012>.
- Cardoso, B.B. *et al.* (2021) 'Novel and emerging prebiotics: Advances and opportunities', *Advances in Food and Nutrition Research*, 95, pp. 41–95. Available at: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.08.001>.
- Carlson, J.L. *et al.* (2018) 'Health Effects and Sources of Prebiotic Dietary Fiber', *Current Developments in Nutrition*, 2(3), p. nzy005. Available at: <https://doi.org/10.1093/cdn/nzy005>.
- Cornes, R. *et al.* (2022) 'Daily Intake of a Functional Synbiotic Yogurt Increases Calcium Absorption in Young Adult Women', *The Journal of Nutrition*, 152(7), pp. 1647–1654. Available at: <https://doi.org/10.1093/jn/nxac088>.
- Damián, M.R. *et al.* (2022) 'Functional Foods, Nutraceuticals and Probiotics: A Focus on Human Health', *Microorganisms*, 10(5), p. 1065. Available at: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10051065>.
- Davani-Davari, D. *et al.* (2019) 'Prebiotics: Definition, Types, Sources, Mechanisms, and Clinical Applications', *Foods*, 8(3), p. 92. Available at: <https://doi.org/10.3390/foods8030092>.
- Ben David, Y. *et al.* (2015) 'Ruminococcal cellulosome systems from rumen to human', *Environmental Microbiology*, 17(9), pp. 3407–3426. Available at: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12868>.

- Dimidi, E. *et al.* (2019) 'Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Impact on the Gut Microbiota and Effects on Gastrointestinal Health and Disease', *Nutrients*, 11(8), p. 1806. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu11081806>.
- Esmailinezhad, Z. *et al.* (2019) 'Effect of synbiotic pomegranate juice on glycemic, sex hormone profile and anthropometric indices in PCOS: A randomized, triple blind, controlled trial', *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 29(2), pp. 201–208. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2018.07.002>.
- Fernández-Pacheco, P. *et al.* (2021) 'Safety Evaluation of Yeasts With Probiotic Potential', *Frontiers in Nutrition*, 8. Available at: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.659328>.
- Fijan, S. (2014) 'Microorganisms with Claimed Probiotic Properties: An Overview of Recent Literature', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(5), pp. 4745–4767. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph110504745>.
- Gibson, G.R. *et al.* (2017a) 'Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics', *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), pp. 491–502. Available at: <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>.
- Gibson, G.R. *et al.* (2017b) 'Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics', *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), pp. 491–502. Available at: <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75>.

- Gyawali, R. *et al.* (2019) 'The Role of Prebiotics in Disease Prevention and Health Promotion', in *Dietary Interventions in Gastrointestinal Diseases*. Elsevier, pp. 151–167. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814468-8.00012-0>.
- Helmyati, S. *et al.* (2021) 'Synbiotic Fermented Milk with Double Fortification (Fe-Zn) as a Strategy to Address Stunting: A Randomized Controlled Trial among Children under Five in Yogyakarta, Indonesia', *Processes*, 9(3), p. 543. Available at: <https://doi.org/10.3390/pr9030543>.
- Hill, C. *et al.* (2014) 'The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic', *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 11(8), pp. 506–514. Available at: <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2014.66>.
- Jovanovic-Malinovska, R., Kuzmanova, S. and Winkelhausen, E. (2014) 'Oligosaccharide Profile in Fruits and Vegetables as Sources of Prebiotics and Functional Foods', *International Journal of Food Properties*, 17(5), pp. 949–965. Available at: <https://doi.org/10.1080/10942912.2012.680221>.
- Kaur, H., Kaur, G. and Ali, S.A. (2022) 'Dairy-Based Probiotic-Fermented Functional Foods: An Update on Their Health-Promoting Properties', *Fermentation*, 8(9), p. 425. Available at: <https://doi.org/10.3390/fermentation8090425>.
- Li, T. *et al.* (2021) 'Synbiotic yogurt containing konjac mannan oligosaccharides and *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* BB12 alleviates constipation in mice by modulating the stem cell factor (SCF)/c-Kit pathway and gut microbiota', *Journal of Dairy Science*, 104(5), pp. 5239–5255. Available at: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19449>.

- Martyniak, A. *et al.* (2021) 'Prebiotics, Probiotics, Synbiotics, Paraprobiotics and Postbiotic Compounds in IBD', *Biomolecules*, 11(12), p. 1903. Available at: <https://doi.org/10.3390/biom11121903>.
- Njoumi, S. *et al.* (2019) 'Soaking and cooking modify the alpha-galacto-oligosaccharide and dietary fibre content in five Mediterranean legumes', *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 70(5), pp. 551–561. Available at: <https://doi.org/10.1080/09637486.2018.1544229>.
- Oracz, J. *et al.* (2020) 'Bioavailability and metabolism of selected cocoa bioactive compounds: A comprehensive review', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(12), pp. 1947–1985. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1619160>.
- Rahmawati, F.C., Djamiatun, K. and Suci, N. (2017) *Pengaruh yogurt sinbiotik pisang terhadap kadar glukosa dan insulin tikus sindrom metabolik Effect of synbiotic yoghurt banana on blood glucose and insulin levels in metabolic syndrome rats*, *Jurnal Gizi Klinik Indonesia*. Available at: <https://jurnal.ugm.ac.id/jgki>.
- Schaafsma, G. and Slavin, J.L. (2015) 'Significance of Inulin Fructans in the Human Diet', *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(1), pp. 37–47. Available at: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12119>.
- Shakeri, H. *et al.* (2014) 'Consumption of Synbiotic Bread Decreases Triacylglycerol and VLDL Levels While Increasing HDL Levels in Serum from Patients with Type-2 Diabetes', *Lipids*, 49(7), pp. 695–701. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11745-014-3901-z>.

- Silvério, S.C. *et al.* (2015) 'Perspectives on the biotechnological production and potential applications of lactosucrose: A review', *Journal of Functional Foods*, 19, pp. 74–90. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.014>.
- Sorrenti, V. *et al.* (2020) 'Cocoa Polyphenols and Gut Microbiota Interplay: Bioavailability, Prebiotic Effect, and Impact on Human Health', *Nutrients*, 12(7), p. 1908. Available at: <https://doi.org/10.3390/nu12071908>.
- Suroto, D.A., Hasan, P.N. and Rahayu, E.S. (2021) 'Genomic insight of two indigenous probiotics *Lactobacillus plantarum* Dad-13 and *Lactobacillus plantarum* Mut-7 from different origins of Indonesian fermented foods', *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(12). Available at: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221233>.
- Swanson, K.S. *et al.* (2020) 'The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics', *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 17(11), pp. 687–701. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0344-2>.
- Tajadadi-Ebrahimi, M. *et al.* (2014) 'Effects of Daily Consumption of Synbiotic Bread on Insulin Metabolism and Serum High-Sensitivity C-Reactive Protein among Diabetic Patients: A Double-Blind, Randomized, Controlled Clinical Trial', *Annals of Nutrition and Metabolism*, 65(1), pp. 34–41. Available at: <https://doi.org/10.1159/000365153>.
- Tzounis, X. *et al.* (2011) 'Prebiotic evaluation of cocoa-derived flavanols in healthy humans by using a randomized, controlled, double-blind, crossover intervention study', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 93(1), pp. 62–72. Available at: <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.000075>.

- Wimala, M., Retaningtyas, Y. and Wulandari, L. (2015) 'Penetapan Kadar Inulin dalam Ekstrak Air Umbi Bengkuang (*Pachyrhizus erosus* L.) dari Gresik Jawa Timur dengan Metode KLT Densitometri', *Pustaka Kesehatan*, 3(1), pp. 61–65.
- Winarti, S. *et al.* (2011) *Karakteristik dan Profil Inulin Beberapa Jenis Uwi (*Dioscorea spp.*)*, AGRITECH.

BAB 12

SIFAT ANTIOKSIDAN DARI ZAT GIZI DAN ZAT NON-GIZI

Oleh Bovi Wira Harsanto

12.1 Pendahuluan

Setiap insan manusia memiliki kebutuhan primer berupa pangan. Salah satu tujuan dalam mengkonsumsi pangan adalah agar mendapatkan manfaat kesehatan dari zat gizi yang terkandung dalam pangan tersebut. Pangan yang sehat harus mengandung zat gizi, seperti protein, karbohidrat, lemak, yang disertai vitamin dan mineral dengan proporsi yang seimbang (Mookerjee and Tanaka, 2023). Konsumsi pangan yang sehat dan bergizi haruslah memperhatikan proporsi kelima zat gizi diatas agar manusia bisa mendapatkan manfaat yang maksimal.

Menurut Milião et al. (2022), pertumbuhan populasi dunia yang diperkirakan mencapai 10 miliar orang pada tahun 2050 memiliki efek tersendiri terhadap fokus pembuatan pangan yang sehat dan bergizi. Semakin banyaknya jumlah manusia di dunia ini menuntut para pelaku usaha di bidang pangan untuk menyediakan pangan dengan proporsi zat gizi yang seimbang demi keberlangsungan kehidupan. Saat ini, industri pangan telah mengakomodasi berbagai produk pangan yang spesifik dengan perbedaan bahan, warna, rasa, tekstur, dan format agar dapat memenuhi ekspektasi dari konsumen, khususnya dari aspek kesehatan (Oliveira et al., 2018).

Meningkatnya populasi manusia juga harus diimbangi dengan ketersediaan pangan berkualitas tinggi. Strategi antar-disiplin ilmu dibutuhkan untuk meningkatkan ketersediaan pangan dan mempermudah akses terhadap pangan berkualitas tinggi melalui fortifikasi dan suplementasi gizi, serta proteksi kesediaan pangan yang bergizi (Jan et al., 2023). Salah satu contoh fortifikasi gizi dalam produk pangan adalah produk margarin yang difortifikasi vitamin A. Margarin yang mengandung vitamin A diharapkan dapat memberikan manfaat kesehatan yang maksimal bagi manusia yang mengkonsumsinya. Seperti diketahui selama ini, vitamin A dapat membantu meningkatkan kesehatan mata.

Kandungan zat gizi dalam pangan biasanya juga diiringi dengan keberadaan zat non-gizi. Salah satu contohnya adalah pada pangan berbasis nabati. Menurut Jan et al. (2023), pangan nabati merupakan sumber zat gizi yang bagus, tetapi juga mengandung metabolit sekunder yang dapat bertindak sebagai senyawa non-gizi. Sayangnya, komponen non-gizi dapat menurunkan nilai gizi dari pangan melalui penurunan pencernaan, absorpsi, atau penggunaan zat gizi. Bahkan, jika dikonsumsi berlebihan, komponen non-gizi dapat memiliki dampak negatif terhadap kesehatan (Jan et al., 2023). Namun, di sisi lain, keberadaan zat gizi dan zat non-gizi dapat memberikan dampak positif terhadap kesehatan. Mitharwal et al. (2022) menjelaskan bahwa sayuran berdaun hijau mengandung beberapa zat gizi mikro dan zat non-gizi yang dapat membantu meningkatkan imunitas dan mencegah penyakit.

Fenomena keberadaan zat gizi dan zat non-gizi dalam pangan perlu dicermati agar dapat dipahami perannya dalam tubuh manusia. Secara teoritis, zat gizi dan zat non-gizi memungkinkan untuk memberikan dampak yang positif, salah satunya adalah sebagai antioksidan, yaitu senyawa yang dapat membantu mengurangi stress oksidatif melalui pencegahan oksidasi dari biomolekul lain (Mitharwal et al., 2022). Stress

oksidatif telah diimplikasikan pada proses pathogenesis dari berbagai penyakit. Definisi dari stress oksidatif adalah suatu keadaan ketidakseimbangan antara level oksidan dan antioksidan dalam tubuh yang disebabkan oleh Reactive Oxygen Species (ROS), seperti radikal hidrosil, radikal oksigen, radikal peroksil, dan hydrogen peroksida (Chen et al., 2023). Umumnya, beberapa penyakit kronis, seperti penyakit jantung, obesitas, diabetes, dikaitkan dengan stress oksidatif (Jiang et al., 2022).

Maka dari itu, peran antioksidan dari zat gizi dan zat non-gizi penting untuk dielaborasi secara ilmiah agar dapat memberikan informasi yang valid tentang manfaat kesehatan dari pangan yang mengandung kedua zat tersebut. Subbab ini akan menjelaskan secara ilmiah tentang keterkaitan pangan dan antioksidan, yang dilanjutkan dengan beberapa contoh zat gizi dan zat non-gizi yang dapat berperan sebagai antioksidan. Pada akhir subbab, perspektif mendatang tentang hubungan antioksidan dengan zat gizi dan zat non-gizi dijelaskan dengan memperhatikan situasi saat ini dan potensi situasi di masa mendatang.

12.2 Pangan dan Antioksidan

Pangan diharapkan dapat memberikan efek ganda yang positif bagi manusia yang mengkonsumsinya, yaitu mengobati rasa lapar/haus dan memberikan manfaat kesehatan bagi tubuh. Salah satu peran yang dimungkinkan terkandung dalam pangan adalah adanya sifat antioksidan, baik dari zat gizi maupun dari zat non-gizi. Keberadaan peran antioksidan di dalam pangan dapat menjadi perantara manusia dalam memperoleh manfaat kesehatan yang maksimal di kehidupan sehari-hari.

12.2.1 Kandungan dalam pangan

Pangan memiliki berbagai kandungan yang bermacam-macam. Kandungan di pangan dapat dikategorikan sebagai zat gizi maupun zat non-gizi. Tiap jenis pangan tentu saja mengandung proporsi zat yang berbeda-beda, yang mana kandungan tersebut bisa memberikan efek bagi tubuh manusia. Tentunya sangat diharapkan bahwa pangan bisa mengandung zat yang bermanfaat bagi tubuh.

Seperti contoh pada produk buah-buahan, yang mengandung banyak senyawa bioaktif, vitamin, karotenoid, antosianin, senyawa fenolik, dan minyak atsiri. Kandungan pada buah-buahan tersebut dapat bermanfaat diantaranya sebagai antimikrobia dan antioksidan (Oliveira et al., 2018). Antimikrobia sangat penting dalam mencegah infeksi mikrobia saat berada dalam tubuh sehingga bisa menurunkan terjadinya resiko penyakit akibat mikrobia, seperti food-borne diseases atau food toxicity pada manusia. Sementara itu, antioksidan berperan banyak terhadap penurunan resiko penyakit akibat stress oksidatif, seperti penyakit jantung, kanker, obesitas, dan diabetes. Oleh karena itu, konsumsi buah-buahan menjadi upaya yang penting untuk dilakukan tiap hari agar tubuh manusia bisa lebih sehat dan tahan terhadap penyakit.

Produk pangan berbasis legum juga baik untuk kesehatan tubuh manusia. Hal tersebut dikarenakan adanya kandungan asam amino essensial pada legum (kacang-kacangan). Seperti disebutkan dalam Mookerjee and Tanaka (2023), legum kaya akan lysine yang dapat berfungsi sebagai asam amino essensial. Namun, konsumsi legum harus dikombinasikan dengan sereal yang mengandung asam amino metionin dan sistein agar mendapatkan manfaat kesehatan yang maksimal dari asam amino essensial. Perlu kita ketahui bahwa asam amino essensial tidak dapat diproduksi oleh tubuh manusia sehingga harus didapatkan dari asupan pangan. Maka dari itu, konsumsi legum dan sereal menjadi hal yang patut dilaksanakan secara rutin guna

mendapatkan manfaat kesehatan secara maksimal. Terlebih lagi Indonesia memiliki banyak legum lokal yang berlimpah, seperti kacang koro dan kacang gude.

Milião et al. (2022) mengenalkan pangan unconventional, yaitu pangan yang jarang dikonsumsi secara rutin oleh manusia. Pangan unconventional sedang menarik perhatian para peneliti saat ini dikarenakan adanya kandungan yang bermanfaat, seperti protein, karbohidrat, mineral, vitamin, serat pangan, dan senyawa fenolik. Contoh pangan unconventional yang dikaji oleh Milião et al. (2022) adalah biji akasia putih, daun sugar beet, dan batang bambu. Indonesia kemungkinan besar memiliki pangan unconventional yang beraneka ragam di berbagai daerah. Penting untuk dieksplorasi pangan unconventional yang ada di Indonesia, khususnya dikaitkan dengan kandungan yang bermanfaat bagi tubuh manusia.

Kandungan dalam pangan masih banyak celah untuk dieksplorasi oleh para pemangku kepentingan di bidang pangan. Celah tersebut bisa berasal dari aspek gizi, teknologi pengolahan, karakteristik bahan/produk, penggunaan mikrobia dalam pembuatan produk, dan lain sebagainya. Berdasarkan aspek gizi, diharapkan pangan mengandung zat yang bermanfaat bagi tubuh manusia, salah satunya adalah keberadaan zat yang dapat berperan sebagai antioksidan.

12.2.2 Konsep antioksidan

Istilah antioksidan berasal dari adanya fenomena pencegahan konsumsi oksigen. Pada akhir abad ke-19, antioksidan umumnya digunakan pada industri sebagai pencegahan korosi logam dan vulkanisasi rubber. Kemudian, penggunaan antioksidan berkembang hingga menjadi pencegahan ketengikan akibat oksidasi pada lemak tak jenuh (Cömert and Gökmen, 2018). Antioksidan dapat didefinisikan sebagai senyawa yang mampu memproteksi sel dari kerusakan akibat radikal bebas (molekul tak stabil yang terbentuk melalui

oksidasi selama metabolisme). Tubuh manusia sejatinya memiliki kemampuan alami dalam menghilangkan radikal bebas. Namun, kemampuan tersebut kurang mencukupi dalam menghilangkan seluruh radikal bebas yang terakumulasi di tubuh (Zamzuri et al., 2023).

Sejumlah senyawa antioksidan dapat ditemukan dan diisolasi dari sumber alami, seperti rempah, sayuran, dan buah-buahan. Senyawa antioksidan tersebut menunjukkan aktivitasnya melalui beberapa mekanisme, diantaranya 1) penangkapan radikal bebas; 2) penangkapan oksigen singlet; 3) pengkelat logam (prooksidan-mengkatalisis reaksi oksidatif). Sebagai klasifikasi, antioksidan dapat dikelompokkan sebagai vitamin (asam askorbat, tokoferol), karotenoid (condensed tannin, xantophylls, dan karoten), flavonoid (flavone, flavonol, isoflavone), asam fenolat (hidroksi asam benzoate dan hidroksil asam sinamat) (Cömert and Gökmen, 2018).

Antioksidan dapat ditentukan melalui beberapa metode analisis. Chen et al. (2023) telah meringkas beberapa metode tersebut, diantaranya:

1) Metode penangkapan radikal bebas

Jenis metode ini adalah berupa DPPH radical scavenging activity (DRSA), ABTS radical scavenging capacity (ARSC), dan superoxide anion scavenging ability. Diantara beberapa metode tersebut, DRSA dan ARSC merupakan metode yang paling banyak digunakan para peneliti. Prinsip reaksi analisis metode DRSA dan ARSC adalah berdasarkan mekanisme transfer atom hydrogen dan mekanisme transfer electron tunggal yang memungkinkan terjadinya reaksi antara antioksidan alami dengan radikal DPPH atau ABTS sehingga dapat ditentukan aktivitas antioksidannya.

2) Metode perubahan kondisi valensi dari ion logam

Jenis metode yang paling banyak digunakan adalah untuk ion Fe (besi) dan Co (tembaga), yang diantaranya ferric ion reducing antioxidant power (FRAP), potassium ferricyanide reduction antioxidant capacity (PFRAC), ferric thiocyanate capacity (FTC), dan cupric reducing antioxidant capacity (CUPRAC). Prinsip reaksi ini berdasarkan mekanisme transfer electron yang menghasilkan perubahan valensi dari ion logam.

3) Metode bioaktivitas berbasis sel

Metode ini menguji aktivitas antioksidan dari senyawa berdasarkan jumlah produk atau enzim yang terlibat dalam sistem stress oksidatif. Metode yang paling umum digunakan dalam penentuan ROS adalah DCFH-DA (2,7-Dichlorodi-hydrofluorosceindiacetate), DHR (Dihydrorhodamine), dan DHE (Dihydroethidium). Ketiga metode tersebut dapat menargetkan berbagai radikal bebas.

Tiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Oleh karena itu, perlu adanya kombinasi metode analisis aktivitas antioksidan agar bisa mendapatkan informasi yang komprehensif tentang kapasitas penangkapan radikal bebas. Selama ini banyak peneliti yang menggunakan kombinasi metode analisis, seperti kombinasi metode ARSC dan DRSA dan metode DRSA dan FRAP. Hasil nyata dari kombinasi metode analisis antioksidan adalah adanya kesimpulan ilmiah yang menunjukkan bahwa pangan yang mengandung tinggi senyawa fenolik memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi (Chen et al., 2023).

Pangan yang sering ditemukan di Indonesia, seperti kunyit, juga berpotensi sebagai antioksidan, Hal tersebut dikarenakan kunyit mengandung curcumin (pigmen berwarna kuning) yang memiliki gugus polifenol dan termasuk senyawa fenolik (Zamzuri et al., 2023). Kunyit biasanya digunakan sebagai bahan utama

pembuatan nasi kuning di Indonesia. Jadi, konsumsi nasi kuning berpotensi baik untuk kesehatan tubuh karena adanya curcumin yang dikonsumsi melalui penambahan kunyit.

12.2.3 Antioksidan di pangan

Manusia perlu asupan pangan yang kaya akan antioksidan agar dapat membantu tubuh dalam menghilangkan seluruh radikal bebas (Zamzuri et al., 2023). Pangan yang kaya antioksidan akan mampu menghindari terjadinya ketidakseimbangan antara radikal bebas dan sistem antioksidan endogenous sehingga dapat mencegah terjadinya stress oksidatif dalam sel yang berujung pada kerusakan berbagai komponen seluler (DNA, protein, membrane lipida, dsb.). Kerusakan tersebut dapat menyebabkan banyak penyakit kronis, seperti diabetes, Alzheimer, penyakit jantung, dan kanker (Wen et al., 2020).

Selama ini, industri pangan telah mengakomodasi pembuatan produk kaya antioksidan dengan cara menambahkan antioksidan sintetik selama proses pembuatan produk pangan. Antioksidan sintetik, seperti BHA (butylated hydroxy anisole) dan BHT (butylated hydroxy toluene), beraksi melalui penghentian reaksi berantai dari radikal bebas (Zamzuri et al., 2023). Menurut Wen et al. (2020), antioksidan sintetik dapat mengendalikan oksidasi pada pangan secara efektif. Namun, antioksidan sintetik memiliki resiko potensi toksisitas yang tinggi (Wen et al., 2020). Atas dasar hal tersebut, para pelaku industri pangan sedang mencari upaya untuk mendapatkan antioksidan alami. Antioksidan alami banyak berasal dari ekstrak tanaman, yang dapat diklasifikasikan sebagai polisakarida dan glikosida, peptide/asam amino, dan senyawa fenolik (Chen et al., 2023). Zamzuri et al. (2023) menyampaikan bahwa antioksidan alami dapat mengubah radikal bebas menjadi bentuk yang stabil. Beberapa contoh antioksidan alami adalah dari vitamin (vitamin

C dan vitamin E) dan fitokimia (flavonoid dan karotenoid) (Zamzuri et al., 2023).

Contoh sumber antioksidan alami adalah amaranth dan quinoa, yang mengandung berbagai senyawa bioaktif, seperti asam fenolat, flavonoid, betalain, karotenoid, dan tokoferol. Kandungan tersebut melimpah di bagian biji dan berperan aktif dalam menghambat radikal bebas dalam tubuh. Biji quinoa dilaporkan dapat menurunkan stress oksidatif di jantung, liver, ginjal, dan paru-paru (Jan et al., 2023). Kacang faba juga dilaporkan merupakan sumber polifenol yang baik sehingga memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi (Rahate et al., 2021). Bahkan, limbah hasil pertanian masih bisa dimanfaatkan sebagai antioksidan. Salah satu contohnya adalah kulit lemon yang mengandung tinggi senyawa fenolik dan memiliki aktivitas antioksidan setelah dievaluasi dengan metode DRSA dan FRAP (Jiang et al., 2022).

Menurut Mitharwal et al. (2022), produk pangan berbasis talas mengandung tinggi polifenol, seperti fenol, tannin, flavonoid, dan saponin, yang dapat berpotensi sebagai antioksidan. Kita tahu bahwa talas menjadi pangan yang melimpah dan sering dikonsumsi oleh masyarakat di Indonesia. Maka dari itu, penting untuk dieksplorasi ke depannya kandungan antioksidan dari talas lokal yang ada di Indonesia, serta diversifikasi produk olahannya agar dapat dihasilkan produk pangan lokal yang bermanfaat bagi tubuh manusia.

12.3 Zat Gizi dan Sifat Antioksidan

Zat Gizi adalah zat atau senyawa yang terdapat dalam pangan yang terdiri atas karbohidrat, serat pangan, protein, lemak, vitamin, mineral, air, dan komponen lainnya yang bermanfaat bagi pertumbuhan, perkembangan, dan kesehatan manusia (PerBPOM, 2021). Setiap pangan memiliki proporsi zat gizi yang berbeda-beda. Tiap zat gizi memiliki definisi dan

manfaatnya masing-masing, diantaranya ada yang sebagai antioksidan. Pada subbab ini, zat gizi berupa karbohidrat, protein, dan vitamin C akan dijelaskan perannya sebagai antioksidan.

12.3.1 Karbohidrat

Karbohidrat merupakan sumber energi utama yang tersedia dalam berbagai bentuk, seperti polisakarida dan serat pangan. Keberadaan karbohidrat dalam produk pangan mempengaruhi tekstur, struktur, dan sifat sensoris (Mitharwal et al., 2022). Serat pangan merupakan bagian dari karbohidrat kompleks yang dapat larut atau tak larut dalam air tergantung jenisnya. Serat pangan dapat berperan dalam memberikan sifat fungsional, seperti penurunan resiko beberapa penyakit dan modulasi metabolisme kolesterol, serta berperan dalam sifat fisiologis, seperti peningkatan rasa kenyang dan pengendalian berat badan (Milião et al., 2022).

Berbeda dengan serat pangan, polisakarida dan turunannya memiliki aktivitas antioksidan yang dapat berasal dari ekstrak tanaman, seperti polisakarida di bawang putih dan di bekatul. Aktivitas antioksidan dari polisakarida berkaitan dengan gugus aktif dan strukturnya, seperti keberadaan gugus karboksil (-COOH) atau gugus sulfonyl (R-S=O₂) yang berturut-turut memiliki aktivitas penangkap radikal superoksida dan radikal hidroksil (Chen et al., 2023). Salah satu jenis polisakarida yang dapat berperan sebagai antioksidan adalah lignin.

Lignin merupakan jenis polisakarida yang mengandung gugus hidroksil alifatik. Selain itu, lignin juga mengandung gugus fenol. Lignin mampu menangkap ROS sehingga berperan sebagai antioksidan (Chen et al., 2022). Lignin dapat membentuk kompleks dengan karbohidrat lain, yang dapat disebut dengan kompleks lignin-karbohidrat (LCC) dan banyak ditemukan pada jaringan tanaman yang terdiri atas lignin dan jenis karbohidrat lain. Kayu lunak (batang gandum), kayu keras (bambu, pohon poplar, bambu kuning, dan bambu hijau), dan sumber non-kayu

(dedaunan) menjadi sumber yang kaya akan LCC. Semua fragmen lignin kayu lunak dan 47-66% fragmen kayu keras berikatan dengan karbohidrat secara natural dan umumnya melekat pada molekul hemiselulosa (Chen et al., 2022).

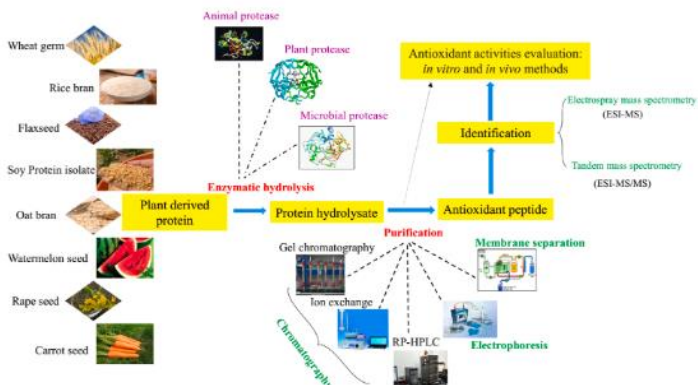
Secara biokimiawi, LCC berasal dari gugus hidrofobik pada segmen lignin dan gugus hidrofilik pada segmen polisakarida yang terdapat dalam jaringan tanaman. Melalui segmen lignin yang mengandung fenol dan gugus hidroksil alifatik, LCC dapat bertindak sebagai bahan antioksidan aktif yang berfungsi dalam penangkapan ROS. LCC juga dapat digunakan sebagai antioksidan untuk mengurangi ROS endogen dalam tubuh. Selain itu, kemampuan penangkapan radikal bebas dari LCC mungkin dikaitkan dengan penghambatan dalam pengurangan enzim antioksidan (superoksida dismutase dan glutathione peroksidase) (Chen et al., 2022).

12.3.2 Protein

Protein berperan dalam membangun senyawa biologis yang terlibat dalam aktivitas fisiologis dan struktural, seperti pembentukan otot, sintesis dan reparasi DNA, dan katalisis beberapa reaksi metabolit. Legum merupakan salah satu sumber nabati yang mengandung banyak protein, seperti kedelai, kacang faba, dan sebagainya (Mookerjee and Tanaka, 2023). Protein dan turunannya memiliki aktivitas antioksidan yang berasal dari komposisi asam amino dan konformasi strukturnya. Sebagai contoh, aspartate (Asp) dan asam glutamate (Glu) memiliki kemampuan pengkelat logam. Metionin (Met), sistein (Cys), dan alanine (Ala) mampu mengikat ion besi (Fe). Sementara itu, fenilalanin (Phe) dan triptofan (Trp) memiliki aktivitas penangkap radikal bebas superoksida (Chen et al., 2023).

Antioksidan berbasis protein bisa didapatkan dari tanaman (nabati) (Gambar 12.1). Protein yang bersumber dari nabati dianggap sebagai sumber baru peptida antioksidan, yang dapat

berfungsi dalam pencegahan penyakit yang berhubungan dengan oksidasi sehingga meningkatkan kualitas hidup. Beberapa sumber peptida antioksidan adalah dari kedelai, kedelai hitam, jagung, oat, biji palem, dedak padi, gandum, bayam, dan quinoa. Ukuran, komposisi, dan urutan asam amino dari peptida dapat mempengaruhi aktivitas antioksidan dari hidrolisat protein. Secara ringkas, sifat antioksidan dari peptida dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya 1) komposisi asam amino; 2) Berat molekul peptida; 3) Hubungan antara struktur dan aktivitas peptida. Adapun sifat antioksidan yang dimiliki ialah berupa penangkapan radikal bebas, pengkelat ion logam, dan penghambatan reaksi peroksida (Wen et al., 2020).



Gambar 12.1 Peta pemikiran tentang antioksidan berbasis protein

(Sumber : Wen et al., 2020)

Dua peptida (Leu-Gln-Pro-Gly-Gln-Gly-Gln-Gly dan Ala-Gln-Ile-Pro-Gln-Gln) diperoleh dari protein gluten gandum memiliki kapasitas antioksidan yang baik. Selain itu, peptida antioksidan yang diperoleh dengan pencernaan pepsin dan pancreatin protein bayam yang terdiri atas lima peptida (Ala-Trp-Glu-Glu-Arg-Glu-Gln-Gly-Ser-Arg, Ile-Tyr-Ile-Glu-Gln-Gly-Asn-Gly-Ile-Thr-Gly, Tyr-Leu-Ala-Gly-Lys-Pro-Gln-Gln-Glu, Ile-Tyr-Ile-

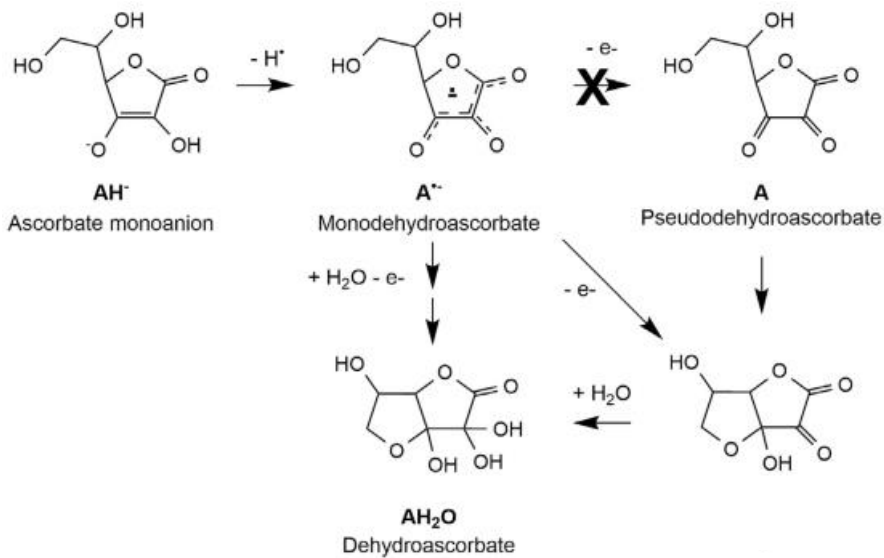
Glu-Gln-Gly-Asn-Gly-Ile-Thr-Gly, dan Thr-Glu-Val-Trp-Asp-Ser-Asn-Glu-Gln) memberikan aktivitas antioksidan. Hasil lain menunjukkan bahwa tujuh peptida (Trp-Asn-Leu-Asn-Ala-Asn, Phe-Glu-Ser-Phe-Phe-Leu, Ser-Leu-Asp-Phe-Pro-Ala-Leu-Trp, Phe-Gln-Thr-Leu-Phe, Ser-Tyr-Leu-Gln-Gly-Phe, Thr-Thr-Tyr-Tyr dan Leu-Phe-Phe) yang berasal dari hidrolisat isolat protein kedelai memiliki aktivitas antioksidan peptida yang telah diuji (Wen et al., 2020).

12.3.3 Vitamin C

Vitamin C atau yang dapat disebut dengan asam askorbat secara populer diklaim sebagai antioksidan yang potensial yang dapat menangkap radikal bebas. Dehidroaskorbat merupakan bentuk vitamin C yang sangat berperan dalam memberikan sifat penangkapan radikal bebas. Vitamin C merupakan antioksidan yang unik karena menyumbangkan senyawa pereduksi tunggal dan bereaksi dengan senyawa radikal dan membentuk monodehydroascorbat. Senyawa pereduksi tersebut cenderung bereaksi dengan senyawa radikal daripada dengan senyawa non-radikal (Njus et al., 2020). Vitamin C banyak didapatkan dari buah-buahan dan sayuran. Buah yang paling populer sebagai sumber vitamin C adalah buah jeruk sehingga penting untuk konsumsi rutin buah jeruk di kehidupan sehari-hari.

Njus et al. (2020) telah merangkum dua tahap mekanisme antioksidan dari vitamin C. Pertama, sebagai agen pereduksi, asam askorbat bertindak sebagai donor ekuivalen pereduksi tunggal (H atau $H^+ + e^-$) siklik antara asam askorbat tereduksi penuh dan radikal anion (monodehydroascorbate) (Gambar 12.2). Hal ini membuat asam askorbat itu sendiri menangkap radikal bebas dengan baik. Kedua, monodehidroaskorbat bereaksi dengan radikal lain. Dalam hal ini monodehydroascorbat bukan hanya sebagai penangkap radikal bebas tetapi juga terminator reaksi berantai radikal bebas. Kedua tahap ini merupakan konsekuensi dari fakta bahwa hilangnya dua

ekuivalen (H atau e⁻) akan terjadi mengarah pada pembentukan pseudodehydroaskorbat (A), senyawa yang stabil dan tidak radikal (Njus et al., 2020).



Gambar 12.2 Mekanisme antioksidan dari vitamin C
(Sumber : Njus et al., 2020)

12.4 Zat Non-Gizi dan Sifat Antioksidan

Zat non-gizi adalah senyawa atau komponen bioaktif/fungsional yang terdapat dalam pangan yang tidak berfungsi sebagai Zat Gizi tetapi memengaruhi kesehatan (PerBPOM, 2021). Zat non-gizi memiliki dampak negatif, yaitu mengganggu absorpsi dari zat gizi lain, seperti protein dan mineral. Zat non-gizi yang umumnya ada di produk pangan adalah asam fitat (Mitharwal et al., 2022). Asam fitat berupa fosfor yang tersimpan dalam sel tanaman. Asam fitat memiliki proton yang memungkinkan untuk pembentukan kompleks dengan kation dan protein bermuatan positif (Rahate et al., 2021). Di sisi lain, zat non-gizi dapat memberikan dampak positif bagi kesehatan, yaitu berperan sebagai antioksidan. Beberapa zat

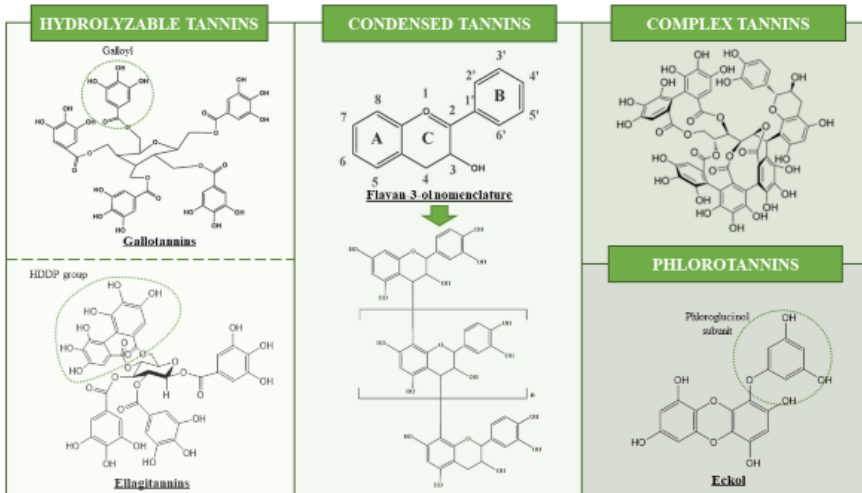
non-gizi yang dapat bertindak sebagai antioksidan adalah tannin, flavonoid, dan karotenoid.

12.4.1 Tannin

Tannin merupakan salah satu zat non-gizi yang banyak ditemukan di hampir semua jenis legum, tepatnya terkandung dalam kulit biji. Tannin memiliki dua jenis, yaitu 1) condensed tannin yang merupakan polimer flavonol dan menghasilkan anthocyanidin; 2) hydrolysable tannin (HTs) yang termasuk kategori non-flavonoid (Rahate et al., 2021). Tannin menjadi metabolit sekunder dari tanaman yang biasanya diproduksi akibat adanya tekanan lingkungan. Tannin memiliki struktur kimia berupa cincin fenolik yang mampu mengikat senyawa radikal dan menjebak ion-ion logam. Hal tersebut menjadikan tannin sebagai salah satu senyawa antioksidan. Tannin biasanya terkandung dalam daun, kulit, dan biji tumbuhan (Fraga-Corral et al., 2021).

Berdasarkan karakteristik kimia dan strukturnya, tannin dapat diklasifikasikan menjadi gallotannins, ellagitannins, CTs, complex tannins (CoTs) and phlorotannins (PTs) (Gambar 12.3). HTs dapat dihidrolisis oleh asam/basa lemah, menghasilkan karbohidrat dan asam fenolik. HTs dibentuk oleh unit asam galat glikosilasi, yang dapat berupa asam ellagic (EA) atau asam galat (GA) dan berturut-turut membentuk ellagitannins (ETs) dan gallotannins (GTs). ET dibentuk oleh molekul sederhana hingga beberapa unit heksahidroksidifenol (HHDP) yang terhubung ke inti poliol. Setelah hidrolisis dan pemecahan ikatan C-C antara residu galloyl yang berorientasi sesuai molekul glucogalloyl dari HHDP, mereka diubah menjadi unit EA. Di sisi lain, GT dianggap sebagai HT yang lebih sederhana dan dibentuk oleh unit galoil atau digaloil yang digabungkan dengan poliol, katekin atau satuan triterpenoid, berupa pentagalloyl glucose (PGG). Beberapa konformasi kimia dari tannin tersebut berperan aktif dalam

proses penangkapan radikal bebas yang beragam, serta dapat menghambat peroksidasi lipid (Fraga-Corral et al., 2021).



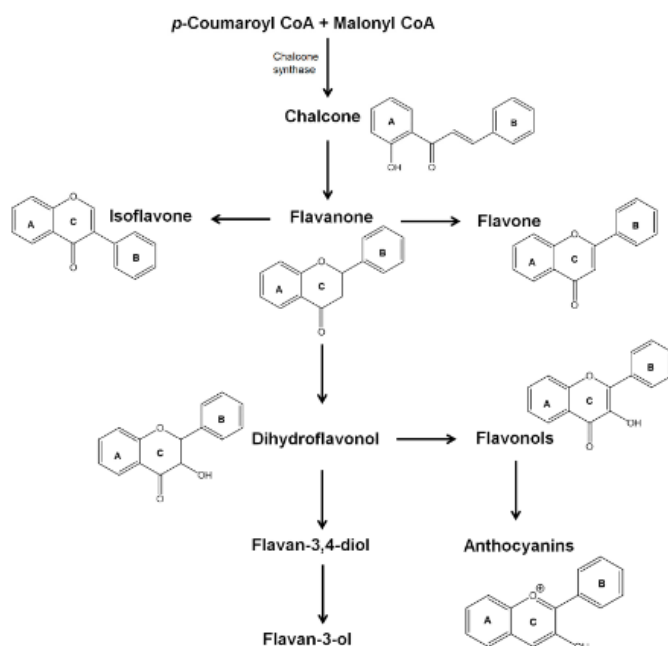
Gambar 12.3 Konformasi kimia dari tannin

(Sumber : Fraga-Corral et al., 2021)

12.4.2 Flavonoid

Flavonoid merupakan kelompok terbesar dari senyawa fenolik di alam. Pada tanaman, flavonoid melakukan banyak fungsi seperti mengatur pertumbuhan sel, menarik serangga penyerbuk, dan perlindungan terhadap serangan biotik dan abiotic (Dias et al., 2021). Ciri khas dari flavonoid adalah tingginya derajat ketidakjenuhan, jumlah substitusi gugus fungsi, dan susunan backbone dari strukturnya. Senyawa fenolik dikategorikan sebagai molekul aromatic terhidroksilasi dengan satu atau lebih substituent -OH (Jan et al., 2023; Milião et al., 2022). Senyawa fenolik terkandung sejumlah konsentrasi yang berbeda dalam bagian tanaman dan produk pangan. Senyawa fenolik disintesis dari fenilalanine dan tirosin melalui jalur asam shikimat (Mitharwal et al., 2022).

Flavonoid diturunkan dari dua jalur biosintetik, fenilpropanoid (Gambar 12.4), yang menghasilkan fenilpropanoid kerangka (C6-C3), senyawa golongan poliketida yang menghasilkan blok untuk polimer C2. Enzim chalcone mengkatalisis pembentukan dari 2'-hidroksikalkon (E)-1-(2-hidroksifenil)-3-fenilprop-2-en-1 (Angka 1), dari p-kumaroil KoA dan malonil CoA, yang kemudian digunakan di dalam beberapa enzimatik untuk menghasilkan flavonoid lainnya. Hampir semua flavonoid mengandung struktur C6-C3-C6 dan memiliki dua cincin benzena, A dan B, yang dihubungkan oleh cincin pyrene heterocycle (C) yang mengandung oksigen. Flavonoid bisa dibagi menjadi dua kategori utama tergantung pada derajat kejenuhan dari cincin heterosiklik sentral. Misalnya, antosianidin, flavon, flavonol, dan isoflavon memberikan ketidakjenuhan C2=C3, sedangkan flavanon, dihidroflavonol, dan flavan-3-ol adalah contoh dari flavonoid jenuh (Dias et al., 2021).



Gambar 12.4 Jalur biosintesis flavonoid
(Sumber : Dias et al., 2021)

Mekanisme aksi antioksidan flavonoid dapat dengan (a) penangkapan ROS secara langsung, (b) penghambatan pembentukan ROS melalui pengkelatan logam (misalnya, quercetin memiliki sifat pengkelat besi (Fe), atau penghambatan enzim yang berpartisipasi dalam pembentukan radikal bebas (misalnya, glutathione S-transferase, microsomal monooksigenase, suksinoksidase mitokondria, NADH oksidase, dan xantin oksidase), dan (c) aktivasi pertahanan antioksidan (misalnya, upregulasi enzim antioksidan dengan kemampuan penangkapan radikal). Kombinasi dari beberapa mekanisme tersebut, seperti penangkapan radikal dengan penekanan beberapa fungsi enzim, mungkin juga terjadi. Sebagian besar flavonoid muncul sebagai glikosida, dan jumlah serta posisinya yang berhubungan dengan senyawa gula mempengaruhi sifat antioksidan dari flavonoid (Dias et al., 2021).

12.4.3 Karotenoid

Karotenoid merupakan pigmen alami yang berperan memberikan pewarnaan kuning, oranye, dan merah pada buah, sayur, dan bunga (Milião et al., 2022). Sementara itu, pewarnaan hijau pada sayuran berasal dari senyawa pigmen yang disebut dengan klorofil. Klorofil dan karotenoid adalah pigmen alami yang ada dalam makanan kita sehari-hari, terutama dengan meningkatnya kecenderungan perilaku yang lebih alami dan sehat di kalangan konsumen. Kadar klorofil dan karotenoid serta variabilitas dalam makanan dapat ditingkatkan melalui rutusnya konsumsi buah dan sayuran serta melalui asupan rumput laut, mikroalga, minuman fungsional, dan suplemen makanan, sebagai konsekuensi dari tren baru dan sehat dalam kebiasaan mengonsumsi pangan (Pérez-gálvez et al., 2020).

Karotenoid dicirikan oleh warna kuning cerah hingga merah, meskipun beberapa prekursor tidak berwarna dapat berkontribusi pada keragaman umum profil karotenoid yang

terakumulasi dalam organisme. Sifat warna-warni yang menarik dari senyawa ini merupakan hasil dari rantai luas ikatan rangkap terkonjugasi, dan susunan struktural ini adalah pusat interaktif pertama karotenoid dengan molekul lain di lingkungan. Sementara itu, Struktur klorofil adalah tetrapirok siklik yang membawa cincin beranggota lima isosiklik khas, yang menunjukkan kelompok fungsional yang berbeda dalam posisi terbatas, menghasilkan lebih dari 100 struktur berbeda hadir di alam. Namun, sifat antioksidan klorofil telah dipelajari dengan turunan klorofil yang paling umum, menyoroti posisi pengganti utama (C7, C132, C173, dan logam pusat). Mulai dari klorofil a, penggantian gugus metil dengan aldehida pada C7 membentuk klorofil seri-b; magnesium pusat dapat ditukar dengan hidrogen (pheophytins) atau ion logam seperti tembaga, seng, atau besi (menghasilkan metallo-klorofil); desesterifikasi tambahan dari gugus fitil (C₂₀H₄₀) di C173 menciptakan feoforbida; dan hilangnya gugus karboksimetil pada C13 menghasilkan turunan piro (Pérez-gálvez et al., 2020).

Karotenoid memiliki tiga jenis sifat antioksidan. sifat pertama, fungsi antioksidan dari karotenoid dalam organisme fotosintetik diperoleh dari aktivitas non-fotosintetik. Sifat kedua adalah kemampuan tinggi karotenoid untuk menghambat oksigen singlet, yang merupakan fenomena fisik melalui energi eksitasi oksigen singlet yang ditransfer ke molekul karotenoid dan kemudian dilepaskan menjadi produk yang stabil (tanpa membahayakan ke lingkungan). Fenomena sifat kedua tersebut dapat menjadi dasar untuk mencari mode aksi tambahan terhadap ROS lainnya (anion superoksida radikal, dan radikal hidroksil/peroksil), mengukur efektivitas antioksidannya, dan menyelidiki kemungkinan efek pigmen ini dalam perkembangan penyakit yang melibatkan spesies radikal. Sifat ketiga adalah transfer elektron, abstraksi hidrogen, dan penambahan radikal dalam aktivitas antioksidan melawan radikal peroksil. Mekanisme dan kinetika dari proses antioksidan ini, umumnya

dilambangkan sebagai aktivitas penangkapan radikal bebas secara kimiawi (Pérez-gálvez et al., 2020). Pada klorofil, kedua jenis sifat antioksidan diantaranya adalah: 1) penangkapan radikal bebas dari klorofil untuk meningkatkan efektifitas dari aktivitas enzim utama yang terlibat dalam antioksidan pada tingkat sel; 2) aktivasi jalur detoksifikasi oleh klorofil, yaitu sel-sel hidup mengembangkan reaksi terprogram untuk mengurangi potensi cedera oksidatif yang disebabkan oleh xenobiotik melalui metabolisme spesifik dan kemudian diekskresikan (Pérez-gálvez et al., 2020).

12.5 Perspektif Mendatang

Pangan yang mengandung zat gizi dan zat non-gizi akan selalu tetap ada dan menjadi konsumsi manusia pada saat ini hingga di masa mendatang. Sebagai insan manusia yang memahami ilmu pangan, sebaiknya perlu dicari upaya ilmiah agar efek negatif dari zat non-gizi bisa diminimalkan dan manfaat zat gizi bisa dimaksimalkan. Bahkan jika memungkinkan, strategi untuk mensinergikan antara zat gizi dan zat non-gizi dalam hal memberikan manfaat kesehatan bisa diupayakan melalui beberapa hal, seperti kajian literatur, riset di laboratorium, hingga penerapan teknologi pengolahan pangan yang mutakhir. Di era digitalisasi saat ini dan akan berkembang di masa depan, teknologi terbaru pada pengolahan pangan perlu diterapkan secara masif agar potensi manfaat kesehatan dari zat gizi dan zat non-gizi bisa dieksplorasi dan ditonjolkan, khususnya sebagai antioksidan.

Seiring pertumbuhan populasi dunia, maka akan meningkatkan jumlah konsumsi pangan dan akan otomatis akan meningkatkan jumlah limbah sisa pangan. Pemanfaatan zat gizi dan zat non-gizi yang terkandung dalam limbah tersebut menjadi salah satu strategi yang sangat penting untuk dilakukan agar efek negatif limbah pada lingkungan bisa dikonversi menjadi efek

positif dalam hal kesehatan tubuh manusia. Tindak lanjut pemanfaatan limbah sisa pangan perlu dipikirkan dari segi akses konsumsi manusia sehingga hasil pemanfaatan limbah tersebut dapat dikonsumsi manusia dengan mudah. Sebagai salah satu contoh, kandungan antioksidan dari peptida dan polifenol yang diisolasi dari limbah sisa pangan perlu diinkorporasikan ke dalam matriks pangan melalui formulasi atau fortifikasi, seperti pada produk emulsi, adonan roti, minuman pasteurisasi, dan lain sebagainya. Jadi, tujuan akhir dari pemanfaatan limbah sisa pangan di atas adalah dapat berupa pembentukan produk pangan yang mengandung zat gizi dan zat non-gizi yang dapat berperan sebagai antioksidan dan dapat memberikan manfaat bagi kesehatan tubuh manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, W., Dong, T., Bai, F., Wang, J., Li, X., 2022. Lignin-carbohydrate complexes, their fractionation, and application to healthcare materials: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.132>
- Chen, Y., Lin, Q., Wang, J., Mu, J., Liang, Y., 2023. Proteins, polysaccharides and their derivatives as macromolecular antioxidant supplements: A review of in vitro screening methods and strategies. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.181>
- Cömert, E.D., Gökmen, V., 2018. Evolution of food antioxidants as a core topic of food science for a century. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.056>
- Dias, M.C., Pinto, D.C.G.A., Silva, A.M.S., 2021. Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules*. <https://doi.org/10.3390/molecules26175377>
- Fraga-Corral, M., Otero, P., Echave, J., Garcia-Oliveira, P., Carpena, M., Jarbou, A., Nuñez-Estevez, B., Simal-Gandara, J., Prieto, M.A., 2021. By-products of agri-food industry as tannin-rich sources: A review of tannins' biological activities and their potential for valorization. *Foods*. <https://doi.org/10.3390/foods10010137>
- Jan, N., Hussain, S.Z., Naseer, B., Bhat, T.A., 2023. Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. *Food Chemistry X*. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100687>

- Jiang, H., Zhang, W., Xu, Y., Chen, L., Cao, J., Jiang, W., 2022. An advance on nutritional profile, phytochemical profile, nutraceutical properties, and potential industrial applications of lemon peels: A comprehensive review. *Trends in Food Science Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.019>
- Milião, G.L., de Oliveira, A.P.H., Soares, L. de S., Arruda, T.R., Vieira, É.N.R., Leite Junior, B.R. de C., 2022. Unconventional food plants: Nutritional aspects and perspectives for industrial applications. *Future Foods*. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100124>
- Mitharwal, S., Kumar, A., Chauhan, K., Taneja, N.K., 2022. Nutritional, phytochemical composition and potential health benefits of taro (*Colocasia esculenta* L.) leaves: A review. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132406>
- Mookerjee, A., Tanaka, T., 2023. Influence of enzymatic treatments on legume proteins for improved functional and nutritional properties: expansion of legume protein utilization as food ingredients. *Current Opinion of Food Science*. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100974>
- Njus, D., Kelley, P.M., Tu, Y.J., Schlegel, H.B., 2020. Ascorbic acid: The chemistry underlying its antioxidant properties. *Free Radical Biology and Medicine*. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2020.07.013>
- Oliveira, A., Amaro, A.L., Pintado, M., 2018. Impact of food matrix components on nutritional and functional properties of fruit-based products. *Current Opinion of Food Science*. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.04.002>
- PerBPOM, 2021. *BADAN PENGAWAS OBAT DAN MAKANAN REPUBLIK INDONESIA*: Jakarta.

- Pérez-gálvez, A., Viera, I., Roca, M., 2020. Carotenoids and chlorophylls as antioxidants. *Antioxidants*.
<https://doi.org/10.3390/antiox9060505>
- Rahate, K.A., Madhumita, M., Prabhakar, P.K., 2021. Nutritional composition, anti-nutritional factors, pretreatments-cum-processing impact and food formulation potential of faba bean (*Vicia faba* L.): A comprehensive review. *LWT*.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110796>
- Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Duan, Y., Ma, H., 2020. Plant protein-derived antioxidant peptides: Isolation, identification, mechanism of action and application in food systems: A review. *Trends in Food Science Technology*.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.019>
- Zamzuri, M., 'Ammar I.A., Mansor, J., Nurumal, S.R., Jamhari, M.N., Arifin, M.A., Nawi, A.M., 2023. Herbal antioxidants as tertiary prevention against cardiovascular complications in type 2 diabetes mellitus: A systematic review. *Journal of Herbal Medicine*.
<https://doi.org/10.1016/j.hermed.2022.100621>

BAB 13

β -GLUKAN

Oleh Rahmawati

13.1 Pendahuluan

Makanan fungsional dikenal akan manfaatnya dalam mengoptimalkan kesehatan tubuh dan menurunkan risiko terjadinya suatu penyakit. Penyakit degeneratif merupakan penyakit yang perlu diwaspadai karena mampu menyerang setiap orang hingga dalam rentang waktu yang sangat cepat. Beberapa penyakit degeneratif yang semakin hari semakin meningkat prevalensinya adalah dislipidemia, hipertensi, diabetes mellitus tipe 2, kardiovaskuler, dan penyakit kronis lainnya.

Indonesia memiliki keanekaragaman sumber daya alam berupa pangan fungsional yang mengandung zat gizi seperti serat. Keberadaan serat sendiri dalam makanan dapat menjaga dan meningkatkan fungsi saluran cerna serta menjaga kesehatan tubuh agar tidak mengalami peningkatan berat badan yang dapat menyebabkan overweight bahkan obesitas pencetus sindrom metabolik. Berdasarkan kapasitas serat, serat pangan diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu serat pangan yang larut (soluble fiber) dan yang tidak larut (insoluble fiber). Serat pangan yang larut terdiri dari pektin, gum, β -glukan, selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sekitar sepertiga dari total serat pangan (total dietary fiber/TDF) diyakini sebagai serat pangan yang larut, sedangkan mayoritas adalah serat pangan yang tidak larut (Suarni & Subagio, 2013). Pada Bab ini fokus membahas β -glukan

yang merupakan polisakarida alami yang dikandung oleh pangan fungsional yang merupakan tipe karbohidrat kompleks di dalam pangan yang berserat seperti jamur tiram dan sorgum.

13.2 Pangan yang Mengandung β -Glukan

β -glukan adalah salah satu senyawa metabolik sekunder. Senyawa ini diperoleh dari diisolasi dari tanaman, kelompok cendwana, maupun mikroorganisme. β -glukan adalah jenis polisakarida yang terdiri dari monomer D-glukosa melalui ikatan ikatan β -(1,3) glukan dan β -(1,6)-glukan. β -glukan ditemukan banyak pada dinding sel. β -glukan adalah komponen utama pada polisakarida. Beberapa pangan atau mikroorganisme yang mengandung beta glukan seperti sorgum, jamur dan ragi. Beberapa pangan yang β -glukan memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Sebab, kandungan β -glukan dapat merangsang sistem kekebalan tubuh, modulasi imunitas humoral dan selular, dengan demikian memiliki efek menguntungkan dalam memerangi infeksi bakteri, virus, jamur dan parasit. Selain itu, β -glukan juga menunjukkan adanya sifat hipokolesterolemik dan antikoagulan. Bahkan, pada akhir ini β -glukan telah dianggap sebagai senyawa antimutagenik, antitumorigenik, dan antisitotoksik, sehingga diharapkan dapat menjadi promotor nutrasetikal (Widyastuti et al., 2013).

13.2.1 β -Glukan Jamur Tiram

Jenis jamur tiram sangat digemari karena rasanya yang enak. Jamur tiram adalah jenis jamur dari genus *Pleurotus* yang mengandung glukan biologis aktif selain kaya protein. Sebagian glukan yang terdapat pada *Pleurotus* sp. (*pleuran*) telah dijadikan suplemen karena efek immunosupresifnya. Seperti serat makanan, polisakarida jamur tiram juga dapat merangsang pertumbuhan mikroorganisme di usus (*probiotik*), sehingga berfungsi sebagai *prebiotik*. β -glukan memiliki berbagai aktivitas biologis seperti

antitumor, antioksidan, antikolesterol, dan anti penuaan dini serta meningkatkan sistem imun dan kekebalan tubuh (Widyastuti et al., 2013). Hasil. Penelitian Pérez-Bassart et al. (2023) menunjukkan bahwa β -glukan pada jamur *Pleurotus ostreatus* lebih tinggi dibandingkan *Grifola frondosa* dan *Lentinula edodes*. β -glukan pada jamur tiram memiliki berbagai aktivitas biologis seperti antitumor, antioksidan, antikolesterol, dan anti penuaan dini serta meningkatkan sistem imun dan kekebalan tubuh (Widyastuti et al., 2013).

Terdapat tiga jenis jamur tiram yang sering dibudidayakan yaitu jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*), jamur tiram coklat (*Pleurotus cystidiosus*), dan jamur tiram merah (*Pleurotus flabellatus*). Jamur tiram putih dan coklat paling banyak dibudidayakan, karena mempunyai sifat adaptasi dengan lingkungan yang baik dan tingkat produktivitasnya cukup tinggi. Di Indonesia, jamur tiram putih lebih banyak dibudidayakan karena memiliki keunggulan daya tahan lama, bentuk tubuh lebar, dan kadar air sedikit. Jamur tiram putih adalah jenis jamur tiram kayu famili *Agaricaceae* yang dibudidayakan oleh masyarakat dengan menggunakan media tanam yang sama dengan tempat asalnya di alam. Jamur ini juga dikenal sebagai tiram atau "osyter mushroom" karena bentuk tudungnya yang sedikit membulat, lonjong, dan melengkung seperti cangkang tiram. Batang atau tangkai dari jamur ini tidak berada tepat di tengah tudung, melainkan agak ke pinggir. Ciri-ciri dari jamur tiram putih termasuk bentuk tudung yang menyerupai tiram, lebar tudungnya bisa mencapai 25 cm dengan tebal 0.5-2.0 cm. Jamur ini biasanya tumbuh lebih tebal pada daerah yang dingin dibandingkan dengan yang tumbuh di daerah yang lebih panas (Jakiyah et al., 2017; Tjokrokusumo, 2018).



Gambar 13.1. Jamur tiram putih
(Sumber: <https://www.istockphoto.com>)

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa β -glukan jamur tiram putih memiliki efek dalam penurunan profil lipid terutama trigliserida dan kolesterol pada subjek obesitas yang diintervensi sup jamur tiram. Jumlah β -glukan jamur tiram putih yang diberikan sebanyak 0,11 gram/kg berat badan setara dengan dosis jamur tiram putih yang diberikan sebanyak 1,21 gram/kg berat badan selama 21 hari menunjukkan penurunan trigliserida dan kolesterol pada subjek obesitas (Rahmawati dan Rahayuningsih 2014; Afiah dan Rahayuningsih 2014). Mowsurni dan Chowdhury (2013) menyatakan bahwa Jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) memiliki kandungan serat larut β -glukan sebanyak 9,1 g/100 g. Uniknya, β -glukan tahan pada suhu pemanasan 100°C hingga 3 jam.

13.2.2 β -Glukan Sorgum

Sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) merupakan tanaman pangan penting kelima setelah padi, gandum, jagung, dan barley (Ramadhan et al., 2021). Sorgum memiliki beragam galur dan varietas yang bersifat serba guna dan *zero waste* karena hampir seluruh bagian tanaman dapat dimanfaatkan untuk pangan, pakan, dan industri. Selain itu, sorgum juga memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi pada lahan suboptimal atau miskin nutrisi. Sorgum memiliki kandungan unsur pangan

fungsional dan mengandung zat gizi dasar yang sama dengan biji-bijian lainnya. Potensi sorgum sebagai pangan fungsional perlu diperkenalkan. Biji dari sorgum menjadikan sorgum lebih unggul sebagai pangan fungsional. Unsur pangan fungsional dalam biji sorgum antara lain berbagai antioksidan, unsur mineral terutama zat besi, serat pangan, oligosakarida, termasuk β -glukan, serta karbohidrat non-starch polisakarida (NSP), dan lainnya. β -glukan pada sorgum dapat membantu sistem kekebalan tubuh, sistem hormonal, sistem syaraf, sistem pencernaan, sirkulasi darah, dan lainnya (Suarni, 2017).

Sorgum telah diolah menjadi berbagai produk olahan berbasis teknologi. Pengembangan seperti tepung sorgum cukup prospektif sebagai alternatif dari banyak tepung lainnya seperti tepung terigu pada banyak produk makanan karena manfaat nutrisi bioaktifnya seperti polifenol, vitamin, dan mikronutrien. Sorgum kaya pati sehingga memiliki nilai GI (indeks glikemik) yang tinggi. Hal ini menjadi peluang dalam mencegah penyakit. Sebab, mengonsumsi makanan GI tinggi dapat menyebabkan peningkatan glukosa darah postprandial, yang pada gilirannya terkait dengan perkembangan penyakit metabolik seperti diabetes, obesitas, hiperlipidemia, dan penyakit jantung. (Ramadhan et al., 2021; Tu et al., 2023).

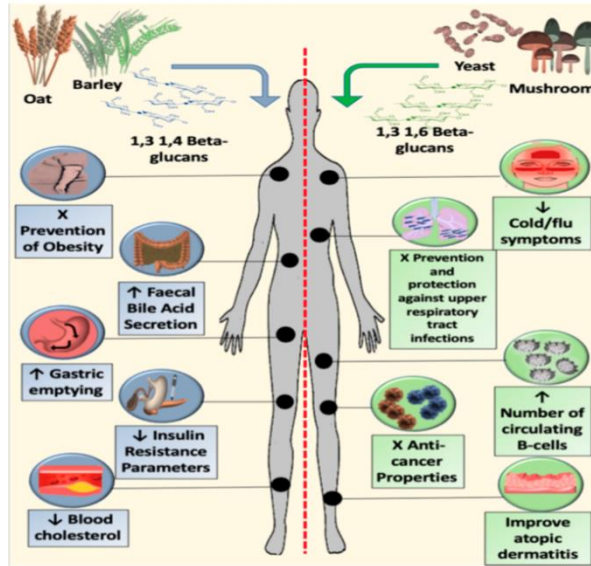


Gambar 13.2. Sorgum
(Sumber: <https://www.sorghumcheckoff.com>)

Hasil penelitian Fahrozi (2022) menunjukkan bahwa kandungan β -glukan pada sorgum yaitu sorgum mentah sebanyak 1,54%, sorgum sangrai 1,50%, bubur sorgum 4,59%, nasi sorgum sebanyak 1,9%, nasi sorgum instan 10,68%, dan olahan tempe sorgum sebanyak 2,18%. Parameter β -glukan semua jenis pengolahan menyebabkan peningkatan hasil ekstraksi kandungan β -glukan. Hasil Salimi dan R-Zakaria (2011) menunjukkan bahwa ekstrak β -glukan tertinggi pada sorgum non sosoh (12%) dan sosohan 20 detik (6,7%). Ekstrak serat β -glukan tersebut signifikan terhadap indeks stimulasi proliferasi sel limfosit. Hal ini menandakan adanya aktivitas imunomodulator ekstrak β -glukan dari sorgum.

13.3 β -Glukan Potensial Sebagai Nutrasetikal

β -glukan adalah polisakarida kompleks yang ditemukan di beberapa tumbuhan dan makanan, termasuk jamur. β -glukan memiliki sifat terapeutik yang berpotensi sebagai senyawa bioaktif nutrasetikal. β -glukan memiliki efek metabolik dan gastrointestinal, memodulasi mikrobioma usus, mengubah metabolisme lipid dan glukosa, mengurangi kolesterol sehingga β -glukan terapi potensial untuk sindrom metabolik, obesitas dan regulasi diet, serta kondisi gastrointestinal seperti iritasi usus. Selain itu, β -glukan mengurangi risiko kardiovaskular dan diabetes. β -glukan juga memiliki efek modulasi kekebalan dan sebagai agen tambahan untuk kanker, rinitis alergi, infeksi pernapasan, dan meningkatkan penyembuhan luka (Murphy et al., 2020).



Gambar 13.3. Efek β -glukan
(Sumber: Murphy et al., 2020)

13.3.1 Efek Metabolik Pada Sereal β -Glukan

Efek metabolik pada sereal telah diuji pada barley. Hasil menunjukkan bahwa barley yang mengandung β -glukan mulai dari 3 g hingga 5 g diberikan yang diberikan mengakibatkan peningkatan ekskresi asam empedu feses dan SCFA (Thandapilly et al., 2018). Penelitian (Aoe et al., 2014) menunjukkan bahwa kombinasi nasi putih dengan barley meningkatkan β -glukan dan memiliki peran yang bermanfaat dalam mencegah dan mengobati obesitas dan penyakit metabolic yang terkait dengan peningkatan berat badan sebanyak 2,9 g β -glukan. (Aoe et al., 2017) kemudian melanjutkan penelitian yang focus pada lemak visceral menunjukkan penurunan signifikan pada subjek obesitas. Penelitian Wang et al., (2017) juga menunjukkan bahwa penelitian gen dikaitkan dengan konsumsi 3 g β -glukan terjadi penurunan kadar kolesterol darah. Namun, perbedaan respon individu terhadap efek penurunan kolesterol dari β -glukan kemungkinan disebabkan oleh perbedaan tingkat sintesis asam

empedu dari tiga genotipe subjek yang berbeda yaitu G/G, G/T dan T/T setelah konsumsi β -glukan.

Hasil studi lainnya dilaporkan manfaat sereal lain seperti oat β -glukan yang dilaporkan bermanfaat pada glikemia postprandial dan pengurangan serum glikemia (Thondre et al., 2013), rasa kenyang (Zaremba et al., 2018), peningkatan kontrol nafsu makan (Pentikäinen et al., 2014), pengurangan kolesterol LDL serum (Thongoun et al., 2013; Rebello et al., 2014; McRorie & McKeown, 2017), pengurangan kolesterol total (Rebello et al., 2014), pengurangan peradangan dan oksidasi pasien hiperkolesterolemia oksidasi (Queenan et al., 2007), dan pengurangan parameter resistensi insulin (Patcharane Pavadhgul et al., 2019).

13.3.2 Efek Imunomodulator pada Jamur Tiram β -Glukan

Salah satu jenis jamur tiram adalah jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*). Dari sekian jenis jamur tiram, jamur tiram putih mengandung β -glukan yang banyak diperoleh dari batang dan badan buah (Chang & Wasser, 2012). Beta-glukan menunjukkan aktivitas sebagai imunomodulator, antitumor (Sari et al., 2016), antivirus (Zhang, Cui, Cheung, & Wang, 2007) dan efek pelindung hepar (Wasser, 2014). Hasil penelitian Dewi & Mukti (2022) menunjukkan bahwa pemberian olahan pangan dalam bentuk Nugget jamur tiram dengan berat 18mg/kg dapat meningkatkan sel limfosit. Kandungan β -glukan nugget jamur tiram mencapai 74% per 100 mg jamur tiram. Pada penelitian ini potensi imunostimulan nugget jamur tiram diamati dengan mempelajari aktivitas sel darah putih dan pembesaran pulpa putih organ limpa.

Fakta bahwa orang yang mengalami kelebihan berat badan seperti obesitas patut diwaspadai karena merupakan salah satu predisposisi sakit infeksi akibat penurunan fungsi imunitas tubuh (Erny et al., 2021). Obesitas berkaitan dengan jaringan adiposa. Penelitian menunjukkan bahwa jaringan adiposa

menjadi penghubung antara status metabolik dengan sistem imun melalui perantaraan hormon adipokin yang dapat mengontrol aktivitas sel imun (Wensveen et al., 2015). Jaringan adiposa memiliki sel adiposit yaitu adipositi putih dan adiposit coklat. Sel adipositi putih ini yang terkait dengan sistem imun. Hal ini karena sel-sel tersebut yang mensekresi leptin, adipsin, resistin, Adipose Fatty Acid-binding Protein, Asylation Stimulating Protein (ASP), Angiotensinogen, PAI 1, Agouti protein, Growth Hormone, TGF- β , dan steroid (Frühbeck et al., 2001).

Konsekuensi obesitas sangat luas bukan hanya sekedar bentuk tubuh tetapi pada hal yang lebih mendasar yakni pengaruh dalam kesehatan antara lain dislipidemia, hiperglikemia, insulin resistensi, perubahan jaringan adipokin dan perubahan fungsi imun (Erny et al., 2021). Oleh karena itu, jamur tiram putih (*Pleurotus ostreatus*) selain sebagai imunomodulator juga berefek jangka panjang pada kondisi kesehatan tubuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Afiah, A., & Rahayuningsih, H. M. (2014). Pengaruh pemberian sup jamur tiram putih (*pleurotus ostreatus*) terhadap kadar kolesterol total subjek obesitas. *Journal of Nutrition College*, 3(4), 465–472. <https://doi.org/10.14710/jnc.v3i4.6828>
- Aoe, S., Ichinose, Y., Kohyama, N., Komae, K., Takahashi, A., Abe, D., Yoshioka, T., & Yanagisawa, T. (2017). Effects of high β -glucan barley on visceral fat obesity in Japanese individuals: A randomized, double-blind study. *Nutrition*, 42, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.05.002>
- Aoe, S., Ikenaga, T., Noguchi, H., Kohashi, C., Kakumoto, K., & Kohda, N. (2014). Effect of Cooked White Rice with High β -glucan Barley on Appetite and Energy Intake in Healthy Japanese Subjects: A Randomized Controlled Trial. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(4), 325–330. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0437-6>
- Dewi, A. D. R., & Mukti, Y. P. (2022). Immunostimulant Potential of Oyster Mushroom (*Pleurotus Ostreatus*) Nugget. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 10(2), 78–82.
- Erny, E., Prasetyo, O., Soekanto, A., & Amanda, A. (2021). Pengaruh Obesitas pada Status Imunitas Individu Terhadap Infeksi Virus dan Bakteri. *Hang Tuah Medical Journal*, 19(1), 86–94.
- Fahrozi, A. (2022). Pengaruh Jenis Pengolahan Terhadap Kandungan Betaglukan, Total Fenol, Dan Aktivitas Antioksidan Pada Sorgum (*Sorghum Bicolor L.*) dan Produk Olahan Sorgum. *Fakultas Pertanian Universitas Lampung Bandar Lampung, [Skripsi]*.

- Frühbeck, G., Gómez-Ambrosi, J., Muruzábal, F. J., & Burrell, M. A. (2001). The adipocyte: A model for integration of endocrine and metabolic signaling in energy metabolism regulation. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 280(6), E827–E847. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.2001.280.6.E827>
- Jakiyah, E., Hasanah, H. U., & Sari, D. N. R. (2017). *Menggunakan Metode Fusi Miselium Monokarion*. 6(2).
- McRorie, J. W., & McKeown, N. M. (2017). Understanding the Physics of Functional Fibers in the Gastrointestinal Tract: An Evidence-Based Approach to Resolving Enduring Misconceptions about Insoluble and Soluble Fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 117(2), 251–264. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.09.021>
- Mowsurni, F., & Chowdhury, M. (2013). Oyster mushroom: Biochemical and medicinal prospects. *Bangladesh Journal of Medical Biochemistry*, 3(1), 23–28. <https://doi.org/10.3329/bjmb.v3i1.13804>
- Murphy, E. J., Rezoagli, E., Major, I., Rowan, N. J., & Laffey, J. G. (2020). β -Glucan Metabolic and Immunomodulatory Properties and Potential for Clinical Application. *Journal of Fungi*, 6(4), 356. <https://doi.org/10.3390/jof6040356>
- Patcharane Pavadhgul, Akkarach Bumrungpert, Yashna Harjani, & Anne Kurilich. (2019). Oat porridge consumption alleviates markers of inflammation and oxidative stress in hypercholesterolemic adults. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 28(2). [https://doi.org/10.6133/apjcn.201906_28\(2\).0008](https://doi.org/10.6133/apjcn.201906_28(2).0008)
- Pentikäinen, S., Karhunen, L., Flander, L., Katina, K., Meynier, A., Aymard, P., Vinoy, S., & Poutanen, K. (2014). Enrichment of biscuits and juice with oat β -glucan enhances postprandial satiety. *Appetite*, 75, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.01.002>

- Pérez-Bassart, Z., Fabra, M. J., Martínez-Abad, A., & López-Rubio, A. (2023). Compositional differences of β -glucan-rich extracts from three relevant mushrooms obtained through a sequential extraction protocol. *Food Chemistry*, *402*, 134207.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134207>
- Queenan, K. M., Stewart, M. L., Smith, K. N., Thomas, W., Fulcher, R. G., & Slavin, J. L. (2007). Concentrated oat β -glucan, a fermentable fiber, lowers serum cholesterol in hypercholesterolemic adults in a randomized controlled trial. *Nutrition Journal*, *6*(1), 6.
<https://doi.org/10.1186/1475-2891-6-6>
- Rahmawati, F. C., & Rahayuningsih, H. M. (2014). Pengaruh pemberian sup jamur tiram putih (*pleurotus ostreatus*) terhadap kadar trigliserida pada subjek obesitas. *Journal of Nutrition College*, *3*(4), 943–950.
<https://doi.org/10.14710/jnc.v3i4.6914>
- Ramadhan, A. R., Wahyuni, S., & Asnani, A. (2021). Pengaruh Modifikasi Terhadap Karakteristik Tepung Gadung Termodifikasi: Studi Kepustakaan. *Edible: Jurnal Penelitian Ilmu-ilmu Teknologi Pangan*, *8*(1), 12.
<https://doi.org/10.32502/jedb.v8i1.3445>
- Rebello, C. J., Chu, Y.-F., Johnson, W. D., Martin, C. K., Han, H., Bordenave, N., Shi, Y., O'Shea, M., & Greenway, F. L. (2014). The role of meal viscosity and oat β -glucan characteristics in human appetite control: A randomized crossover trial. *Nutrition Journal*, *13*(1), 49. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-49>
- Salimi, Y. K., & R-Zakaria, F. (2011). Pengaruh Penyosohan Serealia Sorgum dan Jewawut Terhadap Kandungan Gizi, Ekstrak Serat B-Glukan dan Aktivitas Proliferasi Sel Limfosit. *Jurnal Sainstek*, *6*(3).

- Suarni, S. (2017). Peranan Sifat Fisikokimia Sorgum dalam Diversifikasi Pangan dan Industri serta Prospek Pengembangannya. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 35(3), 99. <https://doi.org/10.21082/jp3.v35n3.2016.p99-110>
- Suarni, S., & Subagio, H. (2013). Potensi Pengembangan Jagung dan Sorgum Sebagai Sumber Pangan Fungsional. *J. Litbang Pert.*, 32(3), 47–55.
- Thandapilly, S. J., Ndou, S. P., Wang, Y., Nyachoti, C. M., & Ames, N. P. (2018). Barley β -glucan increases fecal bile acid excretion and short chain fatty acid levels in mildly hypercholesterolemic individuals. *Food & Function*, 9(6), 3092–3096. <https://doi.org/10.1039/C8FO00157J>
- Thondre, P. S., Shafat, A., & Clegg, M. E. (2013). Molecular weight of barley β -glucan influences energy expenditure, gastric emptying and glycaemic response in human subjects. *British Journal of Nutrition*, 110(12), 2173–2179. <https://doi.org/10.1017/S0007114513001682>
- Thongoun, P., Pavadhgul, P., Bumrungpert, A., Satitvipawee, P., PGDip, Y. H., & Kurilich, A. (2013). *Effect of Oat Consumption on Lipid Profiles in Hypercholesterolemic Adults*. 96.
- Tjokrokusumo, D. (2018). Jamur Tiram (*Pleurotus Ostreatus*) untuk Meningkatkan Ketahanan Pangan dan Rehabilitasi Lingkungan. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 4(1). <https://doi.org/10.29122/jrl.v4i1.1851>
- Tu, J., Adhikari, B., Brennan, M. A., Cheng, P., Bai, W., & Brennan, C. S. (2023). Interactions between sorghum starch and mushroom polysaccharides and their effects on starch gelatinization and digestion. *Food Hydrocolloids*, 139, 108504. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108504>

- Wang, Y., Harding, S. V., Thandapilly, S. J., Tosh, S. M., Jones, P. J. H., & Ames, N. P. (2017). Barley β -glucan reduces blood cholesterol levels via interrupting bile acid metabolism. *British Journal of Nutrition*, *118*(10), 822–829. <https://doi.org/10.1017/S0007114517002835>
- Wensveen, F. M., Valentić, S., Šestan, M., Turk Wensveen, T., & Polić, B. (2015). Interactions between adipose tissue and the immune system in health and malnutrition. *Seminars in Immunology*, *27*(5), 322–333. <https://doi.org/10.1016/j.smim.2015.10.006>
- Widyastuti, N., Baruji, T., Isnawan, H., Wahyudi, P., & Donowati, D. (2013). Analisa Kandungan Beta-Glukan Larut Air Dan Larut Alkali Dari Tubuh Buah Jamur Tiram (*Pleurotus ostreatus*) dan Shiitake (*Lentinus edodes*). *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, *13*(3). <https://doi.org/10.29122/jsti.v13i3.894>
- Zaremba, S. M. M., Gow, I. F., Drummond, S., McCluskey, J. T., & Steinert, R. E. (2018). Effects of oat β -glucan consumption at breakfast on ad libitum eating, appetite, glycemia, insulinemia and GLP-1 concentrations in healthy subjects. *Appetite*, *128*, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.06.019>

BIODATA PENULIS

Fitri Wahyuni

Dosen Program Studi S1 Gizi
Stikes Salewangan Maros, Sulawesi Selatan,

Penulis lahir di Sengkang, 27 April 1990. Penulis merupakan dosen tetap di Stikes Salewangan Maros, Sulawesi Selatan, Program Studi S1 Gizi. Kuliah S1 Gizi di Universitas Hasanuddin dan mengambil Magister di Universitas yang sama Fakultas Farmasi Konsentrasi Herbal Medicine. Sebagai dosen, beliau aktif menulis beberapa diktat untuk menunjang pembelajaran. Beberapa buku chapter juga yang telah ditulis diantaranya Tetap Kreatif dan Inovatif di Tengah Pandemi Covid-19 Jilid 3 (2021) dan Jilid 4 (2021), Gizi dalam Daur Kehidupan (2022), Gizi Mutakhir (2023), Kimia Makanan Halal (2023).

Selain aktivitas akademik, beliau juga aktif menulis artikel motivasi, *content creator*, jurnalis pada beberapa media.

BIODATA PENULIS



Muhammad Nuzul Azhim Ash Siddiq, S.Gz., M.Si.
Dosen Gizi, Fakultas Farmasi Universitas Mulawarman

Penulis lahir di Palembang, Sumatera Selatan tanggal 7 Februari 1996. Penulis merupakan dosen tetap keilmuan gizi pada Program Studi Farmasi Fakultas Farmasi, Universitas Mulawarman Kalimantan Timur. Penulis menyelesaikan Pendidikan S1 Ilmu Gizi di Institut Pertanian Bogor (2016) dan kemudian melanjutkan Pendidikan S2 Ilmu Gizi di Institut Pertanian Bogor dan lulus pada tahun 2018.

Penulis pernah mengikuti beberapa kegiatan nasional seperti Studi Status Gizi Indonesia (2021) oleh Kementerian Kesehatan RI sebagai Penanggung Jawab Teknis pada Kabupaten Belitung Timur dan Maluku Tengah. Penulis juga menjadi Tim Pakar Ahli Gizi pada Audit Kasus Stunting BKKBN Kab. Mahakam Ulu, Kalimantan Timur (2022). Penulis pernah menjadi Relawan Ahli Gizi RSDC Wisma Atlet Kemayoran Jakarta (2020-2021) dan pernah bekerja sebagai Supervisor lapangan dalam penelitian yang dilakukan oleh HNRC (*Human Nutrition Research Center*) IMERI FK-UI (2019-2020).

Email Penulis: mnuzul72@farmasi.unmul.ac.id

BIODATA PENULIS



Dwi Lestari, S.Gz., M.P.H.

Nutrisionis RSUD Kota Mataram & Dosen Program Studi Ilmu Gizi
Fakultas Kesehatan Universitas Nahdlatul Ulama NTB

Penulis lahir di Sukoharjo tanggal 16 Maret 1989. Penulis adalah Ahli Gizi di Rumah Sakit Umum Daerah Kota Mataram serta bekerja sebagai staff dosen pada Program Studi Ilmu Gizi Universitas Nahdlatul Ulama NTB. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Gizi dan Kesehatan di Universitas Brawijaya Malang kemudian melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat peminatan Gizi Klinik di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penulis menekuni bidang menulis. Saat ini penulis bergabung sebagai pengurus Dewan Pimpinan Daerah Persatuan Ahli Gizi Indonesia (DPD Persagi NTB), pengurus Pimpinan Daerah Asosiasi Dietisien Indonesia (PD ASDI NTB), dan pengurus Dewan Pimpinan Daerah Perhimpunan Pakar Gizi dan Pangan (DPD PERGIZI PANGAN INDONESIA Provinsi NTB).

BIODATA PENULIS



Dr. Efriwati, M.Si.

Peneliti Ahli Madya di Pusat Riset Kesehatan Masyarakat dan Gizi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Penulis lahir di Silungkang, Sawahlunto Sijunjung tanggal 17 Februari 1967. Penulis adalah peneliti di kementerian Kesehatan yang semenjak tahun 2022 bergabung ke BRIN. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di jurusan Biologi UNAND dan dilanjutkan S2 Bioteknologi UGM, dan terakhir di jurusan Mikrobiologi IPB di tahun 2013. Selain meneliti, penulis juga aktif sebagai pembimbing luar IPB untuk mahasiswa Biologi dan statistik. Dalam hal penulisan ilmiah, beberapa hasil penelitian telah penulis publikasikan, baik di jurnal nasional maupun jurnal internasional, dan salah satu hasil penelitian penulis yaitu mengenai pangan fungsional telah dipatenkan dengan nomor paten IDP000035230. Harapan penulis semoga tulisan ini dapat bermanfaat.

BIODATA PENULIS



Ulfatul Mardiyah, S.Si. M.P.

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Perikanan
Fakultas Sains dan Teknologi

Ulfatul Mardiyah lahir di Situbondo pada 11 Juni 1990. Jenjang strata 1 ditempuh di jurusan kimia Universitas Maulana Malik Ibrahim Malang (2008-2012) dengan topik skripsi mengenai bioaktif biota laut. Pada tahun 2015 melanjutkan pendidikan Magister Teknologi Hasil Pertanian di Universitas Brawijaya (2015-2017) dengan topik tesis mengenai pemanfaatan limbah produk perikanan. Saat ini penulis aktif sebagai dosen di Teknologi Hasil Perikanan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Ibrahimy Sukorejo Situbondo.

BIODATA PENULIS



Euis Nurlaela, S.Gz., M.Kes

Dosen Program Studi D3 Gizi

Jurusan Gizi Poltekkes Kementerian Kesehatan Kendari

Euis Nurlaela lahir di Bogor tanggal 4 Mei 1978. Dosen tetap di Prodi D3 Gizi sekaligus menjabat Ketua Program Studi D3 Gizi Poltekkes Kemenkes Kendari periode tahun 2020 - 2025. Pendidikan S1 ditempuh pada Program Studi Ilmu Gizi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar selesai tahun 2007. Pendidikan S2 ditempuh pada Program Studi Kesehatan Masyarakat konsentrasi Gizi di Universitas Hasanuddin Makassar selesai tahun 2012. Mata kuliah yang diampuh meliputi Ilmu Gizi Dasar, Ilmu Gizi Daur Kehidupan, Ilmu Pangan dan Manajemen Sistem Penyelenggaraan Makanan Institusi.

BIODATA PENULIS



Dr. Kencana Sari, SKM., MPH

Peneliti Bidang Kesehatan, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis lahir di Jakarta tanggal 12 Agustus 1982. Penulis adalah peneliti di Badan Riset dan Inovasi Nasional dengan program riset Kesehatan Masyarakat dan Gizi. Menyelesaikan pendidikan S1 pada bidang Kesehatan Masyarakat di Universitas Indonesia, S2 *Public Health* di Emory University, USA. Kemudian melanjutkan S3 di Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Indonesia.

BIODATA PENULIS



Dewi Syahidah, S.Pi., M.AppSc., Ph.D.

Peneliti Pusat Riset Veteriner

Organisasi Riset Kesehatan, Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis yang merupakan peneliti Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) ini lahir pada tanggal 5 November 1975 di Singaraja, Bali. Menyelesaikan studi S1 di Fakultas Perikanan Universitas Brawijaya (UB) Malang, dan melanjutkan ke James Cook University (JCU) di Australia untuk gelar master di bidang akuakultur dan gelar doktor di bidang mikrobiologi. Penghargaan Yamamoto dan Hadi Soesastro adalah dua penghargaan bergengsi yang diterima penulis. Penulis aktif mengikuti forum ilmiah, menerbitkan hasil penelitian terkait bidang kesehatan di jurnal dan media populer. Penulis terdaftar sebagai editor jurnal nasional dan buletin, serta menjadi reviewer di berbagai jurnal internasional. Penulis juga merupakan anggota Perhimpunan Peneliti Indonesia (PPI) dan beberapa organisasi lainnya. Penulis juga menjadi pengurus Masyarakat Moluska Indonesia (MMI), dan koordinator wilayah Bali dan Nusa Tenggara pada Masyarakat Bioinformatika dan Biodiversitas (MABBI).

BIODATA PENULIS



Khartini Kaluku, S.Gz., M.Kes.

Dosen Program Studi Gizi
Politeknik Kesehatan Kemenkes Maluku

Penulis lahir di Ambon pada tanggal 21 April 1983 Ketertarikan penulis terhadap ilmu gizi dimulai pada tahun 2001 silam. Hal tersebut membuat penulis memilih untuk masuk ke Poltekkes Kemenkes Maluku di Ambon dengan memilih Jurusan Gizi dan berhasil lulus pada tahun 2004. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Perguruan Tinggi dan berhasil menyelesaikan studi S1 di Prodi Ilmu Gizi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin pada tahun 2012. Setelah itu, penulis menyelesaikan studi S2 peminatan Gizi Masyarakat Fakultas Pasca Sarjana Universitas Hasanuddin tahun 2018. Riwayat pekerjaan menjadi salah satu pengajar di Poltekkes Kemenkes Maluku sejak tahun 2006 hingga sekarang. Penulis memiliki kepakaran dibidang Kesehatan terutama Gizi baik Gizi Klinik, Kesehatan Masyarakat serta Gizi Pangan. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti. Penelitian yang telah dilakukan didanai oleh Kemenkes RI. Selain peneliti, penulis juga aktif menulis buku dan mengembangkan media edukasi guna memberikan kontribusi positif bagi bangsa dan negara tercinta. Buku dan media edukasi yang pernah diterbitkan penulis adalah Komik Gizi Seimbang, Booklet Urban Gardening Dengan Sistem Hidroponik, Booklet

Higiene Untuk Penjamah Makanan Di Institusi Penyelenggaraan Makanan Pada Masa Pandemi Covid-19 dan Alat Peraga konsultasi Kartu Gizi Seimbang. Email Penulis: kalukukhartini@poltekkes-maluku.ac.id

BIODATA PENULIS



Dini Wulan Dari, S.Gz., M.Si

Dosen Program Studi Ilmu Gizi

Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Baiturrahim

Penulis dilahirkan di Jambi, 23 September 1989. Saat ini penulis berdomisili di Kota Jambi. Pendidikan yang ditempuhnya mulai dari jenjang Sarjana Gizi di Program Studi Ilmu Gizi Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Baiturrahim Jambi lulus tahun 2011, kemudian melanjutkan Pendidikan S2 Ilmu Pangan di Fakultas Teknologi Pertanian IPB lulus tahun 2018. Saat ini sedang melanjutkan Pendidikan S3 Ilmu Gizi di Fakultas Ekologi Manusia IPB University. Penulis bekerja sebagai Dosen Tetap di Program Studi Ilmu Gizi Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Baiturrahim Jambi sejak Maret 2012 hingga sekarang dan memiliki jabatan fungsional Lektor. Penulis pernah menduduki jabatan sebagai Sekretaris Program Studi Ilmu Gizi dan Ketua Program Studi Ilmu Gizi. Penulis aktif melakukan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat di bidang Gizi dan Pangan. Penulis juga aktif di Organisasi PATPI (Persatuan Ahli Teknologi Pangan Indonesia) Pusat dan Cabang Divisi Pengabdian Masyarakat.

BIODATA PENULIS



Suci Apsari Pebrianti, S.T.P., M.Sc.
Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi

Penulis lahir di Kuningan tanggal 22 Februari 1993 dan telah menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Pangan Institut Pertanian Bogor dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang ilmu yang berkaitan dengan penanganan pascapanen hasil pertanian, pengolahan pangan, fermentasi, dan keamanan pangan. Saat ini, penulis merupakan dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi. Publikasi penulis bisa dibaca melalui <https://scholar.google.com/citations?user=4zww2-wAAAAJ&hl=en>.

BIODATA PENULIS



Dr. Bovi Wira Harsanto, S.TP.

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Veteran Bangun Nusantara

Penulis lahir di Medan tanggal 10 Oktober 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Veteran Bangun Nusantara. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian dan melanjutkan studi pascasarjana pada Jurusan Ilmu Pangan melalui beasiswa percepatan program doktor dari Kemenristekdikti RI (beasiswa PMDSU batch 3). Penulis menyelesaikan program doktor ilmu pangan pada Bulan Januari 2022.

Penulis menekuni penelitian ilmiah di bidang pengolahan hasil pertanian. Bidang riset dari penulis adalah teknologi pengolahan karbohidrat dan pemanfaatan limbah hasil pertanian. Penulis hobi olahraga dan membaca, serta menulis artikel ilmiah. Salah satu cita-cita dari penulis adalah menjadi penulis buku referensi yang produktif di bidang ilmu pangan.

BIODATA PENULIS



Rahmawati, S.Gz, M.Si

Staf Dosen Akademi Keperawatan Yapenas 21 Maros

Penulis lahir di Maros 12 Agustus 1988. Ia lulusan S1 Ilmu Gizi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin tamat 2011. Setelah selesai pendidikan, ia bekerja sebagai Koordinator Tenaga Kesehatan Gizi di Puskesmas Weriagar 2011-2013, kemudian melanjutkan pendidikan S2 di Ilmu Gizi Masyarakat Fakultas Ekologi Manusia IPB tamat 2015 dengan bantuan beasiswa BPPDN calon dosen tahun 2013. Saat ini penulis sedang melanjutkan pendidikan S3 di Ilmu Gizi Masyarakat Fakultas Ekologi Manusia IPB dengan bantuan beasiswa Dosen BPI-LPDP tahun 2021. Penulis saat ini juga aktif melakukan kegiatan publikasi baik jurnal nasional maupun internasional. Penulis telah menerbitkan beberapa buku diantaranya buku ajar Ilmu Gizi Keperawatan tahun 2020, Ilmu Kesehatan Masyarakat tahun 2021, buku chapter Analisis Kimia Bahan Pangan 2022, buku chapter Gizi Kesehatan tahun 2022, dan buku chapter Statistik Kesehatan: Teori dan Aplikasi tahun 2022, buku referensi Peran Nutrasietikal Pada Penyakit Neurodegeneratif tahun 2023.