

PENGEMBANGAN PANGAN FUNGSIONAL

PENULIS:

- Nurhayati
- Chatarina Lilis Suryani
- Anna Permatasari Kamarudin
- Rohadi
- I Ketut Budaraga
- Nanik Suhartatik
- Nurul Fajrih H.
- Elisa Julianti
- Usman Pato
- Sony Suwasono
- Dwiyati Pujimulyani
- Elmeizy Arafah



PENGEMBANGAN PANGAN FUNGSIONAL

**Nurhayati
Chatarina Lilis Suryani
Anna Permatasari Kamarudin
Rohadi
I Ketut Budaraga
Nanik Suhartatik
Nurul Fajrih H.
Elisa Julianti
Usman Pato
Sony Suwasono
Dwiyati Pujimulyani
Elmeizy Arafah**



CV HEI PUBLISHING INDONESIA

PENGEMBANGAN PANGAN FUNGSIONAL

Penulis:

Nurhayati

Chatarina Lilis Suryani

Anna Permatasari Kamarudin

Rohadi

I Ketut Budaraga

Nanik Suhartatik

Nurul Fajrih H.

Elisa Julianti

Usman Pato

Sony Suwasono

Dwiyati Puji mulyani

Elmeizy Arafah

ISBN: 978-623-89190-8-6

Editor: Nur Ahmad Habibi, S.Gz, M.P

Penyunting: Muslimah, S.Tr.Kes

Desain Sampul dan Tata Letak: Lira Muhardi S.P

Penerbit : CV HEI PUBLISHING INDONESIA

Nomor IKAPI 043/SBA/2023

Redaksi :

Jl. Air Paku No.29 RSUD Rasidin, Kel. Sungai Sapih, Kec Kuranji

Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.HeiPublishing.id

Email : heipublishing.id@gmail.com

Cetakan pertama, Juni 2024

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 Pengembangan Pangan Fungsional dapat diselesaikan.

Buku ini berisikan bahasan tentang : Pengenalan Pangan Fungsional, Klorofil, Flavonoid, Dan Karotenoid, Sifat Fungsional Asam Lemak Jenuh, Sifat Fungsional Asam Lemak Tidak Jenuh Tunggal Dan Jamak, Sifat Fungsional Asam Lemak Trans, Sifat Fungsional Bahan Pengganti Lemak (fat Replacer), Sistem Pertahanan Tubuh Humoral Dan Seluler, Sifat Fungsional Serat Pangan, Sistem Fungsional Pati Resisten, Sistem Fungsional Prebiotik, Probiotik, Dan Sinbiotik, Sifat Antioksidan Zat Gizi Dan Non Gizi, Pembentukan Radikan Bebas Dan Sistem Pertahanan Tubuh Terhadap Radikal Bebas.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengaharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak terutama seluruh penulis kolaborator yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur bagi semua kalangan yang mudah dipahami, dan bermanfaat terutama dalam rangka pembuatan produk pangan yang diminati oleh konsumen.

Padang, Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| KATA PENGANTAR | i |
| DAFTAR ISI | ii |
| DAFTAR TABEL..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| BAB 1 PENGENALAN PANGAN FUNGSIONAL..... | 1 |
| 1.1 Definisi Pangan Fungsional | 1 |
| 1.2 Sejarah Pangan Fungsional..... | 2 |
| 1.3 Klasifikasi Pangan Fungsional..... | 6 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 9 |
| BAB 2 KLOROFIL, FLAVONOID DAN KAROTENOID..... | 11 |
| 2.1 Klorofil..... | 11 |
| 2.1.1 Pengantar Klorofil | 11 |
| 2.1.2 Struktur kimia dan karakteristik klorofil | 12 |
| 2.1.3 Sifat fungsional klorofil..... | 13 |
| 2.2 Flavonoid..... | 15 |
| 2.2.1 Pengantar Flavonoid | 15 |
| 2.2.2 Struktur kimia dan karakteristik flavonoid..... | 15 |
| 2.2.3 Sifat fungsional flavonoid..... | 18 |
| 2.3 Karotenoid | 21 |
| 2.3.1 Pengantar Karotenoid..... | 21 |
| 2.3.2 Struktur kimia dan karakteristik karotenoid..... | 22 |
| 2.3.3 Sifat fungsional karotenoid | 24 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 26 |
| BAB 3 SIFAT FUNGSIONAL ASAM LEMAK JENUH | 31 |
| 3.1 Pendahuluan..... | 31 |
| 3.2 Konsep Teoritis | 32 |
| 3.3 Manfaat Asam Lemak | 36 |
| 3.4 Beberapa Jenis Pangan Asam Lemak Jenuh | 39 |
| 3.5 Kesimpulan | 43 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 44 |
| BAB 4 SIFAT FUNGSIONAL ASAM LEMAK TIDAK JENUH | |
| TUNGGAL DAN TIDAK JENUH JAMAK..... | 49 |
| 4.1 Pendahuluan | 49 |
| 4.2 Lemak dan Asam Lemak | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1 Lemak/Lipid | 50 |
| 4.2.2 Asam Lemak | 51 |
| 4.3 Sifat Fungsional | 57 |
| 4.3.1 Asam Lemak dan Kesehatan Jantung | 57 |
| 4.3.2 Asam lemak dan kecerdasan | 58 |
| 4.3.3 Kesehatan mata | 59 |
| 4.5 Sumber dan Cara Memperoleh Asam Lemak..... | 59 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 60 |
| BAB 5 SIFAT FUNGSIONAL ASAM LEMAK TRANS..... | 63 |
| 5.1 Pendahuluan..... | 63 |
| 5.2 Perkembangan Asam Lemak Trans..... | 65 |
| 5.3 Asam Lemak Trans dan Metabolisme | 66 |
| 5.4 Asam Lemak Trans dan Metabolisme Lipid | 68 |
| 5.5 Asam Lemak Trans dan Proses Inflamasi | 69 |
| 5.6 Penerapan Asam Lemak Trans Dalam Makanan..... | 70 |
| 5.7 Dampak dan Pengaruh Asam Lemak Trans..... | 71 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 73 |
| BAB 6 SIFAT FUNGSIONAL FAT REPLACER..... | 75 |
| 6.1 Pendahuluan | 75 |
| 6.2 Definisi <i>fat replacer</i> | 76 |
| 6.3 Jenis-jenis <i>fat replacer</i> berdasarkan jenis makronutrien penyusunnya..... | 77 |
| 6.4 Tipe Fat replacer..... | 80 |
| 6.4.1 Berbasis karbohidrat | 80 |
| 6.4.2 Protein-based fat replacers..... | 82 |
| 6.4.4 Fat replacers berbasis lemak | 83 |
| 6.5 Penutup..... | 83 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 84 |
| BAB 7 SISTEM PERTAHANAN TUBUH HUMORAL DAN SELULER | 85 |
| 7.1 Pendahuluan | 85 |
| 7.2 Cara Kerja Sistem Pertahanan Tubuh..... | 85 |
| 7.3 Sistem Pertahanan Tubuh Humoral..... | 87 |
| 7.4 Sistem Pertahanan Tubuh Selular | 89 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 92 |

| | |
|--|------------|
| BAB 8 SIFAT FUNGSIONAL SERAT PANGAN | 93 |
| 8.1 Pendahuluan..... | 93 |
| 8.2 Defenisi Serat Pangan | 94 |
| 8.3 Klasifikasi Serat Pangan | 95 |
| 8.4 Sifat Kimia dan Fisika Serat Pangan | 101 |
| 8.4.1 Kelarutan (<i>Solubility</i>) | 101 |
| 8.4.2 Fermentabilitas | 102 |
| 8.4.3 Viskositas | 103 |
| 8.4.4 Kemampuan Adsorpsi dan Pengikatan | 103 |
| 8.4.5 Ukuran Partikel | 104 |
| 8.5 Analisa Komponen Serat Pangan | 104 |
| 8.6 Sifat Fungsional Serat Pangan | 105 |
| 8.6.1 Mencegah dan Mengurangi Resiko Diabetes..... | 105 |
| 8.6.2 Menurunkan Indeks Glikemik | 106 |
| 8.6.3 Fermentasi Kolon dan Bakteri Intestinal | 106 |
| 8.6.4 Konsumsi Serat Pangan dan Berat Badan | 107 |
| 8.6.5 Serat Pangan dan Sensitivitas Insulin..... | 107 |
| 8.6.6 Serat Pangan dan Peradangan (Inflamasi) | 108 |
| 8.7 Efek Samping Serat Pangan | 109 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 110 |
| BAB 9 SISTEM PANGAN FUNGSIONAL PATI RESISTEN | 115 |
| 9.1 Pendahuluan..... | 115 |
| 9.2 Pati dan Klasifikasinya | 116 |
| 9.3 Pengertian Pati Resisten | 116 |
| 9.4 Jenis-jenis Pati Resisten..... | 117 |
| 9.5 Struktur Pati Resisten | 119 |
| 9.6 Sumber Pati Resisten | 121 |
| 9.7 Manfaat Pati Resisten..... | 122 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 129 |
| BAB 10 SISTEM FUNGSIONAL PROBIOTIK, PREBIOTIK DAN SINBIOTIK | 133 |
| 10.1 Probiotik..... | 133 |
| 10.1.1 Mikroorganisme Probiotik | 135 |
| 10.1.2 Manfaat Kesehatan Probiotik..... | 136 |
| 10.1.3 Pangan Probiotik | 139 |
| 10.2 Prebiotik | 142 |

| | |
|--|------------|
| 10.2.1 Prebiotik Oligosakarida..... | 143 |
| 10.2.2 Efek Kesehatan Prebiotik | 144 |
| 10.2.3 Efek Buruk Prebiotik..... | 146 |
| 10.2.4 Prebiotik dan Sinbiotik..... | 146 |
| 10.3 Prebiotik, Prebiotik, Sinbiotik Baru | 146 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 149 |
| BAB 11 SIFAT ANTIOKSIDAN ZAT GIZI DAN NON GIZI..... | 151 |
| 11.1 Antioksidan Zat Gizi | 151 |
| 11.1.1 Vitamin A..... | 151 |
| 11.1.2 Vitamin C | 151 |
| 11.1.3 Vitamin E..... | 153 |
| 11.1.4 Karotenoid..... | 153 |
| 11.1.5 <i>Zink</i> | 155 |
| 11.1.6 Vitamin B2 (Riboflavin)..... | 156 |
| 11.1.7 Tembaga (Cu) | 158 |
| 11.1.8 Selenium (Se)..... | 159 |
| 11.1.9 Protein..... | 159 |
| 11.2 Antioksidan Non Gizi | 160 |
| 11.2.1 Fenolik..... | 160 |
| 11.2.2 Tiosol | 161 |
| 11.2.3 Gingerol, Zingeron | 162 |
| 11.2.4 Polifenol..... | 164 |
| 11.2.5 Plavonoid..... | 165 |
| 11.2.6 Katekin | 167 |
| 11.2.7 Flavon, Flavonol..... | 168 |
| 11.2.8 Isoflavon | 169 |
| 11.2.9 Lutein | 170 |
| 11.2.10 Likopen | 170 |
| 11.2.11 Saponin..... | 171 |
| 11.2.12 Klorofil | 172 |
| 11.3 Enzim-enzim Antioksidan | 172 |
| 11.3.1 Superokksida Dimustase (SOD)..... | 172 |
| 11.3.2 Glutation Peroksidase | 173 |
| 11.3.3 Thioredoxin | 174 |
| 11.3.4 Heme Oksigenase | 176 |
| 11.3.5 Katalase | 178 |

| | |
|--|------------|
| 11.3.6 Metionin Sulfoksida Reduktase | 179 |
| 11.3.7 Peroksidase | 180 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 181 |
| BAB 12 PEMBENTUKAN RADIKAL BEBAS DAN SISTEM | |
| PERTAHANAN TUBUH..... | 199 |
| 12.1 Pendahuluan | 199 |
| 12.2 Teori Pembentukan Radikal Bebas | 200 |
| 12.3 Radikal Bebas dan Kerusakan Sel | 201 |
| 12.4 Pengukuran Radikal Bebas | 203 |
| 12.5 Sistem Pertahanan Tubuh Terhadap Radikal Bebas..... | 204 |
| 12.5.1 Sistem Pertahanan Antioksidan | 204 |
| 12.5.2 Sistem Pertahanan Enzim..... | 206 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 208 |

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 1.1. Pengelompokan ingredien pangan berdasarkan klaim FOSHU di Jepang | 4 |
| Tabel 3.1. Struktur Kimia dan Tatanama Asam Lemak Jenuh.. | 33 |
| Tabel 3.2. Jenis Asam Lemak Jenuh dan Sumbernya | 33 |
| Tabel 3.3. Beberapa Sumber Asam Lemak Jenuh | 34 |
| Tabel 3.4. Komponen Asam Lemak Minyak Kelapa | 35 |
| Tabel 4.1. Beberapa jenis asam lemak jenuh | 54 |
| Tabel 4.2. Beberapa asam lemak kelompok PUFA (ω -6)..... | 55 |
| Tabel 4.3. Beberapa asam lemak kelompok PUFA ω -3..... | 56 |
| Tabel 6.1. Contoh <i>Fat Substitute</i> | 77 |
| Tabel 6.2. Contoh <i>Fat Mimetic</i> | 78 |
| Tabel 6.3. Contoh <i>Fat Replacer</i> | 79 |
| Tabel 8.1. Klasifikasi serat pangan berdasarkan kelarutannya..... | 100 |
| Tabel 9.1. Jeni-jenis pati resisten dan faktor yang mempengaruhi pencernaan di dalam usus besar | 118 |
| Tabel 10.1. Mirkoorganisme Probiotik..... | 136 |
| Tabel 10.2. Prebiotic Oligosakarida dan Kandidat Prebiotic | 143 |
| Tabel 10.3. Prebiotik dan probiotik baru..... | 147 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 1.1. Logo FOSHU oleh Jepang..... | 3 |
| Gambar 1.2. Bahan pangan nabati (A) dan bahan pangan hewani (B) | 6 |
| Gambar 1.3. Pangan fungsional alami (A), minuman fungsional beras kencur terproses secara tradisional (B), dan produk pangan fungsional terproses modern (C) | 7 |
| Gambar 2.2. Penampang daun dengan sel palisade dan sel mesophyll daun | 11 |
| Gambar 2.3. Struktur klorofil a | 13 |
| Gambar 2.4. Struktur dasar dan subkelompok flavonoid yang berbeda..... | 16 |
| Gambar 2.5. Kelompok, subkelompok flavonoid dan senyawa teridentifikasi dan sumber alaminya . | 18 |
| Gambar 2.6. Mekanisme antidiabetes flavonoid..... | 20 |
| Gambar 2.7. Struktur dasar dan jenis karotenoid | 23 |
| Gambar 3.1. Asam Stearat ($C_{18}H_{36}O_2$) | 32 |
| Gambar 3.2. Pengaruh Asam Lemak jenuh terhadap Kesehatan Jantung..... | 38 |
| Gambar 5.1. Struktur Kimia Asam Lemak Konfigurasi Cis dan Trans | 65 |
| Gambar 5.2. Konfigurasi Molekuler Asam Lemak Trans dan Cis | 65 |
| Gambar 7.1. Respon Imun | 87 |
| Gambar 7.2. Cara kerja Sistem Kekebalan Humoral | 88 |
| Gambar 7.3. Cara kerja Sistem Kekebalan Seluler..... | 91 |
| Gambar 8.1. β -Glukan berupa polisakarida linier terdiri dari glukosa yang mengandung ikatan glikosidik β -1,3 dan β -1,4 | 96 |
| Gambar 8.2. Galaktomanan berupa polimer manosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4 dan sub unit galaktosa yang dihubungkan ke unit manosa dengan ikatan α -1,6 glikosida | 96 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 8.3. Arabinoksilan terdiri dari tulang punggung residu xilosa dengan ikatan β-1,4 dan disubstitusi dengan residu arabinosa pada posisi C(0)-2 dn/atau C(0)-3 | 98 |
| Gambar 8.4. Pektin yaitu kompleks polisakarida terutama terdiri dari residu asam D-galakturonat yang diesterifikasi pada rantai α-1,4..... | 97 |
| Gambar 8.5. Arabinogalaktan yaitu polisakarida dengan cabang yang banyak dan berat molekul tinggi terutama terdiri dari arabinosa, residu galaktosa dan asam glukoronat | 97 |
| Gambar 8.6. Pati resisten yaitu karbohidrat dengan berat molekul tinggi disusun atas residu gulokosa rantai lurus (amilosa) dan rantai bercabang (amilopektin)..... | 98 |
| Gambar 8.7. Polisakarida yang terdiri dari unit glukosa yang berikatan silang secara acak dengan semua jenis ikatan glikosidik dan mengandung sejumlah kecil sorbitol dan asam sitrat | 98 |
| Gambar 8.8. Kutin yaitu poliester alifatik yang dibuat dari asam lemak ω-hidroksi C16 dan C18 serta turunannya. Suberin merupakan komponen alifatik dan aromatik dengan panjang rantai lebih besar dari C20 hingga C20, khususnya 1-alkanol, asam lemak ω-hidroksi. [R] adalah rantai domain poliester lainnya..... | 99 |
| Gambar 9.1. Struktur dari kelima jenis pati resisten..... | 120 |
| Gambar 9.2. Proses pati dan pati resisten selama proses pencernaan | 123 |
| Gambar 9.3. Efek pati resisten pada manusia | 124 |
| Gambar 10.1. Karakteristik dari probiotik yang ideal | 134 |
| Gambar 10.2. (A) <i>Lactobacillus plantarum</i> dan (B) <i>Bifidobacterium longum</i>..... | 135 |
| Gambar 11.1. Struktur Vitamin A..... | 151 |
| Gambar 11.2. Struktur vitamin C | 152 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 11.3. Struktur vitamin E..... | 153 |
| Gambar 11.4. Struktur β -karoten | 155 |
| Gambar 11.5. Riboflavin | 157 |
| Gambar 11.6. Struktur Tirosol..... | 162 |
| Gambar 11.7. Struktur <i>gingerol</i> , <i>shogaol</i> dan <i>zingeron</i> | 163 |
| Gambar 11.8. Struktur antosianin..... | 167 |
| Gambar 11.9. Struktur kimia katekin..... | 167 |
| Gambar 11.10. Mekanisme reaksi thioredoxin untuk mereduksi protein teroksidasi..... | 176 |
| Gambar 11.11. Degradasi heme dan produksi bilirubin..... | 178 |
| Gambar 12.1. Reaksi penetralan radikal bebas..... | 206 |



BAB 1

PENGENALAN PANGAN FUNGSIONAL

Oleh Nurhayati

1.1 Definisi Pangan Fungsional

Pangan sebagai kebutuhan dasar manusia dan menjadi bagian hak azasi setiap manusia. Menurut Peraturan Pemerintah (PP) No. 17 Tahun 2015. Pangan yang tersedia di alam dari sumber hayati komoditas pertanian, perkebunan, perikanan, peternakan, perairan, baik berupa pangan segar tanpa diolah maupun yang sudah diolah menjadi produk pangan (makanan, minuman) untuk dikonsumsi manusia. Dalam hal ini baik berupa pangan utama maupun ingredien tambahan pangan yang dikenal BTP (bahan tambahan pangan) selama proses penyiapan, pengolahan, atau penyajian pangan tersebut (Wijaya *et al.*, 2020).

Slogan "makananmu menjadi obatmu dan bukan obat menjadi makananmu", dicetuskan oleh *Hippocrates* (400 SM) menjadi paradigma awal akan pentingnya nutrisi dalam konsep kesehatan dan pencegahan penyakit. Hubungan ini jelas telah mengalami perubahan dan pengulangan sejarah dengan evolusi yang sejajar dengan peradaban manusia dengan kebiasaan yang bervariasi dalam perilaku sosial dan pola makan. Lebih dari 2500 tahun setelah klaim *Hippocrates*, konsep diet telah berkembang mencakup aspek-aspek berdasarkan penelitian di bidang nutrisi dan pengetahuan yang berkaitan dengan molekul aktif yang terkandung dalam makanan untuk memberikan manfaat bagi kesehatan manusia.

Pangan yang tidak sebatas sebagai sumber energi tetapi juga memiliki fungsi salah satu atau keduanya seperti fungsi teknis dan atau fungsi kesehatan, maka disebut sebagai pangan fungsional. Fungsi teknis berarti berhubungan dengan perannya dalam memperbaiki mutu produk pangan seperti mutu fisik, dan atau mutu kimia, dan atau mutu sensori. Fungsi kesehatan berhubungan dengan perannya bagi kesehatan manusia, tidak sebatas sebagai sumber zat

gizi manusia yang mengkonsumsinya. Fungsi kesehatan yang dimaksud seperti fungsinya sebagai antioksidan, antimikroba, antihipertensi, antiinflamasi dan lainnya(Wildman, 2001).

Pangan fungsional acapkali difungsikan untuk suatu populasi tertentu atau kelompok tertentu yang terdefinisikan dengan jelas seperti kelompok usia tertentu atau golongan tertentu akibat sifat genetik. Terkadang pangan fungsional dikhkususkan untuk konsumen dalam hal peningkatan penampilan fisik maupun kognitif. Seperti olahragawan memerlukan minuman untuk menggantikan segera elektrolit tubuh akibat aktivitas tinggi dan berkeringat. Contoh lainnya makanan tertentu yang ditujukan untuk meningkatkan atau aktivasi fungsi fisiologis selama beraktivitas berat sekaligus menyediakan energi.

Secara umum, pangan fungsional harus memenuhi tiga syarat utama. Ketiga syarat umum tersebut yakni: 1) berupa makanan atau minuman dengan kandungan senyawa bioaktif tertentu yang secara alami terkandung dalam bahan alam bukan berupa obat, kapsul, tablet, atau serbuk farmaseutikal, 2)untuk dikonsumsi menjadi bagian diet/menu sehari-hari, dan 3)memberikan fungsi atau manfaat tertentu bagi konsumennya, seperti untuk ketahanan tubuh/sistem imun, meningkatkan kebugaran, kesehatan atau pencegahan bahkan mampu memulihkannya dari penyakit tertentu, mengontrol kesehatan fisik dan mental, dan memperlambat atau menunda proses penuaan sel kulit(MHLW Japan, 2024).

1.2 Sejarah Pangan Fungsional

Pangan baik berupa makanan maupun minuman fungsional pertama kali dikenalkan pemerintah Jepang pada tahun 1980 dan dikenal dengan istilah FOSHU (*Foods for Specified of Health Use*) (Pangan fungsional dikhkususkan untuk diet tertentu yang berasal dari populasi kelompok usia tua yang semakin banyak di Jepang. Kelompok usia tua berpotensi menyebabkan terjadinya peningkatan penyakit kronis seperti penyakit diabetes mellitus, kardiovaskuler, kanker, hipertensi, serta osteoporosisi(MHLW Japan, 2024).

Tahun 1984 pemerintah Jepang mencanangkan program penelitian dan pengembangan pangan fungsional. Program tersebut

sebagai proyek penelitian pertama tentang pangan fungsional dengan melibatkan para peneliti dari berbagai bidang ilmu seperti gizi, psikologi, farmakologi, dan kedokteran. Produk yang sudah terklaim sebagai pangan fungsional harus mendapatkan logo FOSHU dari Kementerian Kesehatan, Pekerjaan, dan Kesejahteraan Jepang seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1. Logo FOSHU oleh Jepang(MHLW Japan, 2024)

Pada akhir tahun 2007 terdapat 755 produk Jepang yang sudah mendapatkan label FOSHU. Beberapa klaim kesehatan dari produk FOSHU Jepang diantaranya yaitu produk fungsional untuk memberikan efek kesehatan glukosa darah, Indeks Glikemik (IG), tekanan darah, absorpsi mineral, lemak netral pada darah, serum kolesterol, kesehatan gigi, serta kesehatan tulang(Yamada *et al.*, 2008). Ingredien pangan pangan fungsional yang telah mendapatkan klaim FOSHU di Jepang dapat diklasifikasikan seperti yang disajikan pada Tabel 1.1.

Jepang memberikan syarat yang cukup ketat untuk produk yang ingin mendapatkan logo FOSHU. Pangan tersebut harus memenuhi syarat diantaranya: 1)telah terbukti secara nyata efek fungsionalnya bagi tubuh manusia, 2)dinyatakan aman tanpa efek samping berlebih termasuk toksitasnya, 3)tidak mengandung ingredien pangan yang berlebihan seperti penggunaan garam berlebih, 4)adanya jaminan kesesuaian dengan spesifikasi produk yang tertulis, 5)adanya proses mengontrol kualitas produk seperti spesifikasi, ingredien, proses, dan metode analisisnya.

Tabel 1.1. Pengelompokan ingredien pangan berdasarkan klaim FOSHU di Jepang (MHLW Japan, 2024)

| Fungsional kesehatan | Jenis ingredien |
|--|---|
| Pangan untuk Kesehatan saluran pencernaan (gastrointestinal) | Probiotik seperti bifidobakteria dan BAL (bakteri asam laktat), prebiotik oligosakarida, dekstrin yang tercerna, serat pangan, guar gum, polidekstrol, laktosa, biji pelapis psillium, dan sebagainya |
| Pangan untuk mengendalikan kadar kolesterol darah | Protein soya, Na-alginat, kitosan |
| Pangan untuk mengendalikan kadar gula darah | Polyphenol dari jambu dan teh, L-arabiosa, dekstrin tidak tercerna, albumin gandum, dan sebagainya |
| Pangan untuk mengendalikan tekanan darah | Laktotripeptida, asam geniposidik, kasein dodekanpeptida peptide sarden, dan sebagainya |
| Pangan untuk kesehatan gigi | maltitiosa, paratinosa, erythritol, dan sebagainya |
| Pangan untuk kesehatan saluran pencernaan (gastrointestinal), kolesterol dan triasilgliserol | Na-alginat, serat pangan dari dedak biji psyllium, dan sebagainya |
| Pangan yang berkaitan dengan absorpsi mineral | Ca-sitrat malat, kasein fosfopeptida, zat besi dan daging (hem), FOS (frakuto-oligosakarida), dan sebagainya |
| Pangan berhubungan dengan osteogenesis | Isoflavon kedelai, protein susu, dan sebagainya |
| Pangan berhubungan dengan triasilgliserol | MCFA (<i>medium chain fatty acid</i>), dan sebagainya |

Di negara Indonesia, makanan fungsional ditetapkan dan diatur sejak tahun 2005 melalui Peraturan BPOM (Badan Pengawas Makanan dan Obat) No: HK.00.05.52.0685 tentang Ketentuan Pokok Pengawasan

Pangan Fungsional bahwa pangan fungsional mengandung komponen fungsional yang secara ilmiah melalui uji klinis memiliki fungsi fisiologis bagi Kesehatan manusia, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Pangan fungsional berupa pangan alami baik nabati maupun hewani atau olahannya yang mengandung senyawa bioaktif yang menyehatkan bagi metabolisme tubuh manusia. Menurut dokumen konsensus *Scientific Concepts of Functional Foods in Europe* yang dikeluarkan oleh *European Commission Concerted Action on Functional Food Science in Europe* (FUFOSE), mendefinisikan pangan fungsional sebagai pangan yang terbukti memberikan satu atau lebih manfaat bagi kesehatan fungsi tubuh, selain fungsinya sebagai sumber gizi, sehingga dapat memperbaiki status kesehatan dan kebugaran serta menurunkan risiko suatu penyakit.

Pada tahun 2004, di Uni Eropa telah terdaftar 304 produk dengan klaim pangan fungsional, serta sebanyak 503 ingredien yang diklaim memiliki fungsional kesehatan. Sejumlah 168 perusahaan yang telah memproduksi jenis produk pangan fungsional yang berkantor pusat di Jerman, Inggris, Spanyol, Belanda, Prancis, Italia, Austria, Finlandia, Belgia, dan Denmark(Stein&Rodriguez-Cerezo, 2008).

Diketahui terdapat sekitar 11 perusahaan Jepang, 26 perusahaan Amerika, dan 30 perusahaan lainnya yang turut serta memasarkan produk pangan fungsional di pasar Uni Eropa. Terdapat sepuluh perusahaan di Uni Eropa yang telah mendapatkan paten dengan sebanyak 15 paten. Kala itu tahun 2001, sebanyak 5 paten telah didaftarkan oleh perusahaan Société des produits Nestlé s.a. yang merupakan perusahaan berbasis di Swiss sebagai perusahaan asing bukan anggota negara Uni Eropa(id.wikipedia.org, 2024).

Dalam beberapa dekade terakhir, minat terhadap produk pangan fungsional telah mengalami peningkatan secara eksponensial. Makanan fungsional, makanan baru dan suplemen makanan mempunyai dampak khusus pada konsumen, yang menunjukkan harapan besar terhadap kesejahteraan mereka. Suplemen makanan dengan bahan nabati merupakan bidang makanan yang mengalami perkembangan terbesar, baik dalam jumlah produk yang tersedia, anggaran, maupun penerimaan konsumen. Ketersediaan produk-produk “baru” ini dapat memberikan pengaruh positif terhadap

kesejahteraan masyarakat, namun penting untuk memberikan rekomendasi yang diperlukan kepada konsumen untuk memandu mereka dalam pembelian dan penggunaan(Colombo *et al.*, 2020).

1.3 Klasifikasi Pangan Fungsional

Secara umum, jenis pangan fungsional dikelompokkan menjadi dua kelompok yaitu pangan fungsional dari kelompok sumber makanan dan pangan fungsional dari kelompok cara pengolahannya. Kelompok pangan fungsional berdasarkan sumbernya terdiri atas pangan fungsional nabati, dan pangan fungsional hewani. Kelompok pangan fungsional berdasarkan cara pengolahannya dibedakan menjadi tiga yaitu pangan fungsional alami, pangan fungsional tradisional dan pangan fungsional modern.



A. Bahan pangan nabati

B. Bahan pangan hewani

Gambar 1.2. Bahan pangan nabati (A) dan bahan pangan hewani (B)
(google.com)

Pangan fungsional nabati artinya berasal dari bahan tumbuhan seperti dari buah-buahan, sayur-mayur, biji-bijian termasuk biji-bijian utuh (beras merah, oat, barley, dan lainnya), kacang-kacangan, legume (kacang hitam, buncis, dan lainnya) seperti yang dicontohkan pada Gambar 1.2a. Pangan fungsional hewani artinya berasal dari hewan/ternak seperti ikan, daging dari ayam, dan sapi maupun domba, serta susu dan produk olahannya (Gambar 1.2b).

Berdasarkan cara pengolahannya, pangan fungsional digolongkan menjadi tiga golongan, yaitu pangan alami(1.3a), pangan yang diolah secara tradisional(1.3b), dan pangan yang diolah secara

modern(1.3c). Pangan fungsional alami artinya secara alami sudah ada di alam seperti sifat fungsional dari bahan pangan segar. Pangan fungsional yang diolah secara tradisional mengikuti cara pengolahan yang diwariskan oleh leluhur dari satu generasi ke generasi berikutnya. Beberapa contoh pangan tradisional yang memenuhi persyaratan sebagai pangan fungsional adalah minuman kunir asem, minuman sinom, minuman beras kencur, minuman sari jahe, dadih (susu sapi terfermentasi dalam bambu khas Sumatra Barat), dali (susu kerbau terfermentasi khas Sumatra Utara), tempe, tape, sekoteng, bandrek, jus berprobiotik (Dalu *et al.*, 2018), kombucha cascara (Nurhayati *et al.*, 2020), dan lainnya.



A. Pangan alami kaya manfaat B. Minuman beras kencur tradisional



C. Produk pangan fungsional diproses secara modern

Gambar 1.3. Pangan fungsional alami (A), minuman fungsional beras kencur terproses secara tradisional (B), dan produk pangan fungsional terproses modern (C) (google.com)

Pangan fungsional modern diolah dan diperkaya dengan gizi tambahan untuk menambah manfaat kesehatannya. Sebagai contoh yaitu yoghurt yang mendapat penambahan bakteri probiotik seperti

Lactobacillus acidophilus, air minum dengan penambahan mineral seperti magnesium dan kalsium, minuman susu fermentasi seperti Yakult, seduhan serealia dan granola yang diperkaya dengan vitamin B1, roti dan pasta yang diperkaya dengan mineral zat besi, garam dapur yang difortifikasi dengan yodium-kalium-magnesium, jus kemasan yang diperkaya dengan vitamin, sari almond atau sari kacang mete yang diperkaya dengan vitamin D dan kalsium, dan produk komersil lainnya.

Secara detail dalam buku ini akan dibahas pangan fungsional pada tiap bab. Beberapa topik pangan fungsional yang akan dibahas yakni: BAB 2. Klorofil, Flavonoid, dan Karotenoid; BAB 3. Sifat Fungsional Asam Lemak Jenuh; BAB 4. Sifat Fungsional Asam Lemak Tidak Jenuh Tunggal dan Jamak; BAB 5. Sifat Fungsional Asam Lemak Trans; BAB 6. Sifat Fungsional Bahan Pengganti Lemak (*Fat Replacer*); BAB 7. Sistem Pertahanan Tubuh Humoral dan Seluler; BAB 8. Sifat Fungsional Serat Pangan; BAB 9. Sistem Fungsional Pati Resisten; BAB 10. Sistem Fungsional Prebiotik, Probiotik, dan Sinbiotik; BAB 11. Sifat Antioksidan Zat Gizi dan Non Gizi; dan BAB 12. Pembentukan Radikan Bebas dan Sistem Pertahanan Tubuh Terhadap Radikal Bebas.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2022). Bahan Pangan Nabati Lengkap Pengertian dan Contohnya https://www.pustakapengetahuan.com/2022/08/bahan-pangan-nabati-lengkap-pengertian.html#google_vignette [Diakses Jumat, 12 Agustus 2022]
- Colombo, F., Restani, P., Biella, S., & Di Lorenzo, C. (2020). Botanicals in functional foods and food supplements: Tradition, efficacy and regulatory aspects. *Applied Sciences*, 10(7), 2387.
- Dalu, K. C. A., Nurhayati, N., & Jayus, J. (2019). In vitro modulation of fecal microflora growth using fermented "Pisang Mas" banana and red guava juices. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 7(2), 449-456.
- Wikipedia. (2024). Pangan fungsional. https://id.wikipedia.org/wiki/Pangan_fungsional#:~:text=Pangan%20fungsional%20ada,lah%20makanan%20dan,dalam%20suatu%20kelompok%20mas,yarakat%20tertentu.
- Kusuma, P.T.H, 2023. Makanan Fungsional: Pengertian, Jenis, Contoh dan Manfaatnya. https://www.detik.com/edu/detik_pedia/d-6548588/makanan-fungsional-pengertian-jenis-contoh-dan-manfaatnya
- Ministry of Health, Labour and Welfare of Japan. (2024). Food for Specified Health Uses (FOSHU). [Diakses 30 April 2024]. <https://www.mhlw.go.jp/english/topics/foodsafety/fhc/02.html>
- Nurhayati, N., Yuwanti, S., & Urbahillah, A. (2020). Karakteristik fisikokimia dan sensori kombucha Cascara (kulit kopi ranum). *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 31(1), 38-49.
- Wijaya, C. H., Kristianto, A., Rana, B., Bowo, A., & Rachman, Z. A. (2020). Regulasi Pangan. Tangerang Selatan: CV. Gerina
- Wildman, R. E. C. (2001). Handbook of Functional Food and Nutraceuticals. Boca Raton: CRC Press
- Yamada K, Sato-Mito N, Nagata J, Umegaki K (2008). "Health claim evidence requirements in Japan". *The Journal of Nutrition* (dalam bahasa English). American Society for Nutrition. 138: 1192S-1198S. PMID 18492856.

Verizarie. R. (2022). Protein Hewani: Definisi, Manfaat, Sumber.
<https://doktersehat.com/gaya-hidup/gizi-dan-nutrisi/protein-hewani/> [Diakses 7 February 2022]

BAB 2

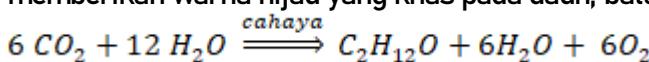
KLOROFIL, FLAVONOID DAN KAROTENOID

Oleh Chatarina Lili Suryani

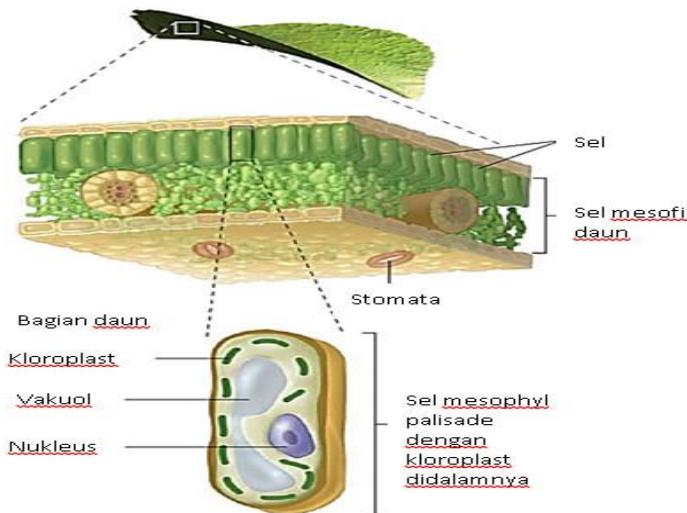
2.1 Klorofil

2.1.1 Pengantar Klorofil

Salah satu molekul sangat penting di bumi adalah klorofil. Hal ini karena klorofil adalah molekul yang dapat mengabsorbsi energi cahaya dalam proses fotosintesis untuk memproduksi karbohidrat. Karbohidrat merupakan sumber energi bagi semua makhluk hidup. Senyawa ini berperanan penting dalam proses fotosintesis untuk mengkonversi CO_2 dan air dengan bantuan energi cahaya dari matahari menjadi karbohidrat, air dan oksigen yang bermanfaat bagi kehidupan dijelaskan pada Gambar 2.1. Dalam tumbuhan, klorofil memberikan warna hijau yang khas pada daun, batang dan buah.



Gambar 2.1. Proses fotosintesis dalam daun (Karp, 2010)



Gambar 2.2. Penampang daun dengan sel palisade dan sel mesophyll daun (Karp, 2010)

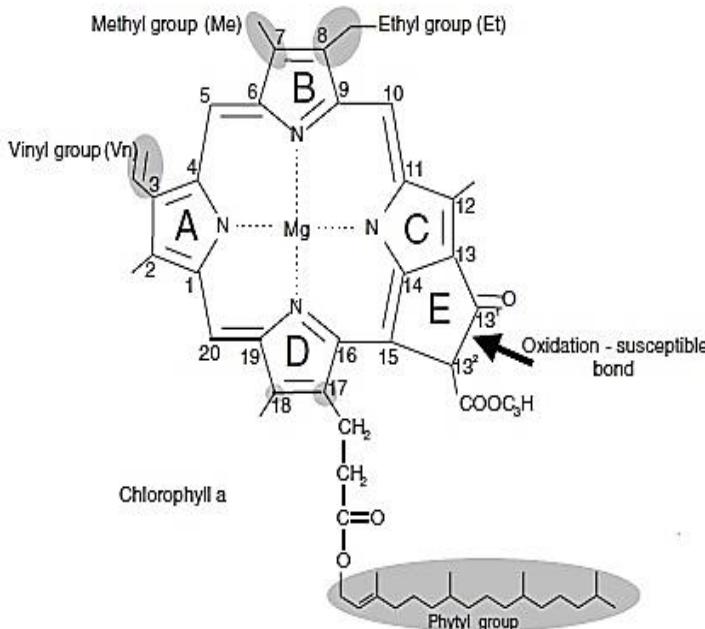
Istilah "klorofil" berasal dari bahasa Yunani, yaitu "chloros" berarti hijau dan "phyllon" berarti daun. Klorofil merupakan salah satu jenis pigmen sumber pewarna alami berwarna hijau yang terdapat dalam semua tumbuhan yang berfotosintesis. Dalam daun, klorofil terletak pada kloroplast yang berada pada sel mesofil daun (Gambar 2.2), sehingga jika akan digunakan sebagai pewarna klorofil harus diekstraksi terlebih dahulu. Di Indonesia terdapat dua jenis tanaman yang paling banyak digunakan sebagai sumber klorofil yaitu daun pandan wangi (*Pandanus amaryfolius*) dan daun suji (*Pleomele angustifolia*) (Andarwulan & Faradilla, 2012). Kelebihan daun pandan wangi adalah memiliki aroma khas seperti vanilin (Ningrum & Schreiner, 2014) karena mengandung senyawa 2-asetil pyrolin (Poonlaphdecha et al., 2016). Secara umum di dunia tanaman yang potensial sebagai sumber klorofil komersial adalah tanaman alfalfa (lucerne), nettle, bayam dan jenis rumput-rumputan lainnya (IACM, 2018). Kadar klorofil daun alfalfa 0,39–4,60 mg/g daun segar (Petisco et al., 2009), nettle 0,84 mg/g daun segar (Hojnik et al., 2007) dan bayam 288.02–1032.95 mg/g daun kering (Deveci & Uzun, 2011) sedangkan pada daun pandan tua 623,08 mg/100 g bk Suryani et al. (2020).

2.1.2 Struktur kimia dan karakteristik klorofil

Secara kimia klorofil adalah porfirin, yaitu pigmen tetrapiro makrosiklik dengan cincin pirol yang dihubungkan dengan jembatan metin dan membentuk sistem sirkuit tertutup dengan ikatan ganda terkonjugasi. Pada pusat porfirin terdapat atom magnesium yang berhubungan dengan nitrogen dari empat pirol. Keberadaan sirkuit tertutup dengan ikatan rangkap terkonjugasi yang disebut kromofor, memungkinkan klorofil dapat mengabsorbsi cahaya (Rodriguez-Amaya, 2016). Berdasarkan struktur kimianya seperti pada Gambar 2.3 molekul klorofil a terdiri dari cincin porfirin yang terdiri dari empat cincin pirol yang lebih kecil dengan ion magnesium di pusatnya dan ekor hidrokarbon yang panjang. Klorofil b dan bakterioklorofil a mengandung substitusi spesifik sesuai indikasi. Misalnya, gugus $-\text{CH}_3$ pada cincin II digantikan oleh gugus $-\text{CHO}$ pada klorofil b. Klorofil a terdapat pada semua organisme fotosintetik penghasil oksigen,

namun tidak terdapat pada berbagai bakteri belerang. Selain itu klorofil a dan klorofil b terdapat pada semua tumbuhan tingkat tinggi dan alga hijau.

Molekul klorofil mempunyai bagian hidrofilik yaitu bagian makrosiklik dan segmen hidrofobik adalah fitol pada ekornya. Oleh karena itu klorofil bersifat amphifilik dan tidak larut dalam air.



Gambar 2.3. Struktur klorofil a
(Delgado-Vargas & Paredes-López, 2003)

2.1.3 Sifat fungsional klorofil

1. Aktivitas antioksidan

Secara umum jika klorofil terpapar oleh cahaya, klorofil akan bertindak sebagai prooksidan karena kemampuannya dalam mengabsorbsi energi cahaya sehingga dapat terjadi fotooksidasi. Keberadaan klorofil dalam jumlah kecil pada minyak zaitun dapat meningkatkan kecepatan oksidasi minyak jika minyak terpapar oleh cahaya (Kim & Choe, 2013). Namun banyak penelitian telah membuktikan bahwa klorofil mampu berperan sebagai

antioksidan. Banyak peneliti telah membahas aktivitas antioksidan klorofil dan turunannya. Endo et al. (1985) menyatakan bahwa selama penyimpanan metil linoleat dalam gelap, klorofil dan feofitin bertindak sebagai antioksidan untuk mencegah oksidasi metil linoleat. Mekanisme kerja antioksidan klorofil mirip dengan mekanisme kerja antioksidan fenolik (Endo et al., 1985) dan untuk mendonorkan hydrogen namun karena dapat mencegah oksidasi linoleate atau mencegah pembentukan hidroperoksida (Lanfer-marquez et al., 2005). Aktivitas antioksidan klorofil juga dipengaruhi oleh proses derivatisasinya. Suryani et al. (2020) menunjukkan bahwa derivatisasi klorofil dapat menurunkan aktivitas antioksidannya. Kemampuan menghambat peroksidasi asam lenoleat ekstrak klorofil dan derivatnya selama waktu pengujian mirip dengan BHT, namun pada hari keenam kemampuan penghambatan peroksidasi linoleat ekstrak klorofil dan feoforbid menurun.

2. Antivirus

Turunan klorofil feoforbid a, senyawa porfirin yang mirip dengan protoporfirin IX pada hewan, memiliki aktivitas antivirus yang tinggi terhadap SARS-CoV-2, mencegah infeksi pada sel monyet dan manusia yang dibudidayakan, tanpa terdeteksi sitotoksitas yang nyata (Jimenez-Aleman et al., 2021). Demikian pula derivate klorofil Zn-klorofil dapat digunakan untuk terapi covid 19 (Clark & Taylor-Robinson, 2021).

3. Antidiabetes

Hasil penelitian menunjukkan klorofil-a dan turunannya memiliki aktivitas antidiabetes, seperti mengurangi hiperglikemia, hiperinsulinemia, dan hipertrigliseridemia. Klorofil-a mampu menurunkan pelepasan glukosa hati dan laju glikogenolisis serta menstimulasi jalur glikolitik pada DM/PDT pada hewan coba. Selain itu, terjadi penurunan stres oksidatif hati yang ditunjukkan dengan adanya penurunan lipoperoksidasi, spesies oksigen reaktif, dan protein berkarbonilasi pada hati tikus T1DM yang diberi asupan klorofil (Wunderlich et al., 2020).

2.2 Flavonoid

2.2.1 Pengantar Flavonoid

Flavonoid adalah sekelompok senyawa alami dengan struktur fenolik yang bervariasi dan ditemukan pada tumbuhan. Hingga kini lebih dari 4000 jenis flavonoid telah diidentifikasi (Kumar & Pandey, 2013). Istilah “flavonoid” berasal dari Bahasa Latin yaitu *flavus* yang berarti kuning. Istilah ini diusulkan oleh Geisman dan Heinseiner untuk menggambarkan semua pigmen tumbuhan yang memiliki kerangka dua cincin benzena dihubungkan melalui unit C3 atau C6—C3—C6 (Kaurinovic & Vastag, 2019).

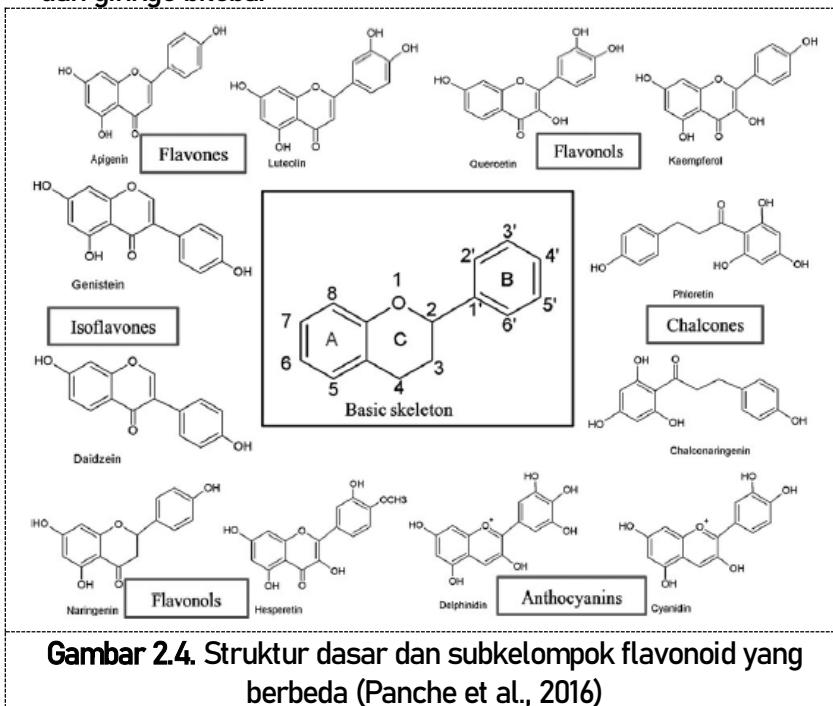
Flavonoid banyak terdapat pada buah-buahan, sayuran dan umbi-umbian berwarna serta pada tanaman yang sering diambil ekstraknya untuk minuman seperti anggur, teh, dan rempah-rempah. Senyawa ini banyak ditemukan dalam vakuola, kloroplas, dan kromoplas, dalam bentuk glikosida, dan dalam sel-sel mati yang bebas dari glikosida. Flavonoid memiliki beberapa subkelompok, yang meliputi chalkon, flavon, flavanol, dan isoflavon. Subgrup ini mempunyai sumber utama yang unik. Misalnya, bawang merah/putih/bombay dan teh merupakan makanan sumber utama flavonol dan flavon (Panche et al., 2016).

2.2.2 Struktur kimia dan karakteristik flavonoid

Flavonoid adalah golongan polifenol yang tersusun oleh 15 atom karbon sebagai inti dasarnya dengan konfigurasi C6-C3-C6. Flavonoid terdiri dari 2 cincin aromatik yang dihubungkan oleh tiga atom karbon yang membentuk cincin ketiga atau tidak dalam bentuk cincin ketiga seperti disajikan pada Gambar 2.4. Variabilitas flavonoid sebagian besar disebabkan oleh perbedaan struktur cincin aglikon dan keadaan oksidasi/reduksinya, keadaan hidroksilasi aglikon dan posisi gugus hidroksil serta derivatisasi gugus hidroksil dengan gugus metil, karbohidrat, atau isoprenoid. Klasifikasi flavonoid menjadi subkelompok didasarkan pada gugus fungsi pada cincin C dan subkelompoknya termasuk antosianidin, flavanol, flavon, flavonol, flavanon, dan isoflavonoid (Panche et al., 2016). Flavonoid terbagi dalam beberapa subkelompok yaitu antosianidin, flavanol, flavon,

flavonol, flavanon, dan isoflavanoid seperti disajikan pada Gambar 2.4 dan Gambar 2.5.

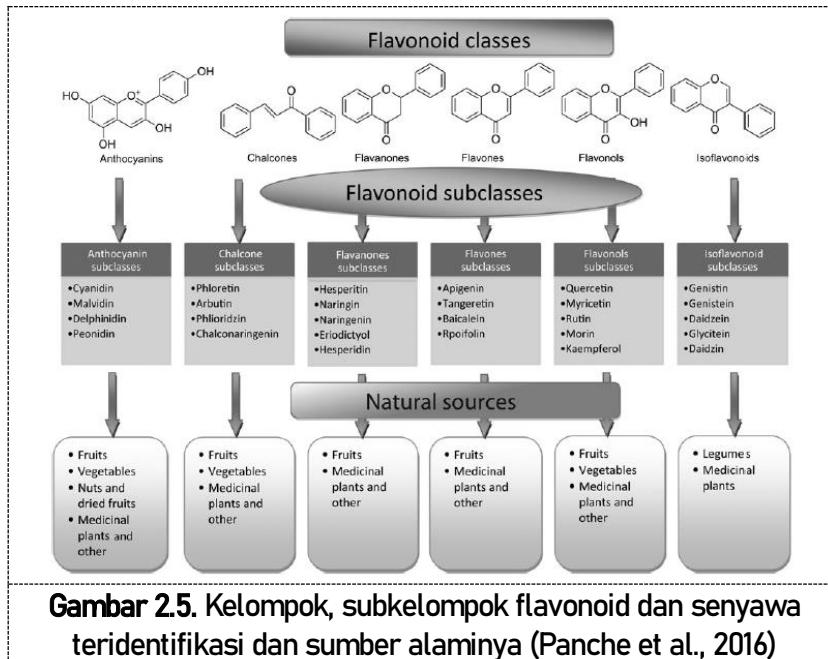
1. Flavon adalah salah satu subkelompok paling penting dari flavonoid. Flavon mempunyai ikatan rangkap pada posisi 2 dan 3 serta keton pada posisi 4 dalam cincin C. Flavon banyak terdapat pada daun, bunga, dan buah sebagai glukosida. Sumber utama flavon adalah seledri, peterseli, paprika merah, kamomil, mint, dan ginkgo biloba.



Gambar 2.4. Struktur dasar dan subkelompok flavonoid yang berbeda (Panche et al., 2016)

2. Flavonol merupakan senyawa flavonoid yang mempunyai gugus keton. Flavonol merupakan bahan pembentuk proanthocyanin. Senyawa ini banyak terdapat pada buah dan sayuran. Flavonol yang paling banyak diteliti adalah kaempferol, quercetin, myricetin, dan fisetin. Sayuran seperti bawang bombay, kangkung, selada, dan tomat, dan buah-buahan seperti apel, anggur merah, dan buah beri serta teh merupakan sumber flavonol.

3. Flavanon adalah subkelompok flavonoid penting lainnya yang umumnya terdapat pada semua jenis buah jeruk seperti oranges, lemon, dan anggur. Senyawa inilah yang menyebabkan rasa pahit pada jus dan kulit buah jeruk. Contoh flavonoid yang termasuk subkelompok ini adalah hesperitin, naringenin dan eriodictyol.
4. Isoflavonoid adalah subkelompok flavonoid yang besar dan sangat khas. Sebagian besar isoflavonoid ditemukan pada kacang kedelai dan tanaman polong-polongan lainnya, dan secara terbatas tersebar pada berbagai jenis tumbuhan. Isoflavon seperti genistein dan daidzein umumnya dianggap sebagai fitoestrogen karena aktivitas estrogeniknya pada model hewan percobaan.
5. Antosianidin adalah pigmen yang bertanggung jawab atas warna pada tumbuhan, bunga, dan buah. Antosianidin yang paling banyak dipelajari adalah cyanidin, delphinidin, malvidin, pelargonidin dan peonidin. Senyawa tersebut banyak ditemukan pada lapisan sel luar berbagai buah-buahan seperti cranberry, blackcurrant, anggur merah, anggur merlot, raspberry, stroberi, blueberry, bilberry dan blackberry.
6. Kalkon adalah subkelompok dari flavonoid. Senyawa ini tidak mempunyai 'cincin C' pada struktur kerangka dasar flavonoid yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Oleh karena itu dapat disebut sebagai flavonoid rantai terbuka. Contoh utama kalkon adalah phloridzin, arbutin, phloretin dan chalconaringenin. Kalkon terdapat dalam jumlah besar pada tomat, pir, stroberi, bearberry, dan produk gandum tertentu.



Gambar 2.5. Kelompok, subkelompok flavonoid dan senyawa teridentifikasi dan sumber alaminya (Panche et al., 2016)

2.2.3 Sifat fungsional flavonoid

1. Aktivitas antioksidan

Antioksidan yang ditambahkan dalam makanan atau yang secara alami telah ada dalam makanan dapat bersifat primer atau sekunder. Antioksidan primer adalah antioksidan yang berperan dalam menetralkan radikal bebas dengan menyumbangkan atom hidrogen (transfer atom hidrogen atau HAT) atau melalui mekanisme transfer elektron tunggal (ET). Sedangkan antioksidan sekunder merupakan antioksidan yang dapat menetralisir katalis prooksidan. Yang termasuk dalam golongan ini adalah khelator ion logam prooksidan (misalnya besi dan tembaga), misalnya dengan asam *thylene diamine tetraacetic* (EDTA) dan asam sitrat (CA) atau menonaktifkan spesies reaktif seperti oksigen singlet (misalnya beta-karoten) (Shahidi, 2015).

Berbagai hasil penelitian tentang fungsi flavonoid sebagai antioksidan menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan flavonoid secara kimiawi disebabkan oleh mekanisme penangkapan radikal bebas. Secara umum, mekanisme antioksidatif flavonoid adalah

karena mampu menangkap radikal bebas dan mengkhelat ion logam transisi. Aktivitas antioksidan flavonoid diakibatkan oleh keberadaan ikatan rangkap C=C dan 4-gugus karbonil dalam cincin C, gugus hidroksil, glikosilasi, dan o-metilasi. Kehadiran gugus OH yang terikat langsung dengan atom karbon pada cincin benzena menentukan peran antioksidan dari flavonoid, asam fenolik, dan esternya (Wang et al., 2018).

2. Imunomodulatory

Flavonoid sebagai senyawa polifenol alami berpotensi untuk mengobati berbagai penyakit karena mempunyai aktivitas imunomodulator, antioksidan, dan aktivitas antineoplastiknya (Han et al., 2022). Beberapa jenis flavonoid tersebut adalah galangin, kaempferide, quercetin, myricetin dan Epigalokatekin galat. Hasil penelitian menunjukkan quercetin dan myricetin mampu menghambat virus dengan baik. Penghambatan tersebut disebabkan karena keberadaan gugus hidroksil labil pada cincin B struktur flavonoid dan ikatan rangkap pada cincin C, sehingga dapat terjadi interaksi antara protease dan flavonoid. Akibatnya virus tidak bisa melakukan pembelahan sel. Flavonoid mampu menghambat pertumbuhan virus ZIKV dengan menghambat protease virus NS2B-NS3 yaitu dengan menempel pada sisi aktif enzim, sehingga menghambat pembelahan sel virus (Lima et al., 2021).

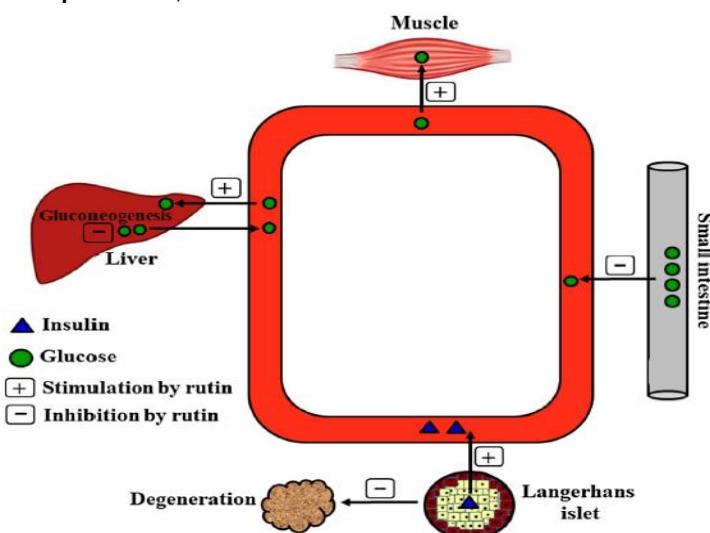
3. Anti-inflamasi

Inflamasi atau peradangan adalah proses biologis normal sebagai respons terhadap cedera jaringan, infeksi patogen mikroba, dan iritasi kimia. Proses peradangan diikuti dengan rekrutmen sel inflamasi, pelepasan ROS, RNS, dan sitokin proinflamasi untuk menghilangkan patogen asing, dan memperbaiki jaringan yang terluka. Secara umum, peradangan normal terjadi dengan cepat dan dapat sembuh dengan sendirinya, namun peradangan yang berkepanjangan menyebabkan berbagai gangguan kronis. Sistem kekebalan tubuh dapat ditingkatkan dengan asupan makanan yang sesuai, agen farmakologis, dan bahan kimia makanan alami lainnya. Flavonoid secara signifikan dapat mempengaruhi fungsi sistem kekebalan tubuh dan sel-sel inflamasi (Kumar & Pandey,

2013). Sejumlah flavonoid seperti hesperidin, apigenin, luteolin, dan quercetin dilaporkan memiliki efek antiinflamasi dan analgesik. Mekanisme antiinflamasi dari flavonoid menurut Rathee et al. (2009) adalah flavonoid memiliki peran pengaturan pada berbagai hormon seperti estrogen, endrogen, dan hormon tiroid dan memiliki aktivitas anti-inflamasi pada fase peradangan proliferatif dan eksudatif.

4. Antidiabetes

Potensi antidiabetik flavonoid sangat besar karena efek modulasi transporter gula darah sehingga dapat meningkatkan sekresi insulin, mengurangi apoptosis, dan mendorong proliferasi sel β pankreas, mengurangi resistensi insulin, peradangan dan stres oksidatif pada pasien. Hasil penelitian Suryani et al. (2018) membuktikan pemberian ekstrak etil asetat daun pandan yang banyak mengandung flavonoid pada tikus diabetes dapat menurunkan kadar glukosa darah dan kerusakan hati akibat stres oksidatif dapat menurun. Mekanisme antidiabetes dijelaskan lebih lanjut oleh Ghorbani (2017) seperti pada Gambar 2.6. Asupan flavonoid rutin akan menstimulasi ekskresi insulin dari sel beta pankreas, memperbaiki peradangan akibat stress oksidatif pada hati, serta menurunkan resistensi insulin.



Gambar 2.6. Mekanisme antidiabetes flavonoid (Ghorbani, 2017)

5. Antihiperlidemik

Hiperlipidemia adalah kelainan metabolisme sistemik yaitu jika satu atau lebih lipid, termasuk kolesterol total (TC), trigliserida (TG), dan kolesterol lipoprotein densitas rendah (LDL-c) dalam plasma. lebih tinggi. Hal ini terjadi karena metabolisme lemak atau transportasi lemak yang tidak normal. Kondisi hiperlipidemia disebabkan oleh asupan lemak yang berlebihan. Beberapa penelitian membuktikan bahwa flavonoid juga mempunyai aktivitas hipolipidemik antara lain flavonoid dari kulit buah jeruk (Ling et al., 2020), quercetin, rutin, morin atau naringenin (Oliveira et al., 2007), dan proantosinidin (Bladé et al., 2010). Flavonoid menghambat oksidasi LDL melalui mekanisme: (a). menghilangkan spesies radikal, (b) menyumbangkan ion hidrogen, dan (c) mengelat logam transisi pro-oksidan divalen seperti besi dan tembaga (Unnikrishnan et al., 2013).

2.3 Karotenoid

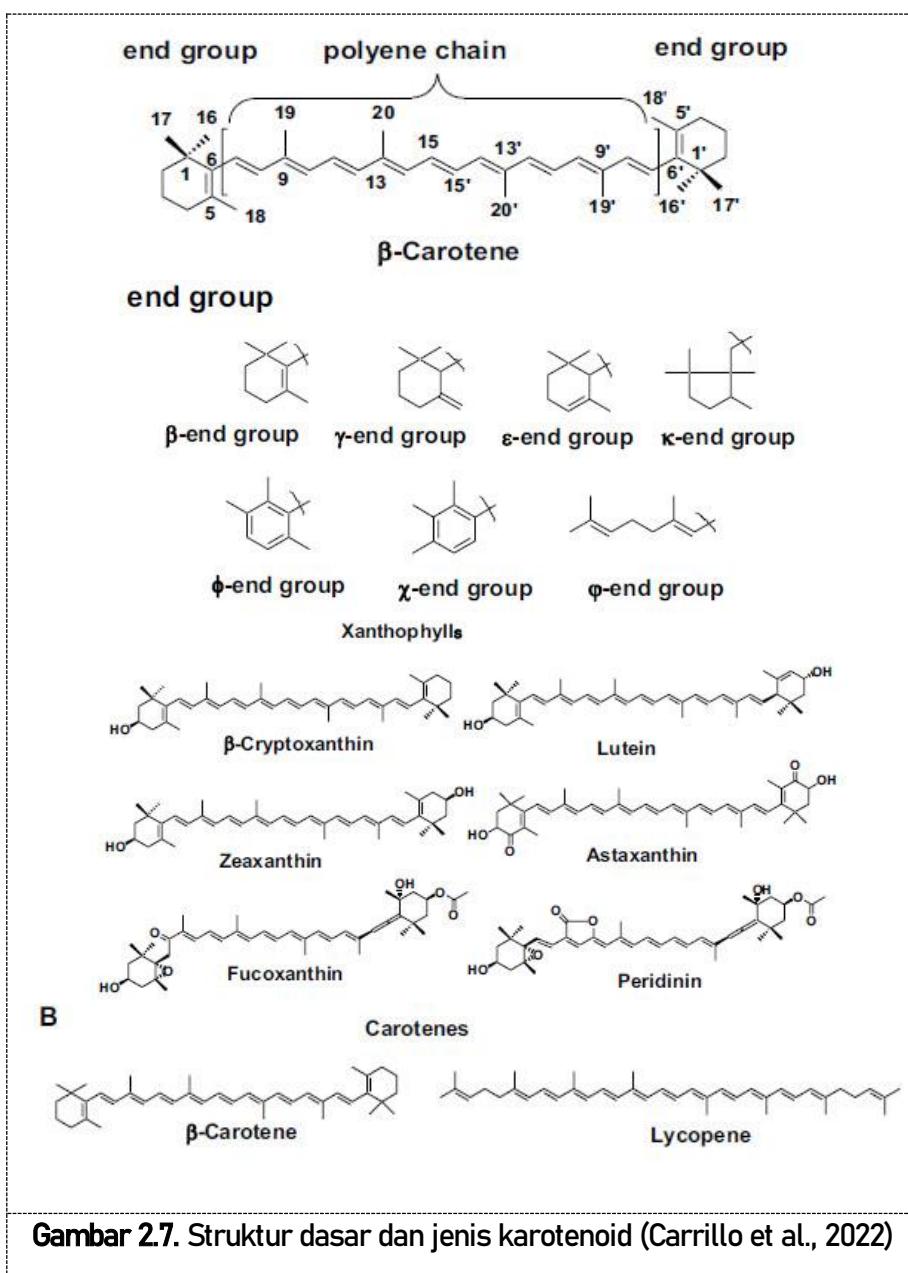
2.3.1 Pengantar Karotenoid

Karotenoid adalah pigmen organik yaitu pigmen tetraterpenoid yang menunjukkan warna kuning, oranye, merah dan ungu. Pigmen ini yang paling banyak terdistribusi di alam dan terdapat pada bakteri fotosintetik, beberapa spesies archaea dan jamur, alga, tumbuhan, dan hewan. Karotenoid berperan dalam memberi karakteristik warna buah dan sayuran yang kekuningan, oranye, dan kemerahan. Selain itu, karena karoten larut dalam lemak maka karotenoid juga dapat dijumpai secara hidup dalam minyak dan terakumulasi dalam jaringan lemak hewan, seperti salmon, flamingo, lobster, belanak, kepiting, dan kerang-kerangan. Berdasarkan data komposisi bahan makanan diketahui beberapa jenis ikan banyak mengandung karoten yaitu ikan mujahir/mujair β -karoten 3.00 mcg dan karoten total 8.00 mcg, ikan teri karoten total 28.00 mcg, dan ikan salmon karotennya mencapai 136 mcg/100 g yang dapat dimakan (Kementerian Kesehatan, 2018).

2.3.2 Struktur kimia dan karakteristik karotenoid

Ribuan jenis karotenoid telah diidentifikasi dan dikategorikan menjadi dua kelompok utama yaitu xantofil yang mempunyai atom oksigen dalam rumus kimianya dan karoten yang tidak mempunyai oksigen dalam rantai hidrokarbonnya. Karotenoid sebagian besar berasal dari tumbuhan. Struktur kimia dasar karotenoid adalah rantai poliena dengan ikatan rangkap dan mungkin terdapat cincin diujung rantainya (Gambar 2.7). Keberadaan ikatan rangkap terkonjugasi dan cincin pada rantai poliena memungkinkan aktivitas biologis karotenoid terutama sebagai pendonor elektron sehingga dapat berperan sebagai antioksidan. Dalam tanaman karotenoid bertindak sebagai penyerap cahaya dan memicu reaksi fotosintesis serta memberikan fotoproteksi terhadap timbulnya stres abiotik, menghasilkan warna tanaman, dan merangsang sinyal sel (Carrillo et al., 2022; Soffers et al., 1999).

Kebanyakan karotenoid terdiri dari delapan unit isoprena dengan kerangka 40 karbon. Struktur rantai poliena dan kelompok akhir karotenoid ditunjukkan pada Gambar 2.7. Karotenoid dibagi menjadi dua kelompok: karoten dan xantofil. Karoten, seperti α -karoten, β -karoten, β,ψ -karoten (γ -karoten), dan likopen, merupakan hidrokarbon.



Gambar 2.7. Struktur dasar dan jenis karotenoid (Carrillo et al., 2022)

Gambar 2.7 menunjukkan struktur karoten dan xantofil yang khas. Kebanyakan karotenoid memiliki kerangka 40 karbon (karotenoid C40). Beberapa karotenoid memiliki kerangka 45 atau 50 karbon, yang disebut karotenoid tingkat tinggi. Sekitar 40 jenis karotenoid tingkat tinggi terdapat pada beberapa spesies archaea. Di sisi lain, karotenoid yang tersusun dari kerangka karbon dengan jumlah karbon kurang dari 40 disebut apokarotenoid. Sekitar 120 jenis apocarotenoid terdapat pada beberapa spesies tumbuhan dan hewan sebagai produk degradasi karotenoid C40.

2.3.3 Sifat fungsional karotenoid

1. Aktivitas antioksidan

Fungsi utama karotenoid pada manusia adalah sebagai prekursor vitamin A (retinol) dan berperan dalam regulasi gen yang terkait dengan proses fisiologis dan perkembangan (asam retinoat). Beta-karoten adalah karotenoid sumber provitamin A utama dalam tubuh manusia. Karotenoid lainnya adalah β -cryptoxanthin dan α -karoten. Nonprovitamin karotenoid A (termasuk zeaxanthin, lycopene, dan lutein yang banyak terdapat tubuh manusia) dan provitamin A dapat bertindak sebagai antioksidan dan filter fotoprotektif terhadap cahaya biru. Saat ini, terdapat perspektif baru mengenai peran karotenoid dan produk turunannya yang dihubungkan dengan kontrol akumulasi lemak dalam tubuh dan pada jaringan adiposit, sehingga dimungkinkan mempunyai implikasi terhadap penurunan obesitas (Mounien et al., 2019).

2. Antidiabetes

Selain berperan sebagai antioksidan, karotenoid juga memiliki aktivitas antidiabetes. Karotenoid dapat berfungsi untuk pencegahan dan untuk terapi kesembuhan diabetes melalui mekanisme molekuler. Asupan vitamin A dalam tubuh berperan dalam menjaga jaringan epitel penyusun organ yang berperan dalam proses ekskresi/sekresi/absorbs (Lin et al., 2010). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa karotenoid dapat meningkatkan sensitivitas insulin, serta dapat memberikan

perlindungan dari neuropati dan abnormalitas syaraf akibat diabetes (Roohbakhsh et al., 2017). Pada penderita diabetes produksi radikal lebih banyak sehingga terjadi stress oksidatif yang lebih banyak pula. Stres oksidatif mengganggu sekresi insulin dan meningkatkan resistensi terhadap insulin. Karotenoid seperti bixin dan astaxanthin, sebagai antioksidan kuat, mencegah stres oksidatif dan komplikasi akibat DM.

DAFTAR PUSTAKA

- Andarwulan, N., & Faradilla, R. H. F. (2012). Pewarna Alami Untuk Pangan. Seafast, Bogor.
- Bladé, C., Arola, L., & Salvadó, M. J. (2010). Hypolipidemic effects of proanthocyanidins and their underlying biochemical and molecular mechanisms. *Molecular Nutrition and Food Research*, 54(1), 37–59. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200900476>
- Carrillo, C., Nieto, G., Martínez-Zamora, L., Ros, G., Kamiloglu, S., Munekata, P. E. S., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., Fernández-López, J., Viuda-Martos, M., Pérez-Álvarez, J. Á., & Barba, F. J. (2022). Novel Approaches for the Recovery of Natural Pigments with Potential Health Effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6864–6883. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c07208>
- Clark, N. F., & Taylor-Robinson, A. W. (2021). COVID-19 Therapy: Could a Copper Derivative of Chlorophyll a Be Used to Treat Lymphopenia Associated With Severe Symptoms of SARS-CoV-2 Infection? *Frontiers in Medicine*, 8(March), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fmed.2021.620175>
- Delgado-Vargas, F., & Paredes-López, O. (2003). Natural Colorants for Food and Nutraceutical Uses. CRC Press, Boca raton. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(03\)00076-1](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(03)00076-1)
- Deveci, M., & Uzun, E. (2011). Determination of phenolic compounds and chlorophyll content of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) at different growth stages. *Asian Journal of Chemistry*, 23(8), 3739–3743.
- Endo, Y., Usuki, R., & Kaneda, T. (1985). Antioxidant effects of chlorophyll and pheophytin on the autoxidation of oils in the dark. I. Comparison of the inhibitory effects. *62(9)*, 1375–1376.
- Ghorbani, A. (2017). Mechanisms of antidiabetic effects of flavonoid rutin. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 96(August), 305–312. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.10.001>
- Han, L., Fu, Q., Deng, C., Luo, L., Xiang, T., & Zhao, H. (2022). Immunomodulatory potential of flavonoids for the treatment of autoimmune diseases and tumour. *Scandinavian Journal of*

- Immunology, 95(1), 1–19. <https://doi.org/10.1111/sji.13106>
- Hojnik, M., Skerget, M., & Knez, Z. (2007). Isolation of chlorophylls from stinging nettle (*Urtica dioica L.*). Separation and Purification Technology, 57, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2007.02.018>
- IACM (International Association of Color Manufacturers. (2018). Chlorophylls and Chlorophyllins , Copper Complexes (Issue 75815, pp. 5–6). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4151>.
- Jimenez-Aleman, G. H., Castro, V., Londaitsbehere, A., Gutierrez-Rodríguez, M., Garaigorta, U., Solano, R., & Gastaminza, P. (2021). Sars-cov-2 fears green: The chlorophyll catabolite pheophorbide a is a potent antiviral. *Pharmaceuticals*, 14(10), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ph14101048>
- Karp, G. (2010). Cell and Molecuar Biology, Concepts and Experiments (6th edn). John Wley and son, New Jersey.
- Kaurinovic, B., & Vastag, D. (2019). Flavonoids and Phenolic Acids as Potential Natural Antioxidants. In Antioxidants. <https://doi.org/10.5772/intechopen.83731>
- Kementerian Kesehatan. (2018). Food Composition Table—Indonesia (Daftar Komposisi Bahan Makanan). Kementerian Kesehatan RI.
- Kim, N., & Choe, E (2013). Contribution of minor compounds to the singlet oxygen-related photooxidation of olive and perilla oil blend. *Food Science and Biotechnology*, 22(2), 315–321. <https://doi.org/10.1007/s10068-013-0083-z>
- Lanfer-Marquez, U. M., Barros, R. M. C., & Sinnecker, P. (2005). Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. 38, 885–891. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.012>
- Lima, C. S., Melina Mottin, L. R. de A, & Nathalya Cristina de Moraes Roso Mesquita, Bruna Katiele de Paula Sousa, Lais Durco Coimbrad, Karina Bispo dos Santose, Kimberley M. Zornf, Rafael V. C. Guido, Sean Ekins, Rafael Elias Marquesd, José Luiz Proença-Modenae, Glaucius Olivac, Carolina Horta A, L. O. R. (2021). Flavonoids from *Pterogyne nitens* as Zika virus NS2B-NS3 protease inhibitors. *Bioorg Chem*, 109(104719), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2021.104719.Flavonoids>

- Lin, J., Hu, F. B., & Curhan, G. C. (2010). Associations of Diet with Albuminuria and Kidney Function Decline. *Clin J Am Soc Nephrol*, 5, 836–843. <https://doi.org/10.2215/CJN.08001109>
- Ling, Y., Shi, Z., Yang, X., Cai, Z., Wang, L., Wu, X., Ye, A., & Jiang, J. (2020). Hypolipidemic effect of pure total flavonoids from peel of Citrus (PTFC) on hamsters of hyperlipidemia and its potential mechanism. *Experimental Gerontology*, 130, 110786. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2019.110786>
- Mounien, L., & Tourniaire FranckJean-Francois Landrier. (2019). Anti-Obesity Effect of Carotenoids: Direct Impact on Adipose Tissue and Adipose Tissue-Driven Indirect Effect. *Nutrients*, 11, 1–14.
- Ningrum, A., & Schreiner, M. (2014). Pandan leaves (Pandanus amaryllifolius Roxb.) "Vanilla of the East" and its Application as Food Ingredient. *Tropentag*, September, 17–19.
- Oliveira, T. T., Ricardo, K. F. S., Almeida, M. R., Costa, M. R., & Nagem, T. J. (2007). Hypolipidemic effect of flavonoids and cholestyramine in rats. *Latin American Journal of Pharmacy*, 26(3), 407–410.
- Panche, A. N., Diwan, A. D., & Chandra, S. R. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- Petisco, C., García-Criado, B., García-Criado, L., Vázquez-de-Aldana, B. R., & García-Ciudad, A. (2009). Quantitative analysis of chlorophyll and protein in alfalfa leaves using fiber-optic near-infrared spectroscopy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40(15–16), 2474–2484. <https://doi.org/10.1080/00103620903111350>
- Poonlaphdecha, J., Gantet, P., Maraval, I., Sauvage, F., Menut, C., Morère, A., Boulanger, R., Wüst, M., & Gunata, Z. (2016). Biosynthesis of 2-acetyl-1-pyrroline in rice calli cultures: Demonstration of 1-pyrroline as a limiting substrate. *Food Chemistry*, 197, 965–971. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.060>
- Rathee, P., Chaudhary, H., Rathee, S., Rathee, D., Kumar, V., & Kohli, K. (2009). Mechanism of action of flavonoids as anti-inflammatory agents: A review. *Inflammation and Allergy -*

- Drug Targets, 8(3), 229–235.
<https://doi.org/10.2174/187152809788681029>
- Rodriguez-Amaya, D. B. (2016). Natural food pigments and colorants. Current Opinion in Food Science, 7, 20–26.
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.004>
- Roohbakhsh, A., Karimi, G., & Iranshahi, M. (2017). Carotenoids in the treatment of diabetes mellitus and its complications: A mechanistic review. Biomedicine and Pharmacotherapy, 91, 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.04.057>
- Shahidi, F. (2015). Antioxidants: principles and applications. In F. Shahidi (Ed.), *Handbook of Antioxidants for Food Preservation* (pp. 1–14). Woodhead Publishing Limited, Amsterdam.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-089-7.00001-4>
- Soffers, A. E. M. F., Van Haandel, M. J. H., Boersma, M. G., Tyrakowska, B., Laane, C., & Rietjens, I. M. C. M. (1999). Antioxidant activities of carotenoids: Quantitative relationships between theoretical calculations and experimental literature data. Free Radical Research, 30(3), 233–240.
<https://doi.org/10.1080/10715769900300251>
- Suryani, C. L., Tamaroh, S., & Budipitojo, T. (2018). Increased of hypoglycemic effect and pancreatic regeneration of Pandanus amaryfollius leaves ethyl acetate extract in streptozotocin-induced diabetic rats. International Food Research Journal, 25(5), 1792–1798. <http://www.ifrj.upm.edu.my>
- Suryani, C. L., Wahyuningsih, T., Supriyadi, & Santoso, U. (2020). The potential of mature pandan leaves as a source of chlorophyll for natural colorants. Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 32(2).
- Suryani, Chatarina Lilis, Wahyuningsih, T. D., Supriyadi, & Santoso, U. (2020). Derivatization of chlorophyll from pandan (Pandanus amaryllifolius Roxb.) leaves and their antioxidant activity. Periodico Tche Quimica, 17(36), 1110–1126. www.periodico.tchequimica.com
- Unnikrishnan, M. K., Veerapur, V., Nayak, Y., Mudgal, P. P., & Mathew, G. (2013). Antidiabetic, Antihyperlipidemic and Antioxidant Effects of the Flavonoids. In *Polyphenols in Human Health and Disease*

(Vol. 1). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398456-2.00013-X>

Wang, T. yang, Li, Q., & Bi, K. shun. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13(1), 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2017.08.004>

Wunderlich, A. L. M., Azevedo, S. C. S. F., Yamada, L. A., Bataglini, C., Previato, C., Campanholi, K. S. S., Pereira, P. C. S., Caetano, W., Kaplum, V., Nakamura, C. V., Nakanishi, A. B. S., Comar, J. F., Pedrosa, M. M. D., & Godoi, V. A. F. (2020). Chlorophyll treatment combined with photostimulation increases glycolysis and decreases oxidative stress in the liver of type 1 diabetic rats. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 53(1), 1–10. <https://doi.org/10.1590/1414-431x20198389>

BAB 3

SIFAT FUNGSIONAL ASAM LEMAK JENUH

Oleh Anna Permatasari Kamarudin

3.1 Pendahuluan

Asam lemak jenuh adalah jenis asam lemak yang memiliki rantai hidrokarbon lurus dengan ikatan tunggal antara semua atom karbonnya. Hal ini membuat asam lemak jenuh padat pada suhu kamar. ditemukan dalam berbagai macam makanan, termasuk daging, susu, telur, dan minyak kelapa.

Ikatan rangkap tidak terdapat pada asam lemak jenuh, karena asam lemak yang jenuh mempunyai hidrogen yang lebih sedikit (karena tidak ada ikatan rangkap, maka jumlah hidrogen pada masing-masing karbon berkurang). Asam lemak jenuh hanya memiliki ikatan tunggal. Sifat non-esensial terdapat pada asam lemak jenuh ini, karena asam lemak jenuh ini dapat disintesis oleh tubuh. Jenis asam lemak jenuh ini berwujud padat pada suhu kamar. Asam lemak jenuh kebanyakannya berasal dari lemak hewani, misalnya keju, krim, minyak samin, mentega, es krim, dan termasuk lemak yang menempel pada bagian daging.

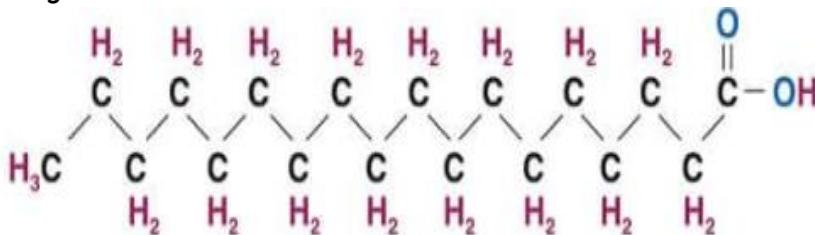
Berat badan yang normal yang didapatkan setelah sebelumnya mempunyai berat badan yang berlebihan, akan mengalami penurunan kolesterol secara alami. Hal yang sama juga dapat dilakukan dengan mengonsumsi karbohidrat untuk menggantikan asupan lemak. Diet dengan mengurangi asupan asam lemak jenuh secara alami akan menurunkan kadar kolesterol dalam tubuh. Pemilihan lemak dalam makanan, dan memilih jenis lemak juga dapat menurunkan kadar kolesterol, terutamanya lemak jenuh. Sebaiknya diet mengandung sedikit lemak jenuh agar tubuh lebih sehat.

Syarat dari sifat fungsional asam lemak jenuh adalah (1) Produk tersebut bukan berbentuk tablet,, kapsul, tablet atau bubuk namun berasal dari bahan bahan pangan alami yang tidak berubah secara fisik dan rasanya (2) Produk tersebut biasa dan sesuai

dikonsumsi sebagai bagian dari menu diet atau menu makanan sehari-hari (3) Produk tersebut mempunyai peran dan fungsi tertentu dalam proses tubuh seperti mencegah penyakit, meningkatkan daya tahan tubuh, mempengaruhi tumbuhnya sel-sel baru, mempercepat proses penyembuhan dan menunda panuaan.

3.2 Konsep Teoritis

Asam lemak merupakan rantai karbon yang mengikat semua hidrogen.



Gambar 3.1. Asam Stearat ($C_{18}H_{36}O_2$)

Sumber: <https://medmunch.com/saturated-fats-what-you-need-to-know/>

Rantai tunggal pada asam lemak jenuh dapat dilihat pada Gambar 3.1. Asam lemak jenuh banyak mempunyai ikatan rantai tunggal. Struktur kimia dan tatanama asam lemak jenuh ditampilkan pada Tabel 3.1. Ikatan karbon yang dimiliki adalah antara 2 hingga 24. Sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Struktur Kimia dan Tatanama Asam Lemak Jenuh

| Nama Umum | Σ Karbon | Nama sistematis | Struktur Kimia |
|-------------------------|-----------------|-----------------|--|
| Asetat (acetic) | 2 | Etanoat | CH_3COOH |
| Butirat (butyric) | 4 | Butanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$ |
| Valerat (valeric) | 5 | Pentanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$ |
| Kaproat (caproic) | 6 | Heksanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ |
| Enantat (enanthic) | 7 | Heptanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$ |
| Kaprilit (caprylic) | 8 | Oktanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$ |
| Pelargonat (pelargonic) | 9 | Nanonoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ |
| Kaprat (capric) | 10 | Dekanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$ |
| Laurat (lauric) | 12 | Dodekanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ |
| Miristat (myristic) | 14 | Tetradekanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$ |
| Palmitat (palmitic) | 16 | Heksadekanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ |
| Stearat (stearic) | 18 | Oktadekanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ |
| Arakidat (arachidic) | 20 | Eikosanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$ |
| Lignocerat | 24 | Tetrakosanoat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$ |

Sumber: Mamuaja (2017)

Asam lemak jenuh mempunyai rantai tunggal. Asam lemak jenuh nabati berwujud cair. Sementara asam lemak jenuh hewani biasanya berwujud padat, kecuali susu (Robert et al., 2001). Beberapa jenis asam lemak jenuh, sumbernya, panjang rantai dan sifat fisiknya ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Jenis Asam Lemak Jenuh dan Sumbernya

| Macam Asam Lemak Jenuh | Sumber | Panjang Rantai | Sifat Fisik |
|------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------|
| Asam Laurat | Minyak kelapa | C_{12} | Padat |
| Asam Miristat | Minyak nabati | C_{14} | Padat |
| Asam Palmitat | Lemak hewan dan minyak nabati | C_{16} | Padat |
| Asam Stearat | Lemak hewan dan minyak nabati | C_{18} | Padat |
| Asam Arakhidat | Minyak kacang | C_{20} | Padat |
| Asam Behenat | Minyak kacang | C_{22} | Padat |

| Macam Asam Lemak Jenuh | Sumber | Panjang Rantai | Sifat Fisik |
|------------------------|-----------------------------|-----------------|-------------|
| Asam Lignoserat | Minyak kacang | C ₂₄ | Padat |
| Asam Butirat | Cocoa butter | C ₄ | Cair |
| Asam Kaproat | Cocoa butter, minyak kelapa | C ₆ | Cair |
| Asam kaprilat | Minyak kelapa, Cocoa butter | C ₈ | Cair |
| Asam Kaprat | Minyak salam | C ₁₀ | Cair |

Sumber: <http://fourseasonnews.blogspot.com/2013/01/macam-asam-lemak-jenuh-dan-sumbernya.html>

Sementara itu beberapa sumber asam lemak jenuh dan komposisinya ditunjukkan pada Tabel 3.3. Asam lemak jenuh ini merupakan asam lemak nabati, sehingga berwujud cair pada suhu ruang. Secara umumnya, Minyak kelapa mengandung asam lemak jenuh paling tinggi, 85,2 g/ 100 g sementara asam lemak jenuh yang paling rendah adalah minyak canola atau minyak sawi, yaitu 5,3 g/ 100 g.

Tabel 3.3. Beberapa Sumber Asam Lemak Jenuh

| Jenis Lemak/Minyak | Komposisi (g/100 g) |
|-----------------------|---------------------|
| Mentega | 54 |
| Lemak bebek | 33,2 |
| Minyak kelapa | 85,2 |
| Minyak cokelat | 60 |
| Minyak inti sawit | 81,5 |
| Minyak biji sawit | 45,3 |
| Minyak biji kapas | 25,5 |
| Minyak gandum | 18,8 |
| Minyak kedelai | 14,5 |
| Minyak zaitun | 14 |
| Minyak jagung | 12,7 |
| Minyak bunga matahari | 10,2 |
| Minyak rami | 10 |

| | |
|--------------------------|-----|
| Minyak canola/ biji sawi | 5,3 |
|--------------------------|-----|

Sumber: McCance; Widdowson; Food Standards Agency (1991) dalam Ted (2010).

Beberapa jenis lemak mempunyai kedua jenis asam lemak. Seperti pada minyak kelapa, mempunyai asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 3.4.

Hasil hidrolisis lipida asam lemak biasanya mengandung campuran asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh. Lipida yang berasal dari hewan terutamanya mengandung asam lemak jenuh rantai panjang, yaitu asam palmitat dan asam stearat. Asal lipida lemak, terdiri dari asam lemak yang mempunyai ikatan karbonnya lebih dari 10 ke atas., kecuali lemak susu yang mengandung cukup banyak asam lemak berantai pendek. Kandungan lemak susu merupakan 10% asam lemak rantai pendek, antara lain asam butinat. Titik cair asam lemak jenuh lebih tinggi dari titik cair asam lemak tidak jenuh. Pada umumnya asam lemak tidak jenuh cair pada suhu ruangan. Komponen asam lemak pada minyak kelapa ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Komponen Asam Lemak Minyak Kelapa

| No | Asam lemak | % (berat) |
|----|------------------------|-------------|
| 1 | Asam lemak jenuh | |
| | Kaproat | 0,0 – 0,8 |
| | Kaprilat | 5,5 – 9,5 |
| | Kaprat | 4,5 – 9,5 |
| | Laurat | 44,0 – 52,0 |
| | Miristat | 13,0 – 19,0 |
| | Palmitat | 7,5 – 10,5 |
| | Stearat | 1,0 – 3,0 |
| | Arachidat | 0,0 – 0,4 |
| 2 | Asam lemak tidak jenuh | |
| | Palmitoleat | 0,0, - 1,3 |
| | Oleat | 5,0 – 8,0 |
| | Linoleat | 1,5 – 2,5 |

Sumber: Mamuaja (2017)

Asam stearat, asam palmitat, asam oleat dan asam linoleat merupakan asam lemak jenuh yang berada pada minyak nabati, kecuali minyak kelapa dan minyak kelapa sawit yang banyak mengandung asam lemak jenuh rantai sedang (C₈-C₁₄).

Hasil penelitian Aisyah et al. (2019) menunjukkan bahwa asam lemak jenuh tertinggi ada pada daging kelinci, merupakan asam palmitat 8,21%. Sementara itu, Innis (2016), menyatakan bahwa asam palmitat juga termasuk asam lemak jenuh yang ditemukan pada makanan berupa daging-dagingan dan *dairy product* (50- 60%), cocoa butter (26%), dan olive oil (8-20%).

Banyak kajian menunjukkan bahwa asam palmitat memberikan dampak buruk pada kesehatan namun asam ini juga mempunyai peranan penting bagi membrane sel, sekresi dan transportasi lipida (Agostoni, et al., 2016). Sementara kajian lain yang dilakukan Nilo dan Margo (2001) menunjukkan bahwa asam jenuh lain yang ditemukan pada nugget daging kelinci adalah asam behenik 5,95%. Asam behenik tergolong dalam asam lemak jenuh rantai panjang yang selama ini dipercaui penyebab tingginya kolesterol pada darah.

3.3 Manfaat Asam Lemak

1. Melindungi Tulang

Proses pembentukan tulang melibatkan proses osifikasi intramembran. Jaringan yang terbentuk dengan adanya asam lemak jenuh ini (jaringan embrionik) saat berbentuk janin akan berubah menjadi tulang. Proses pembentukan ini berlangsung hingga dewasa. Adanya asam lemak jenuh ini 1) Memberikan kestabilan pada membrane sel. 2) mengatur terjadinya inflamasi, sehingga membantu proses penyembuhan dan pertumbuhan tulang. 3) Membantu proses terbentuknya sel osteoblas. Sel osteoblas berdampak pada pembentukan tulang baru dan mensintesis matriks tulang. Kecukupan dalam asupan asam lemak jenuh akan memberikan dampak positif pada pembentukan tulang (Sartika, 2008).

2. Membangun membrane Sel

Adanya asam lemak jenuh akan melindungi membran sel membantu melindungi sel dari kerusakan dan membantu mengatur pergerakan zat masuk dan keluar sel.

3. Memproduksi hormon

Hormon ini penting untuk berbagai fungsi tubuh, seperti pertumbuhan, perkembangan seksual (testosterone dan estrogen) dan reproduksi, dan kortisol. Laporan Anwar (2005) menunjukkan bahwa kolesterol dari asam lemak jenuh juga berperan aktif dalam menghasilkan hormone steroid.

4. Menyerap vitamin

Asam lemak jenuh berfungsi juga membantu tubuh menyerap vitamin A, D, E, dan K yang larut dalam lemak atau minyak. Vitamin-vitamin ini penting untuk berbagai fungsi tubuh, seperti penglihatan, kesehatan tulang, dan sistem kekebalan tubuh.

5. Perlindungan Organ Tubuh

Saat seseorang terbentur atau jatuh, adanya asam lemak jenuh, yaitu berupa lemak yang membungkus organ akan memberikan perlindungan pada organ-organ tersebut. Adanya asam lemak jenuh dapat membantu pembentukan empedu dalam pencernaan dan penyerapan nutrisi. Termasuk melindungi hati saat alkohol terabsorp dalam hati.

6. Sebagai Sumber Energi

Ketika energi menipis atau simpanan karbohidrat berkurang di dalam tubuh, maka adanya asam lemak jenuh akan membantu dan menggantikan posisinya. Sehingga asam lemak jenuh akan dipecah dan digunakan sebagai energi (Kemenkes RI, 2014; Kole et al., 2020).

7. Sebagai Penambah Cita Rasa dan Tekstur pada Makanan

Asam lemak jenuh berupa minyak ataupun mentega dapat memberikan cita rasa pada makanan. Makanan yang digoreng atau diolah dengan menggunakan asam lemak jenuh akan memberikan tekstur yang crunchy, gurih dan lezat. Biasanya

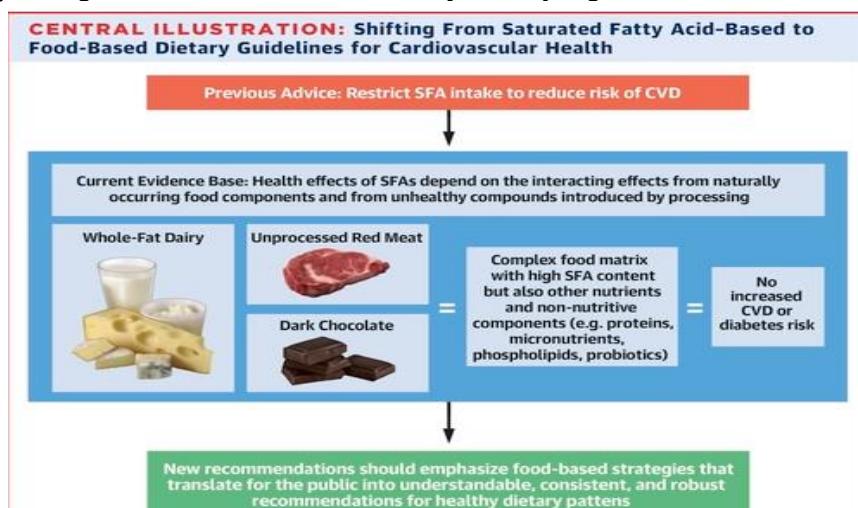
digunakan sebagai minyak untuk menggoreng ataupun mengolah makanan lainnya dengan dicampurkan pada adonan (cake, biskuit, dan lainnya).

Penggunaan minyak goreng yang berulangkali dalam pemakanannya akan meningkat lemak jahat (*Low Density Lipoprotein*) yang kemudian akan memicu penyakit jantung, darah tinggi dan kanker (Rusmalina, 2018).

8. Menjaga kesehatan otak

Asam lemak jenuh diperlukan bagi semua peringkat usia dari bayi, anak-anak dan dewasa. Adapun jumlahnya tidak dianjurkan secara berlebihan (Kemenkes RI, 2013)

Laporan terbaru mengenai asam lemak jenuh adalah hasil penelitian Astrup, et al., (2020) seperti pada Gambar 3.2. Asupan lemak jenuh berupa keju, *dairy food*, daging tanpa diolah dan cokelat hitam bukan hanya mengandung asam lemak jenuh tetapi mengandung nutrisi lainnya. Sehingga tidak menyebabkan penyakit jantung. Asalkan dikonsumsi dalam jumlah yang tidak berlebihan.



Astrup, A. et al. J Am Coll Cardiol. 2020;76(7):844-57.

Gambar 3.2. Pengaruh Asam Lemak jenuh terhadap Kesehatan Jantung

Sumber: Astrup et al., (2020)

Bagaimanapun, asupan asam lemak jenuh yang berlebihan tidak memberikan kebaikan, bahkan sebaliknya. Hal ini terjadi karena asam lemak jenuh menyebabkan darah mengental dan mudah melekat pada pembuluh darah menjadi plak. Lama kelamaan plak dapat menyumbat aliran darah sehingga perjalanan darah terganggu dan terhambat. Akibatnya tekanan darah akan meningkat.

Umumnya makanan asal hewani seperti mentega, keju, krim susu dan daging yang berlemak selain mengandung lemak juga mengandung kolesterol. Sehingga untuk mempertahankan kesehatan asupan makanan asal hewani ini harus dibatasi. Daging sapi atau daging ayam sebanyak 4 ons mengandung 100 mg kolesterol yang dapat meningkatkan kadar kolesterol LDL. Walaupun demikian asam lemak jenuh ini juga terdapat pada lemak nabati seperti pada kelapa sawit, minyak kelapa dan minyak jelantah (minyak yang telah berulang kali digunakan untuk menggoreng) (Saeruka, 2007). Asam lemak jenuh ini tersusun rapat tanpa adanya ikatan rangkap. Asupan asam lemak jenuh yang berlebihan akan menimbulkan meningkatkan kolesterol jahat. Pada akhirnya menimbulkan berbagai macam penyakit, seperti diabetes dan penyakit jantung.

3.4 Beberapa Jenis Pangan Asam Lemak Jenuh

1. Susu

Susu kambing banyak mengandung asam lemak rantai pendek seperti asam kaproat, asam kaprilat dan asam kaprat (Volkman et al., 2014 dalam Ramdani et al., 2019). Selain itu menurut laporan Amigo & Fotencha (2011) dalam Ramdani et al., (2019) susu kambing kaya akan asam lemak rantai pendek sebanyak 15-18%. Hasil laporan Bhattacharya et al. (2006), menyatakan bahwa susu sapi organik memiliki kandungan CLA (Conjugated Linoleic Acid), khususnya cis-9 trans 11 isomer, yang baik dalam mengurangi risiko kanker, dapat menurunkan berat badan, meningkatkan massa otot dan menurunkan diabetes karena juga mengandung omega-6. Sementara itu, susu sapi konvensional banyak mengandung eicosapentanoic acid (EPA) dan ALA dibandingkan susu sapi selain itu (Capuano et al. 2015). Susu sapi organik yang dijual di Belanda, Inggris dan Amerika

Serikat lebih kaya akan CLA (Conjugated Linoleic Acid) (Tunick et al. 2016).

2. Daging

Asupan daging merah yang diproses dapat dikaitkan sebagai beresiko dapat meningkatkan *Cholesterol High Density*, sementara itu asupan daging merah yang tidak diproses tidak termasuk dalam asam lemak jenuh dan tidak ada kaitannya dengan dengan Cholesterol High Density (Micha et al., 2010).

Kajian menemukan bahwa terdapat persamaan dalam faktor risiko kardiometabolik antara grup yang mengonsumsi daging olahan meningkat lebih dari 19%, bila mengonsumsi daging/hari dibandingkan dengan asupan daging yang sedikit. Sementara kajian lainnya menunjukkan bahwa daging olahan dapat menyebabkan timbulnya atau berisiko mendapat penyakit diabetes tipe 2 sehingga 1, namun tidak pada asupan daging merah mentah. (O'Connor et al., 2017).

Kajian hasil olahan daging kelinci berupa nugget menunjukkan 17 jenis asam lemak jenuh. Asam palmitat yang terkandung di dalamnya sebanyak 8,21%. Sementara itu asam lemak tak jenuh berupa asam oleat 13,5% dan asam lemak tak jenuh berantai ganda berupa asam linoleat 13,09%. Selain itu, nugget daging kelinci ini mengandung kolesterol sebanyak 155,1 mg/ 100g (Aisyah et al., 2019).

3. Minyak Ikan

Tidak semua ikan tergolong asam lemak tidak jenuh. Minyak ikan kakap merah mengandung asam lemak jenuh. Jenis yang tertinggi adalah palmitat sebesar 29,87%. Asam lemak tak jenuh pada minyak ikan tersebut mempunyai kandungan asam oleat 10,40%. Sementara itu, kandungan asam lemak tak jenuh tunggal yang tertinggi adalah asam oleat sebesar 18,49%. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Hastarini (2013) yang menyatakan minyak ikan patin murni dari jenis jambal dan siam didominasi dengan asam palmitat dan asam oleat. Hasil penelitian Sanger et al., (2018), menunjukkan bahwa minyak ikan kakap merah memiliki 8

jenis asam lemak dengan kandungan asam lemak jenuh tertinggi yaitu asam palmitat sebesar 37,99%.

Pada komponen asam lemak tak jenuh tunggal minyak ikan kepala kakap memiliki kandungan asam oleat 10,40%. Asam lemak tak jenuh majemuk dari EPA minyak ikan patin, berkisar 0,21% - 2,48% sedangkan DHA berkisar 0,95%-9,96% (Panagan, 2012)

Terdapat jenis asam lemak jenuh pada minyak ikan kakap merah. Asam lemak jenuh tertinggi yaitu asam palmitat sebesar 37,99%. Sementara itu, kadar asam lemak tak jenuh tunggal yang tertinggi yaitu asam oleat sebesar 18,49% (Sanger et al., 2018)

4. Minyak Nabati

Chinwong et al., (2017) menyatakan bahwa VCO mempunyai dampak positif pada kesehatan, yaitu dapat menigkatkan Kolesterol baik atau HDL (Hidh Densuty Lipoprotein). Sementara itu Sarkar et al., (2017) juga melaporkan hasil penelitiannya bahwa VCO merupakan salah satu asam lemak jenuh berupa minyak yang mempunyai manfaat sebagai anti penuaan. Aini et al., (2017) juga melaporkan bahwa VCO perlu dikaji lagi untuk mendapatkan informasi penting lainnya selain VCO dapat menurunkan penyebab alzheimer, osteoporosis dan kolesterol.

Laporan Rajebi et al. (2023) menunjukkan bahwa minyak buah pala juga mengandung *fixed oil* sebesar 20-40 % yang terdiri dari asam miristat (asam lemak jenuh), trimistin dan gliserida. Trimistin merupakan salah satu jenis asam lemak pada biji buah pala memiliki keunggulan dibanding dengan minyak-minyak lainnya. Hal ini terjadi karena minyak pala tidak memerlukan proses fraksinasi dalam pemisahannya.

Asupan lemak jenuh yang berlebihan dapat memicu terjadinya aterosklerosis. Hal ini terjadi karena pembuluh darah mengalami penyumbatan sehingga terjadi risiko hipertensi. (Anwar dalam Lidiyawati dan Kartini, 2014). Asam lemak yang banyak terkandung dalam tumbuhan biasanya berupa asam lemak jenuh yang terdiri dari asam palmitat dan asam stearat. Asam lemak jenis ini banyak ditemukan dalam beberapa jenis minyak nabati,

seperti minyak kelapa sawit, lemak kakao dan dalam margarin (Tjay & Rahardja, 2015).

Hasil penelitian lainnya, telah dilaporkan bahwa wanita menopause sebanyak 94,1% menderita hipertensi karena asupan asam lemak jenuh yang berlebihan. Adapun Jenis asam lemak jenuh yang paling banyak dikonsumsi oleh subyek wanita tadi berupa ayam beserta kulitnya, makanan yang digoreng dengan minyak dan santan kelapa yang diolah dalam masakan maupun menu makanan lainnya. Dislipidemia dapat ditimbulkan karena asupan asam lemak jenuh ini. Akhirnya akan menyebabkan risiko aterosklerosis atau penyumbatan pembuluh darah, terutama di jantung (Manurung 2004 dalam Lidiyawati et al., 2014).

5. Keju dan Yoghurt

Keju (16,5% dari asupan SFA) dan susu (8,3% dari asupan SFA) termasuk di antara sumber utama SFA dalam pola makan penduduk Amerika Serikat (Huth et al., 2013). Panduan Diet untuk Orang Amerika (2015-2020) saat ini merekomendasikan produk susu bebas lemak atau rendah lemak (Dietary Guidelines for Americans, 2020).

Namun, berdasarkan sejumlah penelitian terbaru, laporan media massa menyarankan bahwa produk susu berlemak penuh lebih baik untuk konsumen. Terdapat 18 studi epidemiologi yang menunjukkan bahwa total asupan susu tidak berkontribusi pada risiko PJK (penyakit jantung koroner) yang lebih tinggi, dan bahwa mengonsumsi susu atau produk susu fermentasi seperti yogurt dan keju (Rice, 2014).

Menurut Thorning et al., (2016), keju dan yoghurt terdiri dari matriks makanan yang kompleks dan komponen utamanya meliputi berbagai asam lemak, protein (whey dan casein), mineral (kalsium, magnesium, fosfat), natrium, dan komponen fosfolipid dari membran globul lemak susu. Sementara itu, yoghurt dan keju juga mengandung probiotik dan peptida bioaktif yang diproduksi oleh bakteri, asam lemak rantai pendek, serta vitamin seperti vitamin K2. Keju dapat menurunkan risiko PJK (Rice et al., 2014).

6. Cokelat Hitam

Cokelat hitam mengandung asam stearat, yang berdampak netral terhadap penyakit jantung. Apalgi cokelat hitam juga mempunyai nutrisi lainnya. Sehingga bukan hanya berdampak negatif, tetapi juga berdampak positif. Hasil kajian menunjukkan bahwa konsumsi cokelat hitam memberikan dampak pada kesehatan. Cokelat hitam mengandung antioksidan, antihipertensi, anti inflamasi dan anti trombosit yang justru akan menghambat terjadinya penyakit jantung dan diabetes tipe-2.

3.5 Kesimpulan

Asam lemak jenuh yang terdapat di alam mempunyai dampak positif saat dikonsumsi pada batas sewajarnya. Bahkan memberikan fungsi positif pada kesehatan. Asam lemak jenuh akan memberikan dampak negatif, apabila dikonsumsi dengan berlebihan. Penelitian terakhir menunjukkan justru asupan keju, daging merah yang tidak diproses dan cokelat hitam tidak menyebabkan penyempitan pembuluh darah ataupun diabetes, justru baik untuk dijadikan sebagai pola makan yang sehat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agostoni, L, Moreno dan Shamir, R, 2016. Palmitic Acid and Health: Introduction," Critical Reviews in Food Science and Nutritions, vol. 56, no. 12, pp. 1941-1942, 2016.
- Aini, N. S., Isnawati, dan Muhammin, F. I. 2021. Potensi VCO Sebagai Anti-Aging ditinjau dari Aspek Morfologi, Fisiologi dan Seluler: Article Review. Jurnal Kesehatan Madani Medika, 2(2), 205-209
- Aisyah N. F., Aisyah, N., Kusuma, T. S., Widyanto, R. M., 2019. Proil Asam Lemak Jenuh dan Tak Jenuh serta Kandungan Kolesterol Nugget Daging Kelinci New Zealand White (*Oryctolagus cuniculus*). Jurnal Al-Azzhar Indonesia Seri sains dan Teknologi, 5(2), 92-100.
- Amrinila, W. 2015. Asam Lemak Essensial dan Fungsinya bagi Kesehatan. <https://foodtech.binus.ac.id/2015/10/12/asam-lemak-essensial-dan-fungsinya-bagi-kesehatan/>
- Anwar, T. B, 2004 Dislipidemia Sebagai Faktor Resiko Penyakit Jantung Koroner *dalam* Lidiyawati dan kartini, A, 2014. Hubungan Asupan Asam Lemak Jenuh, Asam lemak Tidak Jenuh dan natrium dengan Kejadian Hipertensi pada Wanita menopause di Kelurahan Bojongsalaman. Joirnal of Nutrition College, 3(4), 612-619.
- Anwar, R., 2005. Biosintesis, Sekresi dan Mekanisme Kerja Hormon. Sub Bagian Fertilitas dan Endokrinologi Reproduksi Bagian Ostetri dan Ginekologi. Fakultas Kedokteran Universitas Pajajaran, Bandung.
- Astrup, A, Magkos, F, Bier, D. et al. Saturated Fats and Health: A Reassessment and Proposal for Food-Based Recommendations: *JACC* State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol.* 2020 Aug, 76 (7) 844-857.<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.05.077>
- Bhattacharya, A, Banu, J., Rahman, M., Causey, J., Fernandez, G., 2006. Biological Effect of Conjugated Linoleic Acids in Health and Disease. *J. Nutr. Biochem*, 17, 789-810.
- Chinwong, S., Chinwong, D., dan Mangklabruks, A., 2017. Daili Consumption Of Virgin Coconut Oil Increasing High Densuty

- Lipoprotein Cholesterol :eves in Healthy Volunteer: A Randomized Crossover Trials Evidence-Based Complimentary and Alternative Medicine. <https://doi.org/10.1155>
- Dietary Guidelines for Americans. 2017. U.S. Department of Health and Human Services 2015–2020 Available online: https://health.gov/dietaryguidelines/2015/resources/2015-2020_Dietary_Guidelines.pdf
- Hastarini E, Fardiaz D, Irianto H E, Budijanto S. 2013. Karakteristik minyak ikan dari limbah pengolahan filet ikan patin siam (*Pangasius hypophthalmus*) dan patin jambal (*Pangasius djambal*). Agritech. 32(4): 403-410.
- <https://medmunch.com/saturated-fats-what-you-need-to-know/>
- Huth P.J., Fulgoni V.L., Keast D.R., Park K, Auestad N. Major food sources of calories, added sugars, and saturated fat and their contribution to essential nutrient intakes in the U.S. diet: Data from the National Health and Nutrition Examination Survey (2003–2006) *Nutr. J.* 2013;12:116. doi: 10.1186/1475-2891-12-116.
- Innis, S. M., 2016. Palmitic Acid in Early Human Development," Crit Rev Food Sci Nutr, vol. 56, no. 12, 2016.
- Kole, H, Tuapattinaya, P., & Watuguly, T. (2020). Analisis Kadar Karbohidrat dan Lemak Pada Tempe Berbahan Dasar Biji Lamun (*Enhalus acoroides*). Jurnal Biologi Pendidikan dan Terapan, 6(2):91-96
- Kemenkes, RI. 2013.
- Kemenkes, RI. 2014.
- Lidiyawati dan Kartini, A, 2014. Hubungan Asupan Asam Lemak Jenuh, Asam lemak Tidak Jenuh dan natrium dengan Kejadian Hipertensi pada Wanita menopause di Kelurahan Bojongsalaman. Joirnal of Nutrition College, 3(4), 612-619.
- Manurung E. 2004. Hubungan Antara Asupan asam lemak Tak Jenuh Tunggal dengan Kadar Kolesterol HDL Plasma Penderita Penyakit Jantung Koroner. [Tesis]. Program Magister Sains Ilmu Gizi Klinik Universitas Indonesia, Jakarta dalam Lidiyawati dan Kartini, (2014). Hubungan Asupan Asam Lemak Jenuh, Asam Lemak Tidak jenuh dan natrium dengan Kejadian

- Hipertensi pada Wanita Menopause di Kelurahan Bojongsalaman/ *Journal of Nutrition College*, 3(4), 612-619.
- McCance; Widdowson; *Food Standards Agency (1991). "Fats and Oils". The Composition of Foods. Royal Society of Chemistry dalam Altar, Ted. "More Than You Wanted To Know About Fats/Oils". Sundance Natural Foods. Diarsipkan dari versi asli tanggal 2010-12-05. Diakses tanggal 2006-08-31.*
- Micha R, Wallace SK, Mozaffarian D. Red and processed meat consumption and risk of incident coronary heart disease, stroke, and diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis. *Circulation* 2010;121:2271-83.
- Nilo, C. B., dan Margo, D. A, 2001. Behenic acid is a cholesterol-raising saturated fatty acid in humans," American Society for Nutrition, vol. 73, pp. 41-44 dalam Aisyah N. F., Aisyah, N, Kusuma, T. S., Widyanto, R. M, 2019. Proil Asam Lemak Jenuh dan Tak Jenuh serta Kandungan Kolesterol Nugget Daging Kelinci New Zealand White (*Oryctolagus cuniculus*). *Jurnal Al-Azzhar Indonesia Seri sains dan Teknologi*, 5(2), 92-100.
- O'Connor LE, Kim JE, dan Campbell W. W. Total red meat intake of >0.5 servings does not negatively influence cardiovascular disease risk factors: a systematically searched meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 2017;105:57-69.
- Panagan, A. T., Yohandini, H., & Wulandari, M. (2012). Analisis Kualitatif dan Kuantitatif Asam Lemak Tak Jenuh Omega-3, Omega-6 dan Karakterisasi Minyak Ikan Patin (*Pangasius pangasius*). *Jurnal Penelitian Sains*, 15(3):102- 106.
- Putri, D. N, Wibowo, Y. M. N, dan Santoso E. N, Romadhania, P., 2020. Sifat Fisikokimia dan Profil Asam Lemak Minyak Ikan dari Kepala Kakap Merah (*Lutjanus malabaricus*). *AgriTECH*, 40 (1) 2020, 31-38)
- Rajebi, O., Sabrina, A. P., Aeni, F. N, Ahda, A, Gunarti, N. S, 2023. Isolasi Asam Lemak dari Bahan Alam: Artikel Review. *Jurnal Buana Farma, Jurnal Ilmiah Farmasi*, 3 (2), 11-17.
- Ramdani, D, Martha, R, Novita, M, Rais, H, Jati, P. Z, Zaki, M, Habiyah, U, dan Hidayah, R, 2019. Identifikasi produksi, kandungan Profil Asam Lemak dan Cojugated Linoleic Acid dengan Pola

- Pemberian Pakan yang Berbeda-Review. *Jurnal Pendidikan Tambusai Halaman*, 3(3), 1708-1716.
- Rice B.H, 2014. Dairy and Cardiovascular Disease: A Review of Recent Observational Research. *Curr. Nutr. Rep.* 2014;3:130-138. doi: 10.1007/s13668-014-0076-4.
- Robert K,Murray Daryl K Granner,Peter A mayes,Victor W,Rodwell.(2001).Biokimia HARPER.Jakarta.Edisi 25.
- Rodiah NS, Utomo BSB, Basmal J, Hastarini E. 2016. Pemurnian minyak ikan patin dari hasil samping pengasapan ikan. *Jurnal Kelautan dan Perikanan*. 11(2): 171-182.
- Sartika, R. A, 2007. Pengaruh Asupan Asam Lemak Trans terhadap profil Lipid darah. *Disertasi* Universitas Indonesia, Jakarta.
- Sartika, R. A, 2008. Pengarauh Asam Lemak Jenuh, Tidak Jenuh dan Asam Lemak Trans terhadap Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional* 2(4), 154-160.
- Sanger, G., Kaseger, B. E, Rarung, L K dan Damomgilala, L, 201. Potensi beberapa Jenis Rumput Laut sebagai Bahan Pangan Fungsional, Sumber Pigmen dan Antioksidan Alami. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* 21(2):208-217. <Https://doi.org/10.17/jphpi..v21i2.2241>
- Sarkar, R, Podeer, I., Gokhale, N, Jagadeesan, S, dan Garg, V. K, 2017. Use of Vegetables Oils in Dermatology: An Overview. *International Journal of Dermatology* 56(11), 5-14. <https://doi.org/10.1111/ijd.13623>
- Thorning, T., K, Raben, A, Toistrup, S. S, Mutu, S, Givens, I, Astrup, A, 2016. Milk and Dairy Products: Good or Bad for Human Health? An Assessment of The Totally of Scientivic Evidence. *Food Nutr Res*, (60), 32527-32538. <https://doi.org/10.3402/fnr.v60.32527>
- Tjay, T. H, & Rahardja, K (2015). Obat-Obat Penting Khasiat, Penggunaan dan Efek-Efek Sampingnya Edisi Ke 7. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Tunick, M. H, Gahring, A T, Hekken, D. L V., Iandola, S, Singh, M, Xi, P. X, Ukuku D. O., Mukhopadhyay, S, Onwulata, C. I., Tomasula, P. M, 2015. Physical and Cheical Change in Whey Protein Concentrate Storate at Elevated Temperature and Humidity. *J. Dairy Sci.* 99(3), 1-12.

BAB 4

SIFAT FUNGSIONAL ASAM LEMAK TIDAK JENUH TUNGGAL DAN TIDAK JENUH JAMAK

Oleh Rohadi

4.1 Pendahuluan

Sifat fungsional lipid atau lebih khusus lagi asam lemak adalah manfaat asam lemak secara fisiologis dalam metabolismenya yang dikaitkan dengan penguatan fungsi-fungsi organ tubuh dan manfaat kesehatan inang (*host*), bukan sebagai nutrisi. Ferreira-Dias *et al.* (2019) menyatakan sifat fungsional lipid/minyak, sebagaimana karotenoid, asam linoleat (C18:2, omega-6), asam linolenat-alfa (C18:3, omega-3), asam arakidonat (C20:4; omega-6), asam eikosapentanoat (EPA, C20:5 omega-3), asam dokosaheksanoat (DHA, C22:6, omega-3), asam linolenat-gamma (GLA), asam linoleat konjugasi (CLA), dan beberapa senyawa lain secara luas dikategorikan sebagai senyawa bioaktif. Senyawa bioaktif tidak lain adalah senyawa organik dalam pangan fungsional yang dalam metabolismenya berkontribusi positif atas kesehatan inang.

Pemahaman tentang asam lemak tidak jenuh (*unsaturated fatty acid*) baik yang berstatus sebagai asam lemak berikatan rangkap tunggal (*mono unsaturated fatty acid* - MUFA) atau asam lemak rangkap jamak (*polyunsaturated fatty acid* -PUFA) penting untuk disampaikan kepada masyarakat. Mengingat simpang siur yang berkembang terkait manfaat kesehatan atas asam lemak. Masyarakat tidak semua paham dan bisa membedakan yang dimaksud lipid /lemak, asam lemak, kolesterol dan implikasinya atas kesehatan konsumen. Tidak jarang masyarakat memberikan stigma terhadap lemak/minyak sebagai sumber penyakit, sehingga lemak harus dihindari. Oleh Sebab masyarakat mempersepsikan lemak identik

dengan kolesterol. Persepsi demikian juga mengandung nilai kebenaran. Sebab kolesterol pada hakekatnya merupakan lemak spesifik, yakni berupa rantai karbon tersusun oleh 27 atom C, dengan bagian inti (tengah) memiliki struktur kimia empat cincin atom karbon (sterol) dan beberapa gugus hidroksil (OH) (<https://www.britannica.com/science/cholesterol>, 2024). Perlu dipahami bahwa kolesterol hanya terdapat pada lemak hewani, sedangkan pada lemak nabati berupa sterol (phytosterol). Phytosterol tidak lain adalah senyawa kimia varian dari kolesterol (Barba et al. 2014).

Sisi lain informasi yang keras dan searah tentang hal baik dari asam lemak utamanya asam lemak berikatan rangkap jamak seperti asam linolenat-alfa (C18:3, omega-3), asam eikosapentanoat (EPA, C20:5 omega-3), dan asam dokosaheksanoat (DHA, C22:6, omega-3) melalui iklan produk konsumsi (*consumers goods*) seperti makanan dan minuman, telah membuat masyarakat/konsumen terbujuk untuk selalu membelinya. Persepsi yang salah dan tidak proporsional tersebut harus diluruskan, dengan cara memberikan informasi dan edukasi yang berimbang dan objektif terhadap asam lemak.

4.2 Lemak dan Asam Lemak

4.2.1 Lemak/Lipid

Lemak/lipid kadang disebut minyak adalah biomolekul alam yang berat molekulnya besar (makromolekul), terkomposisi atas unsur utama yaitu karbon (C), hidrogen (H) dan oksigen (O), sehingga lemak dikategorikan sebagai senyawa hidrokarbon. Termasuk lemak adalah asam lemak, malam (*wax*), sterol, vitamin-vitamin larut lemak seperti vitamin A, D, E dan K, monoglicerida, diglicerida, triglicerida (lemak netral/*edible oil*), fosfolipid, glikolipid, terpenoid, dan steroid (kelompok hormon). Lemak bersifat tidak larut dengan air. Beberapa lemak, mengandung unsur pospor (P) seperti fospolipid, molekul kolina ($C_5H_{14}NO^+$) yakni fosfatidilkolin (lesithin), asam amino serin ($C_3H_7NO_3$) pada fosfatidil serin dan etanolamin (C_2H_7NO) pada fosfatidil etanolamin serta dapat berikatan dengan biomolekul lain seperti dengan protein membentuk lipoprotein. Ada 3 (tiga) bentuk lemak atas

dasar molekul penyusunnya, yakni lemak sederhana, lemak campuran dan lemak turunan.

1. Lemak sederhana

Lemak paling sederhana adalah triasilgliserol disebut juga lemak/minyak netral. Triasil gliserol (trigliserida) tersusun atas satu molekul gliserol dengan tiga molekul asam lemak yang terikat secara ester. Dengan lain kata, trigliserida adalah ester dari tiga molekul asam lemak dengan gliserol. Tiga asam lemak penyusunnya dapat berasal dari satu jenis asam lemak saja, dua jenis asam lemak atau ketiga asam lemak dari jenis yang berbeda. Malam (plastisin), lilih (wax) dan minyak makan adalah contoh dari lemak sederhana.

2. Lemak campuran

Lemak campuran adalah struktur lemak (trigliserida) dengan biomolekul lain bukan lemak. Pada paragraf sebelumnya secara singkat disebutkan beberapa unsur atau molekul nonlemak seperti fosfor, asam amino (kolina dan serin) dan protein dapat berikatan dengan lemak. Lemak campuran sebagaimana jenis lemak yang lain diperoleh dari alam (makanan) seperti ikan, buah-buahan (alpokad), coklat, telor, daging, susu baik dari sumber nabati dan hewani.

3. Lemak turunan

Lemak turunan adalah lemak yang dihasilkan dari hidrolisis lemak yang berukuran lebih besar (makromolekul), diantaranya adalah asam lemak bebas dan kolesterol.

4.2.2 Asam Lemak

Asam lemak merupakan biomolekul kelompok asam karboksilat, tersusun atas rantai hidrokarbon lurus (alifatik) dengan gugus karboksil (COOH) pada ujung terminal dan gugus metil pada ujung lain. Meskipun secara umum molekul asam lemak bersifat tidak larut dengan air, disebabkan rantai karbon bersifat hidrofobik, namun gugus karboksil (COOH) yang bermuatan negatif bersifat hidrofilik. Berat molekul asam lemak, bergantung pada panjang pendek rantai hidrokarbon penyusunnya. Jumlah atom karbon penyusunnya mulai dari yang terpendek 3 atom C seperti asam propionat ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$),

asam butirat ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$), hingga terpanjang 38 atom C seperti pada asam oktatriakontanoat (https://en.wikipedia.org/wiki/Unsaturated_fat.)

Terkait dengan panjang pendek rantai karbon, asam lemak dikelompokkan menjadi 4 kategori: 1). Asam lemak rantai pendek, bilamana asam lemak dengan ekor alifatik memiliki 5 atom C atau kurang, 2). Asam lemak rantai sedang, bilamana asam lemak ekor alifatik memiliki 6 hingga 12 atom C yang dapat membentuk trigliserida rantai sedang, 3). Asam lemak rantai panjang, bilamana asam lemak ekor alifatik memiliki 13 hingga 20 atom C, 4). Asam lemak rantai sangat panjang, bilamana asam lemak ekor alifatik memiliki 22 atau lebih atom C.

Selain rantai hidrokarbon yang lurus, asam lemak mengandung pasangan karbon yang dihubungkan oleh satu atau lebih ikatan rangkap, cabang metil, atau cincin siklopropan tiga karbon di dekat pusat rantai karbon. Atas dasar ada tidaknya ikatan rangkap pada pasangan atom C, asam lemak dibedakan menjadi 2 golongan, yakni asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) dan asam lemak tidak jenuh (*unsaturated fatty acid*). Asam lemak tidak jenuh (*unsaturated fatty acid*) terdiri atas asam lemak yang memiliki satu ikatan rangkap (*mono unsaturated fatty acid*) dan yang memiliki lebih dari satu ikatan rangkap (*polyunsaturated fatty acid*). Keberadaan ikatan rangkap, menyebabkan perbedaan konfigurasi antara asam lemak jenuh dengan asam lemak tidak jenuh. Atas dasar perbedaan konfigurasi dua atom hidrogen yang berdekatan dengan ikatan rangkap, maka asam lemak digolongkan menjadi asam lemak tidak jenuh *cis* dan asam lemak tidak jenuh *trans*. Asam lemak tidak jenuh *cis* dan asam lemak tidak jenuh *trans* merupakan isomer geometris.

Asam lemak tidak jenuh tipe *cis*, bilamana kedudukan dua atom H yang berdekatan dengan ikatan rangkap berada pada sisi yang sama dengan rantai karbon (C), sementara asam lemak tidak jenuh tipe *trans*, bilamana kedudukan dua atom H yang berdekatan dengan ikatan rangkap berada pada sisi yang berseberangan dengan rantai karbon (C). Konfigurasi dua atom hidrogen pada asam lemak tidak jenuh *cis* menyebabkan rantai membengkok dan mengurangi fleksibilitasnya. Semakin banyak ikatan rangkap pada rantai C yang

berkonfigurasi *cis*, maka asam lemak semakin melengkung. Sebaliknya ikatan rangkap pada asam lemak tidak jenuh berkonfigurasi *trans*, maka ia tidak menyebabkan pembengkokan dan cenderung lurus sebagaimana asam lemak jenuh.

1. Asam lemak jenuh

Disebut asam lemak jenuh, sebab asam lemak tersebut tidak memiliki ikatan rangkap pada rantai karbon. Seluruh ikatan pada rantai karbon merupakan ikatan kovalen tunggal. Asam lemak tersebut jenuh dengan atom hidrogen. Setiap atom karbon (C) mengikat dua atom hidrogen (H), kecuali C Omega (ω) pada posisi ujung yang mengikat 3 atom hidrogen. Asam lemak jenuh memiliki jumlah atom C beragam mulai dari 3 pada asam propionate, hingga 36 pada asam heksatriakontanoat. Asam lemak jenuh penyusun lemak jenuh. Sejauh ini lemak jenuh dianggap sebagai penyebab penyakit jantung, disebabkan kemampuannya meningkatkan kolesterol lipoprotein densitas rendah (*low density lipoprotein-LDL-C*).

Asam lemak jenuh terdapat pada berbagai bahan pangan segar dan produk makanan baik dari bahan nabati ataupun hewani. Dari bahan nabati yang banyak mengandung asam lemak jenuh antara lain minyak kelapa, minyak inti sawit, minyak kedelai, minyak biji kapas dan mentega coklat. Dari bahan nabati sumber asam lemak jenuh antara lain keju, mentega, minyak samin, kuning telur, daging dan ikan salmon. Beberapa jenis asam lemak jenuh pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Beberapa jenis asam lemak jenuh

| Nama trivial | Struktur kimia | Tulis singkat Cn:n-D |
|----------------|--|----------------------|
| Asam kaprilat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$ | C8:0 |
| Asam kaprat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$ | C10:0 |
| Asam laurat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$ | C12:0 |
| Asam miristat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$ | C14:0 |
| Asam palmitat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ | C16:0 |
| Asam stearat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ | C18:0 |
| Asam arakhidat | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$ | C20:0 |

Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Unsaturated_fat.

2. Asam lemak tidak jenuh *mono unsaturated fatty acid* (MUFA).

Asam lemak tidak jenuh dengan ikatan rangkap tunggal (MUFA) adalah asam lemak yang hanya memiliki satu ikatan rangkap (ganda) antar atom karbonnya seperti asam oleat $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$ ditulis singkat dengan notasi C18:1, n-9, asam palmitoleat bentuk notasi singkat C16:1, n-7, asam *cis* vaksenat $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_9-\text{COOH}$ ditulis singkatnya C18:1, *cis* n-11. Lemak tidak jenuh tunggal adalah trigliserida yang mengandung satu asam lemak tidak jenuh. Diet tinggi asam lemak MUFA seperti minyak olive dan asam oleat, dikaitkan dengan manfaat fisiologisnya dalam tubuh antara lain menurunkan risiko *atherosclerosis* dengan meningkatkan partikel *chylomicrons* atau kolesterol baik (*very low-density lipoprotein*), meningkatkan pembakaran lemak, dan menurunkan trigliserida lebih cepat (DiNicolantonio dan O'Keefe, 2018).

3. Asam lemak tidak jenuh *polyunsaturated fatty acid* (PUFA).

Asam lemak tidak jenuh dengan ikatan rangkap jamak (PUFA) adalah asam lemak yang memiliki lebih dari satu ikatan rangkap antar atom karbonnya. Asam lemak PUFA merupakan prekursor dan berasal dari lemak tak jenuh ganda seperti asam linoleat $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$, sering

ditulis singkatnya dengan C18:2, ω -6 atau C18:2 *cis*-n-9,12, asam linolenat dengan struktur molekul $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$ ditulis singkatnya C18:3, ω -3 atau C18:3 *all cis* n-9, 12, 15. Lemak tidak jenuh jamak adalah trigliserida yang mengandung lebih dari satu asam lemak tidak jenuh. Diet tinggi asam lemak PUFA tidak jenuh ganda seperti asam linoleat (ω -6) telah diyakini menyehatkan jantung karena kemampuannya menurunkan kolesterol total dan LDL kolesterol. Penggantian lemak jenuh dengan asam lemak ω -6 secara konsisten terbukti mampu menurunkan kolesterol total dan LDL kolesterol (DiNicolantonio dan O'Keefe, 2018). Selain ikan laut, seperti tuna dan salmon, ikan air tawar seperti ikan Patin diketahui mengandung asam lemak ω -6 dan ω -3 (Rohadi *et al.*, 2017). Beberapa asam lemak PUFA ω -6 dan PUFA ω -3 tersaji pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.2. Beberapa asam lemak kelompok PUFA (ω -6)

| Nama trivial | Nama kimiawi | Penulisan lain |
|------------------------------------|--|---------------------|
| Linoleic acid (LA) | <i>all-cis</i> -9,12-octadecadienoic acid | 18:2 (ω -6) |
| gamma-Linolenic acid (GLA) | <i>all-cis</i> -6,9,12-octadecatrienoic acid | 18:3 (ω -6) |
| Arachidonic acid (AA) | <i>all-cis</i> -5,8,11,14-eicosatetraenoic acid | 20:4 (ω -6) |
| Eicosadienoic acid | <i>all-cis</i> -11,14-eicosadienoic acid | 20:2 (ω -6) |
| Docosapentaenoic acid (DPA) | <i>all-cis</i> -4,7,10,13,16-docosapentaenoic acid | 20:5 (ω -6) |
| Dihomo-gamma-linolenic acid (DGLA) | <i>all-cis</i> -8,11,14-eicosatrienoic acid | 22:3 (ω -6) |
| Adrenic acid (AdA) | <i>all-cis</i> -7,10,13,16-docosatetraenoic acid | 22:4 (ω -6) |

Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Unsaturated_fat

Tabel 4.3. Beberapa asam lemak kelompok PUFA ω -3

| Nama trivial | Nama kimiawi | Penulisan lain |
|--------------------------------|--|---------------------|
| α -Linolenic acid (ALA) | <i>all-cis</i> -7,10,13-hexadecatrienoic acid | 18:3 (ω -3) |
| Stearidonic acid (SDA) | <i>all-cis</i> -6,9,12,15,-octadecatetraenoic acid | 18:4 (ω -3) |
| Eicosatrienoic acid (ETE) | <i>all-cis</i> -11,14,17-eicosatrienoic acid | 20:3 (ω -3) |
| Eicosatetraenoic acid (ETA) | <i>all-cis</i> -8,11,14,17-eicosatetraenoic acid | 20:4 (ω -3) |
| Eicosapentaenoic acid (EPA) | <i>all-cis</i> -5,8,11,14,17-eicosapentaenoic acid | 20:5 (ω -3) |
| Docosapentaenoic acid (DPA) | <i>all-cis</i> -7,10,13,16,19-docosapentaenoic acid | 22:5 (ω -3) |
| Docosahexaenoic acid (DHA) | <i>all-cis</i> -4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic acid | 22:6 (ω -3) |

Sumber: https://en.wikipedia.org/wiki/Unsaturated_fat

4. Asam Lemak Trans

Sebagaimana di awal paragraf disebutkan bahwa asam lemak *trans*, adalah asam lemak tidak jenuh berkonfigurasi *trans*, yang merupakan bentuk isomer dari asam lemak tidak jenuh tipe *cis*. Asam lemak tipe *trans*, terbentuk sebagai konsekuensi proses hidrogenasi parsial minyak nabati menjadi bentuk padat. Asam lemak *trans*, secara alami juga terdapat pada produk hewani seperti pada susu, keju (*cheese*), mentega (*butter*) dan produk olahan daging yang lazim dilakukan oleh industri. *Food Drugs Administration* (FDA), badan urusan obat-obatan dan pangan Amerika Serikat, telah menyelesaikan tindakan akhir terkait minyak terhidrogenasi parsial, berupa pembatasan pemakaiannya (FDA, 2023).

Diet lemak *trans* meningkatkan kadar LDL-C (kolesterol jahat) dalam darah. Peningkatan kadar LDL-C dalam darah diketahui meningkatkan risiko penyakit jantung. Penyakit jantung diketahui merupakan penyebab utama kematian pria dan wanita di AS (FDA,

2023). FDA telah mengeluarkan regulasi berupa kewajiban pencantuman nilai lemak trans pada label kemasan pangan. Sedikit informasi terkait asam lemak *trans*, sengaja penulis hadirkan sebagai bentuk *balancing* dari sifat fungsional asam lemak.

4.3 Sifat Fungsional

Pada paragraf sebelumnya diambil batasan yang dimaksud sifat fungsional lipid atau lebih khusus lagi asam lemak adalah manfaat asam lemak secara fisiologis dalam metabolismenya yang dikaitkan dengan penguatan fungsi organ tubuh dan manfaat kesehatan inang (*host*), bukan sebagai nutrisi. Asam lemak yang memiliki sifat fungsional masuk kategori sebagai senyawa bioaktif (*bioactive compound*). Senyawa bioaktif pangan adalah komponen pangan dalam jumlah kecil di luar perannya sebagai zat gizi yang memberikan manfaat kesehatan (Teodoro, 2019). Termasuk senyawa bioaktif kelompok pangan nabati adalah asam lemak tidak jenuh jamak (Barba *et al.* 2014).

4.3.1 Asam Lemak dan Kesehatan Jantung

Pada tataran masyarakat awam berkembang pendapat bahwa diet tinggi lemak – apapun jenis lemaknya – berdampak buruk pada kesehatan seseorang. Alasannya diet tinggi lemak menyebabkan peningkatan kolesterol darah. Sehingga jenis pangan apapun, baik yang bersumber dari bahan nabati seperti santan, minyak goreng, dan makanan hasil penggorengan ataupun pangan hewani seperti daging, ikan, telur dan susu, mereka batasi asupannya, bahkan jika mungkin dihindari. Pandangan masyarakat yang demikian perlu dikoreksi dan diperbaiki (diluruskan). Penulisan bab 4 pada buku ini juga terkait dengan misi perbaikan tersebut.

Cukup banyak publikasi hasil riset terkini yang mengaitkan keberadaan asam lemak pada diet, khususnya kategori asam lemak PUFA dengan status kesehatan seseorang seperti kesehatan jantung, mata dan fungsi otak. Publikasi hasil riset dimaksud dari beragam capaian tahapan uji, dari skala uji *in vitro* dan *In vivo*, hingga tahap uji klinis pada responden (relawan). Banyak hasil riset yang sudah

dihilirisasi dan dikomersialkan untuk memproduksi beragam pangan berklaim/ pangan fungsional, suplemen dan ekstrak dalam beragam bentuk. Beberapa hasil riset terkait diet tinggi asam lemak jenuh, asam lemak MUFA dan asam lemak PUFA sebagai berikut:

Diet tinggi asam lemak tidak jenuh seperti asam laurat menyebabkan peningkatan kadar total dan *low density lipoprotein cholesterol* (LDL-C), tetapi juga mampu meningkatkan *high density lipoprotein cholesterol* (HDL-C) (Mensink *et al.* 2003). Namun demikian hasil riset lainnya menunjukkan hal sebaliknya, bahwa asam lemak tidak jenuh kurang signifikan untuk peningkatkan HDL-C dibanding asam lemak jenuh (Reaven *et al.* 1993). Dipahami bahwa konsentrasi HDL-C yang tinggi dalam plasma darah berasosiasi dengan perlindungan atas penyakit jantung koroner dan penyakit jantung lainnya (Kitamura *et al.* 1994).

Hasil-hasil riset terbaru menunjukkan bahwa diet tinggi asam lemak jenuh (SFA) dari mentega atau krim, memiliki efek secara keseluruhan lebih buruk pada profil lemak darah, dibanding diet tinggi asam lemak MUFA seperti minyak zaitun. Diet tinggi lemak tidak jenuh MUFA akan memperbaiki profile lemak dan *hypercoagulation* (pembekuan darah yang tidak normal). Meskipun diet tinggi asam lemak tidak jenuh jamak ω -6 mampu menurunkan LD-C dan ukuran partikel LDL-C, namun diet tinggi asam lemak ω -3 secara keseluruhan memberikan perlindungan yang menyeluruh dengan mekanisme penurunan jumlah dan ukuran partikel LDL-C, pengurangan kolesterol jenis *very low density lipoprotein* (VLDL), trigliserida dan peningkatan HD-C (DiNicolantonio, 2018).

4.3.2 Asam lemak dan kecerdasan

Asam lemak ω -3 memiliki dampak penting pada kinerja kognitif pada semua tahap kehidupan (Dighriri, *et al.* 2022). Asam Eicosapentaenoic acid (EPA), asam Docosahexaenoic acid (DHA) dan asam alfa-linolenat (ALA) sangat penting untuk penguatan fungsi otak. Jenis asam lemak PUFA tersebut difortifikasi pada susu formula. Asam lemak DHA, adalah asam lemak ω -3 yang dominan di otak dan berasosiasi dengan *neurotransmitter* dan fungsi otak (Uauy *et al.* 2001). Diet tinggi asam lemak ω -3 berkorelasi dengan peningkatan

pembelajaran, memori dan kecerdasan, serta aliran darah di otak. Sehingga konsumsi asam lemak ω -3 yang bersumber dari makanan ditingkatkan (Dighriri, *et al.* 2022).

4.3.3 Kesehatan mata

Diet tinggi asam lemak ω -3 esensial baik yang berasal dari makanan ataupun suplemen, dapat membantu mengurangi risiko terkena degenerasi makula dan glaucoma. Ditambahkan Diet tinggi asam lemak ω -3 membantu pengurangan gejala mata kering. Asam lemak DHA memiliki efek yang signifikan atas membran reseptor dan fungsi "neurotransmitters" yang terkait dengan sistem syaraf transmisi pesan. Sumber asam lemak asam lemak ω -3 antara lain minyak ikan Salmon dan Tuna (Uauy, *et al.* 2001).

4.5 Sumber dan Cara Memperoleh Asam Lemak

Dari manakan sumber asam lemak esensial? Asam lemak esensial yang dimaksud adalah dua buah asam lemak yakni ω -3 dan ω -6. Sumber asam lemak esensial yang baik antara lain dari minyak nabati (*vegetables oil*), kelompok kacang-kacangan, dan minyak ikan dari beberapa jenis ikan dari laut dingin daerah subtropis dan kutub seperti ikan tuna, salmon, hearing dan sardin juga dari suplemen yang mengandung minyak ikan. Namun demikian jarang terjadi tubuh kekurangan (defisiensi) asam lemak esensial (NIH, 2024). Cara memperolehnya dengan mengonsumsi bahan pangan sumber asam lemak esensial dan dari suplemen.

DAFTAR PUSTAKA

- Barba, Francisco J., Esteve, Mariá J., & Frígola, Ana. 2014. Bioactive Components from Leaf Vegetable Products. *Studies in Natural Products Chemistry*, Vol. 41. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-63294-4.00011-5>.
- Cholesterol. <https://www.britannica.com/science/cholesterol>. Diakses tanggal 6 Maret 2024.
- List of unsaturated fatty acids. https://en.wikipedia.org/wiki/Unsaturated_fat. Diakses 4/4 2024.
- DiNicolantonio JJ, O'Keefe JH. Effects of dietary fats on blood lipids: a review of direct comparison trials. *Open Heart* 2018; 5:e000871. DOI: 10.1136/openhrt-2018-000871.
- Dighriri I.M, Alsubaie A.M, Hakami, F.M, Hamithi, D.M, Alshekh M.M, Khobrani, F.A, Dalak, F.E, Hakami, A.A, Alsueaadi, EH, Alsaawi, LL, Alshammari, S.F, Alqahtani, AS, Alawi, IA, Aljuaid A.A, Tawhari, MQ, 2022. Effects of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids on Brain Functions: A Systematic Review. *Cureus* 14(10): e30091. doi:10.7759/cureus.30091. <https://www.cureus.com/articles/116591-effects-of-omega-3-polyunsaturated-fatty-acids-on-brain-functions-a-systematic-review#!/>
- Emma Derbyshire. 2019. Oily Fish and Omega-3s across the Life Stages: A Focus on Intakes and Future Directions. doi: 10.3389/fnut. 2019.00165. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6861329/>.
- Food Drug Administration, 2023. FDA Completes Final Administrative Actions on Partially Hydrogenated Oils in Foods. <https://www.fda.gov/food/cfsan-constituent-updates/fda-completes-final-administrative-actions-partially-hydrogenated-oils-foods>.
- Ferreira-Dias, S., Osório, N.M., & Tecelão, C., 2018. Lipase-Catalyzed Synthesis of Structured Lipids at Laboratory Scale. *Methods Mol Biol.* 18(35):315-336. doi: 10.1007/978-1-4939-8672-9_17.

- Kitamura, A., Iso, H., & Naito, Y. 1994. High-density lipoprotein cholesterol and premature coronary heart disease in urban Japanese men. *Circulation*, 89:2533–2539.
- Mensink R.P., Zock, P.L., & Kester, A.D. 2003. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *Am J Clin Nutr*, 77:1146 –1155.
- National Institutes of Health. 2024. Omega-3 Fatty Acids. [https://ods.od.nih.gov/factsheets/Omega3FattyAcids-Consumer/#:~:text=Nuts%20and%20seeds%20\(such%20as,soy%20beverages%2C%20and%20infant%20formulas\).](https://ods.od.nih.gov/factsheets/Omega3FattyAcids-Consumer/#:~:text=Nuts%20and%20seeds%20(such%20as,soy%20beverages%2C%20and%20infant%20formulas).)
- Reaven, P.D., Grasse, B.J., & Tribble, D.L. 1994. Effects of linoleate-enriched and oleate-enriched diets in combination with alpha-tocopherol on the susceptibility of LDL and LDL subfractions to oxidative modification in humans. *Arterioscler Thromb*. 14:557–66.
- Rohadi, Raharjo, S., Falah, I.I., dan Santoso, U, 2017. Methanolic extract of Java Plum (*Syzygium cumini* Linn) Seed as natural antioxidant on lipid oxidation of oil-in water emulsions. *International Food Research Journal*, 24(4):1636-1643
- Teodoro, A. Junger. Bioactive Compounds of Food: Their role in the prevention and treatment of diseases. Hindawi Oxidative Medicine and Cellular Longevity, Volume 2019, Article ID 3765986. <https://doi.org/10.1155/2019/3765986>.
- Uauy, R., Hoffman, D.R., Peiranoa, P., Birch, D.G., & Birch, E.E. 2001. Essential Fatty Acids in Visual and Brain Development. *Lipids*, 36(9): 885-895. 10.1007/s11745-001-0798-1.

BAB 5

SIFAT FUNGSIONAL ASAM LEMAK TRANS

Oleh I Ketut Budaraga

5.1 Pendahuluan

Asam lemak trans merupakan jenis asam lemak yang memiliki struktur tidak jenuh, namun posisi gugus metilnya berada pada sisi yang berlawanan. Asam lemak trans dapat terbentuk secara alami maupun secara buatan selama proses hidrogenasi minyak. Meskipun memiliki sifat fisik dan kimia yang mirip dengan asam lemak jenuh, asam lemak trans memiliki sifat fungsional yang berbeda.

Sifat fungsional asam lemak trans menjadi perhatian utama dalam kesehatan manusia karena kaitannya dengan peningkatan risiko penyakit jantung, diabetes, dan obesitas. Oleh karena itu, pemahaman mendalam mengenai sifat fungsional asam lemak trans menjadi penting dalam upaya promosi kesehatan masyarakat.

Penelitian dan kajian terkait sifat fungsional asam lemak trans terus dilakukan untuk menjelaskan dampaknya terhadap kesehatan serta mengembangkan strategi preventif dan intervensi yang tepat.

Asam lemak trans sebenarnya merupakan salah satu jenis asam lemak tak jenuh. Asam lemak tak jenuh mungkin memiliki satu atau lebih ikatan rangkap. Asam lemak tak jenuh diklasifikasikan menjadi tiga jenis: asam lemak tak jenuh tunggal dengan ikatan rangkap tunggal, asam lemak tak jenuh ganda dengan ikatan rangkap ganda, dan asam lemak trans.

Pada bentuk atau konfigurasi cis, dua bagian rantai karbon saling berhadapan, namun pada bentuk trans, dua bagian rantai karbon praktis linier. Hampir semua asam lemak tak jenuh rantai panjang yang ditemukan di alam memiliki konfigurasi cis, yang berarti molekulnya bengkok 120 derajat pada ikatan rangkapnya. Saat terkena suhu rendah, rantai karbon asam lemak tak jenuh membentuk pola zigzag. Pada suhu yang lebih tinggi, ikatan tertentu berputar, yang menyebabkan rantai memendek. Kualitas-kualitas ini

menyebabkan asam lemak trans memiliki struktur dan sifat yang mirip dengan asam lemak jenuh.

Asam lemak dalam minyak ada sebagai isomer cis dan trans. Peningkatan jumlah ikatan rangkap cis dalam asam lemak menghasilkan berbagai konfigurasi molekul yang unik; misalnya asam arakidonat, yang memiliki empat ikatan rangkap cis, dapat berbentuk bengkok atau berbentuk U. Bentuk ini mempunyai implikasi yang signifikan terhadap pengemasan molekul dalam membran dan posisi asam lemak dalam molekul yang lebih kompleks seperti fosfolipid.

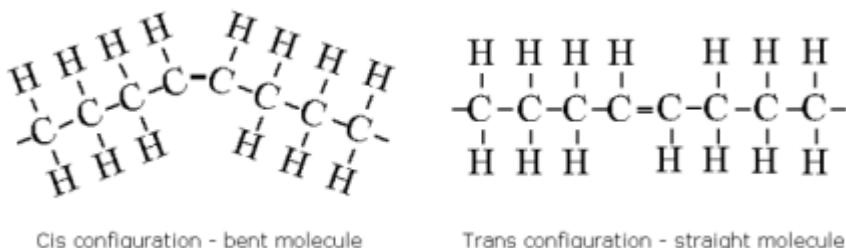
Keberadaan ikatan rangkap trans mengubah hubungan spasial, memberikan ciri khas asam lemak tak jenuh. Salah satu ciri yang perlu diperhatikan adalah ikatan rangkap lebih rentan terhadap perubahan kimia seperti oksidasi, polimerisasi, dan reaksi lainnya; akibatnya, asam lemak tak jenuh akan mengalami lebih banyak perubahan fisik dan kimia selama pemrosesan dibandingkan asam lemak jenuh. Ikatan rangkap asam lemak tak jenuh bereaksi cepat dengan oksigen, menyebabkannya menjadi tengik. Proses ini, yang dikenal sebagai kerusakan bahan yang mengandung lemak, disebabkan oleh reaksi oksidasi dengan asam lemak tak jenuh.

Atas dasar ini, asam lemak tak jenuh sering kali diolah dengan hidrogen untuk menghilangkan ketidakjenuhan, suatu reaksi yang dikenal sebagai reaksi saturasi atau reaksi hidrogenasi. Proses hidrogenasi mengubah minyak nabati menjadi lemak setengah padat seperti margarin.

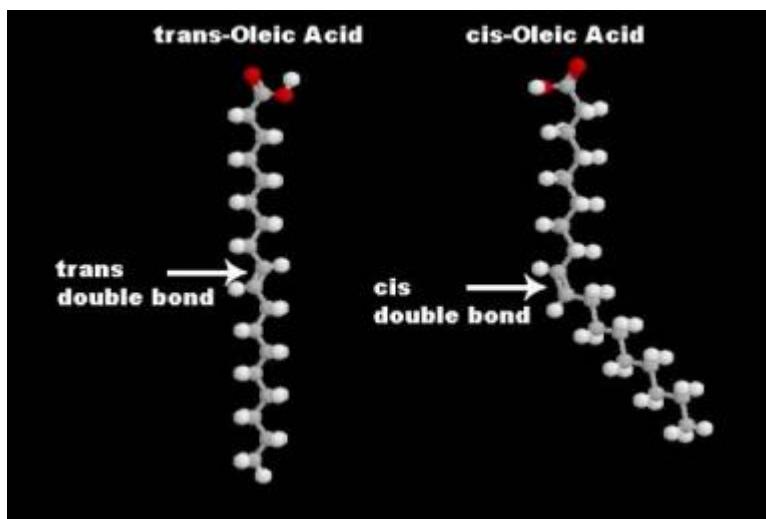
Di sektor industri, proses hidrogenasi parsial, selain membuat minyak menjadi setengah padat, juga berupaya mencegah minyak nabati cepat membusuk dengan membuatnya lebih stabil, tahan terhadap oksidasi, dan beraroma dibandingkan asam lemak bentuk cis. Asam lemak trans dalam makanan berlemak, khususnya margarin, mungkin meningkat akibat proses pengolahan seperti hidrogenasi atau pemanasan suhu tinggi.

Asam lemak trans bukanlah senyawa alami, namun ditemukan di jaringan orang yang mengonsumsi makanan secara teratur. Kontribusi tambahan yang kecil terjadi dari konsumsi lemak ruminansia termasuk asam lemak trans, yang diproduksi oleh

mikroorganisme di usus ruminansia. Makanan mengandung banyak bentuk asam lemak trans, yang paling umum adalah isomer 18:1.



Gambar 5.1. Struktur Kimia Asam Lemak Konfigurasi Cis dan Trans



Gambar 5.2. Konfigurasi Molekuler Asam Lemak Trans dan Cis

5.2 Perkembangan Asam Lemak Trans

Pada tahun 1903, mentega digantikan oleh margarin, yang dibuat dengan menghidrogenasi minyak sayur cair menjadi minyak semi padat. Saat pertama kali ditemukan, keberadaan asam lemak trans pada margarin dianggap baik karena memiliki titik leleh yang lebih besar, sama dengan asam lemak jenuh, dan berbentuk semi padat sehingga cocok untuk digunakan. kebutuhanmu. Asam lemak

vak jenuh trans lebih stabil dan tahan terhadap oksidasi dibandingkan asam lemak tak jenuh cis.

Namun temuan penelitian tahun 1998 menunjukkan bahwa asam lemak trans dapat meningkatkan risiko PJK. Asam lemak trans terbentuk tidak hanya selama proses hidrogenasi, namun juga selama proses pemurnian dan penggorengan. Asam lemak trans juga terdapat dalam jumlah kecil pada produk ruminansia. Transformasi asam lemak cis menjadi asam lemak trans dimulai pada suhu 1800C dan berlangsung seiring dengan kenaikan suhu. Biskuit, donat, dan makanan lain yang mengandung mentega juga merupakan sumber asam lemak trans dalam makanan sehari-hari.

Makanan cepat saji yang digoreng, produk roti, makanan ringan kemasan, margarin, dan kerupuk (margarin terhidrogenasi mengandung 15-40% asam lemak trans) merupakan sumber lemak trans yang paling umum. Mentega mengandung 2-5% asam lemak trans, namun beberapa penelitian menunjukkan bahwa margarin mengandung lebih dari 60% asam lemak trans. Minyak babi, minyak canola, minyak kedelai, minyak zaitun, dan minyak jagung tidak mengandung asam lemak trans.

Pada tahun 2005, Komite Penasihat Pedoman Diet AS menyarankan agar konsumsi asam lemak trans setiap individu kurang dari 1% dari total kalori. Jika seseorang mengonsumsi donat, perkiraan kandungan lemak transnya adalah 3,2 gram. Jika Anda menambahkan satu bungkus kentang goreng yang mengandung 6,8 gram lemak trans, orang tersebut akan mengonsumsi 5% dari total energinya dalam satu hari.

5.3 Asam Lemak Trans dan Metabolisme

Bentuk trans atau konfigurasinya terdiri dari dua segmen rantai karbon yang saling berhadapan dalam arah yang hampir linier. Kualitas-kualitas ini menyebabkan asam lemak trans memiliki struktur dan sifat yang mirip dengan asam lemak jenuh. Dalam jumlah besar, asam lemak trans dapat mengganggu metabolisme asam lemak tak jenuh lainnya (misalnya asam linoleat dan linolenat) dengan bersaing untuk mendapatkan enzim 6-denaturase di retikulum endoplasma dan mengubah proses seperti trombogenesis, sehingga

mencegah beberapa konversi. Asam linoleat diubah menjadi asam arakidonat, yang menghambat sintesis eikosanoit jaringan.

Asam lemak trans memiliki efek penghambatan yang lebih rendah pada agregasi trombosit dibandingkan asam lemak cis. Dalam keadaan normal, enzim 6-denaturase lebih memilih asam linoleat dibandingkan asam lemak trans sebagai substratnya. Hal ini memastikan pasokan asam lemak yang cukup untuk membuat membran sel dan eikosanoit. Enzim menambahkan ikatan rangkap pada posisi 6 asam lemak n-3, n-6, dan n-9, yang menunjukkan bahwa mereka akan bersaing untuk mendapatkan situs aktif enzim.

Namun, jika asam lemak trans berlimpah dan konsumsi asam linoleat rendah, asam lemak trans akan menjadi substrat alternatif dalam produksi asam lemak tak jenuh ganda rantai panjang (20:4, dengan satu ikatan rangkap trans), yang tidak dapat menjadi prekursor dari asam lemak trans. eikosanoid dan dapat menghambat metabolisme asam lemak esensial.

Enzim lipase pankreas dapat menghidrolisis asam lemak trans dan cis dengan kecepatan yang sama. Beberapa asam lemak dengan ikatan rangkap di dekat karboksil (posisi 3 dan 6) terhidrolisis lebih lambat dibandingkan asam lemak jenuh, dan enzim yang mengarahkan asam lemak ke posisi 1 dan 3 memperlakukan asam lemak trans seolah-olah merupakan asam lemak jenuh.

Selama proses penyerapan, asam lemak trans diubah menjadi triasilgliserol, yang kemudian diangkat ke jaringan dan disimpan di jaringan adiposa. Selain itu, asam lemak trans banyak ditemukan pada fosfolipid di berbagai organ, termasuk jantung, hati, dan otak. Hal ini bergantung pada jenis struktur dan penempatan ikatan rangkap, serta ada tidaknya asam linoleat dalam makanan.

Secara umum, penyerapan asam lemak trans ke dalam jaringan sebanding dengan jumlah asam lemak trans dalam makanan; Namun, terdapat bukti bahwa jumlah maksimum asam lemak trans yang dapat diserap adalah 6-9%, berapa pun konsentrasi asam lemak transnya, yang bergantung pada keberadaan unsur dasar lainnya dalam makanan.

Ketersediaan asam lemak esensial dalam makanan, meskipun dalam jumlah sedikit, mengurangi penumpukan asam lemak trans di

jaringan. Selain itu, karena metabolisme asam lemak tubuh bersifat dinamis, penggabungan asam lemak trans ke dalam ester kolesterol cukup rendah (sekitar 15-20%), sehingga meningkatkan kekhawatiran akan dampak buruk asam lemak trans.

5.4 Asam Lemak Trans dan Metabolisme Lipid

Hasil penelitian selama satu dekade terakhir mengungkapkan bahwa keberadaan asam lemak trans dalam makanan mempunyai dampak buruk terhadap kesehatan, khususnya pencetus penyakit jantung koroner yang tidak bisa diabaikan. Menurut penelitian, asam lemak trans memiliki dampak yang lebih merugikan dibandingkan asam lemak jenuh dan kolesterol.

Menurut penelitian, mengonsumsi asam lemak trans meningkatkan kadar kolesterol LDL dan menurunkan kadar kolesterol HDL, yang merupakan penyebab utama kelainan pembuluh darah.^{32, 33}, sedangkan asam lemak jenuh memiliki pengaruh yang kecil dalam menurunkan kadar HDL^{34, 35}. Asam lemak trans juga meningkatkan rasio kolesterol. Rasio kolesterol LDL terhadap HDL merupakan prediktor kuat risiko penyakit kardiovaskular.

Menurut Institute of Shortening and Edible Oils (ISEO), mengonsumsi asam lemak trans dalam jumlah sedang tidak berdampak signifikan terhadap kesehatan; Namun, para ahli lain percaya bahwa mengonsumsi 1-3% asam lemak trans dapat menyebabkan serangan jantung pada orang dewasa.

Oleh karena itu, kandungan asam lemak suatu bahan pangan harus diperhatikan saat menyampaikan informasi kepada masyarakat melalui label kemasan. Kandungan asam lemak trans dianggap rendah jika kurang dari atau sama dengan 5%, dan nol trans jika 1-2%. Konsumsi asam lemak trans selama kehamilan diperkirakan mengganggu metabolisme asam lemak esensial, sehingga mengganggu pertumbuhan janin.

Pengaruh asam lemak trans sangat bergantung pada tingkat asupan; kadar tinggi lebih dari 6% total energi jelas berbahaya, namun kadar rendah di bawah 2% hingga 4,5% total energi tidak berbahaya bila dikonsumsi bersamaan dengan asam lemak tak jenuh ganda, namun pengaruh positif asam lemak tak jenuh akan ditiadakan.

adanya asam lemak trans dalam makanan; Hal ini karena asam lemak trans menghambat biosintesis asam arakidonat yang diperlukan dalam tubuh. Oleh karena itu, anak-anak sebaiknya menghindari konsumsi asam lemak trans dalam jumlah besar, terutama dari margarin.

5.5 Asam Lemak Trans dan Proses Inflamasi

Asam lemak trans mempengaruhi kejadian peradangan sistemik pada membran sel endotel melalui jalur yang unik. Asam lemak trans juga mempengaruhi respon inflamasi melalui mekanisme tertentu pada membran sel endotel dan sinyal fosfolipid membran makrofag. Konsumsi asam lemak trans memiliki efek proinflamasi yang dapat meningkatkan resistensi insulin, menyebabkan kegagalan sel endotel, meningkatkan oksidasi lipid, dan menurunkan aktivitas plasminogen jaringan postprandial.

Metabolisme asam lemak trans dalam tubuh dapat memicu terjadinya stres oksidatif. Sel-sel yang sehat selalu dalam kondisi stabil, namun rentan terhadap rangsangan berbahaya yang dapat menyebabkan kerusakan sel yang mematikan. Stres oksidatif memicu respon inflamasi pada endotel pembuluh darah, kelainan metabolisme seperti peningkatan penyerapan glukosa pada otot dan jaringan adiposa, serta penurunan produksi insulin.

Patologi stres oksidatif yang paling menonjol adalah kerusakan sel, yang menyebabkan disfungsi endotel dan, pada akhirnya, gangguan pembuluh darah seperti aterosklerosis, diabetes, dan hipertensi. Stres oksidatif memainkan peran penting dalam berbagai kelainan yang ditandai dengan gangguan sementara pada aliran darah dan pembangkitan energi.

Reactive Oxygen Species (ROS) berperan penting pada keadaan fisiologis maupun pathologis vaskuler, ROS secara intraseluler diproduksi dalam jumlah sedikit, maka ROS bekerja sebagai second messengers, modulator jalur biokimia untuk memediasi berbagai respons seperti pertumbuhan sel-sel otot polos pembuluh darah. Namun bila ROS diproduksi dalam jumlah besar, maka ROS dapat merusak DNA, bersifat toksik, dan dapat menyebabkan apoptosis. Penanda inflamasi dapat memberikan

informasi mengenai perkembangan penyakit kardiovaskuler serta menyediakan target baru untuk terapi.

5.6 Penerapan Asam Lemak Trans Dalam Makanan

Asam lemak trans, meskipun reputasinya terkenal buruk, cukup umum ditemukan dalam berbagai makanan sehari-hari. Kehadiran ini berasal dari sifat manufaktur dan kulinernya yang menarik, seperti peningkatan stabilitas dan umur simpan yang lebih lama, meningkatkan tekstur dan kelezatan makanan.

Asam lemak trans dapat ditemukan dalam berbagai macam makanan olahan komersial. Sayangnya, banyak dari kita yang mengonsumsinya tanpa menyadarinya, karena sering kali muncul dalam daftar bahan makanan kita sebagai minyak terhidrogenasi parsial.

Proses hidrogenasi parsial, suatu teknik penambahan molekul hidrogen ke lemak tak jenuh di bawah panas dan tekanan tinggi, mengubah minyak cair menjadi lemak padat, menghasilkan banyak asam lemak trans. Konversi ini memperbaiki tekstur dan umur simpan makanan, menjadikannya sangat didambakan dalam industri makanan. Namun penting untuk diingat bahwa lemak trans ini dapat menyebabkan dampak buruk bagi kesehatan, meningkatkan risiko penyakit jantung, stroke, dan diabetes tipe 2 jika dikonsumsi berlebihan.

Mari kita selidiki beberapa makanan sehari-hari yang mengandung lemak tersembunyi berikut:

1. Makanan olahan yang dipanggang: Ini termasuk makanan seperti kue kering, kue kering, pai, kue kering, donat, dan biskuit, banyak di antaranya menggunakan lemak trans untuk memperpanjang umur simpan dan meningkatkan rasa di mulut.
2. Makanan yang digoreng: Kentang goreng, ayam goreng, dan donat sering kali digoreng dengan minyak sayur terhidrogenasi parsial, yang mengandung lemak trans.
3. Margarin dan mentega nabati: Ini sering kali dibuat dengan menghidrogenasi minyak nabati, sehingga menghasilkan lemak trans. Mereka biasanya digunakan sebagai olesan dan dalam memanggang atau menggoreng.

4. Camilan gurih: Makanan seperti popcorn microwave, keripik kentang, dan makanan ringan lainnya yang digoreng atau dipanggang sering kali mengandung lemak trans untuk tekstur yang lebih baik dan umur simpan yang lebih lama.
5. Frosting dan topping siap pakai: Ini cenderung mengandung lemak trans tingkat tinggi untuk memberikan tekstur yang halus dan ringan.

Faktanya adalah, lemak trans bisa ditemukan di banyak makanan sehari-hari. Oleh karena itu, membaca label nutrisi dan memilih alternatif yang lebih sehat dan bebas lemak trans menjadi semakin penting jika memungkinkan.

5.7 Dampak dan Pengaruh Asam Lemak Trans

Dampak dan dampak asam lemak trans terhadap kesehatan manusia sangat signifikan dan beragam. Dari cara tubuh kita memetabolisme lemak hingga pengaruhnya terhadap penanda kesehatan vital dan risiko penyakit kronis, konsekuensi konsumsi lemak trans mempengaruhi berbagai aspek kesejahteraan nutrisi kita dan menjadi sangat memprihatinkan ketika lemak ini dikonsumsi dalam jumlah berlebihan.

Menyelidiki Pengaruh Asam Lemak Trans pada Kesehatan Manusia

Asam lemak trans mempunyai status yang tidak diinginkan sebagai lemak makanan yang paling berbahaya, dan konsumsinya telah dikaitkan dengan sejumlah besar efek merugikan pada kesehatan manusia. Tidak seperti lemak makanan lainnya, yang dapat memberikan manfaat nutrisi bila dikonsumsi dalam jumlah sedang, konsensus ilmiah menunjukkan bahwa tidak ada manfaat kesehatan yang diketahui terkait dengan asupan lemak trans dan, oleh karena itu, tidak ada tingkat konsumsi yang aman.

Pada dasarnya, inilah yang terjadi: ketika lemak trans masuk ke dalam tubuh kita, lemak tersebut mengganggu fungsi asam lemak esensial tertentu, yaitu lemak omega-3 dan omega-6. Asam lemak esensial ini memainkan peran penting dalam menjaga fungsi fisiologis penting seperti transmisi saraf, menjaga integritas seluler membran

tubuh kita, dan mengatur peradangan dan ritme jantung. Namun saat kita mengonsumsi lemak trans, lemak tersebut menggantikan lemak bermanfaat tersebut dari membran sel kita dan menggantikannya, sehingga mengganggu fungsi penting seluler tersebut. Menariknya, dampak buruk asam lemak trans tidak hanya terbatas pada gangguannya terhadap fungsi asam lemak esensial.

Bisa dikatakan, dampak lemak trans terhadap kesehatan kita tampaknya sebagian besar bersifat negatif. Mengingat pemahaman kita mengenai dampak buruknya, penting untuk mempertimbangkan kembali kebiasaan makan kita, terutama yang berkaitan dengan makanan olahan, yang merupakan sumber utama lemak ini dalam makanan kita.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sifat fungsional asam lemak trans memiliki dampak yang beragam terhadap kesehatan manusia. Asam lemak trans dapat meningkatkan risiko penyakit jantung koroner, kolesterol tinggi, obesitas, dan resistensi insulin. Oleh karena itu, konsumsi asam lemak trans sebaiknya diminimalisir atau dihindari dalam pola makan sehari-hari. Selain itu, perlu juga dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memahami secara mendalam efek dari asam lemak trans terhadap kesehatan manusia sehingga dapat ditemukan alternatif yang lebih sehat dan aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpert JS, Franco AT, Goldberg HR. The role of trans-fatty acids in the pathogenesis of atherosclerosis: perspective on the epidemiological evidence. *Int J Cardiol.* 2006;107:371-379.
- Ascherio A, Katan MB, Stampfer MJ, Willett WC. Trans fatty acids and coronary heart disease. *N Engl J Med.* 1999;340:1994-1998.
- Ascherio A, Willett WC, Rimm EB, Giovannucci EL, Spiegelman D, Stampfer MJ. Intake of trans fatty acids and risk of coronary heart disease. *N Engl J Med.* 1999;340:2037-2041.
- Bemelmans WJE, Lefrandt JD, Feskens EJM, et al. Increased alpha-linolenic acid intake lowers C-reactive protein, but has no effect on markers of atherosclerosis. *Eur J Clin Nutr.* 2004;58:1083-1089.
- Campos H, Mata P, Wolk WC, et al. Plasma LDL cholesterol response to use of high-intensity statin lowers plasma LDL cholesterol levels in homozygote for the epsilon2 epsilon2 apo E allele. *Circulation.* 2011;124:1456-1465.
- Campos H, Roqueta-Rivera M, Rood J, et al. Gene-nutrient interactions and cardiovascular disease: lipid pathways and transcription factor modulation. *Mol Nutr Food Res.* 2012;56:822-833.
- Djousse L, Pankow JS, Hunt SC, Arnett DK, Sellers TA, Rosamond W, et al. Influence of trans fatty acid intake on the risk of myocardial infarction in women. *Am J Clin Nutr.* 2003;77:1178-1184.
- Emadi Z, Hajimahmoodi M, Oveisi M.R., Maraghi S, and Issazadeh K, 2013. Determination of trans fatty acids in Iranian fast food and dairy products using gas chromatography. *Food Chemistry*, 141(4), pp.4232-4236.
- Fanti P, Asmis R, Stephenson TJ, Sawaya T, Franke A, Monnier VM. The toxicity of glucose-lysine and glucose-6-phosphate-lysine autoxidation products to cultured human endothelial cells. *Diabetes.* 1995;44:109-116.
- Field CJ, Ryan EA, Thomson AB, Clandinin MT. Diet fat composition alters membrane phospholipid composition, insulin kinetics, and glucose metabolism in adipocytes of control and diabetic rats. *J Biol Chem.* 1990;265:11143-11150.

- Lopez-Garcia E, Schulze MB, Meigs JB, Manson JAE, Rifai N, Hu FB. Consumption of trans fatty acids is related to plasma biomarkers of inflammation and endothelial dysfunction. *J Nutr.* 2005;135:562-566.
- Lottenberg AM, Lottenberg L. Trans fatty acids and cardiovascular risk; are the effects of trans fats due to increased cholesterol levels or to effects on lipoprotein metabolism? *Arq Bras Cardiol.* 2005;84:521-530.
- Mozaffarian D, Katan MB, Ascherio A, Stampfer MJ, Willett WC. Trans fatty acids and cardiovascular disease. *N Engl J Med.* 2006;354:1601-1613.
- Mozaffarian D, Rimm EB, King IB, et al. Dietary intakes of long-chain n-3 fatty acids heavily influence the plasma levels of the long-chain n-3 fatty acids in red blood cells. *Am J Clin Nutr.* 2003;77:605-611.
- Osborn H, 2010. Trans fatty acids. Enhancing the nutritional quality of fats and oils, Elsevier, pp. 204-245.
- Razani Z, Djalali M, Daneshpour M.S., Foroushani AR, Bidkhe M, Daneshvar A, Shab-Bidar S, Kelishadi R, and Djazayeri A, 2019. Trans fatty acid levels in commercially available food products in Iran. *Journal of Food and Drug Analysis,* 27(4), pp.953-959.
- Sundram K, 2003. Trans fatty acids in human nutrition. *Nutrition Research Reviews,* 16(2), pp.203-229.
- Teixeira D.J., Kuplich T.M., Benfica P.L., Luiz R.R., Pereira R.T.S., Lima C., and Coelho R, 2007. Content of trans-fatty acids in several Brazilian food products and their estimated intake by the population. *Journal of Food Composition and Analysis,* 20(1), pp.47-49.
- Xu Y, Zhang S, Hense HW. Risk prediction for cardiovascular disease: literature review and risk-reduction strategy. *Ann Intern Med.* 2011;165:123-134.
- Yazdani M, Tsika R, Singh A, Khodadadian JJ, Djousse L, Le Alessi J. Trans-fatty acids increase in lesbian, bisexual, and heterosexual women with type 2 diabetes. *Diabetes Care.* 2006;29:252-257.

BAB 6

SIFAT FUNGSIONAL FAT REPLACER

Oleh Nanik Suhartatik

6.1 Pendahuluan

Pengembangan pangan fungsional dilakukan untuk menciptakan bahan pangan yang aman dan menyehatkan untuk dikonsumsi. Pangan fungsional tidak hanya mencukupi kebutuhan akan gizi untuk menunjang kebutuhan hidup saja, namun juga membentuk tubuh yang sehat dan mampu menunjang aktivitas sehari-hari kita (Cencic & Chingwaru, 2010). Komponen makromolekul yang memberi kontribusi pada penyediaan energi untuk aktivitas sehari-hari, salah satunya adalah lemak. Lemak tergolong menjadi dua, yaitu asam lemak jenuh dan asam lemak tidak jenuh atau biasa disebut dengan asam lemak esensial. Konsumsi lemak sering dikaitkan dengan munculnya beberapa penyakit degeneratif seperti obesitas, kanker, kolesterol, hipertensi, dan juga meningkatnya resiko terhadap penyakit kardiovaskuler (Shaltout, 2007).

Keberadaan lemak di dalam makanan juga tidak bisa dianggap remeh karena selain memberi rasa gurih, lemak juga mampu membentuk tekstur makanan yang diinginkan (Colla et al., 2018). Sebagai contohnya adalah keberadaan lemak dalam es krim, akan memberi rasa gurih, memberi tekstur yang lembut dan *creamy* (Nugroho et al., 2020). Bahkan pada daging sapi, daging dengan kualitas lemak yang menyebar (*marbling*) mempunyai harga yang lebih tinggi daripada bagian daging yang tidak berlemak. Keberadaan lemak dalam daging, selain memberi rasa gurih, juga menimbulkan sensasi berair (*juicy*) pada saat mengunyah daging. Selain sebagai pemberi rasa gurih dan lezat, lemak juga berperan sebagai shortening, pembentuk tekstur (*creaminess, appearance, palability*, efek licin pada makanan), sebagai senyawa pembawa flavour, membantu proses pencoklatan pada makanan dan juga dapat

digunakan sebagai penanda adanya kerusakan fisik pada makanan (Hwang & Joo, 2017).

Tuntutan pengembangan bahan makanan saat ini adalah makanan yang enak, bergizi, rendah kalori, dan memberi efek nyaman atau enak saat mengkonsumsinya. Bab ini akan membahas tentang senyawa pengganti lemak (*fat replacer*), jenis-jenis *fat replacer*, dan manfaat serta peran *fat replacer* dalam tubuh. Pemahaman tentang *fat replacer* diharapkan dapat digunakan sebagai bahan untuk mengembangkan aneka jenis *fat replacer* sebagai salah satu bahan pangan yang memberi efek menyehatkan tubuh.

6.2 Definisi *fat replacer*

Salah satu peran lemak/minyak dalam bidang pangan adalah sebagai media untuk mengurangi kadar air bahan pangan. Pangan dengan kadar air tinggi akan lebih mudah rusak daripada bahan pangan dengan kadar air rendah. Mengurangi kadar air bahan pangan dengan media pemanas minyak goreng, sering disebut dengan istilah menggoreng. Selain mengurangi kadar air dalam bahan pangan, menggoreng juga membentuk tekstur dan rasa makanan yang lebih baik. Peran lemak dalam proses penggorengan dapat digantikan dengan proses yang lain, yaitu dengan cara merebus atau memanggang. Bahkan saat ini telah dikembangkan cara menggoreng dengan menggunakan udara panas (*air fryer*). Teknik penggorengan juga telah dikembangkan dengan cara menggunakan minyak dengan jumlah yang lebih sedikit sehingga akan menghasilkan residu yang lebih sedikit daripada menggoreng dengan teknik pencelupan (*deep fry*).

Pengurangan konsumsi lemak sehari-hari juga dapat dilakukan dengan mengurangi konsumsi lemak dalam diet, seperti menggunakan daging tanpa lemak dalam proses pengolahan atau mengganti whole milk dengan skim milk dalam pembuatan frozen dessert. *Fat replacer* adalah senyawa lemak atau non lemak yang secara struktur berbeda dengan lemak, tidak dapat diserap oleh tubuh, dan dapat memberikan tekstur, sensasi, dan sensori yang mirip dengan lemak. *Fat replacer* biasanya mempunyai kalori yang lebih rendah daripada lemak pada umumnya, berkisar antara 0-5 kkal/g.

6.3 Jenis-jenis *fat replacer* berdasarkan jenis makronutrien penyusunnya

Senyawa pengganti lemak dapat berasal dari karbohidrat, protein, atau kombinasi antara keduanya. *Fat replacer* dapat dikelompokan menjadi 2, yaitu *fat substitute* dan *fat mimetics*. *Fat substitute* merupakan senyawa yang mempunyai struktur mirip lemak dan dapat menggantikan peran lemak/minyak secara penuh dalam bahan pangan, sedangkan *fat mimetics* adalah senyawa non lemak, seperti karbohidrat atau protein atau kombinasi antara keduanya yang dapat menggantikan salah satu atau sebagian peran atau manfaat lemak dalam bahan pangan. *Fat mimetics* dapat memberikan efek yang sama dengan peran lemak/minyak sebagai senyawa pembentuk tekstur, kenampakan secara keseluruhan (*appearance*), sensasi di mulut, dan sifat organoleptik lain yang dimiliki oleh lemak/minyak. Karena sama-sama terbuat dari lemak, maka *fat substitute* bersifat stabil pada suhu pemanasan atau penggorengan. *Fat substitute* biasanya tidak dapat diserap oleh tubuh sehingga akan memberikan sumbangan kalori nol. Contoh senyawa yang tergolong *fat substitute* dapat dilihat pada Tabel 6.1. Fat analog mempunyai karakter yang mirip dengan lemak, ada kemungkinan dapat dicerna oleh tubuh namun mempunyai kalori yang bisa jadi lebih rendah.

Tabel 6.1. Contoh *Fat Substitute*

| Nama/grup | Komposisi |
|---------------------------|---|
| Emulsifier | |
| Olestra® dan Olean ® | Ester sukrosa dengan 6-8 asam lemak |
| Ester asam lemak sukrosa | Ester sukrosa dengan 1-3 asam lemak Karbohidrat-asam lemak |
| Sorbetrin ® | |
| Ester asam lemak sorbitol | Glukosida alkil + asam lemak |
| Polyester glikosida alkil | Sorbitan monostearat (span) |
| Span ® dan tween ® | Ester asam lemak polioksietilen (tween) |
| Miscellaneous | Ester asam lemak polipropilen |

| Nama/grup | Komposisi |
|------------------------------|--|
| Structured Lipid | |
| Caprenin ® | Trisilglicerol rantai sedang (MCT) (C ₈ , C ₁₀ , C ₂₂) |
| Neobee ® | Trisilglicerol rantai sedang dari minyak kelapa atau minyak kelapa sawit |
| Salatrim/Benefat ® | MCT (C ₂ , C ₄ , atau C ₁₈) |
| Dialkil diheksadesil malonat | |

® = merk terdaftar; Sumber: (Shaltout, 2007)

Fat extender mempunyai kemampuan/peran yang lebih baik daripada lemak/minyak sehingga penggunaannya dalam bahan pangan lebih sedikit daripada menggunakan lemak dalam bentuk aslinya. Dengan menggunakan *fat extender*, nilai kalori bahan pangan secara keseluruhan akan lebih rendah daripada tidak menggunakan *fat extender*.

Tabel 6.2. Contoh *Fat Mimetic*

| Nama/grup | Komposisi |
|--|--|
| Microparticle protein | |
| Simplesse ® | Protein telur, protein whey mikropartikulat |
| Trailblazer ® | Protein susu, protein whey mikropartikulat |
| Dairylo ® | Protein whey |
| Lita ® | Gluten jagung |
| Microstructure carbohydrate and gelling agent | |
| Avicel ® | Mikropartikel selulosa |
| Methocel ® | Ester selulosa |
| Amalean ® I dan II | Pati termodifikasi |
| Farinex, instant stellar, perfectamyl AC, PURE-Gel ®, STA-SLIM | Xanthum, pektin, alginate, dan polisakarida structural yang lain |
| Kel-Lite KELCOGEL ®, KELTROL ®, Slendid | |
| Oatrim® | Turunan oat, gel yang termoreversibel |
| Slendid | Partikel gel pektin mikropartikulat |

Sumber: (Shaltout, 2007)

Fat replacer telah digunakan di beberapa jenis produk, seperti bakery, biji-bijian danereal, permen, minyak goreng atau minyak untuk campuran salad, produk olahan susu, produk olahan beku, produk daging dan olahannya, lemak dan minyak, sup, saus, dan juga beberapa jenis snack atau makanan camilan. Secara keseluruhan, jenis *fat replacer* yang sering digunakan dalam bahan pangan, dapat dilihat pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3. Contoh *Fat Replacer*

| Kategori makanan | <i>Fat replacer</i> | |
|--|--|--|
| | Berbasis karbohidrat | Berbasis protein |
| Produk bakery | Serat, gum, inulin, maltodekstrin, polidekstrosa, pati | Protein mikropartikulat, konsentrat protein whey termodifikasi, protein campuran |
| Produkereal dan biji-bijian | Serat, gum, inulin, maltodekstrin, polidekstrosa, pati | Protein mikropartikulat |
| Permen | Selulosa, gum, inulin maltodekstrin, polidekstrosa, pati | Protein mikropartikulat |
| Minyak goreng dan minyak campuran salad | NA ^b | Protein mikropartikulat |
| Produk olahan susu | Selulosa, gum, inulin maltodekstrin, Oatrim, polidekstrosa, pati | Protein mikropartikulat, konsentrat protein whey termodifikasi, |
| Produk olahan susu, dessert dingin atau beku | Selulosa, gum, inulin maltodekstrin, Oatrim, polidekstrosa, pati | Protein mikropartikulat, konsentrat protein whey termodifikasi, protein campuran |
| Snack | Selulosa, serat, gum, maltodekstrin, pati | NA |

| Kategori makanan | <i>Fat replacer</i> | |
|-----------------------------|--|--|
| | Berbasis karbohidrat | Berbasis protein |
| Sup, saos, bahan kuah pekat | Selulosa, gum, inulin maltodekstrin, Oatrim, pati | Protein mikropartikulat, konsentrat protein whey termodifikasi |
| Makanan pembuka siap saji | Selulosa, gum, inulin maltodekstrin, Oatrim, polidekstrosa, pati | Protein mikropartikulat, konsentrat protein whey termodifikasi |

Sumber: (Shaltout, 2007)

6.4 Tipe Fat replacer

6.4.1 Berbasis karbohidrat

Maltodekstrin didefinisikan sebagai polimer sakarida D-glukosa yang tidak mempunyai rasa manis dan dihubungkan oleh ikatan α -1,4-glikosidik dengan jumlah dekstrosa kurang dari 20. Maltodekstrin dengan jumlah polimer antara 1-10 merupakan *fat replacer* yang baik. Produksi maltodekstrin skala besar dapat dilakukan dengan melakukan gelatinisasi pati pada suhu 105 °C dengan keberadaan asam atau enzim hingga menjadi derajat DE (*dextrose equivalent*) <3 dan diikuti oleh pemanasan dengan cepat (*jet cooking*) pada suhu 110-180 °C untuk memastikan terjadinya gelatinisasi sempurna. Bubur gel kemudian didinginkan dan diperlakukan menggunakan enzim α amilase sampai derajat hidrolisis yang dikehendaki. Bahan dasar pembuatan maltodekstrin dapat dikelompokan menjadi dua, berasal dari biji-bijian atau umbi-umbian. Maltodekstrin dari jagung dan kentang banyak dicari karena kandungan proteininya yang rendah. Kandungan protein dalam maltodekstrin juga dapat mengganggu penggunaannya dalam bidang pangan.

Pati termodifikasi lebih banyak berperan sebagai pembentuk tekstur utama dalam bahan pangan yang digunakan bersamaan dengan emulsifier, protein, gum, dan pati termodifikasi lainnya.

Oatrim atau juga dikenal dengan α -Trim TM, mengandung kalori antara 1-4 kkal/g. Oatrim termasuk dalam golongan *fat mimetic*

yang dibuat dengan cara memodifikasi pati dalam oat. Oatrim bersifat larut dalam air dan dapat menggantikan peran lemak sebagai agensi pembentuk tekstur pada bahan pangan. Oatrim telah mendapat sertifikat GRAS (*Generally recognized as Safe*) dari FDA dan telah dipatenkan sebagai *fat replacer* yang mempunyai efek menguntungkan bagi tubuh (Inglett & Carriere, 2000). Penggunaan oatrim berhubungan dengan umur panjang, vitalitas, dan penurunan resiko terhadap penyakit kronis lain. Oatrim mempunyai kemampuan untuk membentuk tekstur seperti halnya *shortening* pada proses pembuatan roti. Oatrim termasuk dalam kategori amilodekstrin yang mempunyai aktivitas biologis seperti serat pangan.

Z-trim adalah serat pangan tidak larut yang berasal dari oat, kedelai, kacang hijau, bekatul beras, gandum atau jagung. Sensasi yang diperoleh ketika menambahkan Z-trim adalah kelembutan (*moistness*), densitas, dan kehalusan (*smoothness*). Salah satu contoh penggunaan Z-trim pada produk pangan adalah penggunaan serat pangan larut dari kulit ari kacang babi (*Vicia faba*) sebagai bahan pembentuk tekstur dan antioksidan alami burger tiruan (Elsebaie et al., 2022). Penggunaan Z-trim terbukti juga mampu menurunkan resiko kerusakan burger saat proses pendinginan.

***Fat Mimetics* berbasis serat pangan**

Selulosa yang sudah terkristalisasi dapat digunakan sebagai senyawa pembentuk koloid. Proses pembentukan kristal dibantu dengan keberadaan garam (sodium). Selulosa pembentuk tekstur pengganti lemak yang sudah beredar di pasaran adalah natrium karboksi metil selulosa. Penggunaan selulosa terkristalisasi dalam bahan pangan berkisar antara 0.1 sampai dengan 10% namun untuk aturan standar penggunaan adalah 0.4 s/d 3.0%.

Metil selulosa (MC, *methyl cellulose*) gum merupakan salah satu jenis metil selulosa dan hidroksi propil metil selulosa (HPMC) yang sudah digunakan sebagai *fat mimetics* selama kurang lebih 40 tahun. Sama seperti halnya lemak, MC dan HPMC membantu menahan masuknya/keluarnya air untuk mempertahankan struktur, menstabilkan komposisi udara dan karbodioksid dan menurunkan kehilangan (*loss*) yang disebabkan karena hilangnya air dalam bahan

pangan. MC dan HPMC sering digunakan pada produk pangan yang digoreng (supaya tetap *crispy*, bahan pangan berbentuk cair, produk bakery, olahan susu yang dibekukan, dan juga *whipped cream* rendah lemak.

Pektin merupakan hidrokoloid berbentuk polimer asam galakturonat yang sebagian gugus aktifnya sudah teresterifikasi (metil). Pektin dapat dijumpai pada buah dan sayuran. Pektin dapat diperoleh dengan cara ekstraksi air kulit jeruk dan apel sebagai hasil samping dari pembuatan jus buah. Pektin komersil dijual dalam bentuk pektin metoksi rendah (*Loe methoxy pectin*) dan *high methoxy pectin* berdasarkan derajat metilasinya.

Slendid merupakan pektin yang diproduksi secara besar-besaran untuk dapat digunakan sebagai bahan pengganti lemak. Slendid mempunyai kelebihan karena mempunyai stabilitas terhadap pH yang baik, stabil terhadap pH, gaya gesek, garam, rasa netral, mempunyai kenampakan mirip lemak, tanpa kalori, dan dosis penggunaannya relatif rendah. Selain yang telah disebutkan di atas, jenis *fat mimetics* lain yang berasal dari serat pangan adalah gum hidrokoloid, polidekstrosa, buah-buahan, dan semua bubur buah mengandung serat yang dapat digunakan sebagai bahan pengganti lemak.

6.4.2 Protein-based fat replacers

Bahan berprotein tinggi yang dapat digunakan sebagai fat replacers, biasanya berasal dari susu, telur, whey atau protein dari buah atau sayuran.

Protein Mikropartikalat

Mikropartikulasi adalah paten berupa proses yang digunakan untuk memproduksi *fat replacers*. Protein termikropartikulasi (PMP) terdiri dari protein susu, telur, atau whey yang berukuran sangat kecil dan dapat diterima oleh mulut kita muncul dengan sensasi *creamy*. Contoh produk makanan yang menggunakan protein termikropartikulasi adalah krim, mayones, coklat, dan pasta. PMP akan dicerna sebagai protein, namun tidak mengandung kolesterol dan juga tidak mengandung kalori. Produk yang ada di pasaran dan diperjualbelikan secara komersil contohnya adalah Simpless ® dan

Dairy-Lo®. Simpless dibuat dari protein whey, susu, atau telur. Simpless mengandung 1-4 kcal/g sedangkan Dairy-Lo® mengandung 4 kcal/g. Dairy-Lo® diproduksi dengan cara mendenaturasi protein dari whey manis. Dairy-Lo® dapat memperbaiki tekstur, stabilitas flavor dari makanan rendah lemak.

6.4.4 Fat replacers berbasis lemak

Ada beberapa triasilgliserol yang sengaja diproduksi untuk mengurangi nilai kalorinya atau bahan lain yang dibuat mirip triasilgliserol namun mempunyai nilai kalori yang rendah atau bahkan sampai nol. *Fat replacers* berbasis lemak ini biasanya digunakan sebagai emulsifier dan bisa dibuat dengan reaksi esterifikasi asam lemak. Gugus asil dalam triasilglierol diganti dengan senyawa lain, seperti alkohol rantai panjang, sorbitol, sorbitan, sukrosa, atau asam laktat. Asam organik lain seperti asam asetat, asam sitrat, asam diasetil tartrat atau suksinat juga bisa digunakan sebagai gugus pengganti pada salah satu gugus asil. Produk komersil yang termasuk dalam kategori ini adalah olestra, salatrim, sobestrim, dan caprenin.

6.5 Penutup

Fat replacers merupakan salah satu komponen yang berperan penting dalam olahan pangan. Produk pangan berkalori tinggi dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi produk yang aman untuk dikonsumsi dan menyehatkan badan jika satu atau beberapa komponennya diganti dengan bahan yang mempunyai kalori rendah. Berkaitan dengan pola dan gaya hidup saat ini yang lebih banyak memperhatikan aspek kesehatan daripada kepuasan, maka potensi pengembangan *fat replacers* akan semakin berkembang.

DAFTAR PUSTAKA

- Cencic, A., & Chingwaru, W. (2010). The role of functional foods, nutraceuticals, and food supplements in intestinal health. *Nutrients*, 2(6), 611–625. <https://doi.org/10.3390/nu2060611>
- Colla, K., Costanzo, A., & Gamlath, S. (2018). *Fat replacers in baked food products*. *Foods*, 7(12). <https://doi.org/10.3390/foods7120192>
- Elsebaie, E. M., Elmahdy, A., El-Gezawy, E. S., Badr, M. R., Asker, G. A., El-Gawish, A. M., & Essa, R. Y. (2022). Effects of Faba Bean Hull Nanoparticles on Physical Properties, Protein and Lipid Oxidation, Colour Degradation, and Microbiological Stability of Burgers under Refrigerated Storage. *Antioxidants*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/antiox11050938>
- Hwang, Y. H., & Joo, S. T. (2017). Fatty acid profiles, meat quality, and sensory palatability of grain-fed and grass-fed beef from Hanwoo, American, and Australian crossbred cattle. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(2), 153–161. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.2.153>
- Inglett, G. E., & Carriere, C. J. (2000). Oatrim and NutrimX: Technological Development and Nutritional Properties. *Advanced Dietary Fibre Technology*, 270–276. <https://doi.org/10.1002/9780470999615.ch24>
- Nugroho, P., Hartayanie, L., & Dwiana, K. P. (2020). The Role of Mungbean (*Phaseolus radiatus*) as a *Fat replacer* on the Physicochemical Properties of Ice Cream. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 2(3), 111–120. <https://doi.org/10.32734/injar.v2i3.2859>
- Shaltout, E. (2007). *Fat replacers and Their Applications in Food Products: A Review*. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 4(1), 29–44. <https://doi.org/10.21608/ajfs.2007.19631>

BAB 7

SISTEM PERTAHANAN TUBUH HUMORAL DAN SELULER

Oleh Nurul Fajrih

7.1 Pendahuluan

Sistem pertahanan tubuh atau yang dikenal juga dengan sistem kekebalan tubuh adalah jaringan kompleks yang terdiri dari organ, sel, protein, dan zat-zat kimia yang bekerja bersama untuk melindungi tubuh dari serangan patogen seperti bakteri, virus, jamur, dan parasit serta mampu mengenali dan menghancurkan sel-sel yang telah rusak atau terinfeksi. Fungsi utama sistem kekebalan adalah untuk menjaga kesehatan tubuh dengan mendeteksi dan merespon invasi patogen serta melawan pertumbuhan sel kanker.

Sistem pertahanan tubuh bekerja dengan berbagai cara, diantaranya dengan mengenali molekul khusus pada permukaan patogen seperti antigen, menghasilkan antibodi untuk melawan patogen, dan merangsang respon inflamasi untuk membatasi penyebaran infeksi. Selain itu, sistem kekebalan juga dapat membedakan antara bahan asing yang berbahaya dan jaringan tubuh sendiri, sehingga mencegah respons imun yang tidak sesuai yang dapat menyebabkan penyakit autoimun.

7.2 Cara Kerja Sistem Pertahanan Tubuh

Sistem pertahanan tubuh bekerja dengan cara mengumpulkan informasi mengenai patogen dan zat asing yang masuk ke dalam tubuh, kemudian menyimpan informasi tersebut dalam memori imun. Selanjutnya menggunakan informasi tersebut untuk melindungi tubuh dari infeksi yang sama di masa depan. Menjaga sistem imun agar berfungsi dengan baik, maka penting untuk mengkonsumsi makanan yang sehat, melakukan pola hidup sehat, dan berolahraga. Berikut adalah hal-hal yang dilakukan oleh tubuh dalam mempertahankan sistem ketahanan tubuh :

1. Mengenali zat asing yang masuk ke dalam tubuh

Sistem imun terdiri dari sel darah putih yang berfungsi untuk mengenali antigen, yang merupakan molekul unik yang terkandung dalam patogen dan zat asing. Ketika antigen melekat pada reseptor sel imun, seluruh tubuh akan bekerja sama untuk mengenali antigen.

2. Menghasilkan antibodi pada tubuh

Setelah antigen terdeteksi, sistem imun akan memproduksi antibodi, yang merupakan molekul yang dapat mengikat dan menghancurkan patogen. Antibodi ini akan membantu tubuh menghancurkan patogen dan membantu sistem imun mengenali dan menghancurkan patogen yang sama di masa depan.

3. Mengaktifkan reaksi peradangan

Sistem imun akan mengaktifkan reaksi peradangan, yang merupakan proses yang mengakibatkan sel tubuh menghasilkan zat kimia inflamasi yang akan membantu menghancurkan patogen.

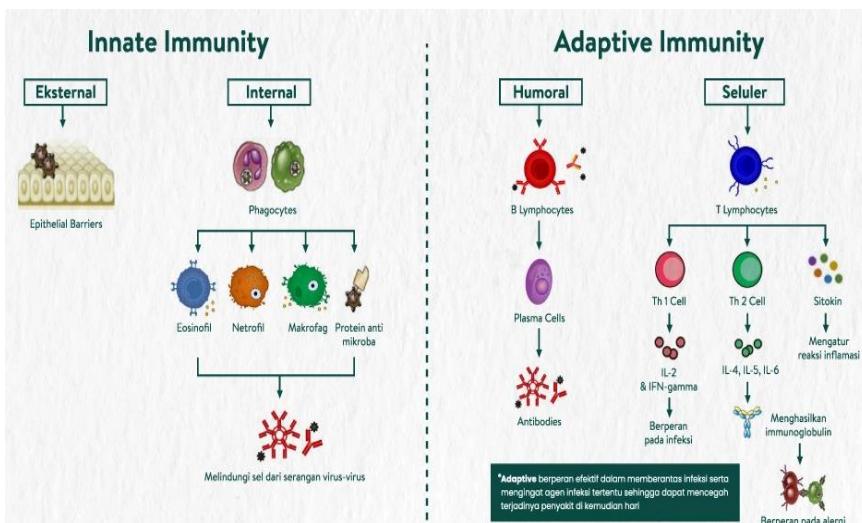
4. Pembentukan memori imun

Sistem imun akan membentuk memori imun, yang merupakan proses yang mengakibatkan tubuh akan lebih mudah mengenali dan menghancurkan patogen yang sama di masa depan.

5. Mengelola zat asing yang tidak dikenal

Sistem imun juga bekerja untuk mengelola zat asing yang tidak dikenal tubuh, seperti sel-sel mati atau sel-sel yang berubah bentuk dan kegunaannya.

Terdapat dua respon imun ketika tubuh terpapar zat asing, yaitu respons imun bawaan dan respons imun adaptif. Respons imun bawaan merupakan proteksi awal melawan infeksi dan memberikan efek perlindungan dengan cepat, sedangkan respons imun adaptif merupakan respons yang lebih spesifik terhadap antigen tertentu dan berkembang lebih lambat serta lebih efektif melawan infeksi seperti ditunjukkan pada Gambar 7.1. Koordinasi di antara kedua sistem imun ini diperlukan untuk melindungi tubuh dari berbagai patogen.



Gambar 7.1. Respon Imun

Kulit merupakan pertahanan tubuh pertama ketika terpapar patogen. Apabila patogen berhasil menembus kulit, maka tubuh menggunakan fagosit yang merupakan protein antimikroba atau sebagai garis pertahanan kedua. Protein dan fagosit antimikroba ini berfungsi sebagai pertahanan mekanis dan kimiawi. Selain mengeluarkan bahan kimia, juga dapat memakan patogen yang masuk ke tubuh jika diperlukan. Jika kulit mengalami gatal, bentol-bentol, bengkak, memerah, dan demam, itu menunjukkan bahwa patogen sedang melawan sistem kekebalan tubuh. Jika patogennya sangat kuat dan dapat menaklukkan pertahanan kedua tubuh, maka patogen tersebut harus melewati pertahanan ketiga yaitu sistem imun humoral dan seluler.

7.3 Sistem Pertahanan Tubuh Humoral

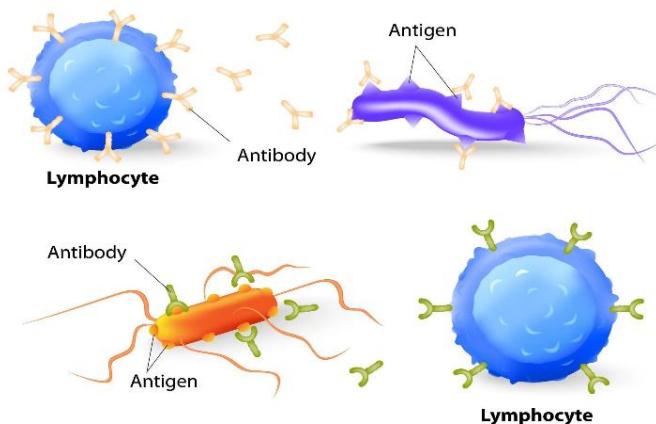
Sistem pertahanan tubuh humoral merupakan bagian dari sistem kekebalan tubuh yang berfokus pada respons terhadap patogen di lingkungan ekstraseluler, terutama patogen yang berada dalam darah dan cairan tubuh lainnya. Sistem ini terutama melibatkan produksi dan aksi antibodi oleh sel-sel B dan berbagai komponen lainnya. Sel B adalah jenis sel darah putih yang penting dalam sistem

kekebalan humoral. Sel B diproduksi di sumsum tulang dan diferensiasi menjadi sel plasma yang menghasilkan antibodi setelah teraktivasi oleh antigen.

Sistem pertahanan tubuh humoral sangat penting dalam melawan infeksi bakteri, virus, dan parasit yang berada di dalam cairan tubuh, serta dalam melindungi tubuh dari toksin dan bahan asing lainnya. Sel B adalah sel kekebalan yang terlibat dalam produksi dan pelepasan antibodi yang disebut juga sebagai imunoglobulin.

Mekanisme kerja kekebalan humoral setelah mendeteksi patogen, yaitu diawali dengan limfosit atau yang dikenal sebagai sel B akan memulai memproduksi antibodi didalam tubuh. Antibodi yang dihasilkan mampu mencapai sekitar 100 juta molekul per jam. Antibodi ini memiliki kemampuan mengikat antigen dalam darah, sehingga membuat antigen tersebut tidak dapat berikatan dengan targetnya yang ditunjukkan pada Gambar 7.2. Selanjutnya karena dengan berikatan dengan antibodi, maka membuat antigen tidak dapat menyebar karena dihancurkan oleh makrofag. Mekanisme tersebut sehingga patogen tidak dapat menyebabkan penyakit pada tubuh. Selain itu, ketika sel B dalam sistem limfatis bersentuhan dengan antigen, maka akan memulai proses diferensiasi yang menghasilkan pembentukan sel B memori dan sel B efektor.

HUMORAL IMMUNITY



Gambar 7.2. Cara kerja Sistem Kekebalan Humoral

Sumber : Hendersen, 2024

Imunitas humoral dimediasi oleh antibodi yang disekresikan, dan fungsi fisiologisnya adalah pertahanan terhadap mikroba ekstraseluler dan toksin mikroba. Jenis imunitas ini berbeda dengan imunitas yang diperantarai sel, cabang efektor lain dari sistem imun adaptif yang dimediasi oleh limfosit T dan berfungsi membasi mikroba yang menginfeksi dan hidup di dalam sel inang.

Banyak bakteri yang menyebabkan penyakit menular pada tubuh dan berkembang biak di kompartemen ekstraseluler tubuh, dan sebagian besar patogen intraseluler menyebar dengan berpindah dari sel ke sel melalui cairan ekstraseluler. Kompartemen ekstraseluler dilindungi oleh respon imun humoral, di mana antibodi yang diproduksi oleh sel B menyebabkan penghancuran mikroorganisme ekstraseluler dan mencegah penyebaran infeksi intraseluler. Aktivasi sel B dan diferensiasinya menjadi sel plasma yang mensekresi antibodi dipicu oleh antigen dan biasanya membutuhkan sel T-Helper.

7.4 Sistem Pertahanan Tubuh Selular

Sistem pertahanan tubuh seluler adalah bagian dari sistem imun tubuh yang berperan dalam menyerang dan menghancurkan patogen yang telah menginfeksi sel tubuh. Aktor utama yang terlibat dalam sistem pertahanan tubuh seluler adalah sel T, sel B, dan makrofag. Sel T (*T-lymphocyte*) adalah sel darah putih tertentu yang memiliki fungsi mengidentifikasi dan menyerang sel yang tidak seimbang atau sel yang berubah normal.

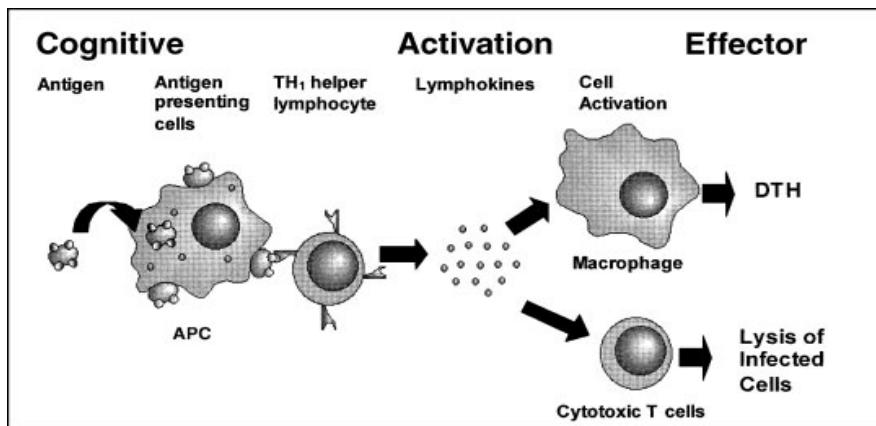
Sel T dapat dikelompokkan menjadi sel T helper (CD4+) dan sel T citotoks (CD8+). Sel T helper memiliki fungsi mengaktifkan sel B dan menjadi agen yang menginduksi proliferasi sel B. Sel T citotoks, kemudian memiliki fungsi mengaktifkan makrofag dan menghancurkan sel yang tidak seimbang. Makrofag adalah sel yang memiliki fungsi mengkonsumsi dan menghancurkan bakteri dan partikel asing. Makrofag dapat bergerak dan mengkonsumsi bakteri dan partikel asing langsung, atau mengikat dan menghancurkan bakteri dan partikel asing dengan antibodi atau enzim. Sistem pertahanan tubuh seluler bekerja sama dengan sistem pertahanan tubuh nonspesifik, seperti sistem komplemen dan fagositosis, untuk

mengurangi dan menghancurkan patogen yang masuk ke dalam tubuh.

Cara kerja sel limfosit T dalam melawan patogen di dalam tubuh terdiri dari beberapa langkah:

1. Pengenalan Antigen: Sel T memiliki kemampuan mengenali antigen spesifik patogen. Setelah sel T mendeteksi antigen patogen, maka sel T akan mengaktifkan proses imun yang tepat
2. Proliferasi Sel T: Sel T akan memulai proliferasi, yaitu proses peningkatan jumlah sel T yang tersedia. Proliferasi ini akan meningkatkan kemampuan sel T untuk melawan patogen
3. Mengaktifkan Sel B: Sel T helper (CD4+) akan mengaktifkan sel B, yang memiliki fungsi memproduksi dan membentuk antigen-spekifis, yaitu antibodi. Antibodi ini akan mengikat patogen dalam darah, sehingga membuat patogen tidak dapat berikatan dengan targetnya
4. Mengaktifkan Makrofag: Sel T citotoks (CD8+) akan mengaktifkan makrofag dan menghancurkan sel yang tidak seimbang atau sel yang berubah normal. Sel T citotoks akan mengaktifkan makrofag dan menghancurkan sel yang tidak seimbang atau sel yang berubah normal dengan meluncurkan kemampuan mengeluarkan senyawa yang mengakibatkan celah dalam sel yang tidak seimbang atau sel yang berubah normal
5. Meningkatkan Kemampuan Sel T: Sel T juga memiliki kemampuan mengendalikan kandungan nutrisi yang dibutuhkan untuk mendukung aktivitasnya. Sebagai contoh, sel T membutuhkan asam amino yang berkesinambungan untuk sintesa protein dicerna, dan bertahan lama di dalam tubuh

Sel limfosit T bekerja sama dengan sistem pertahanan tubuh nonspesifik, seperti sistem komplemen dan fagositosis, untuk mengurangi dan menghancurkan patogen yang masuk ke dalam tubuh. Sejalan dengan Sang W. Lee and Richard (2004) bahwa cara kerja atau respon imun seluler terdiri dari tiga fase yaitu kognitif, aktivasi dan efektor ditunjukkan pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3. Cara kerja Sistem Kekebalan Seluler

Sumber : Sang W. Lee, and Richard, 2004

Pada fase kognitif, makrofag menampilkan antigen asing pada permukaannya dalam bentuk yang dapat dikenali oleh limfosit T helper yang spesifik terhadap antigen. Pada fase aktivasi, sel T Helper menghasilkan sitokin yang mendorong proliferasi dan diferensiasi sel T serta sel lainnya, termasuk makrofag. Akhirnya, pada fase efektor dari respons yang dimediasi oleh sel, makrofag yang teraktivasi melakukan fagositosis dan sitolisis. Gangguan pada salah satu dari langkah-langkah inilah sehingga menghasilkan kekebalan seluler yang signifikan (Gambar 7.3.)

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas K A, Lichtmant A H, Pillai S. 2004. Cellular and Molecular Immunologi. Fifth ed. Philadelphia : W B S aunders Company.
- Baratawidjaja, K.G. and Rengganis I. 2012. Imunologi Dasar ed. 10. Jakarta. Balai Penerbit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia.
- Henderson, E 2022. Humoral vs Cell-mediated Immunity. <https://www.news-medical.net/health/Humoral-vs-Cell-mediated-Immunity.aspx>
- Panawala, L 2017. Difference Between Humoral and Cell Mediated Immunity.
- Sang W, Lee, and Richard L Whelan, M.D. 2004. Immunologic and Oncologic Implications of Laparoscopic Surgery: What Is the Latest? *J. Clinics in Colon and Rectal Surgery* 19(1):5 -12. DOI: 10.1055/s-2006-939525.
- Zajac, A, J. and Harrington, L, E 2014. Immune Response to Viruses: Cell-Mediated Immunity. Reference Module in Biomedical Sciences, Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.02604-0>.

BAB 8

SIFAT FUNGSIONAL SERAT PANGAN

Oleh Elisa Julianti

8.1 Pendahuluan

Perhatian konsumen terhadap pangan yang sehat dan praktis semakin meningkat, terutama terhadap mutu, nilai gizi, dan manfaat kesehatan produk pangan yang dikonsumsi. Salah satu pangan yang dianggap sebagai pangan sehat adalah pangan yang mengandung serat pangan yang tinggi. Istilah serat pangan mengacu pada beragam senyawa yang berbeda secara biokimia dan biofisika, dengan efek yang bervariasi pada parameter fisiologis.

Secara umum, serat pangan merupakan sisa-sisa sel tanaman yang tidak dapat diurai oleh enzim manusia. Serat pangan terdiri dari bahan-bahan dengan struktur sintetis dan morfologi yang beragam. Meskipun tidak dapat dicerna oleh enzim pencernaan manusia, serat pangan dapat dicerna oleh mikroflora di usus. Sumber serat pangan meliputi berbagai jenis sayuran, gandum, dan biji-bijian (Caprita *et al.*, 2010). Buah-buahan dan rumput laut juga merupakan sumber serat pangan yang melimpah (Brownlee, 2011). Serat pangan yang larut banyak ditemui pada buah-buahan, oat, gandum, dan kacang-kacangan (Caprita *et al.*, 2010).

Meskipun masih terdapat kontroversi tentang dampak dari diet yang tinggi serat terhadap penyakit menular, serat pangan dianggap sebagai komponen yang penting bagi kesehatan manusia. Peran serat pangan dalam mencegah penyakit seperti kanker, penyakit jantung, diabetes, dan obesitas telah banyak dibuktikan. Serat pangan bukan hanya penting karena nilai gizinya, tetapi juga karena sifat fungsional dan mekanisnya. Namun demikian, berdasarkan studi-studi observasional, sulit untuk menghubungkan semua manfaat kesehatan dari makanan alami yang kaya serat semata-mata dengan kandungan seratnya, sehingga suplementasi serat pada makanan dapat dianggap sebagai cara untuk memberikan manfaat kesehatan tambahan. Oleh

karena itu, penting untuk mengetahui sifat fisiko-kimia dari berbagai jenis dan sumber serat pangan yang dapat memengaruhi fisiologi gastrointestinal dan sistemik.

8.2 Defenisi Serat Pangan

Istilah "serat pangan" atau "*dietary fiber* (DF)" pertama kali muncul pada tahun 1950-an, merujuk pada komponen pembentuk dinding sel tanaman. Istilah "serat pangan" atau "*dietary fiber* (DF)" pertama kali muncul pada tahun 1950-an, merujuk pada komponen pembentuk dinding sel tanaman. Eben Hipsley pada tahun 1953 pertama sekali menggunakan istilah serat pangan dalam publikasi hasil penelitiannya yang menunjukkan bahwa populasi dengan diet tinggi serat cenderung memiliki tingkat keracunan kehamilan yang lebih rendah (Hipsley, 1953). Sebelumnya, istilah analitis "serat kasar" telah digunakan untuk bagian dari pangan nabati yang lolos dari ekstraksi pelarut, asam, dan alkali (Trowell, 1976). Serat pangan awalnya dipostulasikan sebagai bahan nabati yang tidak tersedia (lolos dari pencernaan dan penyerapan di saluran pencernaan bagian atas manusia (Asp, 1987)).

Istilah serat pangan terus mengalami perubahan dan saat ini digunakan untuk menggambarkan polisakarida tumbuhan yang tidak dapat dicerna dan diserap dalam saluran pencernaan (Brownlee, 2011). Pada tahun 2000 *American Association of Cereal Chemists* (AACC) menyepakati defenisi serat pangan yaitu bagian yang dapat dimakan dari tanaman atau karbohidrat analog yang tahan terhadap pencernaan dan penyerapan di usus halus manusia dengan fermentasi lengkap atau sebagian di usus besar. Serat pangan meliputi polisakarida, oligosakarida, lignin, serta komponen tanaman lain yang sejenis seperti pektin, gum dan lilin (*waxes*) (Rodriguez, 2006). Serat pangan meningkatkan efek fisiologis yang menguntungkan termasuk pelunakan feses, penurunan kolesterol darah dan/atau penurunan glukosa darah (AACC, 2001). Defenisi serat pangan oleh AACC ini dianggap sangat komprehensif karena mencakup aspek asal, ilmu pengetahuan, dan fisiologi serat pangan yang telah diteliti selama bertahun-tahun.

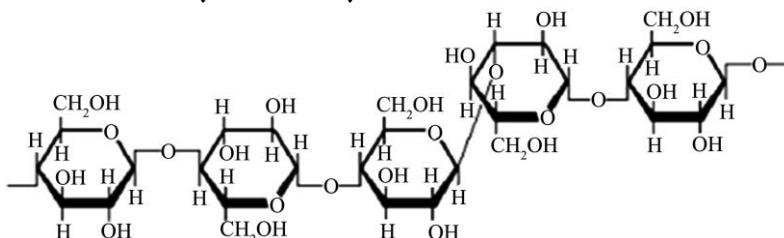
8.3 Klasifikasi Serat Pangan

Serat pangan dapat diklasifikasikan berdasarkan struktur dan kelarutannya. Berdasarkan strukturnya, Ibrahim dan Menkovska (2022) membedakan serat dibedakan atas :

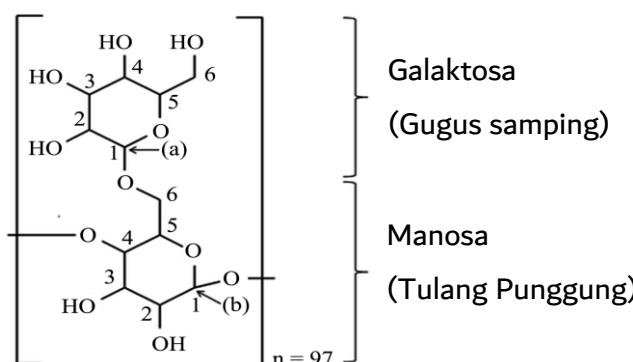
1. β -Glukan—Polimer glukosa yang mengandung ikatan glikosidik β -1,4, β -1,3 dan β -1,6 antar unit glukosa (Gambar 8.1), serta banyak dijumpai di gandum, rye, oat dan barley.
2. Galaktomannan—Polimer galaktosa dan manosa yang terdiri dari rantai utama manosa yang dihubungkan dengan ikatan glikosidik β -1,4 dan rantai samping subunit galaktosa yang dihubungkan ke unit manosa dengan ikatan glikosidik α -1,6 (Gambar 8.2).
3. Arabinoxylan—polimer yang terdiri dari rantai utama xilosa yang terhubung dengan β -1,4 dengan monomer xilosa yang mengandung campuran residu 2, atau 3, atau 2 dan 3 tersubstitusi α -L-arabinosa (Gambar 8.3).
4. Pektin—beragam polimer polisakarida yang banyak terdapat pada buah-buahan dan dapat dibagi lagi menjadi dua kelas besar, yaitu galakturonan yang terdiri dari homo-galakturonan, galakturonan tak tersubstitusi dan tersubstitusi, serta rhamnogalakturonan yang terdiri dari rhamnogalacturonan-I dan rhamnogalacturonan-II (Gambar 8.4).
5. Arabinogalaktan—polimer polisakarida yang terdiri dari D-galaktosa dan L-arabinosa dengan perbandingan 6:1 bersama dengan beberapa unit asam D-glukuronat. Struktur umumnya adalah rantai utama galaktosil linier terkait β -1,3 yang mengandung rantai samping pada posisi C6. Sebagian besar rantai samping ini adalah ikatan galaktosa atau arabinosa α -1,6 (Gambar 8.5).
6. Pati Resisten—segala bentuk pati yang resisten terhadap hidrolisis oleh enzim usus halus. Ada empat jenis pati resisten yang berbeda. Ini adalah RS-1, suatu bentuk pati yang terlindungi secara fisik yang ditemukan dalam biji-bijian yang digiling utuh atau sebagian, RS-2 yang terdapat dalam butiran mentah, RS-3 yang merupakan pati yang mengalami retrogradasi, dan RS-4

yang merupakan pati yang dimodifikasi secara kimia (Gambar 8.6).

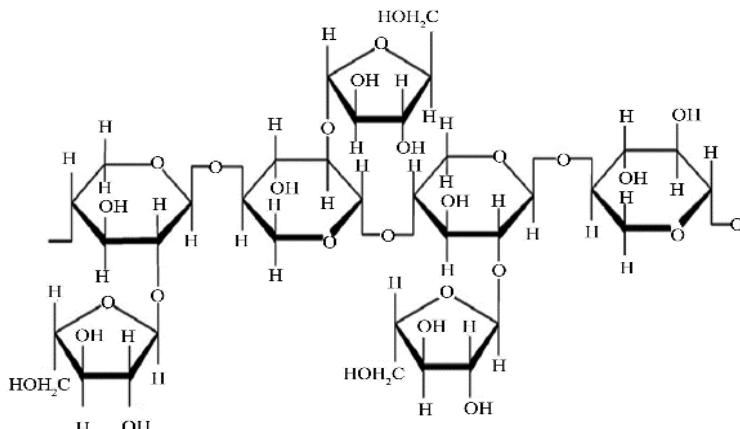
7. Polidekstrosa—polimer sintetik dari unit glukosa acak dengan semua jenis ikatan glikosidik, dan mengandung sedikit unit atau sorbitol dan asam sitrat. Polidekstrose tahan terhadap pencernaan, dan diproduksi secara sintetis (Gambar 8.7).
8. Cutin dan Suberin—serat makanan yang terbuat dari lilin tumbuhan yang umumnya merupakan polimer terdiri dari monomer asam alifatik rantai panjang seperti asam 18-hidroksi-oleat, atau monomer asam aromatik seperti asam hidroksisinamat (Gambar 8.8).



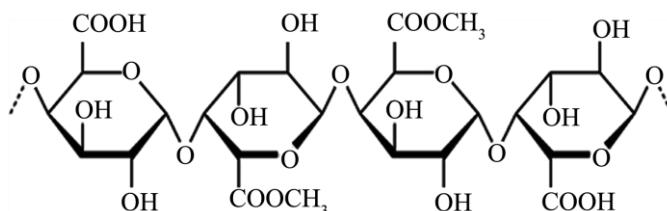
Gambar 8.1. β -Glukan berupa polisakarida linier terdiri dari glukosa yang mengandung ikatan glikosidik β -1,3 dan β -1,4 (Ibrahim dan Menkovska, 2022).



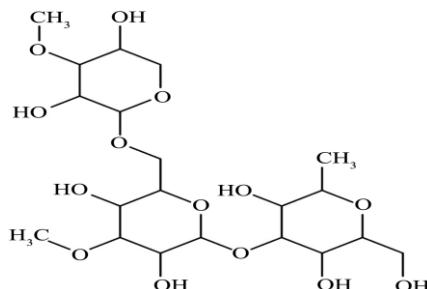
Gambar 8.2. Galaktomanan berupa polimer manosa yang dihubungkan oleh ikatan β -1,4 dan sub unit galaktosa yang dihubungkan ke unit manosa dengan ikatan α -1,6 glikosida (Ibrahim dan Menkovska, 2022).



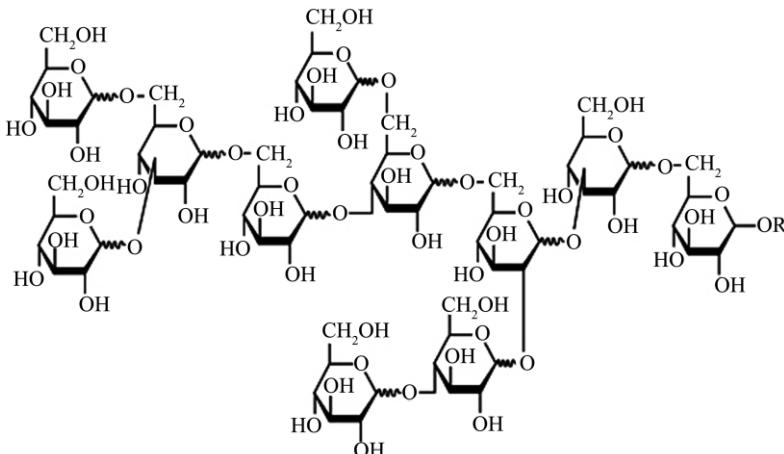
Gambar 8.3. Arabinoksilan terdiri dari tulang punggung residi xilosa dengan ikatan β -1,4 dan disubstitusi dengan residi arabinosa pada posisi C(0)-2 dn/atau C(0)-3 (Ibrahim dan Menkovska, 2022).



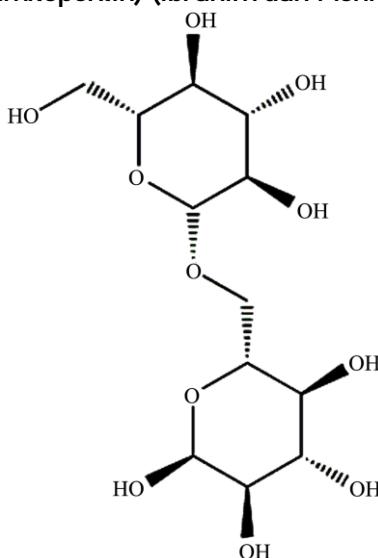
Gambar 8.4. Pektin yaitu kompleks polisakarida terutama terdiri dari residi asam D-galakturonat yang diesterifikasi pada rantai α -1,4 (Ibrahim dan Menkovska, 2022).



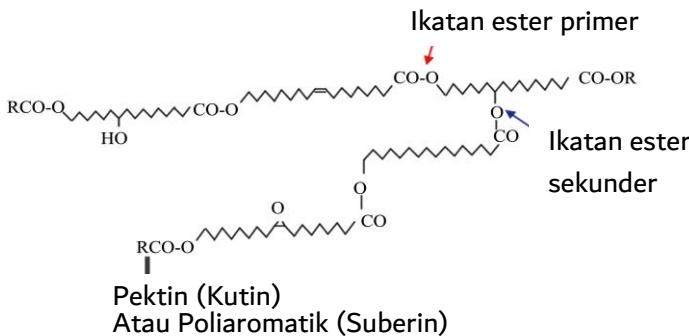
Gambar 8.5. Arabinogalaktan yaitu polisakarida dengan cabang yang banyak dan berat molekul tinggi terutama terdiri dari arabinosa, residi galaktosa dan asam glukoronat (Ibrahim dan Menkovska, 2022).



Gambar 8.6. Pati resisten yaitu karbohidrat dengan berat molekul tinggi disusun atas residu gulokosa rantai lurus (amilosa) dan rantai bercabang (amilopektin) (Ibrahim dan Menkovska, 2022).



Gambar 8.7. Polisakarida yang terdiri dari unit glukosa yang berikatan silang secara acak dengan semua jenis ikatan glikosidik dan mengandung sejumlah kecil sorbitol dan asam sitrat (Ibrahim dan Menkovska, 2022).



Gambar 8.8. Kutin yaitu poliester alifatik yang dibuat dari asam lemak ω -hidroksi C16 dan C18 serta turunannya. Suberin merupakan komponen alifatik dan aromatik dengan panjang rantai lebih besar dari C20 hingga C20, khususnya 1-alkanol, asam lemak ω -hidroksi. [R] adalah rantai domain poliester lainnya (Ibrahim dan Menkovska, 2022).

Berdasarkan kelarutannya di dalam air maka serat pangan dibedakan atas serat larut (*Soluble Dietary Fiber/SDF*), dan serat tidak larut (*Insoluble Dietary Fiber/IDF*), seperti dapat dilihat pada Tabel 8.1. Serat pangan larut adalah kelompok serat yang larut dalam larutan buffer dan model larutan enzim yang ada dalam sistem pencernaan manusia (El-Khoury *et al.*, 2012). SDF dapat difermentasi (*highly fermentable*) oleh mikroorganisme yang ada di dalam saluran pencernaan manusia.

Serat yang termasuk golongan serat pangan larut adalah oligosakarida, termasuk fruktooligosakarida (FOS), pektin, β -glukan (biji-bijian *oat* dan *barley*), gum galaktomanan, alginat, dan psyllium. Fruktooligosakarida (FOS), juga dikenal sebagai oligofruktosa dan inulin keduanya disebut fruktan (Maziarz, 2013). FOS banyak ditemukan pada tanaman termasuk agave, artichoke, asparagus, daun bawang, bawang putih, bawang bombay, yacon, jícama, dan gandum. Pektin terutama dijumpai pada dinding sel primer tanaman, terutama pada buah seperti apel, pir, aprikot, ceri, jeruk serta beberapa sayuran seperti wortel (Theuwissen dan Mensink, 2008).

Tabel 8.1. Klasifikasi serat pangan berdasarkan kelarutannya

| Serat Pangan | | |
|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Serat Pangan Larut | Serat Pangan Tidak Larut | |
| Sedikit atau tidak dapat dipermentasi | Dapat dipermentasi | |
| Selulosa | <i>Viscous</i> | <i>Nonviscous</i> |
| Hemiselulosa | Pektin | Dekstrin Resisten |
| Lignin | β -D-Glukan | Pati Resisten |
| Pati Resisten | Galaktomanan | Polidekstrosa |
| Arabinoksilan | Glukomanan | Inulin |
| Polisakarida Non Pati | Psilium | Fruktooligosakarida (FOS) |

Serat tidak larut (IDF) adalah kelompok serat yang tidak larut dalam air dingin maupun air panas, serta alkali dingin maupun alkali panas. IDF tidak dapat atau sedikit dapat dipermentasi (*non/poorly fermentable*) oleh mikroorganisme di dalam saluran pencernaan manusia. IDF terutama terdiri dari selulosa, hemiselulosa, pati resisten, dan lignin.

Selulosa adalah polisakarida yang terdiri dari rantai linier yang terdiri dari ratusan hingga sepuluh ribu unit β -1,4 D-glukosa dan merupakan polimer organik paling melimpah di bumi (Theuwissen dan Mensink, 2008). Selulosa merupakan komponen utama dinding sel tanaman seperti biji-bijian, buah-buahan, sayuran dan kacang-kacangan (Zaragoza *et al.*, 2010).

Hemiselulosa adalah polisakarida yang mengandung gula selain glukosa dan dijumpai bersama-sama dengan selulosa di dalam dinding sel tanaman. Sekitar sepertiga bagian dari serat di dalam sayuran, buah-buahan, kacang-kacangan dan kacang-kacangan terdiri dari hemiselulosa. Sumber utama hemiselulosa adalah biji-bijian sereal (Zaragoza *et al.*, 2010).

Pati resisten (*resistant starch/RS*) adalah fraksi pati yang tidak dihidrolisis oleh amilase menjadi D-glukosa di usus kecil dalam waktu 120 menit setelah dikonsumsi, namun dipermentasi di usus

besar. Sumber pati resisten antara lain biji-bijian, kacang-kacangan, pasta yang dimasak dan dinginkan, kentang, nasi, dan pisang mentah. RS diklasifikasikan menjadi empat subtype yaitu RS1, RS2, RS3 dan RS4. RS1 adalah pati yang secara fisik tidak dapat diakses, yang terperangkap di dalam biji-bijian atau biji-bijian yang digiling utuh atau sebagian. RS2 adalah sejenis butiran pati mentah (seperti pisang dan kentang) dan pati amilosa tinggi (jagung amilosa tinggi). RS3 adalah pati yang mengalami retrogradasi (baik diproses dari pati yang tidak dimodifikasi atau dihasilkan dari aplikasi pengolahan Makanan). RS4 pati yang dimodifikasi secara kimia untuk mendapatkan ketahanan terhadap pencernaan enzimatik, seperti beberapa eter pati, ester pati, dan pati ikatan silang (Zaragoza *et al.*, 2010).

Lignin adalah polimer kompleks dari alkohol aromatik dan merupakan sebagian besar umumnya berasal dari kayu. Ini merupakan bagian integral dari dinding sel sekunder tanaman yang mengisi ruang di dinding sel antara komponen selulosa, hemiselulosa, dan pektin. Sumber lignin adalah seledri dan lapisan luar biji-bijian sereal (Zaragoza *et al.*, 2010).

8.4 Sifat Kimia dan Fisika Serat Pangan

Pengaruh fisiologis dari serat pangan tergantung kepada sifat fisik dan kimianya meliputi kelarutan, kemampuan difermentasi, viskositas, penyerapan air dan kapasitas menahan air, kemampuan adsorpsi dan pengikatan, serta ukuran partikel (Guillon dan Champ, 2000).

8.4.1 Kelarutan (*Solubility*)

Kelarutan serat berpengaruh terhadap fungsi fisiologis dan fisiologis dan teknologisnya (Jimenez-Escríg dan Sanchez-Muniz, 2000). Ketika dikonsumsi dalam diet, serat larut meningkatkan viskositas fase air serta cenderung menurunkan respons glikemik dan kolesterol plasma (Slavin dan Greenberg, 2003; McCarty, 2005).

Serat pangan tidak larut memiliki karakteristik porositas dan kepadatan yang rendah sehingga akan menyebabkan peningkatan massa tinja dan penurunan waktu transit di dalam usus (Olson *et al.*, 1987). Secara komersial, produk pangan yang diperkaya dengan serat

larut lebih berpotensi dikembangkan karena menghasilkan produk pangan dengan viskositas dan kemampuan membentuk gel yang tinggi (Mudgil dan Barak, 2013).

8.4.2 Fermentabilitas

Fermentabilitas adalah karakteristik penting dari serat pangan karena dapat berkontribusi sebagai substrat untuk fermentasi. Dilaporkan bahwa rata-rata ekskresi berat kering dan energi pada diet rendah serat masing-masing adalah 50 g/hari dan 800 kJ/hari, sedangkan pada diet tinggi serat masing-masing adalah 88 g/hari dan 1700 kJ/hari (Langkilde dan Andersson 1998). Serat larut lebih rentan terhadap fermentasi oleh bakteri usus besar dibandingkan dengan serat tidak larut (Elleuch *et al.*, 2011). Fermentabilitas serat pangan terkait langsung dengan efeknya pada fungsi usus, seperti massa feses, frekuensi buang air besar, pemeliharaan pH usus besar, dan pemulihan energi dari makanan yang tidak dapat dicerna terkait langsung dengan pola fermentasi mereka (Edwards, 1995).

Bergantung pada fermentabilitasnya, serat pangan diklasifikasikan sebagai serat pangan yang cepat terfermentasi, lambat terfermentasi, dan tidak terfermentasi. Buah-buahan, seperti apel dan sayuran, seperti kacang-kacangan, dianggap sebagai bagian yang cepat terfermentasi dan memberikan kontribusi lebih sedikit terhadap peningkatan massa feses dibandingkan serat lainnya. Psyllium dan dedak gandum dianggap sebagai bagian yang lambat terfermentasi dan berkontribusi terhadap massa feses melalui fermentasi. Serat pangan dengan kapasitas fermentasi yang rendah berkontribusi terhadap peningkatan massa di usus besar, yang mengakibatkan berkurangnya risiko sembelit dan kanker usus besar. Contoh bakteri yang dapat menghidrolisis polisakarida termasuk *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Ruminococcus*, dan beberapa spesies *Eubacterium* dan *Clostridium*. Produk akhir fermentasi termasuk asam lemak rantai pendek (SCFA), terutama asetat, propionat, dan butirat serta gas (Mudgil, 2017).

8.4.3 Viskositas

Viskositas merupakan sifat penting pada serat pangan larut (Dikeman dan Fahey, 2006). Serat pangan larut, seperti pektin, gum, psyllium, dan β -glukan dapat membentuk larutan yang kental ketika berinteraksi dengan fase air. Viskositas atau pembentukan gel terkait dengan kemampuan serat pangan untuk menyerap air, yang menghasilkan pembentukan massa gel.

Konsumsi serat pangan dapat meningkatkan volume serta viskositas isi saluran pencernaan (Olson, 1987). Peningkatan volume dan viskositas digesta ini menyebabkan pengosongan lambung yang tertunda, yang pada akhirnya dapat meningkatkan rasa kenyang. Viskositas yang meningkat ini juga mengurangi emulsi lipid pangan dalam medium asam lambung, yang menghasilkan penyerapan lipid yang lebih rendah. Viskositas yang disebabkan oleh serat pangan ini dapat menahan efek motilitas saluran pencernaan di lumen usus halus. Peningkatan viskositas menyebabkan cairan di dalam saluran pencernaan berperilaku seperti gel. Fenomena ini dapat menjelaskan pengosongan lambung yang tertunda yang sering dikaitkan dengan konsumsi serat, karena difusi enzim pencernaan ke substrat menjadi berkurang yang pada akhirnya memperlambat pencernaan.

Viskositas yang meningkat dari isi pencernaan juga dapat memperlambat pelepasan dan transit produk hidrolisis menuju permukaan penyerapan mukosa. Struktur kimia dari komponen serat pangan dan interaksinya dengan makromolekul lain bertanggung jawab atas viskositas tersebut. Volume yang ditempati oleh komponen serat pangan umumnya dicirikan oleh viskositas intrinsiknya (Morris, 1990).

8.4.4 Kemampuan Adsorpsi dan Pengikatan

Adsorpsi asam empedu merupakan mekanisme potensial dari komponen serat pangan tertentu dalam meningkatkan ekskresi asam empedu dalam feses. Serat pangan larut membentuk matriks gel, yang akhirnya diekskresikan dalam feses, mengikat beberapa asam empedu yang dilepaskan dari kantong empedu. Peningkatan ekskresi asam empedu menyebabkan pergantian kolesterol yang lebih tinggi dari tubuh (Mudgil, 2017).

8.4.5 Ukuran Partikel

Ukuran partikel serat pangan adalah karakteristik penting yang secara tidak langsung mengontrol fungsi fisiologis dalam saluran pencernaan, seperti waktu transit, fermentasi, dan ekskresi feses. Laju fermentasi serat pangan secara langsung terkait dengan luas permukaan serat yang bersentuhan langsung dengan bakteri. Bekatul gandum dengan ukuran partikel yang lebih kasar lebih efektif dalam mengatur waktu transit dibandingkan dengan bekatul gandum dengan ukuran partikel yang halus. Komponen serat pangan mengurangi waktu transit usus, yang bermanfaat dalam melindungi kolon dari paparan zat sitotoksik yang berkepanjangan, yang dapat berbahaya bagi kesehatan manusia. Ukuran partikel serat pangan tergantung pada perlakuan pemrosesan pada produk serat. Perlakuan mekanis, seperti penggilingan, serta mengunyah, mengurangi ukuran partikel serat pangan. Disintegrasi partikel yang hampir lengkap dapat dicapai melalui degradasi matriks serat oleh bakteri kolon (Mudgil, 2017).

8.5 Analisa Komponen Serat Pangan

Analisis serat pangan dapat dilakukan menggunakan metode analisis yang dikeluarkan oleh AOAC yaitu AOAC 985.29 dan 991.43 (McCleany *et al.*, 2013). Kedua metode ini hanya mengukur serat pangan dengan berat molekul tinggi untuk serat larut dan tidak larut yang digabungkan sebagai serat pangan total (TDF). Analisis serat pangan juga dapat dilakukan untuk membedakan serat larut dan tidak larut (Phillips *et al.*, 2019).

Secara umum, berdasarkan definisi serat pangan, terdapat tiga metode analisis untuk pengukuran serat pangan yaitu metode gravimetri dengan cara penimbangan setelah penghilangan komponen non-serat untuk mengukur serat pangan dengan berat molekul tinggi, pengujian karbohidrat kolorimetrik, dan pengujian khusus konstituen monomer menggunakan kromatografi gas-cair (*Gas Liquid Chromatography/GLC*) atau kromatografi cair kinerja tinggi (*High Performance Liquid Chromatography/HPLC*) untuk mengukur serat pangan dengan berat molekul rendah (Ibrahim dan Menkovska, 2022).

Metode penimbangan setelah penghilangan komponen non-serat didasarkan pada pendekatan enzimatis-gravimetrik untuk mensimulasikan pencernaan manusia. Pendekatan enzimatis-gravimetrik ini menggunakan tiga enzim pencernaan α -amilase, protease, dan amilglukosidase pada suhu dan pH optimal mereka. Setelah pencernaan enzimatik dan pengendapan alkohol, baik protein maupun abu diukur dan dikurangi dari perhitungan untuk mengukur serat pangan dengan berat molekul tinggi untuk serat pangan larut dan tidak larut (Ibrahim dan Menkovska, 2022).

8.6 Sifat Fungsional Serat Pangan

Sifat fungsional serat pangan berhubungan dengan manfaat kepada kesehatan manusia. Diet tinggi serat merupakan diet dengan asupan serat harian lebih dari 25 g pada wanita dan lebih dari 38 g pada pria (Howarth *et al.*, 2001). Hasil-hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan antara sindrom metabolik dengan asupan diet tinggi serat. Sindrom metabolik menggambarkan sejumlah kelainan metabolik yang terjadi dalam waktu bersamaan pada seseorang. Sindrom ini menjadi faktor risiko terhadap penyakit kardiovaskular (National Institutes of Health, 2011) dan diabetes tipe 2 (Galisteo *et al.*, 2008).

8.6.1 Mencegah dan Mengurangi Resiko Diabetes

Sejumlah penelitian dengan subjek manusia maupun model eksperimental menunjukkan bukti efektivitas makanan kaya serat pangan dalam mengatur berat badan, nafsu makan, glukoneogenesis, sensitivitas terhadap insulin, dan faktor risiko penyakit kardiovaskular seperti *low-density lipoprotein* (LDL) dan hipertensi (Davy dan Melby, 2003).

Manfaat diet tinggi serat terutama berhubungan dengan sifat kental dan/atau pembentukan gel dari serat pangan larut/SDF (Jenkins *et al.*, 2002) yang dapat mengurangi absorpsi glukosa dan kolesterol. Asupan serat pangan tidak larut (IDF) yang berasal dari serealia secara kuat juga berhubungan dengan penurunan risiko diabetes (Schulze *et al.*, 2007). Data dari enam studi yang melibatkan sekitar 290.000 subjek menunjukkan bahwa dua porsi biji-bijian per

hari dapat mengurangi risiko diabetes sebesar 21% (de Munter *et al.*, 2007).

Konsumsi serat pangan dapat menurunkan risiko diabetes sebagai konsekuensi dari efeknya pada nafsu makandan berat badan (Brennan, 2005). Sejumlah besar studi menunjukkan peningkatan rasa kenyang setelah makan atau penurunan rasa lapar ketika subjek mengonsumsi diet tinggi serat pangan, baik dalam kondisi asupan energi yang terkontrol maupun yang tidak terkontrol (Howarth *et al.*, 2001).

8.6.2 Menurunkan Indeks Glikemik

Indeks glikemik (IG) adalah cara untuk mengklasifikasikan makanan berdasarkan dampak glikemiknya sehubungan dengan karbohidrat yang tersedia dalam makanan tersebut (Brennan, 2005). IG dari suatu bahan pangan merupakan indikator yang berguna untuk menentukan tingkat karbohidrat yang dapat dicerna dan diserap sebagai glukosa. Sejumlah penelitian menunjukkan penambahan SDF pada pasta secara signifikan mengurangi jumlah pati yang dicerna selama periode 300 menit (Symons dan Brennan, 2004).

8.6.3 Fermentasi Kolon dan Bakteri Intestinal

Fermentasi dapat terjadi pada hampir semua serat pangan hingga derajat tertentu dengan laju yang bervariasi (Brownlee, 2009). SDF, pati resisten tidak larut, dan oligosakarida cenderung lebih mudah difermentasi menjadi gas dan produk sampingan yang aktif secara fisiologis dibandingkan daripada serat pangan dariereal (Vos *et al.*, 2007). Asam lemak rantai pendek (SCFA) seperti asetat, propionat, dan butirat diproduksi oleh fermentasi serat pangan oleh bakteri di usus (Jenkins *et al.*, 2002). Konsentrasi SCFA bervariasi tergantung pada substrat serta mikrobiota usus yang ada. Peningkatan produksi SCFA bermanfaat bagi kesehatan karena dapat mengurangi output glukosa dari hati dan meningkatkan homeostasis lipid (Galisteo *et al.*, 2008).

8.6.4 Konsumsi Serat Pangan dan Berat Badan

Serat pangan berdampak positif pada manajemen berat badan dengan cara memberikan rasa kenyang, menurunkan penyerapan makronutrien, dan mengubah sekresi hormon usus (Slavin, 2004). Hasil penelitian observasional menunjukkan adanya korelasi terbalik antara asupan serat pangan dan berat badan (Weickert dan Pfeiffer, 2008), dan sering kali tergantung kepada dosis (Ludwig *et al.*, 1999). Beberapa studi intervensi jangka pendek yang dilakukan dengan makanan berserat pangan tinggi dan penambahan suplemen serat menunjukkan terjadinya penurunan berat badan yang signifikan. Howarth *et al.* (2003) menyimpulkan bahwa peningkatan asupan serat pangan telah dikaitkan dengan penurunan berat badan sebesar 1,9 kg selama 3,8 bulan dengan penurunan berat badan yang lebih besar pada subjek yang mengalami obesitas.

Penelitian juga telah dilakukan untuk menentukan perbedaan efek serat pangan yang dapat difерментasi dan tidak dapat difерментasi terkait penurunan berat badan dan rasa kenyang. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang jelas mengenai penambahan atau penurunan berat badan yang ditunjukkan antara SDF dan IDF serta serat pangan yang dapat difерментasi dan tidak dapat difерментasi, atau antara makanan yang secara alami tinggi serat pangan dan suplemen serat dalam studi manusia (Howarth *et al.*, 2001). Penurunan berat badan pada subjek yang mengonsumsi diet tinggi serat pangan juga berkontribusi pada pengurangan risiko perkembangan sindrom metabolik serta diabetes tipe 2 (Weickert dan Pfeiffer, 2008).

8.6.5 Serat Pangan dan Sensitivitas Insulin

Beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan asupan serat pangan total berkorelasi terbalik dengan resistensi insulin (Sunyer, 2005). Penelitian pengaruh serat pangan larut dan tidak larut dalam studi intervensi acak terkendali memberikan hasil yang beragam terhadap resistensi insulin. Konsumsi bekatul gandum selama tiga bulan tidak berpengaruh pada kadar glukosa puasa dan hemoglobin terglikasi pada subjek diabetes (Jenkins *et al.*, 2002). Pemberian roti gandum tinggi serat dapat meningkatkan sekresi insulin, tetapi pada

wanita pascamenopause hasilnya tidak signifikan (Juntunen *et al.*, 2003). Sebaliknya, peningkatan penanda resistensi insulin telah dilaporkan setelah konsumsi berbagai jenis serat pangan tidak larut lainnya ketika menggunakan desain uji makanan kedua (Weickert dan Pfeiffer, 2008).

Sebuah studi crossover secara acak terkontrol pada wanita sehat dilakukan untuk mengamati efek serat panganereal tidak larut yang fermentasinya lambat dan pati resisten yang fermentasinya cepat. Hasilnya menunjukkan bahwa terjadi peningkatan penanda sensitivitas insulin pada tingkat yang sama untuk semua jenis serat pangan (Maziarz, 2013).

Diet tinggi IDF menyebabkan terjadinya peningkatan sensitivitas insulin dalam studi yang menggunakan *euglycemic clamp* untuk mengukur aksi insulin pada pemanfaatan glukosa (Kim, 2009). Subjek yang resisten insulin akan beresiko terhadap penyakit diabetes. Oleh karena itu, peningkatan sensitivitas insulin sebagai hasil dari diet tinggi IDF sangat penting untuk mengurangi risiko diabetes.

8.6.6 Serat Pangan dan Peradangan (Inflamasi)

Hasil penelitian cross-sectional menemukan bahwa asupan serat tinggi terkait dengan pengurangan peradangan sistemik (Grooms *et al.*, 2013). Beberapa studi menunjukkan bahwa diet tinggi serat pangan total yang dikombinasikan dengan konsumsi suplemen SDF secara signifikan menurunkan kadar penanda inflamasi CRP(King *et al.*, 2007). Serat pangan termasuk fruktan, galaktooligosakarida, β -glukan, pektin, dan pati resisten dapat mengikat reseptor lektin tipe C (CLR) pada sel-sel imun, yang menunjukkan efek modulasi imun secara langsung (Vos *et al.*, 2007). Fermentasi SDF oleh bakteri kolon yang menghasilkan asam lemak rantai pendek yaitu asam butirat, juga dapat berperan memberikan sifat anti-inflamasi (Galisteo *et al.*, 2008).

8.7 Efek Samping Serat Pangan

Konsumsi serat pangan di samping memberikan manfaat, tetapi juga memiliki efek samping negatif. Konsumsi serat pangan dalam jumlah berlebihan dapat menyebabkan timbulnya gas di usus dan perut serta kram perut. Oleh karena itu pada saat mengonsumsi serat pangan dalam jumlah besar, disarankan untuk minum banyak air, karena air akan diserap oleh usus dan melunakkan feses. Konsumsi serat pangan juga disarankan untuk dilakukan secara berhenti agar tubuh dapat beradaptasi. Namun demikian, hasil-hasil penelitian menunjukkan manfaat mengonsumsi serat pangan jauh lebih besar dari efek samping negatif yang ditimbulkannya (Park *et al.*, 2009).

Karakteristik pencernaan dan konsistensi serat pangan adalah mekanisme yang memungkinkan untuk pengaruhnya terhadap risiko diabetes dan obesitas. Penundaan pencernaan dan penyerapan akan mengurangi penyerapan nutrisi, sehingga mengurangi energi yang dapat dimetabolisme. Serat pangan juga dapat mengurangi energi bersih makanan karena kepadatan energinya yang lebih rendah (Perry dan Ying, 2010).

Peningkatan asupan serat pangan juga dapat memiliki efek negatif terhadap penyerapan mineral dalam tubuh. Penambahan dedak dari oat dan gandum ke dalam diet pria dewasa menyebabkan penurunan tingkat penyerapan tembaga (Cu), kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan seng (Zn) (Li dan Komarek, 2010).

Penambahan serat pangan dalam produk pangan juga dapat memengaruhi mutu produk akhir. Pada pembuatan pasta, penggunaan serat juga menimbulkan masalah pada produk akhir, sehingga perlu dilakukan perubahan di dalam formulasinya. Selain itu, penambahan tepung sayuran mengakibatkan penurunan mutu pasta seperti kehilangan akibat pemasakan masak (*cooking loss*) yang lebih besar dan sifat permukaan yang buruk (Li dan Komarek, 2010).

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of Cereal Chemists (AACC), 2001. The Definition of Dietary Fiber. Report of the Dietary Fiber Definition Committee to the Board of Directors of the AAC, 46, 112-126.
- Asp NG. Dietary fibre definition, chemistry and analytical determination. *Mol Aspects Med.* 1987;9(1):17-29. doi: 10.1016/0098-2997(87)90014-8. PMID: 3031413
- Bingham, S.A. 1990. Mechanisms and experimental and epidemiological evidence relating dietary fibre (non-starch polysaccharides) and starch to protection against large bowel cancer. *Proc. Nutr. Soc.* 49:153-71.
- Brennan, C.S. 2005. Dietary fibre, glycaemic response, and diabetes. *Molecular Nutrition and Food Research* 49: 560-570.
- Brownlee, I.A. 2009. The physiological roles of dietary fibre. *Food Hydrocolloids* 25: 238-250.
- Brownlee, I.A. 2011. The physiological roles of dietary fiber. *Food Hydrocolloids* 25 : 238-250. DOI : 10.1016/j.foodhyd.2009.11.013
- Caprita, A, Caprita, R, Simulesca, VOG., Drehe, RM. 2010. Dietary fiber chemical fiber chemical and functional properties. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 16(4).
- Davy, B.M. dan Melby, C.L 2003. The effect of fiber-rich carbohydrates on features of syndrome X. *Journal of the American Dietetic Association* 103: 86-96.
- de Munter, J.S., Hu, F.B., Spiegelman, D., Franz, M. dan van Dam, R.M. 2007. Whole grain, bran, and germ intake and risk of type 2 diabetes: a prospective cohort study and systematic review. *PLoS Medicine* e261: 1385-1395
- Dikeman, C.L dan Fahey, G.C. Jr. 2006. Viscosity as related to dietary fiber: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 46:649-63.
- Edwards, C. 1995. Dietary fibre, fermentation and the colon. In: Cherbut C, Barry JL, Lairon D, Durand M, editors. *Dietary fibre: mechanisms of action in human physiology and metabolism.* Paris: John Libbey Eurotex p. 51-60.

- El Khoury, D., Cuda, C., Luhovyy, B.L., Anderson, G.H. 2012. Beta Glucan: Health Benefits in Obesity and Metabolic Syndrome. *Journal of Nutrition and Metabolism* 85:1362.
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., dan Attia, H. 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. *Food Chem.* 124: 411-21.
- Galisteo, M., Duarte, J. dan Zarzuelo, A. 2008. Effects of dietary fibers on disturbances clustered in the metabolic syndrome. *Journal of Nutritional Biochemistry* 19: 71-74.
- Grooms, K.N., Ommerborn M.J., dan Pham, D.Q. 2013. Dietary fiber intake and cardiometabolic risks among US adults, NHANES 1990-2010. *The American Journal of Medicine* 126: 1059-1067.
- Guillon, F. dan Champ, M. 2000. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Res. Int.* 33:233-45.
- Hispley EH. 1953. Dietary fibre and pregnancy toxæmia. *Br. Med. J.* 420-2.
- Howarth, N.C., Saltzman, E., dan Roberts, S.B. 2001. Dietary fiber and weight regulation. *Nutrition Reviews* 59: 129-139.
- Howarth, N.C., Saltzman, E., McCrory, M.A., Greenberg, A.S., Dwyer, J., et al. 2003. Fermentable and non-fermentable fiber supplements did not alter hunger, satiety or body weight in a pilot study of men and women consuming self-selected diets. *Journal of Nutrition*, 133: 3141-3144.
- Ibrahim, O., dan Menkovska, M. 2022. Dietary fibers-classification, properties, analysis, and function : A review. *Advances in Bioscience and Biotechnology* 13 : 527-544. DOI: 10.4236/abb.2022.1312036 Dec. 26, 2022 527
- Jenkins, D.J., Kendall, C.W., Augustin, L.S., Martini, M.C., Axelsen M, et al. 2002. Effect of wheat bran on glycemic control and risk factors for cardiovascular disease in type 2 diabetes. *Diabetes Care* 25: 1522-1528.
- Jimenez-Escrig, A. dan Sanchez-Muniz, F.J. 2000. Dietary fibre from edible seaweeds: chemical structure, physicochemical

- properties and effects on cholesterol metabolism. *Nutr. Res.* 20:585-98.
- Juntunen, KS., Laaksonen, D.E., Poutanen, KS., Niskanen, LK., dan Mykkanen, H.M. 2003. High-fiber rye bread and insulin secretion and sensitivity in healthy postmenopausal women. *American Journal Clinical Nutrition* 77: 385-391.
- Kim, J.K. 2009 Hyperinsulinemic-euglycemic clamp to assess insulin sensitivity in vivo. *Methods in Molecular Biology* 560: 221-238.
- King, D.E., Egan, B.M., Woolson, R.F., Mainous, Al-Solaiman, Y., dan Jesri, A. 2007. Effect of a high fiber diet vs a fiber-supplemented diet on C-reactive protein level. *Archives of Internal Medicine* 167: 502-506.
- Langkilde, A.M., dan Andersson, H. 1998. Amount and composition of substrate entering the colon. In: Guillon F, Amado R, Amara-Collaco MT, Andersson H, Asp NG, Bach Knudsen KE, Champ M, Mathers J, Robertson JA, Rowland I, Van Loo J, editors. *Functional properties of nondigestible carbohydrates*. Nantes: INRA; p. 140-2.
- Li, Y.O. dan Komarek, A.R. 2017. Dietary fiber basics: Health, nutrition, analysis, and applications, *Food Quality and Safety* 1(1): 47-59.
- Ludwig, D.S., Pereira, M.A., Kroenke, C.H., Hilner, J.E., Van Horn, L., et al. 1999. Dietary fiber, weight gain, and cardiovascular disease risk factors in young adults. *JAMA* 282: 1539-1546.
- Macfarlane GT, Macfarlane S. Factors affecting fermentation reactions in the large bowel. *Proc Nutr Soc* 1993;52:367-73.
- Maziarz MP (2013) Role of Fructans and Resistant Starch in Diabetes Care. *Diabetes Spectrum* 26: 35-39.
- McCarty MF. Nutraceutical resources for diabetes prevention—an update. *Med Hypotheses* 2005;64:151-8.
- McCleary, B.V., Sloane, N., Draga, A. and Lazewska, I. (2013) Measurement of Total Dietary Fiber Using AOAC Method 2009.01 (AACC International Approved Method 32-45.01): Evaluation and Updates. *Cereal Chemistry* , 90, 396-414. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-10-12-0135-FI>.
- Mongeau, R. and Brassard, R. (1986) A Rapid Method for the Determination of Soluble and Insoluble Dietary Fiber:

- Comparison with AOAC Total Dietary Fiber Procedure and Englyst's Method. *Journal of Food Science* , 51, 1333-1336.
- Morris ER. Shear thinning of random coil polysaccharides: characterisation by two parameters from a simple linear plot. *Carbohydr Polym* 1990;13:85-96.
- Mudgil D, Barak S. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: a review. *Int J Biol Macromol* 2013;61:1-6.
- Mudgil, D. 2017 The interaction between insoluble and soluble fiber, in: Diet. Fiber Prev. Cardiovasc. Dis., Elsevier, pp. 35-59, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805130-6.00003-3>.
- National Institutes of Health. 2011. What is metabolic syndrome?. <https://www.nhlbi.nih.gov/health/metabolic-syndrome>
- Olson A, Gray GM, Chiu M. Chemistry and analysis of soluble dietary fiber. *Food Technol* 1987;41:71-80.
- Park, Y, Brinton, LA, Subar, AF., Hollenbeck,A, Schatzkin, A. 2009. Dietary fiber intake and risk of breast cancer in postmenopausal women: the National Institutes of Health-AARP Diet and Health Study, *The American Journal of Clinical Nutrition* 90(3): 664-671.
- Perry JR dan Ying W. 2016. A review of physiological effects of soluble and insoluble dietary fibers. *Nutr Food Sci* 6 (2) : 1-6. DOI : <http://dx.doi.org/10.4172/2155-9600.1000476>
- Phillips, K.M., Hymowitz, D.B. and Pehrsson, P.R. 2019. Implications of Two Different Methods for Analyzing Total Dietary Fiber in Foods for Food Composition Databases. *Journal of Food Composition and Analysis* , 84, Article ID: 103253.
- Rodriguez, R, Jimenez, A, Fernandez-Bolanos, J., Guille'n, R, dan Heredia, A, 2006. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology* 17 : 3-15
- Schulze MB, Schulz M, Heidemann C, Schienkiewitz A, Hoffmann K, et al. (2007) Fiber and Magnesium Intake and Incidence of Type 2 Diabetes: A Prospective Study and Meta-analysis. *Archives of Internal Medicine* 167: 956-965
- Slavin JL (2004) Dietary Fiber and Body Weight. *Nutrition* 21: 411-418.

- Slavin JL, Greenberg NA. Partially hydrolyzed guar gum: clinical nutrition uses. *Nutrition* 2003;19:549–52.
- Sunyer PX (2005) Do glycemic index, glycemic load, and fiber play a role in insulin sensitivity, disposition index, and type 2 diabetes? *Diabetes Care* 28: 2978-2979
- Symons LJ, Brennan CS. 2004. The effect of barley beta-glucan fibre fractions on starch gelatinization and pasting characteristics. *Journal of Food Science* 69: 257-261.
- Theuwissen, E dan Mensink, R.P. 2008. Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physiology and Behavior* 94: 285-292.
- Trowell, H. 1976. Definition of Dietary Fiber and Hypotheses That It Is a Protective Factor in Certain Diseases. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 29, 417-427.
- Vos A, M'Rabet L, Stahl B, Boehm G, Garssen J (2007) Immunomodulatory effects and potential working mechanisms of orally applied nondigestible carbohydrates. *Critical Reviews in Immunology* 27: 97-140.
- Weickert MO, Pfeiffer A (2008) Metabolic Effects of Dietary Fiber Consumption and Prevention of Diabetes. *Journal of Nutrition* 138: 439-442.

BAB 9

SISTEM PANGAN FUNGSIONAL PATI RESISTEN

Oleh Usman Pato

9.1 Pendahuluan

Seiring bertambahnya usia, orang semakin memperhatikan makanan yang mereka konsumsi, yang tidak hanya memenuhi kebutuhan nutrisi mereka dan enak rasanya, tetapi juga berguna untuk menjaga tubuh tetap sehat dan segar serta mencegah berbagai penyakit, terutama penyakit modern yang disebabkan oleh perubahan gaya hidup dan pola makan. Jenis makanan ini biasanya disebut sebagai makanan atau pangan fungsional. Pemasaran pangan fungsional telah berkembang pesat dalam 35 tahun terakhir. Hal ini disebabkan fakta bahwa pangan yang berfungsi memiliki banyak harapan bagi produsen, pemerintah, dan konsumen.

Pangan fungsional membantu pemerintah karena dapat mengurangi biaya yang diperlukan untuk menjaga kesehatan rakyatnya yang terus meningkat sebagai akibat dari perubahan gaya hidup, seperti PJK dan penyakit kardiovaskuler lainnya, kegemukan, hipertensi, diabetes, kanker, dan juga dapat meningkatkan sistem kekebalan tubuh, memperlambat penuaan, dan meningkatkan penampilan fisik dari konsumen.

Pangan fungsional memberi produsen atau industri pangan kesempatan untuk menjadi inovatif dan membuat produk yang menambah nilai baik bagi masyarakat umum maupun untuk pasar atau masyarakat tertentu. Makanan fungsional harus terlihat menarik, memiliki rasa yang baik, dan dapat diterima oleh konsumen. Selain itu, harus memiliki klaim kesehatan yang disebutkan di atas, yang semuanya harus dibuktikan secara ilmiah. Pangan fungsional tidak mahal bagi orang dengan pendapatan rendah adalah yang perlu diperhatikan oleh produsen. Ini diharapkan dapat membantu

meningkatkan kesehatan masyarakat dari berbagai latar belakang ekonomi. Salah satu sumber pangan fungsional adalah pati resisten.

9.2 Pati dan Klasifikasinya

Secara kimiawi, pati merupakan polisakarida yang tersusun atas molekul glukosa yang berikatan bersama dengan ikatan α -D-(1-4) dan/atau α -D-(1-6). Pati terbentuk dari 2 komponen struktural utama, yakni amilosa, yang pada dasarnya merupakan polimer linier dengan residu glukosa α -D-(1-4) terkait biasanya merupakan 15% hingga 20% pati, dan amylopektin, yang merupakan molekul bercabang lebih besar dengan α -D-(1-4) dan α -D-(1-6) ikatan dan merupakan komponen utama pati. Amilosa berbentuk linier atau sedikit bercabang, mempunyai derajat polimerisasi (DP) hingga DP 6000, dan mempunyai massa molekul 10^5 hingga 10^6 gram/mol. Amilopektin yang memiliki DP 10^7 hingga 10^9 g/mol sangat bercabang dan memiliki DP rata-rata 2 juta, menjadikannya salah satu molekul terbesar di alam. Panjang rantai 20 hingga 25 unit glukosa antara titik cabang merupakan tipikal dari amilopektin. Sekitar 70% massa butiran pati dianggap amorf dan sekitar 30% berbentuk kristal. Daerah amorf mengandung amilosa lebih banyak dibanding amilopektin. Sedangkan bagian kristal terutama terdiri dari amilopektin.

9.3 Pengertian Pati Resisten

Pada tanaman, pati adalah polisakarida yang paling umum dan merupakan komponen utama makanan. Daya cerna pati meningkat selama pemasakan dan tidak semua pati yang ada dalam makanan dapat dicerna. Sebagian pati yang ada dalam makanan lolos dari pencernaan dan penyerapan di intestin dan difermentasi oleh microflora di dalam kolon manusia, dengan produksi asam lemak rantai pendek. Pati semacam ini disebut sebagai pati resisten (*resistant starch*). Pati resisten adalah salah satu bentuk serat makanan dan secara alami terdapat di banyak makanan bertepung. Daya cerna pati dipengaruhi oleh banyak faktor seperti suhu selama pemasakan dan penyimpanan serta interaksi pati dengan protein, lipid dan karbohidrat lainnya. Sebagian besar pati dikonsumsi dalam bentuk gelatin, yang mudah dicerna. Berkurangnya daya cerna pati

resisten dipengaruhi oleh banyak faktor internal dan eksternal seperti perilaku dan sifat makanan, asal usul pati, pengolahan makanan dan fisiologi. Englyst dkk. pertama kali menggunakan istilah "pati resisten" (PR) untuk menggambarkan pati yang tidak dapat dihidrolisis oleh enzim amilase dan pullulanase. Tubuh tidak dapat mencerna pati, yang kemudian difermentasi oleh mikroflora usus besar. Ada beberapa formula yang dapat digunakan untuk mengukur ketahanan pati secara kimia:

$$PR = TP - (PCD + PLD)$$

Keterangan: PR= Pati resisten; TP= Total pati; PCD= Pati yang cepat dicerna dan PLD= Pati yang lambat dicerna

Berdasarkan karakteristik nutrisinya yang didasarkan pada tingkat kecernaan, maka pati dikelompok menjadi 2 bagian yaitu:

1. Pati yang dapat dicerna. Pati jenis ini dapat dicerna enzim tubuh yang terdiri atas pati yang cepat dicerna (PCD) dan pati yang lambat dicerna (PLD). PCD umumnya terdiri dari pati amorf dan pati terdispersi yang banyak ditemukan dalam pati makanan yang diolah menggunakan panas lembab (pengukusan). Meskipun PLD dapat dicerna sepenuhnya dalam kolon, namun proses pencernaannya lebih lambat.
2. Pati resisten. Pati resisten (PR) didefinisikan sebagai pati yang tidak dapat dicerna oleh enzim tubuh.

9.4 Jenis-jenis Pati Resisten

Pada awalnya pati resisten atau resistant starch (RS) dibagi menjadi 4 tipe yaitu pati resisten tipe 1 (RS1), pati resisten tipe 2 (RS2), pati resisten tipe 3 (RS3) dan pati resisten tipe 4 (RS4). Namun saat ini pati resisten dibagi menjadi 5 kelompok seperti pada Tabel 1. Adapun tipe yang baru adalah pati resisten tipe 5 (RS5) yang merupakan kelompok pati resisten yang terbentuk dari kompleks amilosa dan lipid. Pengelompokan pati resisten kemungkinan bisa bertambah di masa datang seiring kemajuan penilitian dan inovasi dalam bidang pati dan pati resisten.

Tabel 9.1. Jeni-jenis pati resisten dan factor yang mempengaruhi pencernaan di dalam usus besar

| Jenis RS | Deskripsi | Resistensi dikurangi oleh | Pencernaan di dalam usus kecil |
|----------------------------|---|---|--|
| Pati Resisten Tipe 1 (RS1) | Terlindungi secara fisik | Penggilingan, Pengunyahan | Kecepatan lambat, Derajat parsial, Benar-benar tercerna jika digiling dengan benar |
| Pati Resisten Tipe 2 RS2 | Butiran resisten tidak tergelatinisasi dengan tipe B kristalinitas, dihidrolisis perlahan oleh α -amilase | Pengolahan dan pemasakan pangan | Laju sangat lambat, Derajat kecil, Tercerna sepenuhnya ketika baru dimasak |
| Pati Resisten Tipe 3 (RS3) | Pati yang mengalami retrogradasi | Kondisi pengolahan | Laju lambat, Derajat parsial, Pencernaan reversibel, Kecernaan ditingkatkan dengan pemanasan ulang |
| Pati Resisten Tipe 4 (RS4) | Pati yang dimodifikasi secara kimia karena ikatan silang (<i>cross-linking</i>) dengan bahan kimia Reagen | Kurang rentan terhadap kecernaan <i>in vitro</i> | Hasil modifikasi kimia, bisa bertahan pada proses hidrolisis |
| Pati Resisten Tipe 5 (RS5) | Kombinasi rantai pati yang panjang dan tidak bercabang dengan asam lemak bebas, membentuk struktur heliks yang sulit dicerna dan penataan ulang | Tidak rentan terhadap hidrolisis oleh α -amilase | Dapat menahan pencernaan di usus kecil |

| Jenis RS | Deskripsi | Resistensi dikurangi oleh | Pencernaan di dalam usus kecil |
|----------|---|---------------------------|--------------------------------|
| | molekul pati yang disengaja yang menghasilkan pati resisten | | |

Sumber: Raigond et al. (2015); Bojarczuk et al. (2022)

9.5 Struktur Pati Resisten

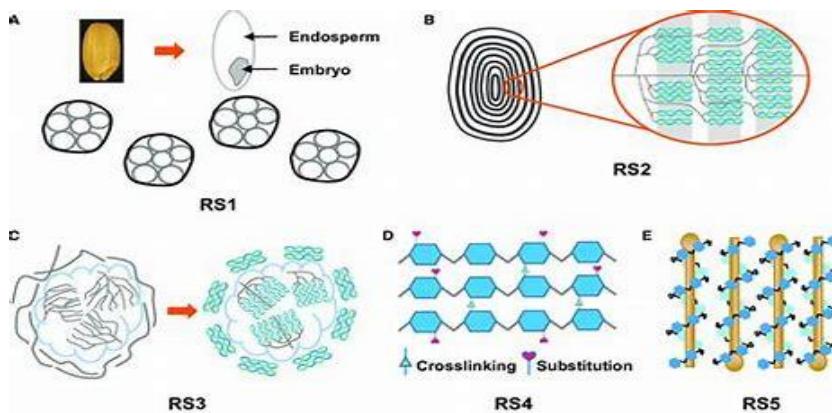
Struktur pati resisten adalah sebuah konsep penting dalam ilmu pangan dan nutrisi yang mengacu pada bentuk-bentuk pati yang tidak dapat dicerna sepenuhnya oleh tubuh manusia dalam saluran pencernaan pada bagian atas (usus kecil). Secara umum, PR merupakan jenis pati yang tidak dapat diubah menjadi glukosa oleh enzim pencernaan manusia, sehingga tidak menyebabkan lonjakan gula darah yang cepat setelah dikonsumsi.

1. Pati Resisten Tipe I (RS1)

RS1 merupakan bentuk pati yang terlindungi secara fisik yang ditemukan secara keseluruhan biji-bijian. Bentuk dan morfologi mikroskopis RS1 yang tidak dapat diakses secara fisik dalam struktur sel atau jaringan pada biji-bijian disajikan pada Gambar 1. A. Hal ini disebabkan lapisan luar biji-bijian yang keras mencegah pencernaan pati di dalamnya.

2. Pati Resisten Tipe 2 (RS2)

Dehidrasi relatif terjadi pada butiran pati mentah, yang memiliki pola radial yang rapat. Struktur kompak ini menghambat kemampuan enzim pencernaan untuk berinteraksi dan menyebabkan resistensi sifat RS2 seperti pati tidak tergelatinisasi. Gambar 9.1. B menunjukkan RS2 butiran pada pati mengandung amilosa tinggi, pisang dan kentang mentah.



Gambar 9.1. Struktur dari kelima jenis pati resisten (Anonim, 2024)

3. Pati Resisten Tipe 3 (RS3)

RS3 mewakili pati yang mengalami retrogradasi (Gambar 1. C). Pada proses pembentukan RS3, butiran pati terhidrasi sempurna. Amilosa larut dari butiran ke dalam larutan sebagai polimer kumparan acak. Pada saat pendinginan, rantai polimer mulai bergabung kembali menjadi heliks ganda, lalu distabilkan oleh ikatan hidrogen. Untaian individu dalam heliks mengandung 6 unit glukosa per putaran dengan pengulangan $20,8 \text{ \AA}$. Model heliks ganda adalah heliks beruntai paralel yang memutar ke kiri. Struktur kristal tipe A dapat diperoleh jika RS terbentuk dalam pati tergelatinisasi yang disimpan pada suhu tinggi (100°C) selama beberapa jam. RS tipe 3 ini memiliki struktur padat dan hanya sedikit molekul air di monoklinik sel satuan. Setelah retrogradasi lebih lanjut, heliks ganda berkumpul di sel satuan heksagonal. Bentuk B dengan simetri heksagonal lebih banyak membuka. Molekul air sebanyak 36 hingga 42 molekul per satuan sel di struktur B terletak pada posisi tetap dalam saluran pusat dibentuk oleh 6 heliks ganda. Derajat polimerisasi (DP) dari amilosa juga memengaruhi hasil RS3 yang akan naik mencapai DP hingga 100 dan setelahnya tetap konstan. Dari hasil kajian ditemukan bahwa diperlukan DP minimal 10 dan maksimal 100 membentuk heliks ganda.

4. Pati Resisten Tipe 4 (RS4)

Struktur RS4 mencakup struktur pati termodifikasi yang diperoleh melalui perlakuan kimia seperti ester distarch fosfat (Gambar 1.D). Pati resisten yang dihasilkan secara sintetis melalui proses kimia. Namun, jenis ini jarang ditemukan dalam makanan alami dan lebih sering digunakan dalam produk-produk pangan yang diformulasikan secara khusus.

5. Pati Resisten Tipe 5 (RS5)

Pati resisten tipe 5 (RS5) merujuk pada jenis pati resisten yang telah mengalami modifikasi secara kimia atau fisik sehingga menghasilkan struktur yang sangat resisten terhadap pencernaan (Gambar 1. E). Berbeda dengan pati resisten tipe 1 hingga tipe 4 yang terjadi secara alami atau melalui proses sederhana, RS5 umumnya diproduksi secara khusus dalam proses industri pangan

9.6 Sumber Pati Resisten

Pati resisten merupakan jenis pati yang tidak dicerna sepenuhnya dalam intestin manusia tetapi mengalami fermentasi dalam kolom yang selanjutnya memberikan berbagai manfaat kesehatan. Sampai saat ini ada 5 tipe dari pati resisten, yaitu RS1 hingga RS5, yang berbeda-beda sumbernya.

1. Pati Resisten Tipe 1 (RS1)

Pati resisten tipe 1 terdapat secara alami dalam kacang-kacangan, biji-bijian dan beberapa sayuran seperti kentang yang belum matang. RS1 terdiri dari granula pati yang tidak sepenuhnya tergelatinisasi selama proses pemanasan atau memasak. Struktur granula pati ini lebih sulit dijangkau oleh enzim pencernaan.

2. Pati Resisten Tipe 2 (RS2)

Pati resisten tipe 2 juga terdapat secara alami dalam makanan seperti kentang yang telah dingin, pisang mentah, beberapa kacang-kacangan dan biji-bijian seperti jagung dan gandum. RS2 terdiri dari granula pati yang resisten terhadap pencernaan

karena struktur kristalnya yang lebih padat dan teratur, sehingga enzim pencernaan sulit untuk merusaknya.

3. Pati Resisten Tipe 3 (RS3)

Pati resisten tipe 3 terdapat dalam makanan yang mengalami proses pemanasan dan pendinginan, seperti nasi, kentang, pati sagu dan biji-bijian yang telah dimasak dan didinginkan. RS3 terbentuk selama proses pemanasan yang menyebabkan beberapa pati mudah dicerna menjadi bentuk yang lebih sulit dicerna saat makanan didinginkan. Proses ini sering disebut sebagai retrogradasi pati.

4. Pati Resisten Tipe 4 (RS4)

Pati resisten tipe 4 diproduksi secara sintetis dalam industri pangan sebagai bahan tambahan. Contoh RS4 adalah makanan yang menggunakan pati termodifikasi misalnya roti dan kue.

5. Pati Resisten Tipe 5 (RS5)

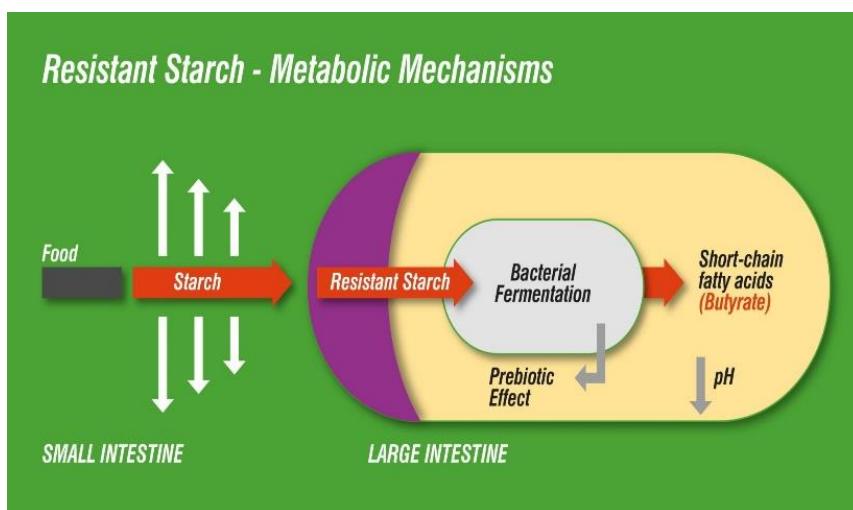
Pati resisten tipe 5 umumnya terdapat makanan yang mengandung kompleks amilosa-lipid alami, misalnya roti yang mengandung lemak sebagai bahannya atau makanan yang mengandung kompleks amilosa-lipid yang diproduksi secara artifisial dan juga jenis serat makanan baru yang tidak kental, yang diproduksi secara sengaja penataan ulang molekul pati-maltodekstrin resisten. Pati resisten dapat juga dibuat dengan memanfaatkan teknologi enzim untuk mengubah struktur pati sehingga lebih resisten terhadap pencernaan.

9.7 Manfaat Pati Resisten

Serangkaian proses biokimia yang terjadi di dalam tubuh mengubah pati menjadi energi yang dapat digunakan oleh sel tubuh dikenal sebagai metabolisme pati. Langkah utama dalam metabolisme pati dimulai pencernaan. Pati dicerna di dalam mulut dan usus halus menjadi molekul-molekul glukosa yang lebih sederhana melalui aksi enzim-enzim pencernaan seperti amilase. Monosakarida berupa glukosa yang dihasilkan dari pencernaan pati diserap oleh dinding usus halus dan masuk ke dalam aliran darah. Glukosa yang diserap oleh dinding usus halus diangkut oleh darah ke berbagai jaringan dan organ dalam tubuh. Di otot dan hati, glikogen akan disimpan sebagai

hasil dari penggunaan glukosa yang tidak langsung. Glikogen adalah polisakarida yang merupakan cadangan energi singkat dalam tubuh.

Glukosa yang dibawa oleh darah ke dalam sel-sel tubuh akan dimetabolisme secara respirasi seluler untuk mendapatkan energi yang diperlukan untuk berbagai fungsi seluler, termasuk pertumbuhan, perbaikan, dan aktivitas tubuh sehari-hari. Konsentrasi glukosa dalam darah diatur secara ketat melalui mekanisme hormonal, terutama insulin dan glukagon yang dihasilkan di pankreas. Insulin membantu menurunkan glukosa darah dengan merangsang penyerapan glukosa oleh sel terkait dan mengubahnya menjadi glikogen, sementara glukagon meningkatkan kadar glukosa darah dengan merangsang pelepasan glikogen dari hati. Pati yang tidak dicerna dan tidak dapat diurai oleh enzim pencernaan di intestin yang dikenal sebagai pati resisten yang akan diteruskan ke kolon. Di dalam usus besar, pati resisten akan difерментasi oleh prebiotic terutama bakteri asam laktat dan *Bifidobakteria* menjadi asam lemak randai pendek (Gambar 9.2).

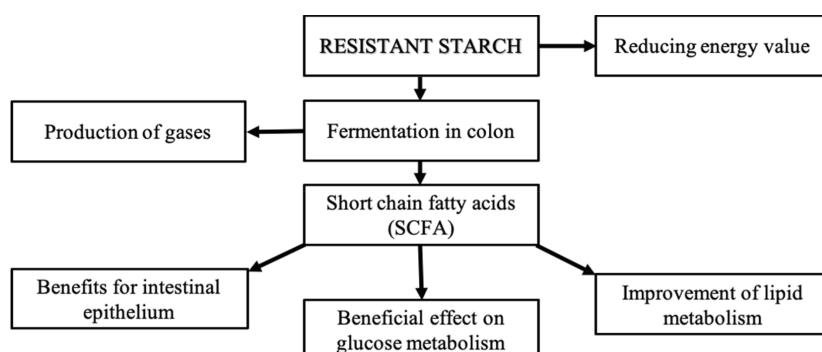


Gambar 9.2. Proses pati dan pati resisten selama proses pencernaan
(Anonim, 2024)

Adapun beberapa manfaat pati resisten terhadap kesehatan manusia.

1. Perbaikan kesehatan saluran pencernaan dan pencegahan kanker

Menurut banyak data, fermentasi mikroba RS di usus besar menghasilkan SCFA seperti asam laktat, asetat, propionat, dan butirat (Gambar 9.3). Asam butirat berperan penting dalam menjaga keadaan normal epitel kolon, antara lain dengan memberi nutrisi pada kolonosit. Beberapa penelitian menunjukkan efek menguntungkan asam butirat dalam mengurangi resiko kanker pada kolonosit (sel-sel epitel yang membentuk lapisan dalam usus besar). pH usus besar diturunkan oleh asam propionat dan asam asetat sehingga dapat melindungi usus besar dari perkembangan mikroorganisme patogen. pH rendah di lingkungan usus mendorong pertumbuhan bakteri baik yang membentuk mikrobiota usus.



Gambar 9.3. Efek pati resisten pada manusia (Bojarczuk et al., 2022)

Selain itu, para peneliti juga telah menunjukkan peran spesifik pati resisten dalam meinduksi mikroflora untuk memproduksi asam butirat. Butirat, salah satu substrat energi penting kolonosit, telah terbukti menghentikan perkembangan sel menjadi ganas secara *in vitro*. Ini menunjukkan betapa pentingnya pati resisten yang mudah difermentasi untuk mencegah kanker kolon. Studi lain menunjukkan bahwa dedak

gandum dan pati resisten meningkatkan frekuensi buang air besar dan memperpendek waktu transit usus, yang berpotensi sebagai salah satu mekanisme penting dalam pencegahan kanker kolorektal.

Tipe pati resisten dapat memengaruhi komposisi mikroflora dalam kolon. Dalam usus besar, fermentasi RS2 dapat meningkatkan jumlah *Ruminococcus bromii* dan *Eubacterium rectale* sehingga dapat meningkatkan butirat dalam tinja. Sementara itu, fermentasi RS4 dapat meningkatkan *Parabacteroides distasonis* dan *Bifidobacterium youthis*, yang berdampak positif pada proses metabolisme lipid. Fermentasi pati retrogradasi (RS3) *Roseburia* spp. dan *Ruminococcus bromii* menghasilkan butirat yang sangat penting di usus besar. Pembentukan asam butirat oleh kedua jenis bakteri ini menyebabkan perubahan profil microbiota dalam usus besar. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa jenis pati resisten berpotensi memengaruhi jumlah dan jenis spesies yang mengkolonisasi usus besar. Fermentasi PS selain menghasilkan SCFA, juga menghasilkan gas hidrogen, metana, dan karbon dioksida. Pelepasan gas ini ke dalam usus dapat menyebabkan ketidaknyamanan dan perut kembung. Oleh karena itu jumlah asupan harian pati resisten perlu diperhatikan.

2. Pencegahan diabetes

Saat ini gangguan metabolisme karbohidrat merupakan hal yang signifikan masalah epidemiologi di seluruh dunia. Diabetes adalah penyakit kronis terkait dengan gangguan metabolisme karbohidrat, dan skala prevalensinya menjadikannya epidemi abad ke-21 dan telah diakui sebagai penyakit peradaban. Pada tahun 2019, populasi penderita diabetes berumur 20 sampai 79 tahun mencapai 463 juta. Sekitar 4,2 juta kematian pada kelompok usia 20–79 tahun disebabkan oleh diabetes pada tahun 2019. Diabetes diperkirakan menyebabkan 11,3% kematian di seluruh dunia. Diabetes dikaitkan dengan banyak komplikasi dan menjadi pemicu penyakit serius lainnya seperti penyakit kardiovaskular sebagai penyebab utama

kematian di dunia. Selain itu, diabetes dikaitkan dengan peningkatan risiko komplikasi ginjal, kerusakan saraf, komplikasi mata, dan komplikasi kaki.

Pencegahan primer, deteksi dini penyakit, dan pencegahan sekunder mengenai pengobatan komplikasi dapat secara signifikan mengurangi angka kematian akibat diabetes. Penting untuk memperkenalkan pola makan yang tepat dan meningkatkan aktivitas fisik sehari-hari, baik pada tahap pencegahan maupun peningkatan kebugaran dan kesehatan. Namun, terdapat pengobatan untuk meringankan beberapa komplikasi diabetes, strategi jangka panjang untuk meningkatkan sensitivitas jaringan terhadap insulin. Dengan demikian pencegahan perkembangan diabetes tipe 2 dengan cara memantau dan menjaga kadar glukosa dan insulin yang memadai sangat penting untuk kesehatan individu yang sehat dan penderita diabetes. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa perubahan gaya hidup mencakup pola makan dan aktivitas fisik yang sesuai memiliki efek menguntungkan dalam menunda timbulnya diabetes tipe 2.

Pati dan karbohidrat lainnya berkontribusi terhadap peningkatan darah kadar glukosa. Namun, jenis karbohidrat tertentu juga memungkinkan pelepasan glukosa secara lambat. Perbedaan struktur dan asal usul pati serta pengolahan produk pati mempengaruhi hidrolisis dan proses metabolisme selanjutnya. Konsekuensi dari perbedaan tersebut adalah perbedaan respon glikemik tubuh terkait kemampuan mengontrol kadar glukosa. Makanan yang mengandung pati resisten proses pencernaannya lebih lambat dibandingkan makanan yang hanya mengandung pati yang cepat dicerna. Akibatnya, konsumsi makanan seperti itu menyebabkan pelepasan glukosa secara lambat ke dalam aliran darah, dan efek ini digambarkan sebagai indeks glikemik (GI), suatu sistem klasifikasi yang memberi peringkat pada makanan yang berbeda berdasarkan perubahan respons glikemik setelah konsumsi makanan.

Sebuah meta-analisis terbaru mengenai topik ini mencakup 16 uji klinis. Hal ini menunjukkan pengaruh yang signifikan dari asupan RS terhadap penurunan glukosa plasma

puasa dan penilaian model homeostatis untuk indeks resistensi insulin (HOMA-IR) dibandingkan dengan asupan pati yang dapat dicerna. Fermentasi pati resisten dalam usus besar berlangsung dengan sekresi SCFA yakni asetat, propionat, dan butirat. Asam-asam ini mungkin memiliki efek stimulasi pada produksi hormon terkait metabolisme insulin seperti glukagon-like peptida-1 dan peptida YY, yang menginduksi sekresi insulin.

3. Pencegahan penyakit kardiovaskuler melalui pengaturan lemak dalam tubuh

Banyak peneliti telah mencatat efek pati resisten pada metabolisme lipid baik pada penelitian pada hewan maupun pada sejumlah kecil percobaan pada manusia. Dalam penelitian pada hewan, propionat telah terbukti mengurangi asam lemak produksi di hati. Dalam penelitian pada tikus, efek asupan pati resisten terhadap pengurangan banyak penanda metabolisme lipid diamati. Tikus putih (*rat*) yang diberi diet PR mengandung 25% kentang mentah menunjukkan peningkatan jumlah dan tingkat penyerapan SCFA secara signifikan, dan penurunan kadar kolesterol dan trigliserida plasma. Sebuah penelitian yang dilakukan pada hamster yang diberi makanan yang mengandung pati singkong dengan 9,9% serat oat atau pati singkong dengan 9,7% pati resisten menunjukkan efek penurunan kolesterol pada keduanya. Juga telah dikemukakan bahwa karena strukturnya, RS3 (pati resisten retrogradasi) dapat mengikat garam empedu dan dengan demikian membatasi reabsorpsi asam empedu di ileum, merangsang produksi asam empedu di ileum. Sebuah penelitian yang melibatkan orang yang memiliki kelebihan BB (berat badan) dan obesitas melaporkan dampak signifikan dari pola makan kaya pati resisten terhadap penurunan total kolesterol dan non-HDL-kolesterol dibandingkan dengan diet kaya serat yang digunakan selama 12 bulan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa konsumsi pati resisten dapat mencegah penyakit kardiovaskuler misalnya hipertensi, penyakit jantung koroner dan stroke.

4. Pengontrolan berat badan

Pati resisten juga memiliki manfaat pengendalian berat badan dan dengan demikian menjadi faktor dalam mencegah kelebihan berat badan dan obesitas. Beberapa penelitian secara *in vivo* dan klinis menunjukkan bahwa pati resisten makanan dapat mengendalikan berat badan secara efektif. Efek menguntungkan ini mungkin didasarkan pada beberapa mekanisme berbeda. Karena usus kecil tidak dapat mencerna dan menyerap pati resisten, mengganti sebagian makanan dengan pati resisten akan mengurangi jumlah kalori yang dikonsumsi. Selanjutnya pati resisten dapat memengaruhi penekanan nafsu makan dan mengurangi asupan kalori, sebagian disebabkan oleh peningkatan produksi sinyal kenyang seperti PYY dan GLP-1.

Efek asupan pati resisten terhadap berat badan, komposisi tubuh dan rasa kenyang juga telah dipelajari pada manusia. Menurut sebuah penelitian ditemukan adanya perasaan kenyang yang lebih lama pada manusia yang diberi asupan pati resisten dan dedak jagung dibandingkan jenis serat lainnya. Studi lain melaporkan bahwa manusia yang mengkonsumsi diet berisi 40–70% pati resisten dapat menurunkan asupan makanan pada hari berikutnya. Sebuah studi selama 4 minggu pada orang dewasa penderita diabetes melitus tipe 2 menunjukkan penurunan berat badan yang signifikan setelah mengonsumsi RS2 yang berasal dari pati pisang sebanyak delapan g/hari. Sebaliknya, dalam penelitian 12 minggu yang menggunakan subyek penderita diabetes tipe 2 mengkonsumsi 40 g/hari RS2 yang berasal dari tepung maizena, tidak ada perubahan signifikan pada berat badan yang diamati. Menariknya, dalam sebuah penelitian yang melibatkan kelebihan berat badan pra-diabetes dan pria dan wanita obesitas yang menerima suplemen RS2, terjadi penurunan berat badan yang kecil namun signifikan. Penelitian lain yang melibatkan sukarelawan sehat melaporkan efek mengkonsumsi RS4 terhadap pengurangan lingkar pinggang tanpa perubahan berat badan.

DAFTAR PUSTAKA

- Barclay, A. W., Augustin, L. S. A., Brightenti, F., Delport, E., Henry, C. J., Sievenpiper, J. L., ... Brand-Miller, J. C. 2021. Dietary glycaemic index labelling: A global perspective. *Nutrients*, 13(9): 3244.
- Bello-Perez, L. A. and Paredes-Lopez, O. 2008. Starches of some food crops, changes during processing and their nutraceutical potential. *Food Engineering Reviews*. 1: 50–65.
- Bojarczuk, A., Skapska, S., Khaneghah, A. M. and Marszałek, K. 2022. Health benefits of resistant starch: A review of the literature. *Journal of Functional Foods*. 93: 1–11.
- Canfora, E. E., Jocken, J. W. and Blaak, E. E. 2015. Short-chain fatty acids in control of body weight and insulin sensitivity. In *Nature Reviews Endocrinology*. 11(10): 577–591.
- Dodevska, M. S., Sobajic, S. S., Djordjevic, P. B., Dimitrijevic-Sreckovic, V. S., Kalimanovska, S. V. and Djordjevic, B. I. (2016). Effects of total fibre or resistant starch-rich diets within lifestyle intervention in obese prediabetic adults. *European Journal of Nutrition*. 55(1): 127–137.
- Englyst, H. N., Wiggins, H. S. and Cummings, J. H. 1982. Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. *Analyst*. 107: 307–318.
- Englyst, H. N. and Cummings, J. H. 1987. Resistant starch a 'new' food component. a classification of starch for nutritional purposes. In: Morton ID, editor. *Cereals in a European Context*. Ellis Horwood. 221–233.
- Englyst, H. N., Kingman, S. M. and Cummings, J. H. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*. 46: S33–S50.
- Fuentes-Zaragoza, E., Sanchez-Zapata, E., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., Fernandez-Lopez, J., et al. 2011. Resistant starch as prebiotic: A review. *Starch*. 63: 406–415.
- Gidley, M. J., Cooke, D., Drake, A. H., Hoffman, R. A., Russell, A. L. and Greenwell, P. 1995. Molecular order and structure in enzyme-resistant retrograded starch. *Carbohydrate Polymers*. 28: 23–

31.

- Harris, K. F. 2019. An introductory review of resistant starch type 2 from high-amylose cereal grains and its effect on glucose and insulin homeostasis. *Nutrition Reviews*. 77 (11), 748–764.
- Hemmingsen, B., Gimenez-Perez, G., Mauricio, D., Roqué i Figuls, M., Metzendorf, M.-I. and Richter, B. 2017. Diet, physical activity or both for prevention or delay of type 2 diabetes mellitus and its associated complications in people at increased risk of developing type 2 diabetes mellitus. *Cochrane Database of Systematic Reviews*.
- Higgins, J. A., Jackman, M. R., Brown, I. L., Johnson, G. C., Steig, A., Wyatt, H. R., Hill, J. O. and MacLean, P. S. 2011. Resistant starch and exercise independently attenuate weight regain on a high fat diet in a rat model of obesity. *Nutrition and Metabolism*. 8(49): 1–15.
- Keenan, M. J., Zhou, J., McCutcheon, K. L., Raggio, A. M., Bateman, H. G., Todd, E., ... Hegsted, M. 2006. Effects of resistant starch, a non-digestible fermentable fiber, on reducing body fat. *Obesity*. 14(9): 1523–1534.
- Kusnandar, F., Hastuti, H. P., Syamsir, R. 2015. Pari resistensi sagu hasil proses hidrolisis dan *autoclaving-cooling*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. 26(1): 52–62.
- Martinez-Flores, H. E., Chang, Y. K., Martinez-Bustos, F. and Sgarbieri, V. 2004. Effect of high fiber products on blood lipids and lipoproteins in hamsters. *Nutrition Research*. 24(1): 85–93.
- Metzler-Zebeli, B. U., Canibe, N., Montagne, L., Freire, J., Bosi, P., Prates, J. A. M., ... Trevisi, P. 2019. Resistant starch reduces large intestinal pH and promotes fecal Lactobacilli and Bifidobacteria in pigs. *Animal*, 13(1), 64–73.
- Muir, J. G., Yeow, E. G., Keogh, J., Pizzey, C., Bird, A. R., Sharpe, K., ... Macrae, F. A. 2004. Combining wheat bran with resistant starch has more beneficial effects on fecal indexes than does wheat bran alone. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(6): 1020–1028.
- Nichenametla, S. N., Weidauer, L. A., Wey, H. E., Beare, T. M., Specker, B. L. and Dey, M. 2014. Resistant starch type 4-enriched diet

- lowered blood cholesterol and improved body composition in a double-blind controlled cross-over intervention. *Molecular Nutrition and Food Research.* 58(6): 1365–1369.
- Psichas, A., Sleeth, M. L., Murphy, K. G., Brooks, L., Bewick, G. A., Hanyaloglu, A. C., ... Frost, G. 2015. The short-chain fatty acid propionate stimulates GLP-1 and PYY secretion via free fatty acid receptor 2 in rodents. *International Journal of Obesity.* 39(3): 424–429.
- Raigond, P., Ezekiel, R., Raigond, B. 2015. Resistant starch in food: a review. *Journal of Science, Food, and Agriculture.* 15(10):1968–1978.
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S. and Kulkarni, P. R. 2006. Resistant starch—A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 5: 1–17.
- Sharma, A., & Yadav, B. S. (2008). Resistant starch: Physiological roles and food applications. *Food Reviews International,* 24(2), 193–234.
- Slavin, J. 2013. Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. *Nutrients.* 5(4): 1417–1435.
- Sobh, M., Montroy, J., Daham, Z., Sibbald, S., Lalu, M., Stintzi, A., Mack, D. and Fergusson, D. A. 2022. Tolerability and SCFA production after resistant starch supplementation in humans: A systematic review of randomized controlled studies. *The American Journal of Clinical Nutrition,* 115(3), 608–618.
- Wang, Q., Wang, P. and Xiao, Z. 2018. Resistant starch prevents tumorigenesis of dimethylhydrazine-induced colon tumors via regulation of an ER stress-mediated mitochondrial apoptosis pathway. *International Journal of Molecular Medicine.* 41(4):1887–1898.
- Willis, H. J., Eldridge, A. L., Beiseigel, J., Thomas, W. and Slavin, J. L. 2009. Greater satiety response with resistant starch and corn bran in human subjects. *Nutrition Research.* 29(2): 100–105
- Wong, T. H. T. and Louie, J. C. Y. 2017. The relationship between resistant starch and glycemic control: A review on current evidence and possible mechanisms. *Starch.* 69(7–8): 1–9.
- Xiong, K., Wang, J., Kang, T., Xu, F. and Ma, A. 2020. Effects of resistant

- starch on glycemic control: A systematic review and meta-analysis. In. *British Journal of Nutrition*. 1260–1269.
- Zhou, J., Martin, R. J., Tulley, R. T., Raggio, A. M., McCutcheon, K. L., Shen, L., and Keenan, M. J. 2008. Dietary resistant starch upregulates total GLP-1 and PYY in a sustained day-long manner through fermentation in rodents. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 295(5), 1160–1166.
- Zhou, D., Ma, Z. and Hu, X. 2021. Isolated Pea Resistant Starch Substrates with Different Structural Features Modulate the Production of Short-Chain Fatty Acids and Metabolism of Microbiota in Anaerobic Fermentation In Vitro. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(18), 5392–5404.

BAB 10

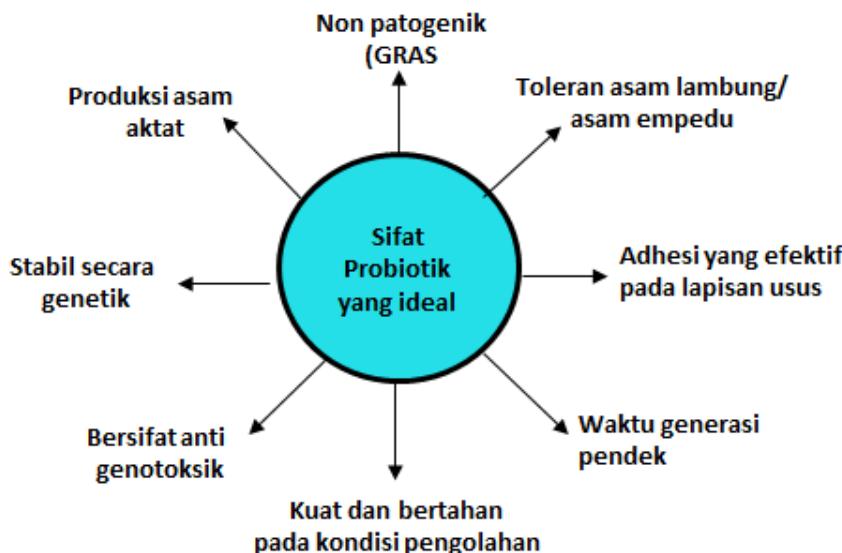
SISTEM FUNGSIONAL PROBIOTIK, PREBIOTIK DAN SINBIOTIK

Oleh Sony Suwasono

10.1 Probiotik

Kata probiotik berasal dari Bahasa Yunani yang berarti “untuk kehidupan”, dan digunakan untuk mendefinisikan jenis organisme non patogenik yang memberikan keuntungan bagi inangnya. Definisi probiotik selanjutnya adalah mikroorganisme yang dapat hidup, yang jumlahnya cukup untuk mencapai usus dalam keadaan aktif dan memberikan efek kesehatan yang positif. Sementara definisi makanan probiotik adalah makanan yang mengandung mikroorganisme probiotik hidup dalam matriks yang memadai dan dalam konsentrasi yang cukup, sehingga setelah dikonsumsi, efek yang fungsional dapat diperoleh, dan melampaui peran makanan sebagai pemasok nutrisi biasa.

Istilah probiotik terus berkembang seiring dengan upaya guna menekan bakteri berbahaya dalam usus dengan bakteri yang menguntungkan, sehingga mampu mencapai keseimbangan mikroorganisme, meningkatkan kesehatan dan mencapai umur panjang. Hal ini dilakukan dengan cara pemberian bakteri *Lactobacillus* dan *Bifidobacteria* pada yang bayi yang menderita diare, yang diharapkan dapat menggantikan keberadaan bakteri pembusuk penyebab diare. Selanjutnya istilah probiotik disempurnakan lagi oleh Food and Agriculture Organisation (FAO)/World Health Organisation (WHO) tahun 2001 sebagai mikroorganisme hidup yang ketika diberikan dalam jumlah yang cukup akan memberikan manfaat kesehatan pada inangnya. Beberapa persyaratan probiotik yang ideal dijelaskan oleh FAO/WHO pada Gambar 10.1.



Gambar 10.1. Karakteristik dari probiotik yang ideal (Pandey *et al.*, 2015)

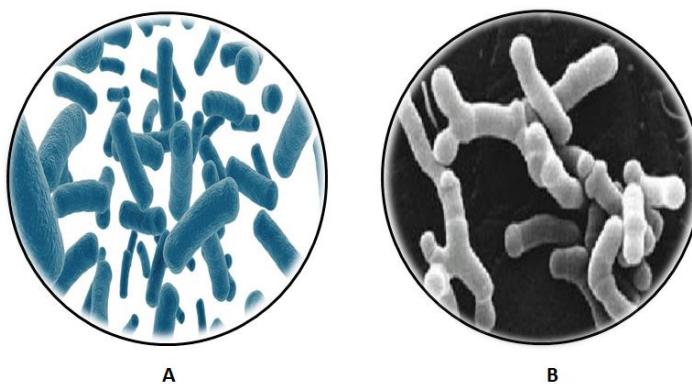
Pedoman yang harus diperhatikan untuk evaluasi sifat probiotik yang efektif dalam makanan adalah :

1. Identifikasi strain probiotik.
2. Karakterisasi fungsional strain untuk atribut keamanan dan probiotik.
3. Validasi manfaat kesehatan dalam penelitian pada manusia.
4. Pelabelan yang jujur dan tidak menyesatkan atas klaim khasiat dan kandungan selama masa simpan.

Masyarakat masih sering bertanya tentang manfaat dari probiotik bagi kesehatan tubuh. Probiotik diketahui dapat mencegah keluhan dari ketidakseimbangan mikroflora dalam tubuh, dan pengaruhnya pada sistem imun. Selanjutnya probiotik juga dapat mencegah atau mengurangi keluhan terkait saluran pencernaan, penyakit infeksi seperti batuk pilek atau sakit eksim atopik, menurunkan resiko kanker dan jantung iskemik.

10.1.1 Mikroorganisme Probiotik

Mayoritas probiotik termasuk bakteri dari genus *Lactobacillus* dan *Bifidobacteria* yang merupakan bakteri berbentuk batang, gram positif dan penghasil asam laktat (Gambar 10.2). *Lactobacillus* adalah bakteri berbentuk batang yang tidak berspora. Bakteri ini butuh nutrisi yang kompleks dan bersifat fermentatif aerotoleran atau anaerobik, asidofilik atau asidosis. *Bifidobacteria* adalah bakteri berbentuk batang nonmotil, tidak berspora, bersifat anaerobik.



Gambar 10.2. (A) *Lactobacillus plantarum* dan (B) *Bifidobacterium longum*

Jika mikroorganisme akan digunakan sebagai starter produk probiotik, maka harus memenuhi syarat berikut :

1. Berasal dari saluran usus manusia yang sehat, utamanya dari bayi yang menyusui air susu ibu (ASI) sehingga sesuai untuk ekosistem usus.
2. Aman tidak menimbulkan penyakit dan tidak menghasilkan toksin.
3. Toleransi terhadap asam lambung dan asam empedu, dan resisten terhadap enzim pencernaan makanan.
4. Dapat melekat pada sel epitel usus, bertahan hidup dan melakukan pertumbuhan.

Mikroba probiotik atau yang sering disebut bakteri asam laktat (BAL) telah lama digunakan dalam proses produksi pangan modern

atau tradisional tanpa menimbulkan efek yang berbahaya bagi manusia (Tabel 10.1). Bakteri *Lactobacilli* dan *Bifidobacteria* yang digunakan dalam produksi pangan tergolong klasifikasi aman "Generally Recognized As Safe" (GRAS) oleh Food and Drug Administration – Amerika Serikat.

Tabel 10.1. Mirkoorganisme Probiotik (De Vrese and Schrezenmeir, 2008)

| <i>Lactobacillus</i> | <i>Bifidobacteria</i> | Lainnya |
|---|--|----------------------------------|
| <i>L acidophilus (LA-5)</i> | <i>B. longum (BB536)</i> | <i>Enterococcus faecalis</i> |
| <i>L crispatus</i> | <i>B. longum (SP 07/3)</i> | <i>Enterococcus faecium</i> |
| <i>L johnsonii (LA1)</i> | <i>B. bifidum (MF 20/5)</i> | <i>Lactococcus lactis</i> |
| <i>L gasseri (PA 16/8)</i> | <i>B. infantis</i> | <i>Streptococcus</i> |
| <i>L casei</i> | <i>B. animalis</i> | <i>thermophilus</i> |
| (<i>L casei shirota</i> dan <i>L casei defensis</i>) | <i>B. animalis</i> ssp. <i>Lactis BB-12</i> | <i>Propionibacteria</i> |
| <i>L plantarum</i> | <i>B. adolescentis</i> | <i>E. coli (Nissle 1917)</i> |
| <i>L rhamnosus (LGG</i> | <i>B. breve</i> | <i>Sporolactobac. Inulinus</i> |
| <i>L reuteri</i> | | <i>Spores of Bacillus cereus</i> |
| | | " <i>toyoi</i> " |
| | | <i>Saccharomyces boulardii</i> |

10.1.2 Manfaat Kesehatan Probiotik

Manfaat probiotik bagi kesehatan manusia, umumnya dikaitkan dengan modulasi bakteri baik dalam usus, menekan pertumbuhan mikroorganisme patogen, dan translokasi bakteri patogen melalui dinding usus. Berikut adalah efek kesehatan yang diberikan oleh probiotik :

1. Pencegahan atau pengurangan durasi diare akibat rotavirus.
2. Pencegahan atau penanggulangan diare terkait antibiotik. Penambahan susu terfermentasi yang mengandung 15-17 cfu/g *B. animalis* ssp. *Lactis* dan *L. acidophilus* selama 4 minggu sebelum

- dan selama terpapar *Helicobacter pylori* mampu mengurangi waktu diare.
3. Pengurangan keluhan akibat intoleransi laktosa. Intoleransi laktosa adalah jenis intoleransi karbohidrat yang paling umum akibat dari kurangnya kemampuan pencernaan laktosa karena rendahnya tingkat aktivitas enzim β -galaktosidase. Gejalanya meliputi gangguan pada perut seperti diare, sakit perut dan perut kembung. Intervensi farmakologis untuk intoleransi laktosa adalah a) pengobatan dengan laktase yang tersedia secara komersial, b) pemberian probiotik *L. bulgaricus* dan *S. thermophilus*. Konsumsi susu yang mengandung *B. longum* dan *L. acidophilus* menyebabkan turunnya produksi hidrogen dan kembung perut. Kombinasi *B. breve* dan *L. casei* strain Shirota dalam minuman Yakult menunjukkan efek yang lebih baik dan memperbaiki gejala intoleransi laktosa. Dengan demikian, konsumsi susu fermentasi mampu meningkatkan pemecahan laktosa dan mencegah gejala intoleransi laktosa dengan adanya enzim β -galaktosidase yang dihasilkan oleh probiotik.
4. Modulasi mikroflora yang tumbuh aslinya di usus. Penerapan probiotik dengan sifat anti inflamasi (radang) mampu meningkatkan efek positif bagi flora usus dan memperbaiki kesehatan. Probiotik *L. casei* dan *B. animalis* mampu mengurangi waktu transit sisa makanan di saluran pencernaan, dan melawan konstipasi yang parah.
5. Imunomodulasi. Sifat imunomodulasi ditunjukkan oleh probiotik dan komponen dinding sel (petidoglikan dan lipolisakarida), DNA dan metabolit.
6. Pengurangan konsentrasi enzim pemicu kanker atau metabolit pembusuk di usus.
7. Pencegahan atau pengurangan alergi dan penyakit eksim atopik pada bayi. Bayi yang minum ASI plus formula makanan yang mengandung *L. rhamnosus* atau *B. animalis* ssp. *Lactis* akan mengalami perbaikan pada kulit dari kasus eksim atopik.

8. Pencegahan infeksi *Helicobacter pylori*. Probiotik dapat menghambat pertumbuhan dan perlekatan *H pylori* di sel mukosa, dan menurunkan konsentrasi *H pylori*.
9. Pengobatan infeksi urogenital, dimana probiotik mampu mengembalikan keseimbangan mikroflora di saluran urogenital sehingga mampu menyembuhkan penyakit vaginosis dan vaginitis akibat bakteri.
10. Pengurangan keluhan pada saluran pernafasan. Bakteri *L rhamnosus* dalam susu yang diminum selama 7 bulan terbukti mampu mengurangi infeksi saluran pernafasan.
11. Pencegahan kanker. Pencegahan kanker bisa berlangsung melalui mekanisme : a) penghambatan pertumbuhan dan perbanyakannya sel tumor oleh glikopeptida dan metabolit sitotoksik dari *Lactobacillus*, b) pengurangan senyawa karsinogenik, mutagenik dan genotoksik atau pengurangan enzim pemacu kanker dalam usus besar akibat modifikasi flora usus, penurunan pH, modifikasi kimia dan adsorpsi oleh bakteri, c) penguatan sistem imun dan stimulasi produksi tumor-necrosis-factor (TNF α) oleh makrofage. Pemberian susu dan kolostrum yang fermentasi dengan *L acidophilus* menghasilkan penurunan 16-41% tingkat proliferasi sel tumor. Probiotik *L bulgaricus* dilaporkan menginduksi aktivitas antitumor terhadap sel tumor Sarcoma-180.

Mekanisme probiotik dalam menghasilkan aktivitas antitumor terjadi melalui : a) perubahan fungsi kekebalan tubuh yang terkait dengan respon imun, b) peningkatan efek anti proliferasi melalui regulasi apoptosis dan diferensiasi sel, c) penekanan produksi enzim (β -glukuronidase, urease, kolilglisin hidrolase, azedoreduktase, dan nitroreduktase oleh bakteri jahat terutama bakteri enteropatogen seperti *E coli* dan *Clostridium perfringens*.

12. Normalisasi dan konsistensi feses pada kasus konstipasi parah.
13. Memberikan efek hipokolesterolemik dan pencegahan penyakit jantung iskemik. Strain probiotik *L bulgaricus*, *L reuteri* dan *B coagulans* dilaporkan memiliki efek hipokolesterolemik. Studi konsumsi susu terfermentasi *L acidophilus* L1 menunjukkan penurunan kolesterol serum yang signifikan pada manusia. Konsumsi yoghurt yang mengandung *B longum* BL1 oleh 32

pasien hiper kolesterolik menunjukkan penurunan trigliserida, serum total dan kolesterol *Low Density Lipoprotein (LDL)* yang signifikan. Efek hipokolesterolik oleh probiotik dapat terjadi karena a) penurunan hidroksimetil-glutaril-koenzim-A reduktase di hati, dan b) konversi kolesterol menjadi asam empedu, yang selanjutnya akan terdekonjugasi oleh enzim probiotik sehingga asam empedu diabsorbsi di usus dan terbuang melalui feses, c) kolesterol dapat bergabung ke dalam membran sel selama pertumbuhan dan keluar melalui feses. Sejumlah kolesterol LDL menurun 10% setelah mengkonsumsi susu probiotik yang berisi *E. faecium* dan *S. thermophilus*. Bakteri probiotik mampu men-dekonjugasi asam empedu dalam mengurangi kelarutan kolesterol. Akibat dari pengendapan dengan asam empedu terdekonjugasi dan adsoprsi dalam dinding sel bakteri, konsentrasi kolesterol menurun sebanyak 50%.

14. Perbaikan penyakit autoimun
15. Peningkatan penyerapan mineral. Mineral seperti Ca, Mg, Fe, K adalah makronutrien yang dibutuhkan untuk kelancaran fungsi tubuh. Penelitian selama 12 bulan terhadap 100 remaja yang mengkonsumsi fruktan inulin sebanyak 8 g/hari menunjukkan peningkatan penyerapan Ca dan kepadatan mineral tulang yang lebih besar. Penyerapan Ca juga sering dikaitkan dengan penurunan pH intraluminal. Prebiotik akan difermentasi oleh probiotik menghasilkan asam lemak rantai pendek atau *Short Chain Fatty Acid (SCFA)* yang menurunkan pH luminal. Ca yang tidak larut dan tidak terserap diubah menjadi bentuk ionik dalam media yang asam. Nilai pH yang rendah dan SCFA akan menghasilkan hipertrofi sel mukosa, yang mengarah ke pembesaran pada permukaan usus, sehingga mampu meningkatkan penyerapan Ca.

10.1.3 Pangan Probiotik

Probiotik dalam produk pangan selain harus mempunyai sifat membantu kesehatan, juga harus stabil selama proses produksi dan penyimpanan agar kandungan probiotik dalam pangan tidak turun selama penyimpanan. Ketahanan dan jumlah probiotik dalam produk

pangan, dan aktivitas probiotiknya sangat tergantung pada proses produksi, sifat matriksnya, dan sifat fisiologis bakterinya. Sifat-sifat ini meliputi komposisi kimia, aktivitas air, konsentrasi oksigen, potensial redoks, nilai pH, konsentrasi asam, dan interaksi sinergis/antagonis antara mikroba dalam starter.

Kualitas produk pangan berprobiotik seharusnya melebihi dari produk pangan aslinya. Produk berprobiotik harus disimpan pada suhu lebih rendah dari 8°C guna mencegah perubahan rasa, aroma, konsistensi, daya awet produk pangan dan aktivitas enzim. Probiotik produk pangan penghasil senyawa antibakteri bakteriosin bisa saja menghambat aktivitas kultur starter konvensional.

1. Produk Susu Terfermentasi

Produk susu terfermentasi saat ini yang terkenal adalah yoghurt, kefir, dan yakult. Produk ini dikenal karena rasanya dan promosi kesehatannya, biasanya mengandung mikroba probiotik 10^6 - 10^9 cfu/g dalam porsi volume 125 dan 250 ml. Sementara yakult memiliki $6,5 \times 10^9$ cfu dalam botol volume 65 ml. Kultur konvensional dari produk susu terfermentasi adalah *L. bulgaricus* dan *S. thermophilus*. Pada saat ini tersedia minuman yoghurt (yoghurt drink) yang terbuat dari susu tanpa fermentasi dengan penambahan probiotik dilengkapi berbagai macam rasa dan aroma.

2. Keju Probotik

Keju berprobiotik merupakan produk yang jarang ditemui di toko, namun bisa menjadi produk alternatif bagi orang yang intoleransi laktosa. Bakteri probiotik bisa ditambahkan ke dalam adonan keju bersamaan dengan kultur starter sebelum penggumpalan atau penyaringan. Beberapa faktor yang berpengaruh terhadap kualitas produk keju probiotik dipengaruhi oleh pH, O₂, potensial redoks, aktivitas air, proteolisis, dan lipolisis. Sementara faktor antagonis antara kultur starter dan probiotik adalah adanya senyawa H₂O₂, asam bensoat, asam laktat, bakteriosin, dan senyawa amina biogenik. Probiotik *L. acidophilus*, *L. casei*, *B. bifidum*, dan *B. longum* sering digunakan dalam keju berprobiotik. Kandungan probiotik dalam keju keras bisa mencapai $3,0 \times 10^6$ cfu/g.

Kandungan enzim β-galaktosidase keju dapat membantu pencernaan laktosa bagi orang intoleransi laktosa. Peptida bioaktif

penurun tekanan darah (ACE-inhibitor) dilepaskan oleh proteolisis mikroba selama pemasakan keju.

3. Es Krim.

Es krim dengan *L. acidophilus* dan *Bifidobacteria* telah dikenal sejak tahun 1960an. Es krim ini dibuat tanpa fermentasi, sehingga hanya ditambahkan kultur probiotik, produk susu fermentasi, atau bubuk yoghurt. Bakteri probiotik dapat dengan mudah tumbuh pada es krim dan menghasilkan asam hingga mencapai jumlah 10^7 cfu/g. Es krim yang disimpan selama 17 minggu pada suhu -29°C , jumlah *L. acidophilus* dan *B. bifidum* menurun dari $1,5 \times 10^8$ cfu/ml dan $2,5 \times 10^8$ cfu/ml ke $4,0 \times 10^6$ cfu/ml dan 1×10^7 cfu/ml. Aktivitas β -galaktosidase juga menurun dari 1800 U/ml menjadi 1300 U/ml.

4. Produk Daging.

Beberapa mikroba yang sering digunakan dalam industri daging adalah *Lactobacillus* dan *Staphylococcus*. Bakteri *L. rhamnosus* GG, *B. animalis* Bb12 telah digunakan di industri sosis.

5. Probiotik Kering dan Mikroenkapsul.

Beberapa contoh produk yang mengandung probiotik kering adalah makanan bayi, permen, pemanis, susu bubuk, dan yoghurt bubuk. Susu bubuk probiotik dibuat dengan pengeringan semprot (spray drying) atau pengeringan beku (freeze drying) susu terfermentasi atau tanpa fermentasi, susu yang mengandung probiotik, atau penambahan probiotik ke dalam susu bubuk. Namun demikian, proses pengeringan dapat merusak dan menurunkan viabilitas karena pengeringan dapat menyebabkan denaturasi protein, destabilisasi protein, dan penghilangan protein dari permukaan sel. Oleh karena itu sel mikroba seharusnya dikenakan stabilisasi sebelum pengeringan dengan penambahan senyawa pelindung seperti komponen polihidroksi hidrofilik (gula, susu skim).

Probiotik yang aktif secara metabolismik dapat dikeringkan dengan cara liofilisasi atau cara semprot dalam bentuk mikroenkapsul dan mikropartikel untuk mempertahankan stabilitas, viabilitas dan meningkatkan daya awet. Proses enkapsulasi dalam polimer gel kalsium-alginat, karagenan, guar gum, gelatin atau pati merupakan prosedur yang menjanjikan untuk menstabilkan bakteri yang aktif

secara metabolik. Contoh produk probiotik kering yang sudah tersedia komersial saat ini adalah Lacto-B.

10.2 Prebiotik

Prebiotik pertama kali didefinisikan oleh Gibson dan Roberfroid pada tahun 1995 (Gibson and Roberfroid, 1995) sebagai bahan makanan yang tidak dapat dicerna, yang secara menguntungkan mempengaruhi inang dengan secara selektif merangsang pertumbuhan dan/atau aktivitas satu atau sejumlah bakteri di usus besar, sehingga memperbaiki kesehatan inangnya.

Syarat prebiotik

1. Tidak dapat dicerna (non digestible). Senyawa prebiotik tahan terhadap asam lambung, enzim pencernaan, dan adsorpsi di usus.
2. Terfermentasi oleh mikroflora usus. Prebiotik dapat difерентasi di usus manusia, dan dapat dievaluasi dengan cara mengukur kadar hidrogen pernafasan atau feses dari karbohidrat setelah asupan probiotik.
3. Stimulasi pertumbuhan dan aktivitas bakteri usus. Tingkat selektivitas dari pertumbuhan mikroba dan aktivitas fermentasi terhadap oligosakarida prebiotik sulit dibuktikan secara *in vitro*, karena kompleksitas dan variasi mikroflora usus. Cara yang paling baik adalah dengan mengukur jumlah bakteri dalam feses sebelum dan setelah pertumbuhan pada bahan.

Sumber prebiotik alami yang banyak tersedia saat ini adalah air susu ibu, kedelai, sumber inulin (tanaman artichoke, akar chicory), oat, gandum, barley, yacon, dan oligosakarida tak tercerna. Prebiotik seperti inulin dan pektin menunjukkan beberapa manfaat kesehatan, seperti mengurangi prevalensi dan durasi diare, meredakan peradangan dan gejala yang terait dengan gangguan usus, efek perlindungan untuk mencegah kanker usus besar. Prebiotik juga terlibat dalam meningkatkan ketersediaan hayati dan penyeapan mineral, menurunkan resiko penyakit kardiovaskular, dan meningkatkan rasa kenyang dan penurunan berat badan sehingga mencegah obesitas.

10.2.1 Prebiotik Oligosakarida

Oligosakarida merupakan rantai karbohidrat yang terdiri dari 3 – 10 monomer sakarida (Tabel 10.2). Oligosakarida banyak digunakan dalam industri makanan untuk memodifikasi viskositas, kapasitas emulsifikasi, pembentukan gel, titik beku, dan warna makanan. Oligosakarida menunjukkan sifat-sifat yang relevan dengan nutrisi dan kesehatan, seperti rasa manis yang moderat (30–60% dari nilai sukrosa), sifat kariogenisitas rendah, nilai kalori rendah, dan indeks glikemik rendah.'

Tabeol 10.2. Prebiotic Oligosakarida dan Kandidat Prebiotic (De Verse And Schezenmeir, 2008)

| Prebiotik | Struktur | Sumber |
|---|--|--|
| Fruktooligosakarida (FOS) | $\alpha\text{-D-Glu}[-(1\rightarrow2)\text{-}\beta\text{-D-Fru}]_n, n = 2-4$ | Transfruktosilasi Sac oleh $\beta\text{-Fru}$ |
| Oligofruktosa | $[\alpha\text{-D-Glu-}]_n\beta\text{-D-Fru}[-(1\rightarrow2)\text{-}\beta\text{-D-Fru}]_m, m = 0-1, n = 1-9$ | Hidrolisa enzimatis inulin |
| Inulin | $\alpha\text{-D-Glu}[-(1\rightarrow2)\text{-}\beta\text{-D-Fru}]_n, n = 10-60$ | Chicoree (ekstraksi air panas) |
| Galactooligosacharides, Trans-galactosyloligosacharides (TOS) | $\alpha\text{-D-Glu}[-(1\rightarrow4)\text{-}\beta\text{-D-Gal}[-(1\rightarrow6)\text{-}\beta\text{-D-Gal}]_n, n = 1-4$ | Transgalaktosilasi lac oleh $\beta\text{-Gal}$ |
| Oligosakarida kedelai : raffinosa ($n = 1$) + stakiosa ($n = 2$) | $[\alpha\text{-D-Gal}-(1\rightarrow6)\text{-}, \alpha\text{-D-Glu}-(1\rightarrow2)\text{-}\beta\text{-D-Fru}, \text{mit } n = 1-2$ | Biji kedelai |
| Lactulosa | $\beta\text{-D-Gal}-(1\rightarrow4)\text{-}\beta\text{-D-Fru}$ | Lac (isomerisasi alkalin dari Glu) |
| Lactosukrosa | $\beta\text{-D-Gal}-(1\rightarrow4)\text{-}\alpha\text{-D-Glu}-(1\rightarrow2)\text{-}\beta\text{-D-Fru}$ | Lac + Sac (transfruktosilasi oleh $\beta\text{-Fru}$) |
| Glukooligosakarida (GOS) | | Sac + Mal (transglukosilasi oleh GIT) |
| Silooligosakarida (XOS) | $\beta\text{-Xyl}[-(1\rightarrow4)\text{-}\beta\text{-Xyl}]_n, n = 1-8$ | Ekstraksi bongkol jagung → xylan → hidrolisis |
| Gentiooligosakarida | $\beta\text{-D-Glu}[-(1\rightarrow6)\text{-}\beta\text{-D-Glu}]_n, n = 1-4$ | Sirop Glukosa (transglukosilasi enzimatis) |
| Isomaltoligosakarida (IMO) | $\alpha\text{-D-Glu}[-(1\rightarrow6)\text{-}\alpha\text{-D-Glu}]_n, n = 1-4$ | Hidrolisis pati ($\alpha\text{-Ami} \rightarrow \beta\text{-Ami} + \alpha\text{-Glase}$) |
| Maltooligosakarida | $\alpha\text{-D-Glu}[-(1\rightarrow4)\text{-}\alpha\text{-D-Glu}]_n, n = 1-6$ | Hidrolisis pati (Iso-Ami + $\alpha\text{-Ami}$) |
| Siklodekstrin | $[\alpha\text{-D-Glu}-(1\rightarrow4)\text{-}]_n, \text{siklik}, n = 6-12$ | Hidrolisis pati (CmGt) |
| Kitooligosakarida | $[\beta\text{-GluNAc}-(1\rightarrow4)\text{-}]_n$ | Kitin (kulit udang) |
| Polisakarida seperti pati, hemiselulosa, pektin, dan gum tidak dapat dicerna tapi dapat terfermentasi di usus | | |

Keterangan : Glu = Glukosa, Fru = Fruktosa, Gal = Galaktosa, Xyl = Xilosa, Sac = Sakarosa, $\beta\text{-Gal}$ = $\beta\text{-Galaktosidase}$ (EC 3.2.1.23), $\beta\text{-Fru}$ = $\beta\text{-Frutofuranosidase}$ (EC 3.2.1.26), GIT = Glukosiltransferase, $\alpha\text{/}\beta\text{Iso-Ami} = \alpha\text{/}\beta\text{Iso-Amilase, + }\alpha\text{-Glase} = \alpha\text{-Glukosidase, CmGt} = \text{Siklomaltodekstrin-Glukonotransferase}$ (EC 2.4.1.19), eX = Endo-1,4-Silanase (EC 3.2.1.8)

Oligosakarida menunjukkan sifat yang khas dari serat makanan, yaitu tidak mudah terhidrolisis oleh enzim pencernaan di saluran usus manusia, tetapi berfungsi sebagai substrat yang dapat difermentasi di usus besar, terutama oleh Bifidobakteri. Oligosakarida akan dimetabolisme guna menghasilkan asam lemak rantai pendek

(asam asetat, propionat dan butirat), asam laktat, hidrogen, metana dan CO₂.

10.2.2 Efek Kesehatan Prebiotik

1. Prebiotik sebagai serat pangan.

Karbohidrat prebiotik didefinisikan seperti serat makanan larut air, karena tidak dicerna oleh enzim manusia tetapi difermentasi oleh flora usus besar. Oleh karena itu prebiotik akan meningkatkan biomassa, berat tinja, dan frekuensi tinja, memperbaiki konstipasi dan kesehatan mukosa usus besar. Selain itu prebiotik juga dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri *Lactobacillus* dan *Bifidobacteria* yang berpotensi melindungi usus dan menghambat mikroba patogen, stabilisasi lingkungan usus dengan menurunkan pH dan pelepasan asam organik rantai pendek.

2. Prebiotik dalam usus

Kombinasi ketersediaan inulin, oligofruktosa, atau galaktooligosakarida serta kombinasinya dengan bakteri probiotik (*L. plantarum*, *L. paracasei*, *B. bifidum*) akan mampu meningkatkan jumlah *Lactobacillus* dan *Bifidobacteria* serta menghambat berbagai jenis bakteri patogen (*Clostridium* sp., *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, *Enterobacterium* sp., *Salmonella enteritidis*, *S. typhimurium*) secara in vitro.

3. Prebiotik pencegah kanker

Produksi SCFA (asam laktat, asetat, propionat, dan butirat) selama fermentasi karbohidrat prebiotik akan menurunkan pH usus. Keasaman yang lebih tinggi dan modulasi flora intestinal utamanya yang mampu memfermentasi karbohidrat, akan mampu menurunkan konsentrasi senyawa pembusuk, senyawa beracun, mutagenik, genotoksik dan metabolit bakteri, asam empedu sekunder dan enzim pemicu kanker.

4. Prebiotik pengatur lemak

Penambahan inulin dan oligofruktosa dapat menurunkan konsentrasi triasilgliserol dan kolesterol atau konsentrasi kolesterol dan LDL dalam serum. Prebiotik juga dapat membantu sindrom metabolismik terkait obesitas/kelebihan berat badan,

mengatasi gangguan metabolisme lipid, aterosklerosis, hipertensi, dan resistensi insulin/diabetes. Prebiotik oligofruktosa dan inulin akan mengurangi asupan energi dengan makanan dan proporsi lemak tubuh pada hewan tikus. Pada manusia inulin juga mengurangi kadar insulin puasa.

Studi pemberian inulin pada hewan percobaan hamster menunjukkan penurunan 29% kolesterol dan 63% trigliserida. Studi lainnya menggunakan tikus percobaan dengan konsumsi XOS sebagai prebiotik terjadi penurunan 27% trigliserida.

5. Prebiotik dalam penyerapan mineral

Prebiotik yang dimetabolisme mikroflora usus akan menurunkan pH usus, sehingga mampu meningkatkan kelarutan mineral dan meningkatkan penyerapan kalsium, zat besi dan magnesium dalam usus besar.

6. Prebiotik untuk imunomodulasi

Meskipun inulin dan oligofruktosa tidak memiliki efek imunogenik langsung, kedua senyawa ini dapat mempengaruhi flora usus, yang secara tidak langsung memodulasi sistem kekebalan tubuh. Pemberian inulin dan oligofruktosa pada tikus hewan percobaan selama enam minggu akan mampu meningkatkan aktivitas sel-T, resistensi yang lebih tinggi terhadap infeksi mikroba dan kematian yang rendah saat terkena infeksi *Candida albicans*, *Listeria monocytogenes*, dan *S. typhimurium*

7. Prebiotik dalam ASI

Prebiotik alami yang berasal dari manusia adalah air susu ibu (ASI) mengandung sejumlah 130 jenis oligosakarida glikokonjugat dengan konsentrasi 12 – 14 g/L, dibandingkan susu sapi yang hanya kurang dari 1 g/L. Oligosakarida dalam ASI dapat berupa rantai pendek atau panjang, rantai linier atau bercabang, netral atau asam. Oligosakarida ASI dapat berupa gula sederhana (galaktosa, glukosa dan fruktosa), atau mengandung turunan gula seperti asam amino atau asam uronat.

Gula-gula ASI ini memiliki peranan utama dalam sifat bifidogenik, protektif, dan imunomodulasi ASI. Namun demikian, sifat ASI yang belum dapat disimulasikan dengan prebiotik komersial adalah sifat penghambatan adhesi bakteri patogen pada sel endotel.

Sifat hambatan ini disebabkan oleh oligosakarida tertentu dalam ASI yang bertindak sebagai analog reseptor dengan molekul adhesi mukosa usus.

Penambahan oligofruktosa atau galaktooligosakarida atau kombinasi keduanya dengan takaran 0,4 – 1,0 g/1 ml selama periode pemberian ASI 3 – 12 minggu mampu meningkatkan Bifidobakteri yang nyata pada feses bayi tersebut dari 20% menjadi sekitar 60%, sementara bayi yang mendapat ASI 80%.

10.2.3 Efek Buruk Prebiotik

Karena terjadi fermentasi di usus besar, konsumsi prebiotik dalam jumlah yang lebih tinggi dapat menyebabkan perut kembung, gangguan perut, dan diare. Namun demikian, konsumsi oligofruktosa 31 dan 41 g pada sebuah penelitian, yang setara dengan 0,04 – 0,06 g/kg berat badan memberikan efek bersendawa, perut kembung, kontraksi usus atau feses cair.

10.2.4 Prebiotik dan Sinbiotik

Seringkali prebiotik ditambahkan ke dalam makanan probiotik, dimana konsentrasinya di dalam produk tersebut biasanya di bawah 10%. Untuk kombinasi ini dikenal istilah sinbiotik, seperti contoh kombinasi *L. acidophilus* dengan Fructooligosakarida (FOS) atau inulin yang diklaim dapat menurunkan kolesterol darah.

Sinbiotik merupakan sebuah bahan yang berisi campuran probiotik dan prebiotik, yang secara keseluruhan mampu menguntungkan melalui peningkatan jumlah probiotik di dalam usus, dan memberikan manfaat kesehatan bagi inangnya. Penambahan kombinasi probiotik dan prebiotik ini harus bersifat sinergis dan saling menguatkan.

10.3 Prebiotik, Prebiotik, Sinbiotik Baru

Kata sinbiotik dikenalkan oleh Gibson (Gibson and Roberfroid, 1995) sebagai sebuah bentuk sinergisme dimana senyawa prebiotik secara selektif mendukung organisme probiotik tertentu. Sinbiotik dikembangkan untuk mengatasi kemungkinan kesulitan bertahan hidup bagi probiotik selama melalui saluran usus bagian atas.

Beberapa faktor seperti pH, H_2O_2 , asam organik, oksigen, aktivitas air, dan stress diklaim mempengaruhi kelangsungan hidup probiotik. Beberapa sumber tanaman dan bakteri telah diekspolarasi manfaatnya sebagai prebiotik dan probiotik baru (Tabel 10.3).

Tabel 10.3. Prebiotik dan probiotik baru (Pandey *et al.*, 2015)

| Prebiotik Baru | Probiotik Baru |
|---|--|
| Sumber | Prebiotik |
| • Agar dan alginate rumput laut <i>Gelidium CC2253</i> | Polisakarida berat molekul rendah <i>F. prausnitzii</i> |
| • Ganggang hijau <i>Ulvarigida</i> | Ulvan |
| • Jamur <i>Pleurotus</i> sp. | β -glukan |
| • Akar obat tradisional Tiongkok <i>Morinda officinalis</i> atau murbei India | Inulin <i>L. plantarum</i> |
| • Pitaya (buah naga) berdaging putih dan merah | Oligosakarida |
| • Akar yacon | Oligosakarida |
| | |

Strain probiotik yang digunakan dalam formulasi sinbiotik meliputi *Lactobacilli*, *Bifidobacteria* spp., *S. boulardii*, *B. coagulans*. Sedangkan prebiotik utama yang digunakan terdiri dari oligosakarida seperti fruktooligosakarida (FOS), Galaktooligosakarida (GOS), dan xylooligosakarida (XOS), inulin, prebiotik alami dari sawi putih, atau akar yacon. Manfaat kesehatan yang diklaim oleh manusia yang telah mengkonsumsi sinbiotik antara lain a) peningkatan kadar *Lactobacillus* dan *Bifidobacteria* serta mikrobiota usus yang seimbang, b) Perbaikan fungsi hati pada pasien sirosis, c) peningkatan

kemampuan imunomodulasi, d) pencegahan translokasi bakteri dan mengurangi insiden infeksi nosocomial pada pasien bedah.

Sinbiotik juga mampu menunjukkan kemampuan dalam mengendalikan profil lipid, dimana studi pada tikus jantan hiperkolesterol diberi makan dedak padi terfermentasi *L. acidophilus* menunjukkan penurunan kolesterol. Studi lainnya pada babi jantan hiperkolesterolemik yang diberi pakan formulasi *L. acidophilus* ATCC 4962, FOS, manitol, dan inulin selama 8 minggu menunjukkan penurunan kolesterol.

Bakteri *Bifidobacteria* ketika digunakan bersama FOS dapat mengurangi karsinogenesis usus besar yang diinduksi oleh 1,2-dimetilhidrazin pada tikus dan menghambat tumor hati dan jaringan susu pada tikus. Pemberian *B. longum* dan oligofruktosa serta inulin dalam makanan dapat menghambat pembentukan sel pra kanker. Selain itu juga *B. longum* dapat menekan sel kanker payudara dan kanker usus besar.

Secara keseluruhan penjelasan tentang probiotik, prebiotik dan sinbiotik telah sampaikan sehubungan dengan efek sistemik yang mereka berikan pada kesehatan, metabolisme, dan sistem kekbalan tubuh inangnya. Pemanfaatan prebiotik oleh probiotik harus menjadi prasyarat untuk pemilihan sinbiotik, untuk menjaga sinergi yang baik antara probiotik dan prebiotik, dan memaksimalkan efek yang menguntungkan. Selanjutnya tuntutan para ilmuwan dengan kemampuannya untuk mengatur komposisi mikroba probiotik dengan zat makanan prebiotik merupakan pendekatan yang menarik dalam upaya pengendalian dan pengoatan beberapa penyakit utama.

DAFTAR PUSTAKA

- De Vrese, M., and Schrezenmeir, J. Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics. 2008. Advance on Biochem. Engin./Biotechnol., 111: 1-66. DOI 10.1007/10_2008_097
- Gibson, G.R, and Roberfroid, M.B. 1995. Dietary Modulation of The Human Colon Microbiota : Introducing The Concept of Probiotics. Journal of Nutrition, 125 : 141-1412.
- Jardine, S. 2009. Ingredients Handbook Prebiotics and Probiotics. Second Edition. Leatherhead Publ., and Blackwell Publ. Ltd. Oxford, United Kingdom.
- Lee, Y.K., and Salminen, S. 2009. Handbook of Probiotics And Prebiotics. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, United States of America.
- Markowiak, P., and Slizewska, K. 2017. Effects of Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics on Human Health. Nutrients, 9, 1021: 1-30. Doi:10.3390/nu9091021.
- Pandey, K.R, Naik, S.R, and Vakil, B.V. 2015. Probiotics, Prebiotics and Synbiotics-A review. J Food Sci Technol 52(12):7577-7587. DOI 10.1007/s13197-015-1921-1

BAB 11

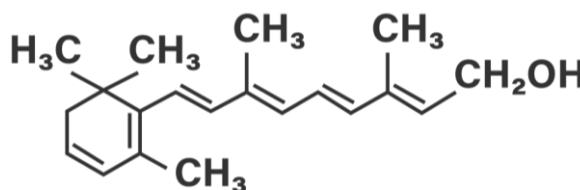
SIFAT ANTIOKSIDAN ZAT GIZI DAN NON GIZI

Oleh Dwiyati Pujimulyani

11.1 Antioksidan Zat Gizi

11.1.1 Vitamin A

Vitamin A bekerja sebagai penangkap oksigen singlet (Foote dkk., 1970; Vandana dkk., 2006), dan penangkap radikal bebas (Olson, 1996; Simic, 1992). Vitamin A berfungsi sebagai antioksidan dengan menghentikan reaksi berantai melalui penangkapan radikal bebas. Sifat antioksidasi vitamin A berbeda dengan sifat antioksidasi yang menghambat peroksidasi lipid. Vitamin A bersifat larut dalam lemak dan memiliki kekuatan antioksidan 5 (lima) kali lebih besar dibanding vitamin E. Peran vitamin A sebagai antioksidan terjadi karena retinol secara efektif mentransfer atom H pada radikal bebas (Dao dkk., 2017). Struktur kimia vitamin A disajikan pada Gambar 11.1.



Gambar 11.12. Struktur Vitamin A (Dao dkk., 2017)

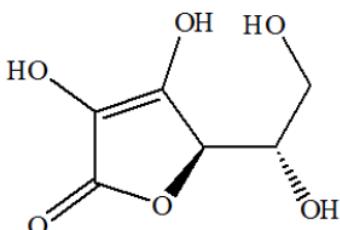
11.1.2 Vitamin C

Vitamin C bersifat larut dalam air dan banyak dijumpai pada buah-buahan. Fungsi antioksidan vitamin C didasarkan pada kemampuannya menangkap *Reactive Oxygen Species* (ROS) (Frei, 1994). Vitamin C berfungsi sebagai antioksidan non-enzimatis yang memberikan elektron dalam reaksi biokimia, baik di dalam maupun di luar sel. Vitamin C di dalam sel membantu menghilangkan senyawa

oksidan reaktif dalam neutrofil, monosit, lensa mata, dan retina, serta berinteraksi dengan Fe-ferritin. Vitamin C di luar sel mengeluarkan senyawa oksigen reaktif, mencegah oksidasi *Low Density Lipoprotein* (LDL), memberikan elektron ke tokoferol yang teroksidasi dan menyerap logam di sistem pencernaan (Ujianto, 2010).

Asam askorbat berperan sebagai agen pereduksi dengan memberikan 1 (satu) elektron, menghasilkan asam semidehidroaskorbat yang kurang reaktif. Asam semidehidroaskorbat mengalami reaksi disproporsionasi dan membentuk asam dehidroaskorbat tidak stabil, kemudian terurai menjadi asam oksalat dan treonat (Hashmi, 1877). Vitamin C memiliki kemampuan untuk menanggulangi radikal bebas, yang membantu melindungi integritas membran sel (Suhartono dkk., 2007). Radikal bebas memiliki sifat yang sangat berbahaya dan reaktif. Radikal bebas jika kehilangan salah satu elektronnya dapat menyebabkan kerusakan pada membran sel, merusak DNA, mempercepat penuaan, dan menyebabkan penumpukan lemak. Sumber vitamin C dapat ditemukan dalam berbagai buah seperti nanas, mangga, jambu biji, dan jeruk. Sayuran sumber vitamin C meliputi brokoli, bayam, daun pohong, dan cabai (Pujiimulyani, 2021).

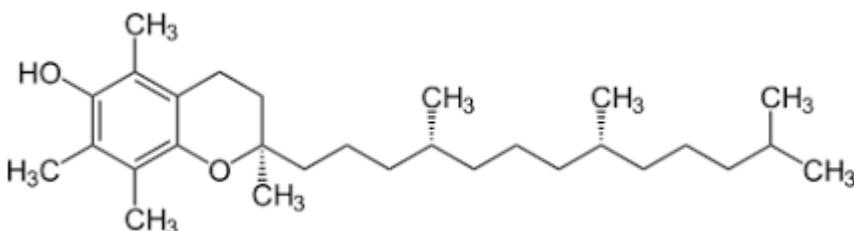
Respon tubuh terhadap asam askorbat dan superoksid secara fisiologis hampir mirip dengan peran enzim *Superoxide Dismutase* (SOD), begitu pula dengan reaksi pemecahan hidrogen peroksid yang dipermudah oleh enzim askorbat peroksidase (Asada, 1992). Antioksidan vitamin C menjaga biomolekul yaitu protein, lipid serta nukleotida dari kerusakan akibat oksidatif (Kumar dkk., 2022; Shakoor dkk., 2020). Struktur kimia vitamin C disajikan pada Gambar 11.2.



Gambar 11.13. Struktur vitamin C (Nerdy, 2017)

11.1.3 Vitamin E

Vitamin E merupakan antioksidan yang berfungsi sebagai pertahanan utama melawan oksigen singlet, radikal bebas, dan peroksidasi lipid, serta menghentikan reaksi berantai yang disebabkan oleh radikal bebas. Vitamin E di dalam membran sel berfungsi menangkap radikal bebas dan menjaga protein serta Poly Unsaturated Fatty Acid (PUFA) agar terhindar dari kerusakan oksidatif sehingga aktivitas sel tetap terlindungi (Traber & Atkinson, 2007). Struktur kimia vitamin E disajikan pada Gambar 11.3.



Gambar 11.14. Struktur vitamin E (Yuniritha & Sulistyowati, 2021)

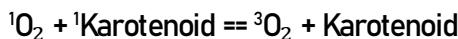
Vitamin E dapat ditemukan dalam susu, biji-bijian seperti kecambah, bunga matahari, dan tomat. Vitamin E meliputi tokoferol dan tokotrienol memiliki struktur cincin aromatik yang mengandung hidroksil, memungkinkan keduanya memberikan hidrogen kepada radikal bebas. Elektron yang dihasilkan dari donasi hidrogen didelokalisasi dalam cincin tokoferol, membuatnya menjadi relatif stabil dan tidak mudah bereaksi. Vitamin E mampu menghambat reaksi berantai yang dipicu oleh radikal bebas dengan membentuk radikal yang stabil (Burton dkk., 1983).

11.1.4 Karotenoid

Karotenoid merupakan antioksidan dengan sifat nonpolar, lipofilik, dan sulit larut dalam air. Struktur karotenoid terdiri dari rantai hidrokarbon yang terhubung dengan ikatan rangkap terkonjugasi. Karotenoid berfungsi sebagai penghambat radikal bebas yang dapat menyerang membran sel dan lipoprotein. Penelitian tentang karotenoid menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan dalam senyawa-senyawa ini tidak selalu sama, meskipun karakter ikatan

rangkap terkonjugasinya serupa, karena dipengaruhi oleh potensi karotenoid dalam mencegah radikal bebas.

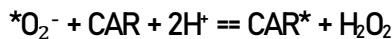
Karotenoid memberikan warna kuning, oranye, hingga kemerahan dalam berbagai buah serta sayur seperti pepaya, pisang, tomat, ubi jalar, wortel, dan semangka. Beberapa jenis karotenoid meliputi karoten dan likopen (Pujimulyani, 2021). Karotenoid dalam konteks biologis terbukti sebagai antioksidan yang paling efektif dalam menonaktifkan oksigen singlet. Kecepatan penghilangan oksigen singlet oleh karotenoid tergantung pada jenis dan jumlah grup fungsional pada struktur cincin molekul karotenoid, serta jumlah ikatan rangkap terkonjugasi. Pentingnya jumlah ikatan terkonjugasi ditunjukkan dengan keharusan memiliki paling sedikit 7 (tujuh) ikatan terkonjugasi untuk menjaga efektivitasnya sebagai antioksidan. Cara karotenoid menginaktivasi oksigen singlet secara fisik tidak menghasilkan produk teroksidasi sebagai berikut:



Senyawa karotenoid menstabilkan radikal bebas dengan memberikan elektron dan berubah menjadi kation, sedangkan senyawa fenolik memberikan hidrogen. *Xanthophile* merupakan karotenoid yang mengandung grup hidroksil, keto, dan aldehid, memberikan hidrogen kepada radikal bebas. Senyawa β -karoten dalam lingkungan beroksigen tinggi dapat bertindak sebagai pro-oksidan, sedangkan pada konsentrasi oksigen rendah aktivitas antioksidannya meningkat. Konsentrasi karotenoid juga memengaruhi sifatnya sebagai antioksidan atau pro-oksidan. β -karoten memiliki potensi reduksi 1-elektron yang tinggi dari kation radikal standar (1060 mV) yang menjelaskan sifat pro-oksidannya (Shadyro dkk., 2020).

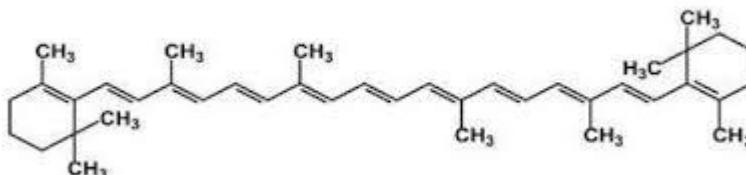
Senyawa β -karoten tidak mampu memberikan atom hidrogen ke radikal peroksil dengan potensi reduksi 1-elektron yang sama (1000 mV) (Burke dkk., 2001), sehingga tidak efektif sebagai antioksidan. β -karoten berinteraksi dengan radikal bebas menjadi molekul stabil melalui resonansi, atau menjadi radikal terkonjugasi. Semua ini tergantung pada potensi redoks radikal bebas dan struktur kimia karotenoid, terutama keberadaan gugus fungsi yang mengandung

oksigen, sehingga karotenoid dapat mentransfer hidrogen atau elektron ke radikal bebas. Sebagai contoh, β -karoten dapat mengaktifkan anion superoksid melalui reaksi berikut:



β -karoten berasal dari sayuran dan buah-buahan berwarna oranye dan berperan sebagai provitamin A dan antioksidan. β -karoten yang merupakan turunan senyawa karotenoid, sering digunakan sebagai bahan pewarna alami dan buatan yang sesuai aturan (Saati dkk., 2019). β -karoten dapat dihasilkan secara alami melalui ekstraksi bahan pangan hasil pertanian yang kaya karotenoid (Qodri, 2023), seperti minyak sawit dan wortel.

Sifat antioksidan dari β -karoten berguna dalam mencegah reaksi senyawa berbahaya yang dapat memicu pertumbuhan kanker, seperti radikal bebas dan senyawa oksigen yang reaktif. Struktur kimia β -karoten disajikan pada Gambar 11.4.



Gambar 11.15. Struktur β -karoten (Murni, 2020)

11.1.5 Zink

Zink memiliki sifat antiinflamasi, antioksidan, imunomodulator, dan antivirus (Read dkk., 2019). Efek antiinflamasi seng terjadi dengan menghambat sinyal nuclear faktor kappa B (NF- κ B), yang mengakibatkan berkurangnya produksi sitokin proinflamasi (Skalny dkk., 2020). Zink juga berfungsi sebagai kofaktor untuk enzim antioksidan, melindungi tubuh dari kerusakan oksidatif. Zink dalam sistem kekebalan tubuh mengatur fungsi dan pertumbuhan berbagai jenis sel, serta produksi sitokin. Peran zink sangat penting dalam menjaga kesehatan dan sistem imun.

Zink (Zn) banyak dijumpai dalam tubuh merupakan mineral *tracer* ke-2 terbanyak setelah besi (Kambe dkk., 2014). Zn berperan dalam kesehatan untuk mempertahankan fungsi fisiologi, serta perkembangan sistem kekebalan (Samad dkk., 2021). Kekurangan Zn (serum Zn kurang dari 0,7 mg/L) berkaitan dengan penyakit pneumonia dan peradangan (Alexander dkk., 2020). Defisiensi Zn dapat mengurangi respon kekebalan tubuh dan meningkatkan risiko infeksi (Bauer dkk., 2020).

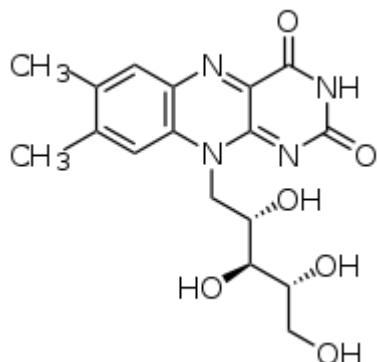
Zn berperan dalam sistem kekebalan tubuh melalui sel dengan mengontrol fungsi dan proliferasi neutrofil, sel pembunuh alami, makrofag, limfosit T dan B serta produksi sitokin (Rahman & Idid, 2021). Zn bertindak menjadi kofaktor enzim antioksidan (*glutathione* dan *catalase*) yang menjaga tubuh dari efek oksidatif (Oyagbemi dkk., 2021). Zn membantu menjaga keutuhan epitel sebagai barisan pertahanan utama dan mencegah masuknya patogen seperti SARS-CoV-2 (Ñamendys-Silva, 2020). Zn juga meningkatkan kemampuan sel epitel untuk membersihkan lendir dalam saluran pernapasan (Skalny dkk., 2020) dan antivirus. Kation Zn²⁺ dapat menghentikan aktivitas enzim *Ribonucleic Acid* (RNA) polimerase SARS-coronavirus (RdRp) dengan menghambat replikasinya (te Velthuis & Fodor, 2016).

11.1.6 Vitamin B2 (Riboflavin)

Riboflavin atau vitamin B2, memiliki struktur kimia yang disebut 7,8-dimetil-10-(1'-D-ribityl) isoalloxazine. Riboflavin terdiri dari cincin isoalloxazine heterosiklik yang terkait dengan gula alkohol dan ribitol. Cincin isoalloxazine sebagai dasar riboflavin juga merupakan koenzim fosforilasi alami yang berasal dari riboflavin. Koenzim fosforilasi alami meliputi koenzim Flavin Mononucleotide (FMN), Flavin Adenine Dinucleotide (FAD), dan flavin yang terikat secara kovalen pada protein tertentu, terutama pada posisi 8-a metil dari cincin isoalloxazine.

Enzim utama dalam mamalia yang berikatan secara kovalen dengan FAD termasuk sarkosin dan suksinat dehidrogenase, yang berada di matriks mitokondria dan membran mitokondria bagian dalam. *Monoamine oxidase* terdapat di membran mitokondria bagian luar, sedangkan *L-gulonolakton* oksidase banyak ditemukan di

mikrosom hati dan ginjal mamalia yang mampu mensintesis asam askorbat. Kontrol sintesis koenzim flavin dari riboflavin diatur oleh hormon tiroid. Hal tersebut terdapat dalam urutan peristiwa sintesis koenzim flavin dan diatur oleh aktivitas enzim biosintesis flavin serta sintesis apoenzim flavoprotein. Sumber vitamin B2 dapat ditemukan dalam produk seperti susu dan olahannya, daging, dan ikan (Mewies dkk., 1998). Struktur kimia riboflavin disajikan pada Gambar 11.5.



Gambar 11.16. Riboflavin (Iyer dkk., 2019)

Riboflavin, atau dikenal sebagai vitamin B2, termasuk dalam kelompok vitamin B kompleks yang larut dalam air. Riboflavin memiliki ketahanan terhadap panas dan berperan penting dalam metabolisme energi. Vitamin B2 berfungsi sebagai koenzim untuk berbagai enzim flavoprotein dalam bentuk FMN dan FAD. Vitamin B2 juga meningkatkan metabolisme zat besi dan mendaur ulang glutathione. Vitamin B2 merupakan antioksidan utama yang melindungi tubuh dari radikal bebas. Zat besi memiliki peran penting dalam pembentukan eritrosit, sehingga kekurangan zat besi dapat meningkatkan risiko anemia.

Riboflavin dapat mengalami perubahan dari bentuk teroksidasi menjadi tereduksi, memberinya beberapa sifat antioksidan melalui siklus redoks glutathione (Ashoori & Saedisomeolia, 2014). Koenzim FAD memiliki peranan penting dalam aktivitas glutathione reduktase untuk mengubah glutathione yang teroksidasi menjadi bentuk tereduksi. Oleh karena itu, keduanya berperan sebagai antioksidan (Liu dkk., 1993). Glutathione tereduksi dalam sel sebagai antioksidan

berperan mencegah spesies oksigen reaktif menjadi bentuk teroksidasi (Dringen dkk., 2000). Glutathione sangat penting karena mempunyai kemampuan untuk menonaktifkan peroksidasi, khususnya hidroperoksid (Hayes & McLellan, 1999). Oleh karena itu, jika riboflavin kurang maka akan terjadi peningkatan peroksidasi lipid.

Riboflavin dapat ditemukan dalam hati, ginjal dan ragi. Reaksi fosforilasi-defosforilasi terjadi di dalam mukosa untuk menyerap vitamin B2. Proses konversi riboflavin menjadi kofaktornya dipengaruhi oleh berbagai hormon (seperti tiroid, ACTH), obat-obatan (misalnya *klorpromazin* yang merupakan inhibitor kompetitif), serta faktor nutrisi. Sumber lain dari vitamin B2 meliputi bayam, kedelai, yoghurt, almond, kalkun, kacang hijau, ubi jalar, sarden, tuna, wortel, dan kubis. Setiap sayuran memiliki kandungan riboflavin yang berbeda-beda, sebagai contoh kedelai 0,03 mg/100 g, rosella 0,28 mg/100 g, daun kelor 0,05 mg/100 g, wortel 0,04 mg/100 g (Winarti, 2010).

11.1.7 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) biasanya tidak secara langsung menunjukkan sifat antioksidan seperti vitamin C dan E yang bersifat sebagai antioksidan. Tembaga memainkan peran penting dalam mendukung sistem pertahanan antioksidan tubuh secara tidak langsung. Tembaga sebagai kofaktor untuk SOD menjadi kunci utama. SOD berperan dalam mengkatalisis konversi radikal superoksid menjadi hidrogen peroksid dan oksigen, membantu menetralkan ROS yang berbahaya. Tembaga memberikan kontribusi tidak langsung terhadap kapasitas antioksidan tubuh secara keseluruhan, yaitu dengan membantu menghilangkan radikal superoksid (Jena dkk., 2023).

Tembaga juga terlibat dalam sistem antioksidan lain di dalam tubuh, termasuk aktivitas antioksidan dari seruloplasmin dan protein lain yang mengandung tembaga. Kadar tembaga yang berlebihan juga dapat menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan jika tidak diatur dengan baik oleh sistem tubuh. Tembaga dapat ditemukan dalam jumlah signifikan dalam hati, udang, biji-bijian dan sereal (Muchtadi, 2009). Penggunaan tembaga yang tepat/seimbang dalam asupan perlu

diperhatikan, agar bermanfaat tanpa menimbulkan efek negatif bagi tubuh.

11.1.8 Selenium (Se)

Selenium merupakan mineral mikro yang memiliki kekuatan sebagai antioksidan yang signifikan. Mineral ini menjadi bagian penting dari enzim glutation peroksidase, yang berperan dalam menetralisir radikal bebas (Hidayat dkk., 2018). Angka kecukupan gizi (AKG) seleneum orang dewasa sekitar 30 µg/hari dan anjuran konsumsi selenium sebesar 75-200 µg/hari (Hendriek & Pontianak, 2022). Penelitian Dennouri-Medjati dkk., (2012), menunjukkan bahwa orang yang berusia 60 tahun lebih mempunyai kadar selenium dalam darah yang lebih rendah dibandingkan yang berusia 20-40 tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa penurunan kadar selenium dalam tubuh berkorelasi dengan penurunan aktivitas antioksidan. Kadar selenium yang rendah juga terkait dengan peningkatan risiko penyakit jantung, kanker, dan artritis. Sumber selenium yang baik dapat ditemukan dalam serealia, daging, dan ikan.

11.1.9 Protein

Protein merupakan zat gizi yang bermanfaat bagi tubuh sebagai bahan bakar, zat pembangun dan pengatur (Sari, 2011). Struktur protein terdiri dari N, C, H, O, atau terkadang juga mengandung S, P, dan Fe (Sudarmadji dkk., 1989). Zat gizi protein mempunyai aktivitas antioksidan yang dapat menangkap radikal bebas karena mengalami proses hidrolisis. Hidrolisis protein merupakan pemecahan ikatan peptida dan protein menjadi molekul yang sederhana. Hidrolisis tersebut akan memengaruhi struktur protein ditandai dengan meningkatnya kelarutan, penurunan berat molekul dan kerusakan struktur globular protein. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa protein dapat menghambat oksidasi lipid dalam makanan (Elias dkk., 2008). Konsentrasi *whey* protein dalam daging sapi yang dimasak mempunyai sifat antioksidan karena dapat menghambat oksidasi lipid. Produk yang menunjukkan bahwa protein mempunyai aktivitas antioksidan antara lain produk susu (Taylor & Richardson, 1980) dan kedelai (Peña-Ramos & Xiong, 2002).

Penelitian Winarno (2022) menyatakan selama hidrolisis protein maka akan terjadi perubahan cita rasa akibat dari pembentukan peptida dan asam-asam amino serta lepasnya komponen cita rasa non protein. Penelitian sebelumnya protein tepung wijen *defatted* (Liu & Chiang, 2008), protein kedelai (Chen dkk., 1995), protein gandum (Zhu dkk., 2006), protein *chickpea* (Li dkk., 2008), protein *hordein barley* (Bamdad dkk., 2011) dan protein bungkil *palm* kernel (Zarei dkk., 2012) menunjukkan bahwa hasil hidrolisat proteininya mempunyai aktivitas antioksidan.

11.2 Antioksidan Non Gizi

11.2.1 Fenolik

Senyawa fenolik berperan sebagai antioksidan yang mampu menangkap radikal bebas. Fenolik merupakan jenis antioksidan alami yang ditemukan dalam makanan nabati. Senyawa fenolik biasanya dihasilkan melalui jalur asam shikimat dari fenilalanin atau tirosin. Senyawa ini bervariasi dari yang sederhana hingga yang terkonjugasi atau kompleks. Sifat antioksidan senyawa fenolik disebabkan oleh adanya gugus hidroksil pada cincin benzena. Senyawa fenolik polihidroksi terdiri dari dua atau lebih senyawa yang mengandung hidroksil. Suatu senyawa yang memiliki lebih dari satu gugus fenol, disebut sebagai senyawa polifenol. Antioksidan fenolik telah diperiksa secara menyeluruh dalam berbagai makanan nabati, termasuk sayuran, buah-buahan, sereal, biji-bijian, buah beri, teh, umbi bawang, anggur, minyak nabati (Dimitrios, 2006) dan empon-empon seperti kunir putih (Pujimulyani dkk., 2020).

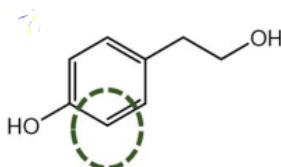
Aktivitas antioksidan senyawa fenolik melalui mekanisme *Hydrogen Atom Transfer* (HAT) atau transfer elektron tunggal melalui *Single Electron Transfer-Proton Transfer* (SET-PT) (Zhang & Tsao, 2016) atau transfer elektron kehilangan proton secara berurutan (Lee dkk., 2020), dan transisi khelasi logam (TMC). Kemampuan senyawa fenolik untuk berfungsi sebagai antioksidan dipengaruhi oleh struktur molekulnya, terutama cincin benzena, serta jumlah dan posisi gugus hidroksil. Cincin benzena berperan dalam menstabilkan molekul antioksidan ketika berinteraksi dengan radikal bebas. Contohnya asam galat adalah sejenis asam fenolat yang memiliki 3 gugus

hidroksil dan satu gugus asam karboksilat. Peran utama dalam fungsi antioksidan asam galat terletak pada gugus hidroksil yang membentuk radikal bebas asam galat (Lu dkk., 2006; Phonsatta dkk., 2017; Rajan & Muraleedharan, 2017).

Manfaat kesehatan dari senyawa fenolik terkait dengan antioksidannya dan peran protektif terhadap penyakit kronis yang disebabkan oleh radikal bebas (Ozcan dkk., 2014; Xu & Chang, 2010). Makanan yang kaya akan senyawa fenolik jika dikonsumsi, maka dapat mengurangi risiko berbagai masalah kesehatan. Senyawa fenolik dalam makanan memiliki potensi untuk menghambat aktivitas *Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate* (NADPH) oksidase, membersihkan radikal bebas, dan berperan dalam mencegah hipertensi (Yousefian dkk., 2019). Barraza-Garza dkk. (2020) menyatakan bahwa tingginya jumlah polifenol menunjukkan perlindungan yang lebih baik terhadap stres oksidatif dalam kultur sel *in vitro*. Senyawa fenolik yang terdapat dalam buah beri meliputi flavanol, asam hidroksisinamat, asam hidroksibenzoat, antosianin, demikian juga pada buah ceri, terdapat asam hidroksisinamat dan antosianin (Zeb, 2020).

11.2.2 Tirosol

Tirosol (*2-(4-hidroksiphenyl)etanol*) terdapat dalam berbagai tanaman (Panossian dkk., 2010) yaitu minyak zaitun dan anggur (Bayram dkk., 2013). Tirosol memiliki aktivitas antiradikal terendah dibandingkan dengan polifenol (katekin, epikatekin, *quercetin*, *procyanidins*) dan senyawa standar vitamin E (Martin, 1995). Tirosol menunjukkan aktivitas antioksidan lemah atau menengah dibandingkan dengan semua senyawa lain (asam ferulat, kuersetin, kurkumin, berberin, dan katekin) sebagai penangkap radikal peroksil, hidrodil (Fusi dkk., 2018). Tirosol secara struktural terkait dengan hidroksitirosol, seperti halnya strukturnya kimianya identik kecuali bahwa *hidroxytirosol* memiliki gugus hidroksi ekstra pada posisi meta. Struktur tirosol disajikan pada Gambar 11.6.



Gambar 11.17. Struktur Tirosol (Paulo & Santos, 2020)

Antioksidan tirosol mempunyai kemampuan menonaktifkan radikal dan dapat membantu mengurangi kerusakan sel, mampu membersihkan ROS, dan menunjukkan efek perlindungan pada berbagai jenis sel, termasuk sel payudara manusia (Sabatini, 2010). Giovannini dkk. (1999) menyatakan bahwa tirosol berperan mencegah terjadinya oksidasi sel dan memiliki efek kardioprotektif (Lucas dkk., 2010). Tirosol dan *hydroxytyrosol* juga menunjukkan manfaat biologis seperti antibakteri, antivirus, antiinflamasi, pelindung saraf dan efek antikanker. Hidroksitirosol memiliki aktivitas *antileishmanial* terhadap promastigotes *Leishmania infantum*, *L. donovani*, dan *L. mayor* (Kyriazis dkk., 2013). Aktivitas antioksidan *in vitro* tirosol lebih lemah jika dibandingkan dengan *hydroxytyrosol* karena kurangnya struktur orto-difenol.

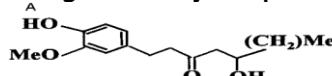
11.2.3 Gingerol, Zingeron

Ekstrak jahe mengandung zat aktif yang disebut *gingerol*. *Gingerol* memiliki kemampuan untuk menghentikan pembentukan kompleks antara vitamin C dan zat besi pada buah beri, yang dapat memicu peroksidasi lipid. *Gingerol* juga dapat menghentikan pembentukan tromboksan dan meredakan peradangan. Jahe merupakan salah satu rempah yang mengandung senyawa bioaktif (Purnomo dkk., 2010) yang bersifat antioksidan. Hasil penelitian Kikuzaki & Nakatani (1993), menyatakan bahwa senyawa non-volatile pada jahe bersifat antioksidan, seperti *gingerol*, *shogaol* dan *zingeron*. *Gingerol* dan *shogaol* bertindak sebagai antioksidan utama terhadap radikal lipida. Aktivitas antioksidan tersebut terbentuk karena adanya kandungan cincin *benzene* dan gugus hidroksil pada gingerol dan shogaol (Zakaria, 2000). Ekstrak etanol jahe merah sebagai

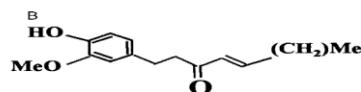
antioksidan, menyumbangkan radikal hidrogennya ke radikal peroksid lipida membentuk *hidroperokksida lipida* (ROOH) sehingga mencegah terjadinya oksidasi lipida.

Gingerol merupakan bahan alam yang terdapat pada oleoresin jahe yang dimanfaatkan sebagai bahan obat dengan jumlah berkisar 4–8% berat jahe kering (Pujilestari & Nami Lestari, 2009). *Gingerol* berfungsi sebagai antioksidan, antiinflamasi, analgesik, antikarsinogenik, non-toksik, non-mutagenik dan antibakteri (Prakoeswa dkk., 2020). *Gingerol* tidak tahan pada suhu tinggi, saat terpapar suhu tinggi akan terkonversi menjadi *shogaol*. *Shogaol* terbentuk karena proses pemanasan *gingerol* (Wohlmuth dkk., 2005) yang memiliki rasa lebih pedas dibandingkan *gingerol* dan merupakan komponen utama jahe kering (Mishra, 2009).

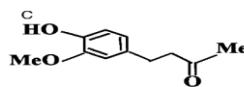
Zingeron terbentuk ketika *gingerol* mengalami degradasi akibat suhu tinggi, khususnya dengan adanya alkali. Proses pembentukan *zingeron* terjadi saat bahan dipanaskan pada suhu di atas 200 °C dalam suasana basa dengan keberadaan 5% NaOH. *Zingeron* memiliki sifat sebagai antioksidan, dengan mendegradasi radikal bebas yang dihasilkan oleh radiolisis. Penelitian menunjukkan bahwa *zingeron* dapat menghambat peroksidasi lipid yang diinduksi oleh *ferric ascorbate* di otak tikus (Rajakumar & Rao, 1994). Struktur *gingerol*, *shogaol* dan *zingeron* disajikan pada Gambar 11.7.



Gingerols



Shogaols



Zingerone

Gambar 11.18. Struktur *gingerol*, *shogaol* dan *zingeron* (Jin dkk., 2014)

11.2.4 Polifenol

Polifenol memiliki sejumlah manfaat kesehatan, termasuk mengurangi kadar gula darah, risiko penyakit jantung, stroke, kanker, dan diabetes, serta melindungi sistem pencernaan dan otak. Makanan yang kaya polifenol seperti teh, kopi, dan cokelat hitam serta kunir putih jenis mangga (Puji Mulyani dkk. 2022). Polifenol sebagai antioksidan dapat menjaga stabilitas radikal bebas dengan menyumbangkan elektron pada radikal bebas, sehingga mencegah terjadinya reaksi berantai yang membentuk radikal bebas. Antioksidan polifenol memberikan hidrogen melalui gugus hidroksilnya. Polifenol dapat mengikat ion besi (Fe^{2+}), mengurangi radikal bebas OH, dan mencegah terbentuknya reaksi fenton yang dapat membentuk radikal bebas OH dari H_2O_2 . Polifenol juga mampu menetralkan radikal bebas OH menjadi H_2O_2 dan juga meredakan ROO , yang merupakan hasil dari reaksi radikal dengan oksigen (Han dkk., 2012).

Berbagai jenis buah seperti anggur, buah beri, dan jeruk mengandung senyawa polifenol (contoh asam tartarat) dan antosianin, yang memiliki efek antioksidan. Buah beri mengandung fenolik tinggi (contoh asam sinamat) dan flavonoid (contoh antosianin). Jeruk mengandung senyawa polifenol seperti asam hidroksinamat (*p-koumarat*, asam ferulat, *limonoid*, *naringin*). Beberapa sayuran seperti tomat, brokoli, bayam dan bawang putih juga mengandung antioksidan. Rempah-rempah seperti kunyit, sereh, dan lengkuas juga memiliki senyawa antioksidan. Teh mengandung polifenol (contoh katekin, epigalokatekin, epikatekin galat, epigalokatekin galat) dan flavonoid (contoh kuersetin). Katekin dan kuersetin memiliki kemampuan untuk mencegah oksidasi LDL serta melindungi sel-sel limfoid dari efek sitotoksik yang dihasilkan oleh oksidasi LDL. Katekin, bekerja bersama dengan α -tokoferol dan β -karoten, mampu menghambat oksidasi dalam plasma darah. Konsumsi teh juga dapat menekan ekspresi *oncogene* dalam sel hepatoma pada paru-paru (Kustamiyati, 2006).

Tanin merupakan antioksidan alami yang dapat mencegah peroksidasi lipid yang disebabkan oleh radikal bebas, bersama dengan senyawa polifenol lainnya seperti flavon, flavonol, dan sejenisnya.

Jenis-jenis tanin seperti asam galat, elagit, dan proantosianidin banyak digunakan dalam fitoterapi. (Julianto, 2019).

11.2.5 Flavonoid

Flavonoid merupakan senyawa kimia yang umumnya ditemukan dalam buah, sayur dan akar tanaman, memiliki sifat antioksidan yang efektif dalam melawan radikal bebas dan peradangan. Penelitian menunjukkan bahwa mengonsumsi makanan yang mengandung flavonoid dapat mengurangi risiko penyakit degeneratif (Poespitiasari, 2021). Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami peran klinis flavonoid pada manusia. Sumber flavonoid meliputi teh, kedelai, *dark chocolate*, serta berbagai buah seperti apel, jeruk, asam jawa dan jambu biji. Flavonoid sebagai antioksidan karena mampu menyumbangkan hidrogen dan mengikat ion logam. Senyawa flavonoid yang telah menyumbangkan hidrogen menjadi stabil melalui resonansi, sehingga sulit berinteraksi dengan radikal lain dalam reaksi kimia.

Flavonoid memiliki gugus hidroksil sehingga dapat menangkap radikal bebas serta berfungsi sebagai reduktor yang mendonorkan hidrogen kepada radikal bebas. Hidrogen menetralkan ROO^- . ROO^- adalah hasil reaksi R^+ dan O_2^- , karena donor hidrogen flavonoid akan berikatan dengan OH^- , membentuk H_2O netral (Yao dkk., 2004). Flavonoid memicu peningkatan pembentukan enzim SOD, GPX, serta CAT, yang masing-masing bertanggung jawab untuk mengurangi radikal bebas dalam tubuh (Rafael, 2007). Flavonoid berikatan dengan Cu^{2+} yang membentuk radikal bebas OH^- .

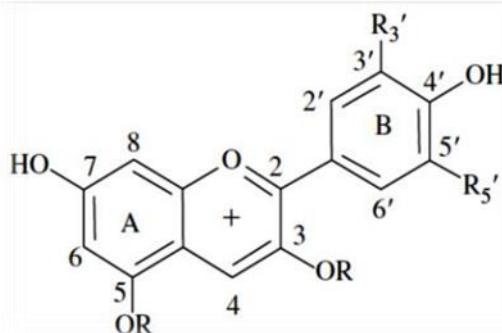
Flavonoid menunjukkan potensi utama sebagai antioksidan karena adanya kelompok o -difenol, ikatan rangkap 2-3 yang berkongiasi dengan fungsi 4-okso, dan kelompok hidroksil pada posisi 3 dan 5. Aktivitas antioksidan flavonoid dipengaruhi oleh keberadaan gugus hidroksil dan gula. Senyawa flavonoid efektif dalam menetralkan radikal hidroksil dan peroksil, serta membentuk kompleks dengan ion logam untuk mencegah inisiasi oksidasi lipid oleh logam. Beberapa flavonoid yang strukturnya mirip dengan vitamin E menunjukkan aktivitas antioksidan dalam sistem lipid. Flavonoid mampu mencegah pembentukan ROS melalui reaksi anion

superokksida dan radikal lipid peroksil yang membentuk kompleks dengan besi. Flavonoid juga dapat melindungi vitamin C dari oksidasi oleh ion logam. *Quercetin*, *kaempferol*, asam tanat, dan asam *ellagic* termasuk flavonoid yang menunjukkan aktivitas antioksidan yang tinggi.

1. Antosianin

Antosianin merupakan salah satu jenis flavonoid yang berfungsi sebagai antioksidan, memberikan warna merah dan ungu pada berbagai tumbuhan. Antosianin mampu menghambat penyakit degeneratif seperti kanker dan diabetes, serta memberikan perlindungan terhadap infeksi. Antosianin juga memiliki efek positif pada kesehatan mata, otak, dan saraf. Buah-buahan dan sayuran, seperti tomat dan anggur ungu, merupakan sumber antosianin. Konsumsi makanan yang mengandung antosianin dapat mendukung kesehatan dan pencegahan penyakit.

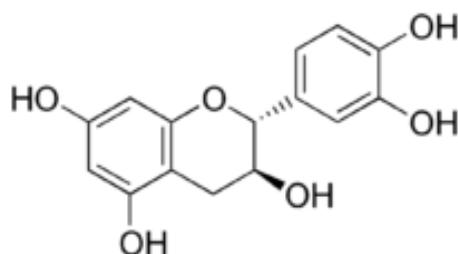
Antosianin dapat menangkal senyawa turunan radikal bebas dari oksigen reaktif, misalnya hidroksil, peroksil serta oksigen tunggal. Radikal bebas dalam tubuh manusia ini diproduksi oleh sistem enzim pro-oksidan, iradiasi, inflamasi, oksidasi lipid, nikotin, bahan kimia lainnya dan kontaminasi udara (Siti Azima dkk., 2014). Fungsi antioksidan dalam antosianin bermanfaat untuk mencegah penyakit degeneratif seperti arterosklerosis. Antosianin dapat menghambat serta mengurangi jumlah kolesterol dalam darah yang dipengaruhi oleh kolesterol jahat sehingga mampu melindungi membran sel lemak dari oksidasi (Wallace, 2011). Penelitian terkait antosianin menunjukkan bahwa antosianin berfungsi sebagai antihipertensi, antidiabetes, antiinflamasi, hipoglikemik, antikanker, antiinfertilitas, antimutagenik, antikatarak, antimikroba, antiaging, antibesitas, mencegah penurunan daya ingat serta gangguan fungsi hati oleh proses oksidasi dalam tubuh secara kontinyu (Priska dkk., 2018). Struktur antosianin disajikan pada Gambar 11.8.



Gambar 11.19. Struktur antosianin (Priska dkk., 2018)

11.2.6 Katekin

Katekin merupakan senyawa penting dalam penentuan mutu daun teh yang memiliki antioksidan tinggi. Katekin adalah senyawa metabolit sekunder yang menyumbang sekitar 42% dari daun kering secara keseluruhan (Hasanah dkk., 2012; Rabbani dkk., 2019). Menurut Sang dkk. (2011), ada 8 jenis senyawa yang termasuk dalam kelompok katekin utama: katekin, epikatekin, epigalokatekin, galokatekin, katekin galat, epikatekin galat, epigalokatekin galat, dan galokatekin galat. Katekin tidak memiliki warna dan mudah larut air, serta berpotensi mengubah profil sensoris teh (Hartoyo, 2003; Paramita dkk., 2019). Kandungan katekin dalam teh varietas *assamica* lebih besar daripada varietas *sinensis* (Anjarsari, 2016), dan pengolahan berbagai jenis teh menunjukkan tingkat katekin yang berbeda meskipun berasal jenis tanamannya sama (*Camellia sinensis* (L) Kuntze) (Fajar dkk., 2018). Struktur katekin disajikan pada Gambar 11.9.



Gambar 11.20. Struktur kimia katekin (Mahendra & Azhar, 2022)

11.2.7 Flavon, Flavonol

1. Flavon

Flavon adalah salah satu subkelompok penting dari flavonoid. Flavon banyak terdapat pada daun, bunga, dan buah sebagai glukosida. Seledri, peterseli, paprika merah, chamomile, mint, dan ginkgo biloba adalah beberapa sumber utama flavon. Luteolin, apigenin dan tangeritin termasuk dalam subkelas flavonoid. Kulit buah jeruk kaya akan flavon polimetoksilasi, tageritin, nobiletin dan sinensetin (Manach dkk., 2004). Flavon pada kulit buah jeruk memiliki ikatan rangkap antara posisi 2 dan 3 dan keton pada posisi 4 cincin C. Sebagian besar flavon dari sayuran dan buah-buahan memiliki gugus hidroksil pada posisi 5 cincin A. Sedangkan hidroksilasi pada posisi 7 cincin A atau 3' dan 4' cincin B, dapat bervariasi sesuai dengan klasifikasi taksonomi sayuran atau buah tertentu.

2. Flavonol

Flavonol merupakan kelompok flavonoid yang memiliki gugus keton dan berfungsi sebagai komponen sintesis proantosianin. Senyawa ini ditemukan secara melimpah dalam berbagai buah dan sayuran. Kaempferol, *quercetin*, *myricetin*, dan fisetin termasuk flavonol yang banyak diteliti. Sumber-sumber flavonol meliputi bawang, kangkung, selada, tomat, apel, anggur, dan buah beri. Teh dan anggur merah juga termasuk dalam sumber flavonol.

Asupan flavonol terkait dengan sejumlah manfaat kesehatan, termasuk potensi antioksidan dan penurunan risiko penyakit pembuluh darah. Makanan yang kaya flavonol, jika dikonsumsi sehari-hari dapat menjadi langkah positif untuk mendukung kesehatan tubuh secara menyeluruh.

Flavonol memiliki gugus hidroksil pada posisi 3 dalam cincin C yang dapat mengalami glikosilasi. Flavonol juga memiliki variasi yang signifikan dalam pola metilasi dan hidroksilasi.. Flavonol dapat dianggap sebagai subkelompok flavonoid yang paling umum dan mendominasi dalam buah-buahan dan sayuran, dengan mempertimbangkan pola glikosilasi yang bervariasi hal tersebut. *Quercetin* dapat ditemukan dalam berbagai makanan

nabati (Iwashina, 2012) dan kunir putih jenis mangga (Pujimulyani, 2012). Flavonol seperti *quercetin* yang mengandung 5 gugus hidroksil memiliki potensi antioksidan yang relatif lebih besar daripada senyawa yang tidak memiliki kemampuan menetralkan radikal bebas (Tsao, 2010). Konsentrasi flavonoid dipengaruhi oleh faktor alam seperti suhu, radiasi ultraviolet (UV), musim, polutan, kekeringan dan salinitas karena berpengaruh terhadap metabolisme tanaman (Yang dkk., 2018). Sediaan yang mengandung flavonoid telah digunakan untuk mengobati berbagai penyakit manusia. Flavonoid memiliki sifat antiinflamasi, antimutagenik, antikarsinogenik, dan antimikroba (Ahmed dkk., 2016). Flavonoid memodulasi aktivitas beberapa enzim, termasuk *xanthine oksidase* (XO), *siklooksigenase* (COX), *lipokksigenase* (LOX), dan *fosfoinositida 3-kinase* (Panche dkk., 2016) yang terlibat dalam proses patologis.

11.2.8 Isoflavon

Isoflavon yang paling melimpah dalam kedelai adalah genistein dan turunannya (genistin), diikuti oleh daidzein dan turunannya (daidzin), serta glisitein dan turunannya (glisitin). Konsumsi kedelai dan produk turunannya mempunyai efek biologis positif seperti antikarsinogenik, antiaterosklerosis dan antihemolitik. Isoflavon merupakan komponen bioaktif utama dalam kedelai, dengan kandungan 1 hingga 3 mg/g pada kedelai dan 0,025 hingga 3 mg/g pada produk olahannya. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan isoflavan yang telah dipurifikasi dapat melindungi kolesterol dari oksidasi.

Hasil penelitian, baik *in vitro* maupun *in vivo*, termasuk dalam sistem lipid sederhana (liposom) dan sistem lipid yang lebih kompleks (lipoprotein), menunjukkan bahwa isoflavan memiliki efek positif terhadap oksidasi yang membentuk kolesterol jahat. Genistin secara oral meningkatkan resistensi kolesterol jahat terhadap oksidasi dan menghambat oksidasi produk lipid plasma.

Isoflavon memiliki mekanisme antioksidan yang berbeda dari antioksidan alami lainnya. Isoflavon diduga dapat mengontrol aktivitas estrogen dan mencegah kanker yang berhubungan dengan hormon,

seperti prostat dan payudara, karena struktur genistein dan daidzein mirip dengan estrogen. Struktur dan konsentrasi isoflavan berperan penting dalam aktivitas antioksidan terhadap oksidasi lipid yang dikatalisis oleh lipoksigenase. Aktivitas antioksidan isoflavan berkurang jika glukosa terikat pada aglikon. Mekanisme antioksidan isoflavan diduga mirip dengan tokoferol, sementara yang lain berpendapat bahwa isoflavan dapat mencegah oksidasi lipid dengan menstabilkan struktur LDL, tanpa terlibat dalam rantai reaksi oksidasi lipid (Patel dkk, 2001).

11.2.9 Lutein

Lutein adalah pigmen alami yang termasuk dalam kelompok karotenoid, senyawa organik yang memberikan warna kuning, oranye, dan merah pada sejumlah buah dan sayuran. Lutein dan zeaksantin merupakan dua karotenoid utama yang terdapat dalam retina mata manusia. Sifat antioksidan yang dimiliki lutein sangat kuat, artinya mampu melindungi sel-sel tubuh dari kerusakan yang disebabkan oleh radikal bebas. Lutein dalam tubuh terutama terdapat pada mata, khususnya pada makula, bagian tengah retina yang bertanggung jawab atas penglihatan pusat. Lutein sebagai antioksidan berperan dalam melindungi sel-sel tubuh dari kerusakan akibat radikal bebas.

Salah satu manfaat kesehatan yang signifikan dari konsumsi lutein adalah perlindungan terhadap mata, terutama dalam pencegahan degenerasi makula terkait usia (AMD) serta menjaga kesehatan retina. Lutein dapat membantu melindungi mata dari kerusakan yang dapat disebabkan oleh sinar UV dan radikal bebas, yang mungkin berdampak pada fungsi penglihatan. Makanan yang mengandung lutein, seperti bayam, kale, kangkung dan kuning telur dapat mendukung kesehatan tubuh. Suplemen lutein tersedia sebagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan antioksidan, terutama bagi masyarakat yang asupan luteinnya kurang.

11.2.10 Likopen

Suplemen likopen jika dikonsumsi dapat berkontribusi pada pemeliharaan kesehatan tubuh. Likopen merupakan antioksidan, terdapat dalam buah-buahan dan sayuran yang memiliki warna cerah,

seperti jeruk bali, jambu merah, pepaya, tomat dan semangka. Likopen bermanfaat bagi kesehatan tubuh seperti antikanker, melindungi kulit dari kerusakan, mendukung kesehatan otak dan mata serta tulang. Buah-buahan seperti tomat, jeruk bali, pepaya berdaging merah dan semangka merupakan sumber likopen yang signifikan.

Beberapa penelitian *in vitro* menemukan bahwa likopen memiliki aktivitas antioksidan yang kuat. Penelitian Levy dkk. (1995) menyebutkan bahwa likopen mampu menghambat pertumbuhan kanker endometrium, kanker payudara dan kanker paru-paru pada kultur sel dengan aktivitas yang lebih tinggi daripada α dan β -karoten. Likopen ditemukan mampu menonaktifkan radikal bebas dan menghambat senyawa hidrogen peroksida dan nitrogen peroksida (Böhm dkk., 1995).

Secara alami likopen dalam tanaman berada dalam bentuk konfigurasi trans yang secara termodinamika merupakan bentuk yang stabil (Nguyen & Schwartz, 1999). Efek pemanasan terhadap likopen dapat berubah menjadi bentuk isomer trans cis mono atau poli (Sudardjat & Gunawan, 2003). Pada umumnya isomer cis bersifat lebih polar, memiliki kecenderungan lebih rendah untuk menjadi kristal, lebih mudah larut dalam minyak dan pelarut hidrokarbon, lebih mudah bergabung dengan lipoprotein atau struktur subseluler lipid. Hal tersebut menyebabkan isomer cis lebih mudah masuk ke dalam sel dan kurang stabil dibandingkan dengan isomer trans (Clinton dkk., 1996).

11.2.11 Saponin

Sifat antioksidasi saponin dipertahankan dengan membentuk sel perantara hidroperoksida serta menghambat kerusakan biomolekuler akibat radikal bebas (Khan dkk., 2012). Saponin mampu merangsang peningkatan aktivitas SOD, yang berperan dalam menetralisir ROS. SOD memiliki kapasitas untuk berikatan dan mengurangi H_2O_2 , sehingga mencegah terjadinya reaksi fenton yang dapat menghasilkan radikal hidroksil (OH). Saponin dapat membentuk $ONOO^-$ yang bersifat reaktif, jika terjadi ikatan antara ROS dan NO. Penelitian Alli & Adanlawo (2014) tentang ekstraksi saponin dari akar *Granicia kola*, membuktikan bahwa saponin mempunyai sifat

antioksidasi. Hasil penelitian tersebut juga didukung oleh penelitian Fu dkk., (2009) yang menyatakan bahwa saponin berpengaruh terhadap reaksi lipid peroksidase pada jaringan dan menunjukkan bahwa saponin mempunyai sifat antioksidasi yang kuat.

11.2.12 Klorofil

Klorofil merupakan pigmen pada tumbuhan yang berperan krusial dalam fotosintesis dengan mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia. Konsumsi klorofil dalam jumlah tertentu, bersama dengan beberapa senyawa turunannya, dapat berperan sebagai antioksidan. Uji *in vitro* menunjukkan kemampuan klorofilin dalam menetralkisir senyawa antioksidan, sementara uji *in vivo* mengindikasikan bahwa suplemen klorofilin dapat mengurangi kerusakan oksidatif akibat radiasi dan karsinogen kimia. Penelitian dengan tikus percobaan, menunjukkan bahwa pemberian ekstrak klorofil dari daun suji dapat memelihara tingkat antioksidan dalam tubuh, terlihat dari penurunan kadar malonaldehid (MDA) di hati tikus dan peningkatan aktivitas enzim antioksidan seperti katalase dan superokksida dismutase. Studi lain menunjukkan bahwa klorofilin dan senyawa turunannya memiliki kemampuan mencegah oksidasi radikal bebas pada kolesterol jahat, sehingga dapat menghambat pembentukan *plak* dalam pembuluh darah.

11.3 Enzim-enzim Antioksidan

11.3.1 Superokksida Dimutase (SOD)

SOD adalah enzim antioksidan yang dapat memperbaiki efek stres oksidatif. Superokksida merupakan suatu molekul yang diklasifikasikan sebagai radikal bebas, sangat reaktif dan memiliki kemampuan untuk merusak molekul dalam tubuh. Enzim SOD menghasilkan hidrogen peroksida dan oksigen dari superokksida. Enzim ini memiliki sifat antiinflamasi dan mencegah perubahan sel prakanker. Kadar SOD dalam tubuh menurun seiring bertambahnya usia (Yasui & Baba, 2006), sehingga penyakit stres oksidatif rentan mengalami peningkatan (Inal dkk., 2001). Tiga jenis SOD yaitu tembaga intraseluler, seng SOD (Cu, ZnSOD), atau SOD mangan (MnSOD) berubah dari struktur primer ke struktur sekunder ketika berada di

dalam protein (Nurhayati dkk., 2018). Enzim ini berfungsi sebagai pertahanan sel endogen dan eksogen, dapat digunakan dalam pengobatan penyakit, meningkatkan kemampuan obat, dan berfungsi sebagai nutrisi bagi tubuh (Novarini dkk., 2022).

SOD memiliki potensi untuk diaplikasikan dalam produk kosmetik dan perawatan kulit sebagai agen antioksidan atau antipenuaan. Fungsinya melibatkan pencegahan kerusakan akibat radikal bebas seperti kerutan, garis halus, bintik-bintik, serta kemampuan penyembuhan luka dan peremajaan kulit. SOD sebagai enzim antioksidan juga membantu berbagai masalah kesehatan pada tubuh, seperti gangguan sel darah merah, *cystic fibrosis* (CF), sindrom nyeri pasca-kolesistektomi, penyakit payudara ganas, sindrom nefrotik yang peka terhadap steroid, sklerosis lateral amiotrofik, apoptosis saraf, AIDS dan kanker (Corvo dkk., 2002).

Potensi terapeutik SOD salah satunya yaitu pada kanker. SOD bertanggung jawab menghilangkan oksigen. Stres oksidatif memiliki peran penting dalam karsinogenesis, dan beberapa penelitian menyatakan bahwa ROS dapat menjadi karsinogen endogen dengan memicu mutasi sel (Moriya dkk., 2001). Sel kanker diketahui memiliki aktivitas Cu, Zn-SOD dan Mn-SOD yang rendah (Guyton & Kensler, 1993), dan normalisasi tingkat SOD dapat membantu membalikkan fenotipe sel kanker (Oberley, 2004). SOD juga dianggap sebagai target baru dalam pengobatan kanker dan telah disarankan bahwa pengaturan SOD dapat memengaruhi perkembangan kanker (Bafana dkk., 2011). Cu, Zn-SOD juga telah diidentifikasi sebagai target terapeutik potensial untuk pengobatan *multiple myeloma* (Glasauer dkk., 2014).

11.3.2 Glutation Peroksidase

Glutation peroksidase (GPx) merupakan kelompok enzim yang memiliki hubungan filogenetik. Kelompok GPx terdiri dari beberapa anggota, termasuk GPx1-4 yang ditemukan pada mamalia, dan GPx6 yang eksklusif ditemukan pada manusia. Keluarga GPx terbagi menjadi tiga kelompok yaitu GPx1/GPx2, GPx3/GPx5/GPx6, dan GPx4/GPx7/GPx8 (Mariotti dkk., 2012).

GPx telah lama dikenal sebagai katalisator dalam proses reduksi H_2O_2 atau hidroperoksida organik menjadi air atau alkohol dengan menggunakan *glutathione* (GSH) sebagai reduktor. Sesuai dengan pernyataan Levander (1987) salah satu antioksidan enzimatik, glutation peroksidase (GSH-PX), yang mampu menetralkan hidrogen peroksida serta lipid hidroperoksida dengan mengurangi *glutathione*. Selain itu, GPx juga dapat menghambat terbentuknya radikal bebas serta perubahan radikal bebas menjadi molekul yang tidak reaktif (Ozden dkk., 2002).

GSH adalah sejenis antioksidan yang memainkan peran utama dalam mengatur fungsi sel imun, sintesis protein, reseptor aksi, replikasi DNA, katalisis enzim, pematangan sel, transduksi membran, dan metabolisme antar sel. Kadar glutation yang rendah dalam serum dapat menyebabkan penurunan pergerakan ion kalsium (Ca^{2+}) dan gangguan pada fosforilasi tirosin pada beberapa jenis protein. Selain itu, juga dapat memengaruhi pembentukan reseptor pada sel imun (Chew & Park, 2004). Hal ini akan menyebabkan pengaturan fungsi sel kekebalan tubuh akan terganggu. Enzim glutation peroksidase menghasilkan peroksida organik dari oksidasi kolesterol dan asam lemak untuk melindungi sel (Yuniastuti & Susanti, 2013). Menurut Yuniastuti & Susanti (2013) juga menyatakan bahwa enzim glutation peroksidase mudah mengalami ionisasi, yang menyebabkan pelepasan proton. Selain berfungsi dalam mitokondria, plasma dan saluran pencernaan, enzim glutation peroksidase juga aktif pada membran fosfolipid yang mengalami oksidasi. Dalam sitoplasma, enzim ini dikenal sebagai *hydroperoxide glutathione peroxidase*. Glutation peroksidase mampu mengurangi hidroperoksida kolesterol, ester kolesterol, lipoprotein, serta fosfolipid yang mengalami oksidasi di membran sel.

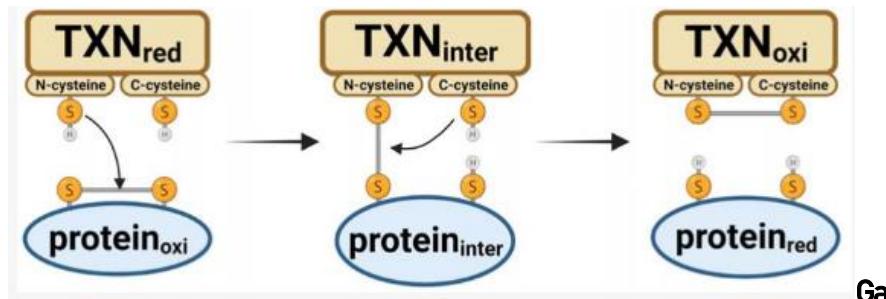
11.3.3 Thioredoxin

Thioredoxin dan *thioredoxin reduktase* adalah enzim antioksidan yang melindungi organisme dari stres oksidatif dan berperan dalam pensinyalan redoks (AlOkda & Van Raamsdonk, 2023). Enzim tersebut juga berfungsi sebagai pendukung seluler yang tidak tergantung pada redoks. *Thioredoxin* dan *thioredoxin reduktase* dapat

ditemukan di sitoplasma dan mitokondria organisme. Keduanya bersatu untuk membentuk sistem *thioredoxin* di berbagai bagian sel dan memainkan peran penting dalam mengatur keseimbangan redoks seluler (Holmgren, 1968). Sistem *thioredoxin* bertindak untuk mengurangi protein, baik untuk memperbaiki stres oksidatif maupun memodulasi aktivitasnya.

Sistem *thioredoxin* adalah sistem pengaturan redoks penting dalam sel. Sistem ini terdiri dari *thioredoxin* dan pereduksi *thioredoxin reduktase* yang menggunakan NADPH sebagai donor elektron untuk mereduksi *thioredoxin* (Martin, 1995). *Thioredoxin* memiliki struktur tersier yang khas dengan inti protein terbentuk oleh lima untai β , empat heliks α , dan heliks pendek yang melingkari lembaran β pusat. Situs aktif disulfida terletak setelah lembaran β 2 dan membentuk bagian terminal-N dari α 2. Sebagai reduktase disulfida utama dalam sel, *thioredoxin* berperan dalam mereduksi disulfida pada enzim melalui oksidasi yang dapat diubah pada dua gugus tiol sistein secara reversibel (Horibe dkk., 2004).

Fungsi utama *thioredoxin* sebagai antioksidan melibatkan transfer 2 elektron dan 2 proton, menghasilkan interkonversi kovalen antara disulfida dan dithiol. Mekanisme reaksi untuk mereduksi protein teroksidasi oleh *thioredoxin*. *Thioredoxin* yang tereduksi (berwarna merah) dapat mentransfer 2 elektron dan 2 proton untuk mengubah disulfida protein yang teroksidasi menjadi dithiol. Proses ini melibatkan sistein pada posisi 32 (ujung-N) dan 35 (ujung-C) dari *thioredoxin*, yang menjalankan substitusi nukleofilik bimolekuler untuk mentransfer elektron ke protein substrat. Akhir dari proses ini adalah *thioredoxin* yang teroksidasi (oxi). "Inter" merujuk pada reaktan perantara, "S-S" menunjukkan bentuk teroksidasi, dan "SH" menunjukkan bentuk tereduksi.



Gambar 11.21. Mekanisme reaksi thioredoxin untuk mereduksi protein teroksidasi (Alokda & Van Raamsdonk, 2023)

Thioredoxin dalam bentuk aktif dan tereduksi dipertahankan oleh *thioredoxin* reduktase. *Thioredoxin* juga dapat diaktifkan kembali oleh *glutaredoxin* dalam sistem glutation (GSH) (Zhang dkk., 2014). *Thioredoxin* berfungsi sebagai antioksidan dengan menonaktifkan oksigen tunggal dan membersihkan radikal hidroksil, serta mengurangi protein yang teroksidasi oleh ROS (Das & Das, 2000). Salah satu target utama *thioredoxin* adalah *peroxiredoxin*, yang berperan dalam mereduksi peroksidasi seperti H_2O_2 dan alkil hidroperoksid (Rhee dkk., 2012). Setelah peroksiredoksin mengurangi targetnya, *thioredoxin* mengembalikan aktivitas peroksiredoksin dengan mendaur ulang bentuk teroksidasi dari peroksiredoksin ke keadaan tereduksi. *Thioredoxin reduktase*, yang menggunakan NADPH, berperan dalam mengurangi disulfida situs aktif *thioredoxin* untuk mengembalikan aktivitasnya (Mustacich & Powis, 2000). *Thioredoxin reduktase* memiliki FAD dan *piridin nukleotida disulfida* dalam strukturnya.

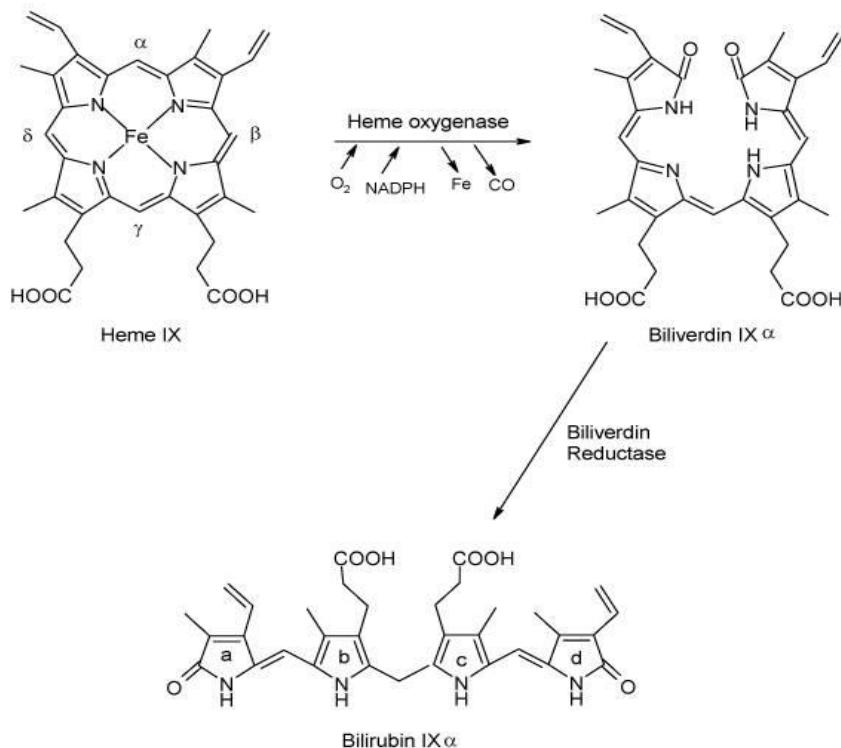
11.3.4 Heme Oksigenase

Heme oksigenase (HO) adalah enzim yang berperan dalam penguraian heme menjadi karbon monoksida (CO), besi dan biliverdin IX α (BV) (Ryter, 2022). Heme oksigenase juga hadir pada organisme uniseluler seperti bakteri dan ragi. Proses pembentukan biliverdin IX α melibatkan konsumsi tiga molekul oksigen per mol heme yang teroksidasi dan tujuh elektron dari NADPH. Selanjutnya, enzim *biliverdin reductase* (BVR) mengubah biliverdin IX α menjadi bilirubin IX α dengan bantuan NADPH. BVR yang bersifat larut dalam air dan

relatif tidak beracun, mengalami reduksi oleh enzim biliverdin reduktase menjadi bilirubin IX α yang kurang larut dan lebih beracun. Mekanisme ini diilustrasikan dalam Gambar 11. Biliverdin IX α yang larut dalam air dan relatif tidak beracun ini kemudian direduksi oleh enzim biliverdin reduktase menjadi bilirubin IX α yang kurang larut dan lebih beracun, mungkin sebagai adaptasi evolusioner untuk menghasilkan sitoprotektan yang penting.

Heme oksigenase menggunakan heme sebagai gugus prostetik dan substrat enzimnya. Enzim heme oksigenase dibagi menjadi dua jenis, yaitu HO-1 dan HO-2, yang memegang peran kunci dalam mengontrol homeostasis heme tubuh dan mendukung berbagai proses biologis, termasuk respons antiinflamasi, antioksidan, dan adaptasi terhadap stres.

1. Heme Oksigenase-1 (HO-1): Karena dapat diaktifkan oleh berbagai rangsangan, seperti stres oksidatif, radikal bebas, dan beberapa zat dalam lingkungannya, enzim ini sering disebut sebagai *heme oxygenase inducible*. HO-1 melindungi sel dari kerusakan oksidatif dan menangani berbagai kondisi patologis dan stres.
2. Heme Oksigenase-2 (HO-2): HO-2 dapat ditemukan dengan jumlah kecil dalam sel dan tidak selalu terinduksi oleh faktor-faktor eksternal. HO-2 berfungsi dalam beberapa fungsi fisiologis, seperti mengatur tekanan darah dan transmisi neuro.



Gambar 11.22. Degradasi heme dan produksi bilirubin

11.3.5 Katalase

Enzim katalase adalah antioksidan endogen yang berfungsi sebagai sistem pertahanan alami pada tubuh. Mekanisme pertahanan ini mendetoksifikasi serta meningkatkan penguraian radikal bebas sehingga tidak merusak bagian makromolekul sel (Anatriera, 2009; Valko dkk, 2007). Enzim katalase banyak dijumpai dalam seluruh jenis eukariot aerob dan bertanggung jawab merusak hidrogen peroksida yang dihasilkan oleh peroksisom dari reaksi oksidasi seperti katabolisme purin, dan siklus glikosilat (dalam fotorespirasi) (Winarski, 2007).

Katalase berfungsi sebagai biokatalisator yang mengubah H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 . Enzim ini memiliki peran penting dalam mengatur metabolisme H_2O_2 , senyawa yang dihasilkan dalam proses metabolismik. Kehadiran H_2O_2 dalam jumlah berlebihan dapat terjadi akibat defisiensi katalase, yang dapat menyebabkan kerusakan pada protein, DNA, RNA

dan lipid. Kerusakan ini dapat berkontribusi pada perkembangan berbagai penyakit, termasuk diabetes (Weni, 2020).

11.3.6 Metionin Sulfoksida Reduktase

Metionin sulfoksida reduktase adalah protein yang bertanggung jawab atas reduksi metionin teroksidasi. Salah satu sistem enzim yang membalikkan kerusakan oksidatif pada sel mamalia adalah sistem enzim yang dikenal sebagai *Methionine Sulfoxide Reductases* (MSRs). Komponen sistem MSR yaitu MSRA dan MSRB mereduksi bentuk teroksidasi metionin (Met-(o)) dalam protein kembali menjadi metionin (Met). Selain itu, MSR mengais ROS dengan membiarkan residu metionin dalam protein memanfaatkan sifat antioksidannya. Metionin sulfoksida reduktase adalah enzim antioksidan yang memperbaiki kerusakan DNA pada penderita kanker dan mencegah atau menghambat kerusakan sel dan jaringan akibat radikal bebas (Winarsi, 2007).

MSRA merupakan komponen penting dari sistem antioksidan yang berkontribusi terhadap pemeliharaan homeostasis protein dengan memperbaiki residu metionin yang teroksidasi dalam protein, sehingga mempertahankan struktur dan fungsi protein (Stadtman dkk., 2005). Karena konsentrasinya yang tinggi dalam protein dan sensitivitasnya yang tinggi terhadap oksidasi, residu metionin diduga berperan sebagai penyerap radikal bebas yang melindungi protein dari kerusakan asam amino kritis (Luo & Levine, 2009). MSRA berkontribusi melindungi keseluruhan protein terhadap oksidasi dengan mempertahankan tingkat rendah residu metionin yang terikat pada protein dan teroksidasi bebas, sehingga menjaga penyerapan radikal bebas. Oksidasi metionin mengarah pada pembentukan metionin sulfoksida di epimer S - atau R.

MSRA memainkan peran penting dalam akumulasi kerusakan oksidatif protein. Misalnya, telah terbukti bahwa hilangnya MSRA pada *Escherichia coli*, ragi dan mamalia menyebabkan tingkat akumulasi kerusakan oksidatif protein yang lebih tinggi sebagai respons terhadap stres oksidatif (Lee dkk., 2006). Ekspresi berlebih Msra telah terbukti melindungi protein terhadap efek stres oksidatif pada ragi (Moskovitz dkk., 1998), *Drosophila* dan garis sel mamalia

(Prentice dkk., 2008). Menurut Levine dkk. (1996) menyatakan bahwa oksidasi residu metionin, yang dapat direduksi oleh MsrA, dapat berfungsi sebagai penyerap radikal bebas, sehingga melindungi makromolekul lain dari oksidasi. Misalnya, kadar MsrA telah dikaitkan dengan karbonil protein, serta metionin sulfoksida, dan penurunan residu metionin dalam protein meningkatkan kerentanan *E coli* terhadap stres oksidatif (Luo & Levine, 2009).

11.3.7 Peroksidase

Peroksidase memiliki fungsi fisiologis yang penting, yaitu berpartisipasi dalam fotosintesis tanaman, respirasi, pembentukan lignin, metabolisme auksin, penyembuhan trauma dan resistensi virus. Peroksidase adalah sistem perlindungan enzimatik untuk menangkap spesies oksigen reaktif. Peroksidase memainkan peran penting dalam membersihkan radikal bebas oksigen, peroksidasi lipid membran dan melindungi membran sel, dan peroksidase dapat digunakan sebagai tanda penuaan tanaman (J. Zhang & Kirkham, 1994). Fungsi utama peroksidase adalah meredoks hidrogen perokksida (H_2O_2) menjadi air (H_2O) dan oksigen (O_2).

Menurut Yan dkk. (2008) enzim peroksidase menjaga tanaman ROS yang menyebabkan kerusakan akibat kelebihan konsetrasi logam berupa nikel. Ikatan oksigen pada peroksidase tidak stabil sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada sel serta jaringan tubuh. Enzim peroksidase menurunkan ROS serta memecah oksigen untuk melindungi tumbuhan dan membran sel (Lin dkk., 2015). Mekanisme kerja enzim peroksidase yaitu merubah hidrogen peroksid yang berbahaya menjadi air agar dapat melindungi kerusakan sel akibat oksidasi. Keberadaan enzim peroksidase menyeimbangkan reaksi oksidasi dan antioksidan di dalam tubuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S. I., Hayat, M. Q., Tahir, M., Mansoor, Q., Ismail, M., Keck, K., & Bates, R. B. (2016). Pharmacologically active flavonoids from the anticancer, antioxidant and antimicrobial extracts of *Cassia angustifolia* Vahl. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1), 460. <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1443-z>
- Alexander, J., Tinkov, A., Strand, T. A., Alehagen, U., Skalny, A., & Aaseth, J. (2020). Early Nutritional Interventions with Zinc, Selenium and Vitamin D for Raising Anti-Viral Resistance Against Progressive COVID-19. *Nutrients*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/nu12082358>
- Alli, S. Y. R., & Adanlawo, I. G. (2014). In Vitro and *In Vivo* Antioxidant Activity of Saponin Extracted From The Root Of *Garcinia Kola* (Bitter Kola) On Alloxan-Induced Diabetic Rats. *World Journal of Pharmacy and pharmaceutical Sciences*.
- AlOkda, A., & Van Raamsdonk, J. M. (2023). Evolutionarily Conserved Role of Thioredoxin Systems in Determining Longevity. *Antioxidants*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/antiox12040944>
- Anatriera, R. A. (2009). *Aktivitas Spesifik Katalase Jaringan Ginjal Tikus yang Diinduksi Hipoksia Hipobrarkik Akut Berulang*. Universitas Indonesia.
- Anjarsari, I. R. D. (2016). Katekin teh Indonesia: Prospek dan manfaatnya. *Jurnal Kultivasi*, 15(2), 99–106.
- Asada, K. (1992). Ascorbate peroxidase – a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. *Physiologia Plantarum*, 85(2), 235–241. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb04728.x>
- Ashoori, M., & Saedisomeolia, A. (2014). Riboflavin (vitamin B2) and oxidative stress: A review. *British Journal of Nutrition*, 111(11), 1985–1991. Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/S0007114514000178>
- Bafana, A., Dutt, S., Kumar, A., Kumar, S., & Ahuja, P. S. (2011). The basic and applied aspects of superoxide dismutase. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 68(2), 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2010.11.007>
- Bamdad, F., Wu, J., & Chen, L. (2011). Effects of enzymatic hydrolysis on

- molecular structure and antioxidant activity of barley hordein. *Journal of Cereal Science*, 54(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.01.006>
- Barraza-Garza, G., Pérez-León, J. A., Castillo-Michel, H., de la Rosa, L. A., Martínez-Martínez, A., Cotte, M., & Alvarez-Parrilla, E. (2020). Antioxidant effect of phenolic compounds (PC) at different concentrations in IEC-6 cells: A spectroscopic analysis. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 227, 117570. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2019.117570>
- Bauer, S. R., Aanchal Kapoor, Mary Rath, & Suma A Thomas. (2020). What is the role of supplementation with ascorbic acid, zinc, vitamin D, or *N*-acetylcysteine for prevention or treatment of COVID-19? *Cleveland Clinic Journal of Medicine*. <https://doi.org/10.3949/ccjm.87a.ccc046>
- Bayram, B., Ozcelik, B., Schultheiss, G., Frank, J., & Rimbach, G. (2013). A validated method for the determination of selected phenolics in olive oil using high-performance liquid chromatography with coulometric electrochemical detection and a fused-core column. *Food Chemistry*, 138(2), 1663–1669. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.122>
- Böhm, F., Tinkler, J. H., & Truscott, T. G. (1995). Carotenoids protect against cell membrane damage by the nitrogen dioxide radical. *Nature Medicine*, 1(2), 98–99. <https://doi.org/10.1038/nm0295-98>
- Burke, M., Edge, R., Land, E. J., McGarvey, D. J., & Truscott, T. G. (2001). One-electron reduction potentials of dietary carotenoid radical cations in aqueous micellar environments. *FEBS Letters*, 500(3), 132–136. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(01\)02601-1](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(01)02601-1)
- Burton, G. W., Joyce, A., & Ingold, K. U. (1983). Is vitamin E the only lipid-soluble, chain-breaking antioxidant in human blood plasma and erythrocyte membranes? *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 221(1), 281–290. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(83\)90145-5](https://doi.org/10.1016/0003-9861(83)90145-5)
- Chen, X., L. Lin, & H. Hong. (1995). Optimum content of protein in artificial diet for *Epinephelus akaara*. *Journal of Oceanography*, 14, 407–412.

- Chew, B. P., & Park, J. S. (2004). Carotenoid Action on the Immune Response. *The Journal of Nutrition*, 134(1), 257S-261S. <https://doi.org/10.1093/jn/134.1.257S>
- Clinton, S., Emenhiser, C., Schwartz, S. J., Bostwick, D. G., Williams, A. W., Moore, B. J., & Erdman Jr, J. (1996). Cis-trans Lycopene isomers, carotenoids, and retinol in the human prostate. *Cancer epidemiology, biomarkers & prevention: a publication of the American Association for Cancer Research, cosponsored by the American Society of Preventive Oncology*, 5, 823-833.
- Corvo, L. M., Jorge, J. C. S., van't Hof, R., Cruz, M. E. M., Crommelin, D. J. A., & Storm, G. (2002). Superoxide dismutase entrapped in long-circulating liposomes: Formulation design and therapeutic activity in rat adjuvant arthritis. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1564(1), 227-236. [https://doi.org/10.1016/S0005-2736\(02\)00457-1](https://doi.org/10.1016/S0005-2736(02)00457-1)
- Dao, D. Q., Ngo, T. C., Thong, N. M., & Nam, P. C. (2017). Is Vitamin A an Antioxidant or a Pro-oxidant? *The Journal of Physical Chemistry B*, 121(40), 9348-9357. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcb.7b07065>
- Das, K. C., & Das, C. K. (2000). Thioredoxin, a Singlet Oxygen Quencher and Hydroxyl Radical Scavenger: Redox Independent Functions. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 277(2), 443-447. <https://doi.org/10.1006/bbrc.2000.3689>
- Dennouni-Medjati, N., Harek, Y., Tarik, A., & Lahcene, L. (2012). Whole Blood Selenium Levels in Healthy Adults from the West of Algeria. *Biological Trace Element Research*, 147(1-3), 44-48. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9287-3>
- Dimitrios, B. (2006). Sources of natural phenolic antioxidants. *INTRADFOODS*, 17(9), 505-512. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.04.004>
- Dringen, R., Gutterer, J. M., & Hirrlinger, J. (2000). Glutathione metabolism in brain. *European Journal of Biochemistry*, 267(16), 4912-4916. <https://doi.org/10.1046/j.1432-1327.2000.01597.x>
- Elias, R. J., Kellerby, S. S., & Decker, E. A. (2008). Antioxidant Activity of

- Proteins and Peptides. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(5), 430–441.
<https://doi.org/10.1080/10408390701425615>
- Fajar, R. I., Wrasiati, L. P., & Suhendra, L. (2018). Kandungan Senyawa Flavonoid dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Teh Hijau Pada Perlakuan Suhu Awal dan Lama Penyeduhan. *JURNAL REKAYASA DAN MANAJEMEN AGROINDUSTRI*, 6(3), 196. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2018.v06.i03.p02>
- Foote, C. S., Chang, Y. C., & Denny, R. W. (1970). Chemistry of singlet oxygen. XI. Cis-trans isomerization of carotenoids by single oxygen and a probable quenching mechanism. *Journal of the American Chemical Society*, 92(17), 5218–5219. <https://doi.org/10.1021/ja00720a037>
- Frei, B. (1994). Reactive oxygen species and antioxidant vitamins: Mechanisms of action. *The American Journal of Medicine*, 97(3), S5–S13. [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(94\)90292-5](https://doi.org/10.1016/0002-9343(94)90292-5)
- Fu, X.-J., Liu, H.-B., Wang, P., & Guan, H.-S. (2009). A Study on the Antioxidant Activity and Tissues Selective Inhibition of Lipid Peroxidation by Saponins from the Roots of Platycodon grandiflorum. *The American Journal of Chinese Medicine*, 37(05), 967–975. <https://doi.org/10.1142/S0192415X09007375>
- Fusi, J., Bianchi, S., Daniele, S., Pellegrini, S., Martini, C., Galetta, F., Giovannini, L., & Franzoni, F. (2018). An in vitro comparative study of the antioxidant activity and SIRT1 modulation of natural compounds. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 101, 805–819. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.03.006>
- Giovannini, C., Straface, E., Modesti, D., Coni, E., Cantafiora, A., De Vincenzi, M., Malorni, W., & Masella, R. (1999). Tyrosol, the Major Olive Oil Biophenol, Protects Against Oxidized-LDL-Induced Injury in Caco-2 Cells. *The Journal of Nutrition*, 129(7), 1269–1277. <https://doi.org/10.1093/jn/129.7.1269>
- Glasauer, A., Sena, L. A., Diebold, L. P., Mazar, A. P., & Chandel, N. S. (2014). Targeting SOD1 reduces experimental non-small-cell lung cancer. *The Journal of Clinical Investigation*, 124(1), 117–128. <https://doi.org/10.1172/JCI71714>
- Guyton, K. Z., & Kensler, T. W. (1993). Oxidative mechanisms in

- carcinogenesis. *British Medical Bulletin*, 49(3), 523–544. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.bmb.a072628>
- Han, R.-M., Zhang, J.-P., & Skibsted, L. H. (2012). Reaction Dynamics of Flavonoids and Carotenoids as Antioxidants. *Molecules*, 17(2), 2140–2160. <https://doi.org/10.3390/molecules17022140>
- Hartoyo, A. (2003). *Teh dan Khasiatnya Bagi Kesehatan* (1 ed.). Kasinius.
- Hasanah, siti uswatun, Syarif Hamdani, & Adang Firmansyah. (2012). Perbandingan Kadar Katekin dari Beberapa Jenis Kualitas Teh Hitam (*Camellia sinensis* L. [0] Kuntze) di Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) Gambung. *Indonesian Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 1(1), 7–12.
- Hashmi, M. U. H. (1877). *Assay of Vitamins in Pharmaceutical Preparations*. John Wiley & Sons Inc.
- Hayes, J. D., & McLellan, L. I. (1999). Glutathione and glutathione-dependent enzymes represent a co-ordinately regulated defence against oxidative stress. *Free Radical Research*, 31(4), 273–300. <https://doi.org/10.1080/10715769900300851>
- Hendriek, Y. & Pontianak. (2022). *Pembelajaran Meningkatkan Kesehatan Lanjut Usia (Bagian 2)*.
- Hidayat, Y., Sulchan, M., & Panunggal, B. (2018). Kadar Serum Selenium Pada Remaja Akhir Usia 17-19 Tahun Berdasarkan Status Obesitas dan Stunting. *Journal of Nutrition College*, 7(4), 195. <https://doi.org/10.14710/jnc.v7i4.22279>
- Holmgren, A. (1968). Thioredoxin. 6. The Amino Acid Sequence of the Protein from *Escherichia coli* B. *European Journal of Biochemistry*, 6(4), 475–484. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1968.tb00470.x>
- Horibe, T., Gomi, M., Iguchi, D., Ito, H., Kitamura, Y., Masuoka, T., Tsujimoto, I., Kimura, T., & Kikuchi, M. (2004). Different Contributions of the Three CXXC Motifs of Human Protein-disulfide Isomerase-related Protein to Isomerase Activity and Oxidative Refolding *. *Journal of Biological Chemistry*, 279(6), 4604–4611. <https://doi.org/10.1074/jbc.M310922200>
- Inal, M. E., Kanbak, G., & Sunal, E. (2001). Antioxidant enzyme activities and malondialdehyde levels related to aging. *Clinica Chimica*

- Acta, 305(1), 75–80. [https://doi.org/10.1016/S0009-8981\(00\)00422-8](https://doi.org/10.1016/S0009-8981(00)00422-8)
- Iwashina, T. (2012). *Flavonoid Properties of five Families newly Incorporated into the Order Caryophyllales (Review)*.
- Iyer, S., Behary, N., Nierstrasz, V., Guan, J., & Chen, G. (2019). Study of photoluminescence property on cellulosic fabric using multifunctional biomaterials riboflavin and its derivative Flavin mononucleotide. *Scientific Reports*, 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45021-5>
- Jena, A. B., Samal, R. R., Bhol, N. K., & Duttaroy, A. K. (2023). Cellular Red-Ox system in health and disease: The latest update. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 162, 114606. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.114606>
- Jin, Z., Lee, G., Kim, S., Park, cheung seog, Park, Y., & Jin, young ho. (2014). Ginger and Its Pungent Constituents Non-Competitively Inhibit Serotonin Currents on Visceral Afferent Neurons. *The Korean journal of physiology & pharmacology: official journal of the Korean Physiological Society and the Korean Society of Pharmacology*, 18, 149–153. <https://doi.org/10.4196/kjpp.2014.18.2.149>
- Kambe, T., Hashimoto, A., & Fujimoto, S. (2014). Current understanding of ZIP and ZnT zinc transporters in human health and diseases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 71(17), 3281–3295. <https://doi.org/10.1007/s0018-014-1617-0>
- Khan, M. M. A. A., Naqvi, T. S., & Naqvi, M. S. (2012). Identification of Phytosaponins as Novel Biodynamic Agents: An Updated Overview. *Asian Journal of Experimental Biological Sciences*, 3(3).
- Kikuzaki, H., & Nakatani, N. (1993). Antioxidant Effects of Some Ginger Constituents. *Journal of Food Science*, 58(6), 1407–1410. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb06194.x>
- Kumar, S., Huang, X., Ji, Q., Qayyum, A., Zhou, K., Ke, W., Zhu, H., & Zhu, G. (2022). Influence of Blanching on the Gene Expression Profile of Phenylpropanoid, Flavonoid and Vitamin Biosynthesis, and Their Accumulation in Oenanthe javanica. *Antioxidants*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/antiox11030470>

- Kustamiyati, B. (2006). *Prospek Teh Indonesia sebagai Minuman Fungsional*. www.lppi.go.id
- Kyriazis, J. D., Aligiannis, N., Polychronopoulos, P., Skaltsounis, A.-L., & Dotsika, E. (2013). Leishmanicidal activity assessment of olive tree extracts. *Phytomedicine*, 20(3), 275–281. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2012.11.013>
- Lee, C. Y., Sharma, A., Semenza, J., Anamoah, C., Chapman, K. N., & Barone, V. (2020). Computational Study of Ortho-Substituent Effects on Antioxidant Activities of Phenolic Dendritic Antioxidants. *Antioxidants*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/antiox9030189>
- Lee, J. W., Gordiyenko, N. V., Marchetti, M., Tserentsoodol, N., Sagher, D., Alam, S., Weissbach, H., Kantorow, M., & Rodriguez, I. R. (2006). Gene structure, localization and role in oxidative stress of methionine sulfoxide reductase A (MSRA) in the monkey retina. *Experimental Eye Research*, 82(5), 816–827. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2005.10.003>
- Levander, O. A. (1987). A Global View of Human Selenium Nutrition. *Annual Review of Nutrition*, 11, 227–250. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.07.070187.001303>
- Levine, R. L., Mosoni, L., Berlett, B. S., & Stadtman, E. R. (1996). Methionine residues as endogenous antioxidants in proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93(26), 15036–15040. <https://doi.org/10.1073/pnas.93.26.15036>
- Levy, J., Bosin, E., Feldman, B., Giat, Y., Miinster, A., Danilenko, M., & Sharoni, Y. (1995). Lycopene is a more potent inhibitor of human cancer cell proliferation than either α -carotene or β -carotene. *Nutrition and Cancer*, 24(3), 257–266. <https://doi.org/10.1080/01635589509514415>
- Li, Y., Jiang, B., Zhang, T., Mu, W., & Liu, J. (2008). Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate (CPH). *Food Chemistry*, 106(2), 444–450. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.067>
- Lin, H., Yali Peng, Jun Chen, & Liang Liang. (2015). Effect of Heavy Metal Stress on Antioxidase Enzymes. *Proceedings of the 2015 6th International Conference on Manufacturing Science and*

- Engineering*, 871–876. <https://doi.org/10.2991/icmse-15.2015.157>
- Liu, B.-L., & Chiang, P.-S. (2008). Production of Hydrolysate with Antioxidative Activity and Functional Properties by Enzymatic Hydrolysis of Defatted Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Int. J. Applied. Sci. Eng.*, 6.
- Liu, L. F., Hong, J. L., Tsai, S. P., Hsieh, J. C., & Tam, M. F. (1993). Reversible modification of rat liver glutathione S-transferase 3-3 with 1-chloro-2,4-dinitrobenzene: Specific labelling of Tyr-115. *Biochemical Journal*, 296(1), 189–197. <https://doi.org/10.1042/bj2960189>
- Lu, Z., Nie, G., Belton, P. S., Tang, H., & Zhao, B. (2006). Structure-activity relationship analysis of antioxidant ability and neuroprotective effect of gallic acid derivatives. *Neurochemistry International*, 48(4), 263–274. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2005.10.010>
- Lucas, R., Comelles, F., Alcántara, D., Maldonado, O. S., Curcuroze, M., Parra, J. L., & Morales, J. C. (2010). Surface-Active Properties of Lipophilic Antioxidants Tyrosol and Hydroxytyrosol Fatty Acid Esters: A Potential Explanation for the Nonlinear Hypothesis of the Antioxidant Activity in Oil-in-Water Emulsions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(13), 8021–8026. <https://doi.org/10.1021/jf1009928>
- Luo, S., & Levine, R. L. (2009). Methionine in proteins defends against oxidative stress. *The FASEB Journal*, 23(2), 464–472. <https://doi.org/10.1096/fj.08-118414>
- Mahendra, I., & Azhar, M. (2022). Ekstraksi dan Karakterisasi Katekin Dari Gambir (*Uncaria gambir roxb*). *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP*, 11(1), 5. <https://doi.org/10.24036/p.v11i1.113262>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: Food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747. <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- Mariotti, M., Ridge, P. G., Zhang, Y., Lobanov, A. V., Pringle, T. H., Guigo, R., Hatfield, D. L., & Gladyshev, V. N. (2012). Composition and Evolution of the Vertebrate and Mammalian Selenoproteomes. *PLOS ONE*, 7(3), e33066.

- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033066>
- Martin, J. L. (1995). Thioredoxin—A fold for all reasons. *Structure*, 3(3), 245–250. [https://doi.org/10.1016/S0969-2126\(01\)00154-X](https://doi.org/10.1016/S0969-2126(01)00154-X)
- Mewies, M., McIntire, W. S., & Scrutton, N. S. (1998). Covalent attachment of flavin adenine dinucleotide (FAD) and flavin mononucleotide (FMN) to enzymes: The current state of affairs. *Protein Science*, 7(1), 7–20. <https://doi.org/10.1002/pro.5560070102>
- Mishra, P. (2009). Isolation, spectroscopic characterization and molecular modeling studies of mixture of curcuma longa, ginger and seeds of fenugreek. *International Journal of PharmTech Research*, 1(1), 79–95.
- Moriya, K., Nakagawa, K., Santa, T., Shintani, Y., Fujie, H., Miyoshi, H., Tsutsumi, T., Miyazawa, T., Ishibashi, K., Horie, T., Imai, K., Todoroki, T., Kimura, S., & Koike, K. (2001). Oxidative Stress in the Absence of Inflammation in a Mouse Model for Hepatitis C Virus-associated Hepatocarcinogenesis1. *Cancer Research*, 61(11), 4365–4370.
- Moskovitz, J., Flescher, E., Berlett, B. S., Azare, J., Poston, J. M., & Stadtman, E. R. (1998). Overexpression of peptide-methionine sulfoxide reductase in *Saccharomyces cerevisiae* and human T cells provides them with high resistance to oxidative stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(24), 14071–14075. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.24.14071>
- Muchtadi, D. (2009). *Gizi Anti Penuaan Dini*. Alfabeta.
- Murni, A. (2020). *Prarencana Pabrik Enkapsulat Beta Karoten dalam Hidrogel Berbasis Alginat Kapasitas: 1.900 ton per tahun* [Skripsi]. Universitas Katolik Widya Mandala.
- Mustacich, D., & Powis, G. (2000). Thioredoxin reductase. *Biochemical Journal*, 346, 1–8. <https://doi.org/10.1042/bj3460001>
- Namendys-Silva, S. A. (2020). Respiratory support for patients with COVID-19 infection. *The Lancet Respiratory Medicine*, 8(4), e18. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30110-7](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30110-7)
- Nerdy, N. (2017). Determination of Vitamin C in Several Varieties of Melon Fruits By Titration Method. *Jurnal Natural*, 17(2), 118–121. <https://doi.org/10.24815/jn.v17i2.8255>

- Nguyen, M. L., & Schwartz, S. J. (1999). Lycopene: Chemical chemical and biological properties: Developing nutraceuticals for the new millenium. *Food Technology*, 53, 38–45.
- Novarini, T., Indrayati, A., & Purwaningsih, D. (2022). Uji Aktivitas Enzim Superoksida Dismutase (SOD) dalam Ekstrak Temu Hitam (*Curcuma aeruginosa* Roxb.) dengan Metode Water Soluble Tetrazolium Salt-1 (WST-1): Activity Assay of Superoxide Dismutase (SOD) Enzyme in The Extract of Temu Hitam (*Curcuma aeruginosa* Roxb.) with Water Soluble Tetrazolium Salt-1 (WST-1) Method. *Jurnal Sains dan Kesehatan*, 4(5), 464–472. <https://doi.org/10.25026/jsk.v4i5.1285>
- Nurhayati, N., Marseno, D. W., Setyabudi, F. S., & Supriyanto, S. (2018). Pengaruh Steam Blanching terhadap Aktivitas Polifenol Oksidase, Total Polifenol dan Aktivitas Antioksidan Biji Kakao. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 7(3). <https://doi.org/10.17728/jatp.2314>
- Oberley, T. D. (2004). Mitochondria, Manganese Superoxide Dismutase, and Cancer. *Antioxidants & Redox Signaling*, 6(3), 483–487. <https://doi.org/10.1089/152308604773934242>
- Olson, J. A. (1996). Benefits and Liabilities of Vitamin A and Carotenoids. *The Journal of Nutrition*, 126, 1208S–1212S. https://doi.org/10.1093/jn/126.suppl_4.1208S
- Oyagbemi, A. A., Ajibade, T. O., Aboua, Y. G., Gbadamosi, I. T., Adedapo, A. D. A., Aro, A. O., Adejumobi, O. A., Thamahane-Katengua, E., Omobowale, T. O., Falayi, O. O., Oyagbemi, T. O., Ogunpolu, B. S., Hassan, F. O., Ogunmiluyi, I. O., Ola-Davies, O. E., Saba, A. B., Adedapo, A. A., Nkadimeng, S. M., McGaw, L. J., ... Yakubu, M. A. (2021). Potential health benefits of zinc supplementation for the management of COVID-19 pandemic. *Journal of Food Biochemistry*, 45(2), e13604. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13604>
- Ozcan, T., Akpinar-Bayizit, A., Yilmaz-Ersan, L., & Delikanli, B. (2014). Phenolics in Human Health. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 5(5), 393–396. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2014.V5.416>
- Ozden, M., Maral, H., Akaydin, D., Cetinalp, P., & Kalender, B. (2002). Erythrocyte glutathione peroxidase activity, plasma

- malondialdehyde and erythrocyte glutathione levels in hemodialysis and CAPD patients. *Clinical Biochemistry*, 35(4), 269–273. [https://doi.org/10.1016/S0009-9120\(02\)00307-7](https://doi.org/10.1016/S0009-9120(02)00307-7)
- Panche, A. N., Chandra, S. R., & Diwan, A. D. (2016). Flavonoids: An overview. *Journal of Nutritional Science*, 5, e47. Cambridge Core. <https://doi.org/10.1017/jns.2016.41>
- Panossian, A., Wikman, G., & Sarris, J. (2010). Rosenroot (*Rhodiola rosea*): Traditional use, chemical composition, pharmacology and clinical efficacy. *Phytomedicine*, 17(7), 481–493. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2010.02.002>
- Paramita, N., Andani, N., Putri, I., Indriyani, S., & Susanti, N. M. P. (2019). KARAKTERISTIK SIMPLISIA Teh Hitam Dari Tanaman *Camellia sinensis* Var. Assamica Dari Perkebunan Teh Bali Cahaya Amerta, Desa Angseri, Kecamatan Baturiti, Kabupaten Tabanan, Bali. *Jurnal Kimia*, 13, 58. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2019.v13.i01.p10>
- Patel, R. P., Boersma, B. J., Crawford, J. H., Hogg, N., Kirk, M., Kalyanaraman, B., Parks, D. A., Barnes, S., & Darley-Usmar, V. (2001). Antioxidant mechanisms of isoflavones in lipid systems: Paradoxical effects of peroxyl radical scavenging. *Free Radical Biology and Medicine*, 31(12), 1570–1581. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(01\)00737-7](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(01)00737-7)
- Paulo, F., & Santos, L. (2020). Encapsulation of the Antioxidant Tyrosol and Characterization of Loaded Microparticles: An Integrative Approach on the Study of the Polymer-Carriers and Loading Contents. *Food and Bioprocess Technology*, 13(5), 764–785. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02407-y>
- Peña-Ramos, E., & Xiong, Y. (2002). Antioxidant Activity of Soy Protein Hydrolysates in a Liposomal System. *Journal of Food Science*, 67, 2952–2956. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08844.x>
- Phonsatta, N., Deetae, P., Luangpituksa, P., Grajeda-Iglesias, C., Figueroa-Espinoza, M. C., Le Comte, J., Villeneuve, P., Decker, E. A., Visessanguan, W., & Panya, A. (2017). Comparison of Antioxidant Evaluation Assays for Investigating Antioxidative Activity of Gallic Acid and Its Alkyl Esters in Different Food

- Matrices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(34), 7509–7518. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b02503>
- Poespitasari, A. (2021). *Kandungan Flavonoid Dan Daya Antioksidan Formula Teh Daun Salam Kombinasi Serai Sebagai Minuman Fungsional Alternatif* [Skripsi]. Universitas Tadulako.
- Prakoeswa, S. A., Tanowidjaya, R., & Suryaningsih, D. R. (2020). Propagasi dan Biosintesis Kandungan Gingerol, Shogaol. *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2), 45–50.
- Prentice, H. M., Moench, I. A., Rickaway, Z. T., Dougherty, C. J., Webster, K. A., & Weissbach, H. (2008). MsrA protects cardiac myocytes against hypoxia/reoxygenation induced cell death. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 366(3), 775–778. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2007.12.043>
- Priska, M., Peni, N., Carvallo, L., & Ngapa, Y. D. (2018). Review: Antosianin dan Pemanfaatannya. *Journal of Applied Chemistry*, 6.
- Pujilestari, T., & Nami Lestari. (2009). Analisis Senyawa Kimia Pada Tiga Jenis Jahe Dan Penggunaannya Tiga Jenis Jahe Dan Penggunaannya. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 3(6), 32–38.
- Pujimulyani, D. (2021). *Teknologi Pengelolaan Sayur-Sayuran dan Buah-Buahan Edisi 2*. Graha Ilmu. <https://eprints.mercubuana-yoga.ac.id/id/eprint/14834/>
- Pujimulyani, D., Suryani, C. L., Setyowati, A., Handayani, R. A. S., Arumwardana, S., Widowati, W., & Maruf, A. (2020). Cosmeceutical potentials of Curcuma mangga Val. Extract in human BJ fibroblasts against MMP1, MMP3, and MMP13. *Helijon*, 6(9), e04921. <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2020.e04921>
- Purnomo, H., Jaya, F., & Widjanarko, S. (2010). The effects of type and time of thermal processing on ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) rhizome antioxidant compounds and its quality. *International Food Research Journal*, 17, 335–347.
- Qodri, U. L. (2023). Pengukuran β -Karoten pada Daging Labu Kuning (*Cucurbita Moschata* Durch) Menggunakan Pelarut Etanol, Metanol dan Heksan. *Jurnal Syntax Admiration*, 4(7), 989–999.
- Rabbani, H. R., Djoko Agus Purwanto, & Isnaeni. (2019). Effect of Guava

- Powder Addition on Epigallocatechin Gallate (EGCG) Content of Green Tea and Its Antioxidant Activity. *Jurnal Farmasi dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 6(2), 85–89.
- Rafael, E. L. (2007). *Dietary High-tannin Sorghum and Oxidative Stability of Muscle and Muscle Foods*. University of Wisconsin-Madison.
- Rahman, M. T., & Idid, S. Z. (2021). Can Zn Be a Critical Element in COVID-19 Treatment? *Biological Trace Element Research*, 199(2), 550–558. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02194-9>
- Rajakumar, D., & Rao, M. (1994). Dehydrozingerone and its analogues as inhibitors of nonenzymatic lipid peroxidation. *Pharmazie*, 49(7), 516–519. PubMed.
- Rajan, V. K., & Muraleedharan, K. (2017). A computational investigation on the structure, global parameters and antioxidant capacity of a polyphenol, Gallic acid. *Food Chemistry*, 220, 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.178>
- Read, S. A., Obeid, S., Ahlenstiel, C., & Ahlenstiel, G. (2019). The Role of Zinc in Antiviral Immunity. *Advances in Nutrition*, 10(4), 696–710. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz013>
- Rhee, S. G., Woo, H. A., Kil, I. S., & Bae, S. H. (2012). Peroxiredoxin Functions as a Peroxidase and a Regulator and Sensor of Local Peroxides *. *Journal of Biological Chemistry*, 287(7), 4403–4410. <https://doi.org/10.1074/jbc.R111.283432>
- Ryter, S. W. (2022). Heme Oxygenase-1: An Anti-Inflammatory Effector in Cardiovascular, Lung, and Related Metabolic Disorders. *Antioxidants*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/antiox11030555>
- Saati, E. A., Wachid, M., Nurhakim, M., Winarsih, S., & Rohman, M. L. A. (2019). *Pigmen Sebagai Zat Pewarna dan Antioksidan Alami Identifikasi Pigmen Bunga, Pembuatan Produknya serta Penggunaannya* (Vol. 1). UMMPress.
- Sabatini, N. (2010). Recent Patents in Olive Oil Industry: New Technologies for the Recovery of Phenols Compounds from Olive Oil, Olive Oil Industrial by-Products and Waste Waters. (*Continued as Recent Advances in Food, Nutrition & Agriculture*), 2(2), 154–159. <https://doi.org/10.2174/2212798411002020154>

- Samad, N., Sodunke, T. E., Abubakar, A. R., Jahan, I., Sharma, P., Islam, S., Dutta, S., & Haque, M. (2021). The Implications of Zinc Therapy in Combating the COVID-19 Global Pandemic. *Journal of Inflammation Research*, Volume 14, 527–550. <https://doi.org/10.2147/JIR.S295377>
- Sang, S., Lambert, J. D., Ho, C.-T., & Yang, C. S. (2011). The chemistry and biotransformation of tea constituents. *Tea and Health*, 64(2), 87–99. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2011.02.007>
- Sari, M. (2011). *Identifikasi Protein Menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR)* [Skripsi]. Universitas Indonesia.
- Shadyro, O., Sosnovskaya, A., & Edimecheva, I. (2020). Effect of biologically active substances on oxidative stability of flaxseed oil. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 243–252. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04054-4>
- Shakoor, H., Feehan, J., Mikkelsen, K., Al Dhaheri, A. S., Ali, H. I., Platat, C., Ismail, L. C., Stojanovska, L., & Apostolopoulos, V. (2020). Be well: A potential role for vitamin B in COVID-19. *Maturitas*, 144, 108–111. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.08.007>
- Simic, M. G. (1992). [42] Carotenoid free radicals. Dalam *Methods in Enzymology* (Vol. 213, hlm. 444–453). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(92\)13146-0](https://doi.org/10.1016/0076-6879(92)13146-0)
- Siti Azima, A. M., Noriham A., & Manshoor N. (2014). Anthocyanin content in relation to the antioxidant activity and colour properties of Garcinia mangostana peel, Syzigium cumini and Clitoria ternatea extracts. *International Food Research Journal*, 21(6), 2369–2375.
- Skalny, A., Rink, L., Ajsuvakova, O., Aschner, M., Gritsenko, V., Alekseenko, S., Svistunov, A., Petrakis, D., Spandidos, D., Aaseth, J., Tsatsakis, A., & Tinkov, A. (2020). Zinc and respiratory tract infections: Perspectives for COVID-19 (Review). *International Journal of Molecular Medicine*. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2020.4575>
- Stadtman, E. R., Van Remmen, H., Richardson, A., Wehr, N. B., & Levine, R. L. (2005). Methionine oxidation and aging. *Methionine Oxidation and Methionine Sulfoxide Reductases*, 1703(2), 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2004.08.010>

- Sudardjat, S., & Gunawan, I. (2003). Likopen (Lycopene). *Majalah Gizi Medik Indonesia*, 2(5), 7–8.
- Sudarmadji, S., B. Haryono, & Suhardi. (1989). *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Penerbit Liberty.
- Suhartono, E, Fachir, H, & Setiawan, B. (2007). *Kapita Selektia Biokimia Stres Oksidatif Dasar & Penyakit*. Pustaka Buana.
- Taylor, M. J., & Richardson, T. (1980). Antioxidant Activity of Skim Milk: Effect of Heat and Resultant Sulfhydryl Groups. *Journal of Dairy Science*, 63(11), 1783–1795. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(80\)83140-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(80)83140-7)
- te Velthuis, A. J. W., & Fodor, E. (2016). Influenza virus RNA polymerase: Insights into the mechanisms of viral RNA synthesis. *Nature Reviews Microbiology*, 14(8), 479–493. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2016.87>
- Traber, M. G., & Atkinson, J. (2007). Vitamin E, antioxidant and nothing more. *Free Radical Biology and Medicine*, 43(1), 4–15. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.03.024>
- Tsao, R. (2010). Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients*, 2(12), 1231–1246. <https://doi.org/10.3390/nu2121231>
- Ujianto, A. (2010). *Jumlah limfosit darah tepi dan sebukan limfosit sekitar jaringan tumor pada penderita keganasan payudara yang mendapatkan injeksi vitamin C* [Thesis]. Universitas Diponegoro.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T. D., Mazur, M., & Telser, J. (2007). Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 39(1), 44–84. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001>
- Vandana, S., Ram, S., Ilavazhagan, M., Kumar, G. D., & Banerjee, P. K (2006). Comparative cytoprotective activity of vitamin C, E and beta-carotene against chromium induced oxidative stress in murine macrophages. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 60(2), 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2005.04.005>
- Wallace, T. C. (2011). Anthocyanins in Cardiovascular Disease. *Advances in Nutrition*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.3945/an.110.000042>

- Weni, L (2020). Analisis Bioinformatika Gen Cat (*Homo sapiens*): Penyandi Enzim Antioksidan Katalase dan Mutasi C330T pada Diabetes Melitus Tipe 1. *Majalah Sainstekes*, 7(2).
- Winarno, F. (2022). *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia.
- Winarsi, H. (2007). *Antioksidan alami dan radikal bebas: Potensi dan aplikasi dalam kesehatan*.
- Winarti, S. (2010). *Makanan Fungsional* (1 ed.). Graha Ilmu.
- Wohlmuth, H., Leach, D. N., Smith, M. K., & Myers, S. P. (2005). Gingerol Content of Diploid and Tetraploid Clones of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14), 5772–5778. <https://doi.org/10.1021/jf050435b>
- Xu, B., & Chang, S. K. C. (2010). Phenolic Substance Characterization and Chemical and Cell-Based Antioxidant Activities of 11 Lentils Grown in the Northern United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(3), 1509–1517. <https://doi.org/10.1021/jf903532y>
- Yan, R., Gao, S., Yang, W., Cao, M., Wang, S., & Chen, F. (2008). Nickel toxicity induced antioxidant enzyme and phenylalanine ammonia-lyase activities in *Jatropha curcas* L cotyledons. *Plant, Soil and Environment*, 54(7), 294–300.
- Yang, S.-C., Chen, P.-J., Chang, S.-H., Weng, Y.-T., Chang, F.-R., Chang, K.-Y., Chen, C.-Y., Kao, T.-I., & Hwang, T.-L (2018). Luteolin attenuates neutrophilic oxidative stress and inflammatory arthritis by inhibiting Raf1 activity. *Biochemical Pharmacology*, 154, 384–396. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2018.06.003>
- Yao, L. H., Jiang, Y. M., Shi, J., Tomas, F. A., Datta, N., SINGANUSONG, R., & Chen, S. S. (2004). Flavonoids in Food and Their Health Benefits. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59(3), 113–122. <https://doi.org/10.1007/s11130-004-0049-7>
- Yasui, K., & Baba, A. (2006). Therapeutic potential of superoxide dismutase (SOD) for resolution of inflammation. *Inflammation Research*, 55(9), 359–363. <https://doi.org/10.1007/s00011-006-5195-y>
- Yousefian, M., Shakour, N., Hosseinzadeh, H., Hayes, A. W., Hadizadeh, F., & Karimi, G. (2019). The natural phenolic compounds as modulators of NADPH oxidases in hypertension.

- Phytomedicine*, 55, 200–213.
<https://doi.org/10.1016/j.phymed.2018.08.002>
- Yuniastuti, A., & Susanti, R. (2013). *Analisis Sekuen Gen Glutation Peroksidase (Gpx1) sebagai Deteksi Stres Oksidatif Akibat Infeksi Mycobacterium Tuberculosis*. 11.
- Yuniritha, E., & Sulistyowati, Y. (2021). *BUKU METABOLISME ZAT GIZI YENNI EVA*
- Zakaria, F. R. (2000). Pengaruh Konsumsi Jahe (*Zingiber officinale Roscoe*) Terhadap Kadar Malonaldehida dan Vitamin E Plasma Pada Mahasiswa Pesantren Ulu Albaab Kedung Badak, Bogor. *Buletin Teknologi dan Industri Pangan*, 9(1), 36–40.
- Zarei, A., Arab, M., Froushan, A. R., Rashidian, A., & Ghazi Tabatabaei, S. M. (2012). Service quality of private hospitals: The Iranian Patients' perspective. *BMC Health Services Research*, 12(1), 31. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-31>
- Zeb, A. (2020). Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *Journal of Food Biochemistry*, 44(9), e13394. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13394>
- Zhang, H., Du, Y., Zhang, X., Lu, J., & Holmgren, A. (2014). Glutaredoxin 2 Reduces Both Thioredoxin 2 and Thioredoxin 1 and Protects Cells from Apoptosis Induced by Auranofin and 4-Hydroxynonenal. *Antioxidants & Redox Signaling*, 21(5), 669–681. <https://doi.org/10.1089/ars.2013.5499>
- Zhang, H., & Tsao, R. (2016). Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. *Food microbiology - Functional foods and nutrition*, 8, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2016.02.002>
- Zhang, J., & Kirkham, M. B. (1994). Drought-Stress-Induced Changes in Activities of Superoxide Dismutase, Catalase, and Peroxidase in Wheat Species. *Plant and Cell Physiology*, 35(5), 785–791. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078658>
- Zhu, K., Zhou, H., & Qian, H. (2006). Antioxidant and free radical-scavenging activities of wheat germ protein hydrolysates (WGPH) prepared with alcalase. *Process Biochemistry*, 41(6), 1296–1302. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.12.029>

BAB 12

PEMBENTUKAN RADIKAL BEBAS DAN SISTEM PERTAHANAN TUBUH

Oleh Elmeizy Arafah

12.1 Pendahuluan

Radikal bebas adalah molekul dengan satu *singlet* elektron yang tidak memiliki pasangan di orbit terluarnya. Sifat senyawa radikal tidak stabil dan sangat reaktif. Senyawa radikal bebas dapat memberikan satu elektron atau menerima satu elektron dari molekul lain, sehingga senyawa radikal bebas juga dikatakan mempunyai sifat oksidatif atau reduktif (Cheeseman dan Slater, 1993; Lobo *et al.*, 2010).

Penanda suatu senyawa dikatakan bersifat radikal dengan meletakkan satu titik di atas senyawa kimia tersebut, contohnya OH^* disebut senyawa hidroksil radikal; O_2^* sebut senyawa superoksid radikal yang mempunyai gugus oksigen radikal dikenal dengan senyawa reaktif oksigen atau *reactive oxygen species* (ROS). Golongan senyawa Radikal bebas adalah spesies atau molekul yang dapat hadir bebas dan mempunyai satu atau lebih elektron tidak berpasangan atau sendiri dalam orbitnya. Sebagian besar molekul oksigen reaktif bersifat radikal seperti hidroksil (OH^*), anion superokida (O_2^*), peroksil (RO_2^*), triklorometil (CCl_3^*), dan nitrogen oksida (NO^*) (Halliwell dan Gutteridge, 1990; Langseth, 1995; Auroma, 1997).

Radikal bebas sangat reaktif dan mudah bereaksi dan memodifikasi molekul khususnya lemak yang terdapat pada membran sel, DNA, protein, karbohidrat dan Lipid (Young dan Woodside, 2001). Radikal bebas telah diketahui dapat mengganggu dan merusak stabilitas membran sel akibat terlepasnya asam arakhidonat dari membran sel serta mengganggu homeostatik sel. Target senyawa radikal bebas adalah semua molekul di dalam tubuh

dan target utamanya adalah senyawa lipid, asam nukleat dan protein (Lobo *et al.*, 2010).

12.2 Teori Pembentukan Radikal Bebas

Sebagai molekul yang sangat labil, radikal bebas dapat membentuk kompleks dengan senyawa lain untuk menghasilkan senyawa baru. Radikal bebas dibentuk melalui dua cara, yaitu secara endogen, sebagai respon normal dari rantai proses biokimia di dalam tubuh, dan secara eksogen atau diperoleh dari lingkungan. Menurut Schneider dan Szanto (2002), radikal bebas adalah senyawa yang dapat terbentuk melalui berbagai macam proses, antara lain:

1. Proses metabolisme normal tubuh seperti pada proses pembunuhan bakteri oleh neutrofil dan makrofag :
(oksigen) $O_2 \longrightarrow O_2^*$ (superokside).
2. Toksisitas oksigen, seperti pada kasus hancurnya alveolar sebagai akibat adanya sindrom penyakit pernafasan distress pada orang dewasa atau penyakit retronetal fibroplasia yang merupakan penyakit kelainan ocular pada bayi premature yang dapat menyebabkan kebutaan.
3. Radiasi ionisasi: air ($H_2O \longrightarrow H^* + OH^*$).
4. Sinar ultraviolet,
5. Obat, bahan kimia, racun (contoh: karbon tetraklorida :
 $CCl_4 \longrightarrow CCl_3^* + Cl$) kebanyakan melalui mekanisme memicu proliferasi retikulum endoplasma halus (SER) dan menginduksi sistem kombinasi fungsi oksidase P-450 sistem SER. Terjadinya proliferasi dan hipertropi SER pada sel hepatosit adalah tanda klasik ultrastructural terjadinya intosikasi senyawa barbiturate.
6. Proses reperfusi setelah terjadinya injuri iskemik.

Pembentukan senyawa radikal terjadi secara kontinu di dalam sel sebagai konsekuensi dari reaksi enzimatis dan non enzimatis di dalam tubuh. Reaksi enzimatis sumber radikal bebas diantaranya pada proses rantai respirasi, fagositosis, pembentukan prostaglandin, dan dalam sistem enzim sitokrom P-450 (Liu *et al.*, 1999). Senyawa radikal bebas juga dapat terbentuk dari reaksi non enzimatis oksigen dengan senyawa organik melalui inisiasi reaksi ionisasi.

Beberapa sumber penghasil senyawa radikal bebas secara endogenous (Ebadi, 2001), antara lain mitokondria, xantin oksidase, peroksisome, inflamasi, fagositosis, jalur arakidonat, latihan olahraga, iskemia/reperfusi injuri.

12.3 Radikal Bebas dan Kerusakan Sel

Pada keadaan normal, secara fisiologis sel memproduksi radikal bebas sebagai konsekuensi logis terjadinya reaksi biokimia dalam kehidupan aerobik. Radikal bebas memiliki peran fisiologis pada fagositosis, fertilitas, sintesa DNA dan protein. Namun jika radikal bebas berada dalam jumlah berlebihan dan jumlah antioksidan seluler tetap atau lebih sedikit maka kelebihannya tidak bisa dinetralkan dan berakibat pada kerusakan sel. Kerusakan ini melalui mekanisme rusaknya berbagai molekul didalam tubuh seperti lipid, asam nukleat, dan protein (Young dan Woodside, 2001). Pada akhirnya mekanisme timbulnya berbagai penyakit degeneratif seperti kanker, ateroskeloris, dan penyempitan pembuluh darah diketahui sebagai akibat rusaknya sel oleh senyawa radikal bebas yang terdapat dalam jumlah berlebihan. Proses penuaan juga berkaitan dengan senyawa radikal bebas melalui terjadi perubahan yang sangat progresif proses regulator yang dimediasi oleh senyawa radikal (Lobo *et al.* 2010).

Pada konsentrasi yang tinggi, senyawa radikal bebas dan turunannya, senyawa reaktif nonradikal sangat berbahaya untuk organisme hidup dan menyebabkan kerusakan utama pada komponen sel. Senyawa nitrit oksida (NO), anion superokida dan senyawa reaktif oksigen spesies (ROS) telah diketahui memainkan peranan penting sebagai mediator yang mengatur proses signaling jika terdapat didalam tubuh dalam jumlah sedikit sebagai akibat proses metabolisme tidak akan berbahaya. Sebagian besar senyawa ROS berperan sebagai mediator dalam melindungi sel dari stress oksidatif dan menjaga kestabilian reaksi "redoks homeostatis", dan berperan sebagai molekul *signaling* dalam menjalankan fungsi fisiologis tertentu (Dröge, 2002). Jika terjadi kelebihan ROS atau terjadi peningkatan produksi ROS di dalam sel telah dilaporkan oleh

beberapa penelitian ini berkaitan dengan pathogenesis penyakit kanker, diabetes mellitus, aterosklerosis, neurodegeneratif, rematoid artritis, iskemia/kerusakan reperfusi, sleep apnea obstruktif, dan beberapa penyakit lainnya.

Kerusakan sel merupakan gangguan atau perubahan yang dapat mengurangi viabilitas atau fungsi esensial sel (Kehrer, 1993). Stres oksidatif dapat menyebabkan kematian sel (apoptosis dan nekrosis). Kematian sel secara apoptosis mencakup proses otodestruksi seluler aktif yang ditandai dengan penyusutan sel, kerusakan membran dan fragmentasi DNA inti. Sedangkan nekrosis merupakan kematian sel akibat kerusakan berat yang ditandai dengan kerusakan struktur seluler secara menyeluruh diikuti dengan lisisnya sel dan inflamasi jaringan (Forrest *et al.*, 1994). Radikal bebas merusak sel melalui oksidasi ALTJ, protein biomembran dan DNA inti sel (Krinsky, 1992). Rusaknya membran inti sel dan DNA berkaitan dengan mekanisme karsinogenesis. Mekanisme karsinogenesis terbagi menjadi tiga tahapan, yaitu (Klaunig dan Kamendulis, 2004): inisiasi, promosi dan propagasi. Pada tahap inisiasi, carcinogen endogenous maupun eksogenous menginduksi perubahan DNA sel. Selanjutnya hal ini menyebabkan terjadinya perubahan abnormal yang pada akhirnya menyebabkan timbulnya pertumbuhan sel neoplastik. Kerusakan DNA adalah penyebab utama timbulnya beberapa penyakit termasuk kanker.

Proksidasi lipid merupakan proses pembentukan senyawa radikal bebas yang dapat berperan sebagai mesenjer kedua atau dapat secara langsung bereaksi dengan biomolekul yang mana dapat menyebabkan terjadinya lesi biokimia. Ada tiga tipe sel penting pada dinding pembuluh darah yaitu sel endotelial, sel otot halus dan makrofag yang dapat melepaskan senyawa radikal bebas melalui peristiwa peroksidasi lipid membran sel yang menyebabkan reaksi pembentukan radikal secara berantai. Jika peroksidasi lipid terjadi di pembuluh darah arteri maka akan menyebabkan reaksi berantai yang akhirnya menimbulkan penyakit arterosklerosis (Lobo *et al.*, 2010).

Pada sistem imun tubuh, sel imunokompeten sangat sensitif terhadap oksidasi oleh radikal bebas karena kandungan ALTJ yang tinggi pada lipid membran sel (Meydani *et al.*, 1995). Radikal bebas bertindak sebagai proksidan melalui transfer elektron tidak berpasangan pada orbital luarnya sehingga dapat melakukan oksidasi terhadap ALTJ dan protein membran serta DNA inti sel (Krinsky, 1992). Peroksidasi lipid biomembran menyebabkan gangguan fungsi membran dan berakibat pada gangguan sistem reseptör permukaan membran sel imunokompeten. Kerusakan sistem reseptör berakibat pada gangguan proses pengenalan/kontak antigen pada permukaan sel imunokompeten sehingga respon imun terganggu (Meydani *et al.*, 1995).

12.4 Pengukuran Radikal Bebas

Radikal bebas dalam sistem biologis dapat diukur secara langsung dan tidak langsung. dasar teknik pengukuran radikal bebas secara langsung adalah Resonan Paramagnetik Elektronik (RPE) dan Proton Nukleus. Magnetik Resonan Resolusi Tinggi adalah penggunaan senyawa yang dapat menangkap signal radikal bebas pada sistem *in vitro*. Sebaliknya karena radikal bebas bereaksi sangat cepat, pengukuran tidak langsung dapat dilakukan terhadap produk turunan yang dihasilkan dalam sel (Nabet, 1996).

Malonadehida atau MDA (C₃H₄O₂) merupakan peroksidasi ALTJ terutama asam arakhidonat. MDA dijumpai juga sebagai produk samping biosintesa prostaglandin. Kadar MDA dapat digunakan sebagai indeks tidak langsung kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh peroksidasi lipid (Auroma, 1997).

Senyawa *fluoresens dichlorofluoresin* diasetat (DCFH.DA) dan dihydrorhodamin 123 (DHR 123) dapat digunakan untuk pengukuran radikal bebas tidak langsung global, pada sel utuh. Senyawa tersebut dapat menembus ke dalam sel, dan dengan adanya radikal bebas akan terbentuk fluoresens yang sinyalnya diukur dengan alat *flowcytometri* (Nabet, 1996).

12.5 Sistem Pertahanan Tubuh Terhadap Radikal Bebas

Beberapa senyawa radikal dapat dihancurkan oleh tubuh secara spontan, seperti O_2^* , dipindahkan oleh senyawa yang bersifat antioksidan, seperti Vitamin E, dan Sel tubuh dapat melawan oksidatif stress melalui suatu interaksi yang berhubungan dengan kerja sistem enzim antioksidan (Marcfarlane *et al.*, 2000). Selanjutnya Schneider dan Szanto (2002) menyatakan bahwa senyawa radikal bebas dapat dihancurkan melalui beberapa mekanisme, yaitu: 1) mekanisme kerja enzim intraselular, seperti glutation peroksidase, katalase, dan superoksidan dismutase, 2) antioksidan endogenous dan eksogenous, seperti vitamin A, vitamin C, vitamin E, sistein, glutation, selenium, seruplasmin, atau transferrin, 3) spontan (*spontaneous decay*). Antioksidan dapat berperan sebagai penangkap senyawa radikal, pendonor molekul hidrogen, pendonor elektron, pendekomposisi peroksid, pengikat singlet oksigen, inhibitor enzim, bersinergis, agen pengkelat metal. Baik antioksidan enzimatik maupun antioksidan non enzimatik terdapat di dalam intraseluler maupun ekstraseluler untuk mendetoksifikasi ROS.

12.5.1 Sistem Pertahanan Antioksidan

Antioksidan adalah sebuah molekul stabil yang dapat mendonorkan satu elektron untuk menangkap atau mengikat radikal bebas dan menetralkannya, sehingga dapat mengurangi kapasitas dan kemampuan merusak senyawa radikal bebas. Senyawa antioksidan dapat menunda atau mencegah kerusakan sel melalui mekanisme utama menangkap radikal bebas (Halliwell, 1995). Antioksidan endogenous yang mempunyai berat molekul (BM) rendah, seperti glutation, ubiquinol, dan asam urat, dapat bereaksi dengan senyawa radikal bebas dengan aman dan mengakhiri reaksi berantai sebelum molekul hancur atau rusak. Molekul antioksidan ini diproduksi tubuh dalam proses metabolisme normal tubuh (Shi *et al.*, 1999).

Senyawa antioksidan yang mempunyai BM ringan dan terdapat dalam makanan atau diet disebut antioksidan eksogenous karena harus disuplai dari makanan. Antioksidan ini dapat mengikat senyawa radikal bebas. Antioksidan jenis ini dikenal juga sebagai vitamin

antioksidan, yaitu vitamin E, vitamin C dan β -karoten (Shi *et al.*, 1999; Levine, 1991). Senyawa fenolik juga mempunyai aktifitas sebagai aktioksidan (Lin *et al.*, 1998). Salah satu sumber senyawa fenolik adalah rimpang rempah-rempah. Rimpang kunyit dan temulawak mengandung senyawa fenolik cucurmin yang bersifat hepatoprotektor (Sidik, 1998). Rimpang bangle mengandung senyawa fenolik, cassumunin yang mempunyai aktifitas antioksidan lebih tinggi dibandingkan cucurmin (Nagano *et al.*, 1997) dan telah terbukti dan menangkap radikal bebas CCl_3^* sehingga dapat melindungi sel hati dari kerusakan akibat terekspose CCl_4 (Arafah *et al.*, 2004).

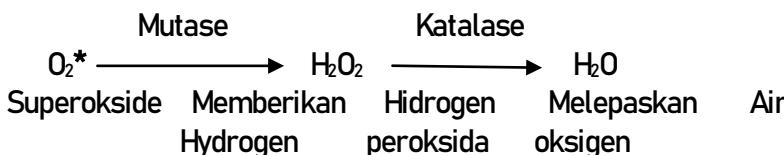
Beberapa tanaman telah dilaporkan berpotensi sebagai bahan obat alami dan dikenal sebagai sumber utama senyawa fitokimia antioksidan alami. Berdasarkan penelitian baik secara *in vitro* dan *in vivo*, senyawa nonenzimatis fitokimia seperti flavonoid, polifenol, dan glutathione, serta beberapa vitamin mempunyai aktivitas antioksidan yang kuat. Sehingga kerusakan selular akibat oksidatif stress dan keberadaan antioksidan dalam diet berguna dalam tatalaksana berbagai penyakit (Chaudhary *et al.*, 2023).

Ada dua mekanisme sistem kerja antioksidan (Krinsky, 1992). Pertama adalah mekanisme pemutusan rantai reaksi dengan cara antioksidan pertama-tama mendonorkan satu elektronnya ke senyawa radikal bebas. Mekanisme kedua, memindahkan ROS/reaktif nitrogen spesies (*secondary antioxidant*) dengan cara mematikan katalis pada reaksi rantai inisiasi. Antioksidan juga mempunyai efek dalam sistem biologi melalui beberapa mekanisme lainnya yaitu donator elektron, pengkelat ion logam, ko-antioksidan, atau regulator ekspresi gen.

Sistem pertahanan antioksidan terdiri dari 4 tingkatan (Lobo *et al.*, 2010) yaitu 1) preventive antioksioksidan, yang menekan terbentuknya senyawa radikal bebas, 2) antioksidan yang menangkap senyawa radikal bebas yang aktif sehingga dapat menekan tahapan inisiasi dana tau memutus rantai reaksi propagasi, 3) antioksidan yang memperbaiki dan antioksidan *de novo*, dan 4) adaptasi, tanda untuk memproduksi dan bereaksinya antioksidan pada sisi yang tepat terhadap adanya radikal bebas.

12.5.2 Sistem Pertahanan Enzim

Sel diproteksi dari stress oksidatif melalui sistem kerja enzim antioksidan di dalam tubuh (Sies, 1997). Didalam tubuh senyawa superokksida dilepaskan oleh berbagai proses fisiologi tubuh diantaranya melalui fosforilasi oksidatif akan di ubah menjadi hidrogen peroksida yang jumlahnya akan berkurang dengan adanya sejumlah air. Skema detoksifikasi ini melibatkan multipel enzim di dalam tubuh, tahap pertama reaksi ini dikatalisasi oleh enzim superoksid dismutase (SOD). Pada tahap selanjutnya melibatkan enzim katalase dan beberapa enzim peroksidase (Magnenat *et al.*, 1998). Pada Gambar berikut disajikan reaksi penetralan radikal bebas oleh sistem enzy antioksidan endogenous tubuh :



Gambar 12.1. Reaksi penetralan radikal bebas (Marcfarlane *et al.*, 2000).

Superoksid dismutase (SOD) adalah golongan enzyme yang mengkatalis pemutusan reaksi anion superokksida menjadi oksigen dan hydrogen peroksida. Dalam tubuh manusia terdapat tiga bentuk SOD. SOD1 terdapat di dalam sitoplasma, SOD2 di dalam mitokondria, dan SOD3 berada di ekstraseluler. SOD1 dan SOD3 mengandung tembaga (Cu) dan Seng (Zn), sedangkan SOD2 mengandung mangan (Mn) (Cao *et al.*, 2008).

Enzim Katalase adalah enzim umum yang ditemukan dalam setiap makhluk hidup, dimana fungsi katalase ini mendekomposisi hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen (Chelikani *et al.*, 2004). Di dalam tubuh hidrogen peroksida dihasilkan dari berbagai proses metabolism normal, dan secara cepat tubuh akan mengubahnya menjadi air dan oksigen atau menjadi senyawa lain yang tidak berbahaya. Enzim katalase paling banyak terdapat di dalam hati (Eisner dan Aneshanley, 1999).

Sistem Enzim Glutathion terdiri dari glutathion, glutathion-S-transferase, glutathion peroksidase dan glutathione reductase. Enzim glutathion-S-transferase mempunyai aktifitas aktioksidan yang besar jika ada enzim lipid peroksidase. Di dalam hati, kedua enzim ini terdapat dalam konsentrasi tertinggi dan membantu tubuh dalam proses detokifikasi (Labo *et al.*, 2010). Senyawa tripeptida ini merupakan salah satu antioksidan intraseluler penting karena berperan dalam berbagai fungsi seluler seperti detoksifikasi karsinogen eksogenus dan endogenus, sintesa DNA dan protein, transpor asam amino (Meister dan Anderson, 1983), aktivasi enzim proteksi sel dari efek radiasi dan radikal bebas serta pemeliharaan fungsi imun (Meydani *et al.*, 1995).

Glutation meregulasi fungsi imun melalui pengaruhnya pada transduksi signal transmembran dan aktivasi faktor transkipsi nuklear (Kavanagh *et al.*, 1993). Glutation melindungi tranduksi signal dari gangguan yang diinduksi stres oksidatif pada epithelial pulminary type II. studi lain membuktikan bahwa pada proses proliferasi diperlukan jumlah GSH yang cukup (Noelle dan Lawrence, 1981). Sel dengan jumlah glutation yang tinggi mampu memasuki siklus sel daripada sel dengan jumlah glutation yang rendah. suplementasi GSH pada diet tikus secara nyata meningkatkan proliferasi limfosit (Furukawa *et al.*, 1987), karena deplesi GSH menurunkan respons mitogenik. Gangguan terhadap status glutation menyebabkan perubahan respons CMI (Meydani *et al.*, 1995).

DAFTAR PUSTAKA

- Arafah, E, Muchtadi, D, Zakaria, F,R,m Wresiyati, T dan Sidik. 2004, Protective effect of Bangle (Zingiber cassumunar ROXB) rizhme extract on CCl₄L-induced liver damage of rats. J. Teknologi dan Industri Pangan. 15:3.
- Auroma,OI. 1997. Assessment of potential prooxidant and antioxidant actions. Am.Oil Chemist Soc. 73(12):1617-1625.
- Chaudhary, P., Janmeda, P., D Rev. Focea, A.O., Yeskaliyeva, B., Rzaiz, A.F.A., Modu, B., Calina, D., dan Sharifi-Rad, J. 2023. Oxidative stress, freeradicals and antioxidants: potential crosstalk in thepathophysiology of human diseases. FRev. Front. Chem. 11. <http://www.frotiersin.org//>. Diunduh 20 mei 2024.
- Cheeseman, KH, dan Slater, TF. 1993. An intridubtion to free radicals chemistry. Br. Med. Bull. 49:481-493.
- Cao, X. Antonyuk, S.V., Seetharaman, S.V., Whitson, L.J., Taylor. AB. Holloway, S.P. 2008. Structures of the G85R variant of SOD1 in familial amyotopic latera sclerosis. J Biol. Chem. 283:16169-16177;
- Chelikani, P., Fita, I., Loewen, P.C. Diversity of structures and properties among catalases. 2004. Cel. Mol. Life Sci. 61:192-208,
- Dröge, W. 2002. Free radicals in the physiological control off cell function. Physiological Review. 82:47-95.
- Ebadi, M. 2001. Antiodiant and free radicals in health and disease: An introduction to reactive oxygen spesies, oxidative injury, neuronal cell death and therapy in neurodegenerative disease, Arizona: Prominent Press.
- Eisner, T dan Aneshansley, D.J. 1999. Spray aiming in the bombardier beetle: Photographic evidence. Proc. Natl. Acad Sci USA. 96:9705-9709.
- Forrest, V.J., Kang, Y.H, Mc Clain, D.E, Ramakrishnan. 1994. Oxidative stresss apoptosis prevented by trolox. Free Radical Bio and Med. 16:675-683.

- Halliwell, B dan Gutteridge, J.M.C. 1990. Role of free radicals and catalytic logam ions in human disease: An overview. *Meth. Enzimol.* 186:1-83.
- Halliwell, B. 1995. How to characterize an antioxidant- An update. *Biochem Soc Symp.* 61:73-101.
- Hoppenkamps, R., Thies, E. Younes, M., Siegers, C.P. 1984. Glutathione and GSH dependent enzymes in human gastric mucosa. *KlinWochensher.* 62:183-186.
- Kehrer, J.P. 1993. Free radicals as mediators tissue injury and disease, *Criticals Review in Toxicology.* 23(1):21-28,
- Klaunig, J.E., dan Kamendulis, L.M. 2004. The role of oxidative stress in carcinogenesisi. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 44: 239-267.
- Krinsky, NI. 1992. Mechanism of action of biological antiodiants. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 200:248-254.
- Langseth, L. 1995. Oxidants, antioxidant and disease prevention. *ILSI EuropeConcise Monograph Series.* Brussel Belgium. 55(10):353-361.
- Levine, M., Ramsey, S.C., Daruwara,R. 1991. Criteria and recommendation for vitamin C intake. *J.A.M.A.* 281:1415-1423.
- Lin, J.K., Lin, C.H., Ling, Y.C., Lin-Shian, S.Y. dan Juan, I.M. 1998. Survey of catechins, gallic acids, and methylantines in gree, oolong, puerh and black teas. *J. Agric. Food Chem.* 46: 3635-3642.
- Liu, T., Stern, A., Robert, L.J. 1999. The isoprostanes: Novel prostaglandin-like products of the free radicals catalyzed peroxidation of arachidonic acid. *J. Biomed Sci.* 6:226-235.
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., dan Chandra, N. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacogn Rev.* 4(8):118-126.
- Macfarlane, P.S., Reid, R. dan Callander, R. 2000. *Pathology illustrated: Cell and tissue damage.* Churchill Livingstone. Edinburg. London, p.12.
- Magnenant, J.L., Garganoam, M., Cao, J. 1998. The nature of antioxidantdefense mechanism: A lesson from transgenic studies. *Environ. Health. Perspect.* 106:1219-1228.
- Meister, A. dan dan Anderson, M. 1983. Glutathione. *Annu. Rev. Biochem.* 52:711-760,

- Meydani. *et al.*, 1995. Antioxidants and immune response in aged person: s: A Overview of present evidence. Am J. Pf Clin. Nutr. 62:1462S-1476S.
- Nabet, B. 1996. Zat gizi antioksidan penangkal senyawa radikal pangan dalam sistem biologis. Di dalam: Reaksi biomolekuler, dampak terhadap kesehatan, Prosiding Seminar Senyawa Radikal dan Sistem Pangan. Kerjasama Pysat Studi Pangan dan Gizi IPB dengan Kedutaan Besar Perancis di Jakarta. Bogor,
- Nagano, T. Et al., New cucurminoid isolated from Zingiber cassumunar protect cells suffering from oxidative stress: a flow-cytometric study using rat thymocytes and H₂O₂. Japan. J Pharmacol. 75(4):363-370.
- Schneider, A.S. dan Szanto, P.A. 2002. Pathology 2nd Edition. Cellular reaction to injury. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia, USA. p 4-5.
- Shi, H.L., Noguchi, N., dan Niki, N., *et al.*, 1999. Comparative study on dynamic of antioxidantive action of δ-tocopheryl hydroquinone, ubiquinol and δ-tocopherol, against lipid peroxidation. Free Radic Biol Med. 27:334-3346.
- Sidik. 1988. Tumbuh-tumbuhan yang berkhasiat sebagai hepatoprotektor. Di Dalam Sidik, Hadi, S, Editor. Hepatitis, penanggulangan, dan pemanfaatan tumbuhanobat sebagai hepatoprotektor. Proseding Simposium dan Diskusi Panel. 1998. 22 Oktober, Bandung. Jurusan Farmasi. FMIPA UNPAD hlmn. 23-46,
- Sies, H.1997. Oxidatives stress: Oxidants and antioxidants. Ep Physiol. 82:291-295.
- Young, I.S. dan Woodside,J.V. 2001. Antioxidants in health and disease. J Clin Pathol. 54:176-186.

BIODATA PENULIS



Dr. Nurhayati, S.TP, M.Si

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Penulis lahir di Lumajang 45 tahun yang lalu. Saat ini mengabdi sebagai dosen pada kampus S-1 dulu yakni Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember. Gelar magister dan doktor Ilmu Pangan dari Institut Pertanian Bogor diraihnya pada wisuda Februari 2012. Dengan segenap jiwa menunaikan Tri Dharma Perguruan Tinggi, penulis juga memiliki hobi berbisnis di bidang teknologi&hasil pertanian. Beragam karya telah dihasilkan berupa publikasi ilmiah pada jurnal nasional maupun internasional bereputasi, buku ajar dan buku teks/referensi, serta teknologi pengolahan pangan&hasil pertanian yang sudah mendapatkan paten(*granted*). Slogan karyanya yakni "*satu lagi, bagimu negeri, ku mengabdil*".

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: nurhayati.ftp@unej.ac.id

BIODATA PENULIS



Dr. Chatarina Lili Suryani, S.TP, MP

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Agroindustri, Universitas Mercu Buana Yogyakarta

Penulis lahir di Kulonprogo tanggal 9 Maret 1970. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian dan Program Studi Magister Ilmu Pangan, Fakultas Fakultas Agroindustri, Universitas Mercu Buana Yogyakarta. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknologi Industri Pertanian UGM, dan melanjutkan S2 pada Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan dan S3 pada Program Studi Ilmu Pangan, UGM. Penulis mengajar pada bidang ilmu dan teknologi pangan, serta banyak melakukan penelitian khususnya pengembangan pangan fungsional berbasis pangan local, klorofil dan rempah-rempah. Saat ini penulis merupakan anggota PATPI dan sebagai pengurus PERGIZI Pangan Wilayah DIY. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: chlilis@mercubuana-yogya.ac.id.

BIODATA PENULIS



Dr. Anna Permatasari Kamarudin, S.TP., MBA
Dosen Program Studi Agribisnis
Fakultas Pertanian Universitas Gajah Putih

Penulis dilahirkan dan dibesarkan di Jakarta. Merupakan Dekan Fakultas Pertanian, UGP, Takengon Aceh Tengah. S1 diselesaikan di Teknologi Pertanian, Jurusan Teknologi Hasil Pertanian. Menyelesaikan S2 tahun 1999 di Fakultas Ekonomi dan Perniagaan (dulu, Fakulti Pengurusan Perniagaan atau FPP), Universiti Kebangsaan Malaysia. Mengambil S2 kembali Fakulti Sains dan Teknologi dan *convert* ke S3 bidang Kimia dan Sains Makanan pada Fakulti Sains dan Teknologi Universiti yang sama, lulus tahun 2008.

Disertasinya mengenai ikan kerisi atau kurisi (*Nemipterus japonicus*) atau Threadfin Bream yang diaplikasikan pada makanan bayi. Pernah menjalani *Post Doctoral* di Universiti Kebangsaan Malaysia tahun 2007-2012 pada bidang *Antioxidant* (beberapa komoditas hortikultura) dan *Product Development*. Sekarang ini mengajar di beberapa mata kuliah yang berkenaan dengan Agribisnis dan Teknologi Pengolahan di Fakultas Pertanian, UGP. Fokus penelitian dan pengabdian pada tanaman hortikultura dan khususnya pengolahan kopi menjadi beberapa produk makanan dan pengolahan limbah beberapa produk tanaman lainnya. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: annapermatasari83@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Rohadi, M.P

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Semarang

Penulis lahir di Kulon Progo, tanggal 09 Maret 1966. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Semarang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pengolahan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada (1991), melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan, FTP UGM lulus tahun (2001). Sempat menyelesaikan riset singkat (*shot research*) selama 6 bulan di Katholieke Universiteit of Nijmegen (KUN) Netherland (2000) pada bidang deteksi emisi gas ethelen dengan CO_2 laser. Menyelesaikan program doktor Ilmu Pangan pada tahun 2017 pada universitas yang sama dengan kajian senyawa antioksidan alami pada biji Duwet (*Syzygium cumini* L.). Penulis mengampu beberapa mata kuliah seperti Satuan Operasi, Sifat Fisik Pangan dan Hasil Pertanian, Teknologi Proses Terpadu, Teknologi Protein Enzim dan Pengemasan dan Penyimpanan. Penulis menekuni bidang riset antioksidan dan bahan tambahan pangan. Menulis buku pada bidang sifat fisik pangan dan pengemasan, memiliki HKI Paten pada metode ekstraksi senyawa antioksidan pada biji Duwet.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: rohadijarod_ftp@usm.ac.id.

BIODATA PENULIS



Prof.Dr.Ir. I Ketut Budaraga,M.Si.CIRR
Dosen Program Studi Teknologi Hasil
Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas EkaSakti.

Prof. Dr. Ir. I Ketut Budaraga, MSi. CIRR lahir di Desa Bulian Kecamatan Kubutambahan Kabupaten Buleleng Provinsi Bali pada tanggal 22 Juli 1968. Menamatkan SD No.1 Bulian tahun 1982, SMP 1 Singaraja tahun 1984. SMA Lab Unud Singaraja tahun 1987. Melanjutkan ke Fakultas Pertanian Universitas Mataram tahun 1987 dan tamat 1992. Melanjutkan pendidikan S2 tahun 1995 Ke Pasca sarjana program studi Teknik Pasca Panen IPB tamat 1998. Diberikan kesempatan lanjut ke S3 Ilmu pertanian tamat tahun 2016. Diangkat sebagai Dosen PNSD di Kopertis Wilayah X Padang di tempatkan di Fakultas Pertanian Universitas EkaSakti pada Program Studi Teknologi Hasil Pertanian. Pernah menjabat mulai wakil Wakil dekan III Fakultas Pertanian Universitas EkaSakti, Wakil Dekan 1 Fakultas Pertanian Universitas EkaSakti, Dekan Fakultas

Pertanian Universitas EkaSakti, sekarang diberikan kepercayaan sebagai Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian

kepada Masyarakat Universitas Ekasakti. Terhitung mulai tanggal 1 Agustus 2023 diberikan kepercayaan oleh pemerintah menjadi guru besar bidang ilmu Teknologi Pengolahan. Punya semboyan hidup kembali ke alam (back to nature), banyak kajian-kajian yang sudah dipublikasi dijurnal Internasional terindeks scopus, jurnal nasional terindeks sinta seperti pemanfaatan hasil samping kelapa menjadi produk yang memiliki nilai tambah, penggunaan pengawet alami asap cair pada pengolahan pangan, serta pengolahan pangan yang lain seperti pengolahan pisang, pembuatan keju cottage dengan penggumpal alami. Selama ini sudah pernah memperoleh paten sederhana pada tahun 2010 tentang kompor briket tahan panas, Pada tahun 2022 memperoleh paten sederhana berjudul Keju Cottage Dari Susu Sapi Dengan Penambahan Belimbing Wuluh. Informasi lebih lanjut bisa menghubungi email : iketutbudaraga@unespadang. ac.id.

BIODATA PENULIS



Dr. Nanik Suhartatik, S.TP., M.P
Dosen Program Studi Teknologi Pangan
Fakultas Teknologi dan Industri Pangan
Universitas Slamet Riyadi Surakarta

Penulis lahir di Yogyakarta pada tanggal 01 Januari 1978. Penulis adalah dosen tetap Program Studi Teknologi Pangan Universitas Slamet Riyadi (UNISRI) yang beralamat di Jl. Sumpah Pemuda 18 Joglo Surakarta. Pendidikan sarjana hingga taraf doktoral ditempuh di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, mulai tahun 1995 hingga 2014. Mata kuliah yang diampu di tingkat program studi meliputi Mikrobiologi Pengolahan Pangan, Teknologi Fermentasi, Bioteknologi Pangan, Regulasi Pangan, Pangan Fungsional, dan Teknologi Daging Ikan. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: naniksuhartatik01@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Nurul Fajrih H, S.Pt., M.Si
Dosen Program Studi Peternakan
Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman

Penulis lahir di Ujung Pandang tanggal 14 Januari 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Peternakan Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Nutrisi dan Makanan Ternak, Fakultas Peternakan Universitas Hasanuddin. Menyelesaikan program Pasca Sarjana (S2) di Universitas Diponegoro Semarang prodi Ilmu Peternakan konsentrasi di bidang Ilmu Nutrisi Unggas dan saat ini penulis menempuh studi pada Program Doktor Ilmu Nutrisi dan Pakan Fakultas Peternakan, IPB University. Penulis mengampu Mata Kuliah diantaranya Biologi, Mikrobiologi, Bioteknologi Peternakan. Ilmu Ternak Unggas serta Pangan dan Gizi Hasil Ternak. Penulis menekuni bidang riset prebiotik, antibakteri, pakan fungsional dan kesehatan unggas. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: nunu.nurul91@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Prof.Dr.Ir. Elisa Julianti, MSi
Dosen Program Studi Teknologi Pangan
Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara

Penulis lahir di Medan tanggal 16 Juni 1967. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Pangan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, S2 di Program Studi Teknologi Pascapanen IPB University dan S3 di program Studi Ilmu Pangan IPB University. Penulis menekuni bidang Menulis. Bidang penelitian yang digeluti adalah *modified atmosphere packaging*, teknologi pengeringan kemoreaksi, serta pengembangan pangan fungsional dari tepung berbasis umbi-umbian lokal. Menulis lebih dari 200 publikasi nasional maupun internasional. Aktif sebagai mitra bestari pada beberapa jurnal nasional dan internasional, serta sebagai reviewer penelitian dan pengabdian masyarakat yaitu di LPDP, Kemenristek Dikti dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat USU. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: elisa1@usu.ac.id; elizayulianti31@gmail.com

BIODATA PENULIS



Prof. Ir. Usman Pato, MSc., PhD.

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian,
Universitas Riau

Prof. Ir. Usman Pato, MSc., PhD. lahir pada tanggal 20 Januari 1966 di Kalosi, Kabupaten Enrekang, Sulawesi Selatan. Pendidikan S1 diselesaikan di Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Makassar tahun 1989, menyelesaikan program S2 di Universitas Shinshu pada tahun 1997 dan program S3 di Universitas Gifu pada tahun 2000 dalam bidang Mikrobiologi Pangan dengan kajian utama menyangkut Probiotik dan Makanan Fungsional. Penulis adalah Dosen Tetap Fakultas Pertanian Universitas Riau sejak tahun 1990 dan Guru Besar dalam Bidang Mikrobiologi Pangan terhitung 1 Juli 2005 dalam usia 39 tahun.

Sampai saat ini penulis telah berhasil mendapatkan dana penelitian bergengsi dari Indonesian Toray Science Foundation (ITSF) tahun 2001, dan Riset Unggulan Terpadu Internasional (RUTI) bersama Peneliti dari BPPT, Universitas Nasional Singapura dan Universitas Shinshu Jepang secara berturut-turut pada tahun 2002, 2003 dan 2004 serta International Foundation for Science (IFS) Swedia tahun 2006. Hasil Penelitiannya telah dipublikasi pada 20 jurnal internasional dan beberapa jurnal nasional terakreditasi. Ia juga telah menerbitkan beberapa buku ajar untuk menunjang proses belajar-mengajar di Fakultas Pertanian, dan buku referensi tentang

bioteknologi. Selain itu, ia juga aktif menyebarluaskan hasil temuan peneliti melalui kontribusinya sebagai editor pada Jurnal Natur Indonesia (Akreditasi B) sejak 2000 hingga sekarang, dan Jurnal SAGU sebagai Pemimpin Redaksi sejak tahun 2002 sampai 1022, serta editor Direktori Penerapan Ipteks, Vucer dan Kewirausahaan di DP2M, DIKTI pada tahun 2005.

Berdasarkan hasil karya dan kinerja yang ditunjukkan selama ini, maka penulis pernah dinobatkan sebagai Finalist Peneliti Muda Indonesia dalam bidang Kesehatan dan Kedokteran pada tahun 2003 dari LIPI, dan Dosen Berprestasi Terbaik Satu Universitas Riau tahun 2004. Penulis juga dipercaya sebagai Reviewer Nasional bidang Akreditasi Jurnal tahun 2005 sampai 2006. Pada tahun 2005 lalu, penulis berhasil mendapatkan dana insentif dari DIKTI berkat artikelnya yang berjudul "Hypocholesterolemic effect of indigenous dadih lactic acid bacteria by deconjugation of bile salts" yang dipublikasi pada salah satu jurnal internasional. Prof. Usman Pato dinobatkan sebagai Penulis Terbaik I pada tahun 2008 untuk jurnal internasional tingkat Universitas Riau. Prestasi membanggakan juga diperoleh penulis sebagai penerima Hibah UBER HKI tahun 2009 dari DIKTI, Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia. Penulis bersama kolega Dr. Yusmarini, MP juga sudah mendapatkan paten tentang "Metode Pembuatan Nata de Pina dari Kulit Nanas" pada Tahun 2010, paten tentang "Proses Pembuatan Cocoghurt Probiotik" pada tahun 2023 serta paten tentang "Metode Pembuatan Cellulose Nanofiber dari Daun Kelapa Sawit" pada tahun 2023. Penulis juga mendapatkan penghargaan juara 2 tingkat Universitas Riau tahun 2012 sebagai dosen penulis artikel ilmiah pada jurnal internasional yang diindeks oleh Scopus. Penulis pernah mendapatkan hibah Program World Class Professor (WCP) sebanyak 2 kali berturut-turut pada tahun 2019 di Malaysia dan 2020 di Mesir dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi, Republik Indonesia. Pada awal tahun 2024, penulis memiliki Scopus h-index sebanyak 12 dan Google Scholar h-index sebesar 21.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: usmanpato@yahoo.com

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Sony Suwasono, M.App.Sc.
Dosen Program Studi Teknologi Agroindustri
Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

Penulis lahir di Banjar-Ciamis tanggal 09 November 1964. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Agroindustri, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Menyelesaikan pendidikan S1 pada bidang Teknologi Pangan dan Gizi, Institut Pertanian Bogor, S2 pada bidang Bioteknologi di University of New South Wales Australia, dan S3 bidang Ilmu Pangan dari University of Reading England. Penulis menekuni bidang mikrobiologi pangan dan teknologi bioproses. Beberapa penelitian terkait dengan pengembangan senyawa bioaktif dari tanaman sebagai senyawa antimikroba telah dilakukan. Begitu juga penelitian aplikasi teknologi bioproses pada komoditi kopi dan kakao telah dilakukan. Publikasi dari penelitian tersebut juga telah diterbitkan. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: sony.ftp@unej.ac.id

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Hj. Dwiyati Pujimulyani, M.P.

Dosen Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
Fakultas Agroindustri Universitas Mercu Buana Yogyakarta

Prof. Dr. Ir. Hj. Dwiyati Pujimulyani, M.P. merupakan seorang Guru Besar yang lahir di Bantul, 13 Desember 1964. Beliau mengajar di Program Studi Teknologi Hasil Pertanian Fakultas Agroindustri, Universitas Mercu Buana Yogyakarta. Beliau juga merupakan direktur industri jamu CV. Wndra Mekar yang memproduksi bubuk instan siap seduh dengan merk "ESEM" dan Kapsul dengan merk "Curcuval DP". Prof. Dwiyati meraih gelar sarjana Teknologi Pertanian pada tahun 1988, master Ilmu dan Teknologi Pangan pada tahun 1995, dan doktor dibidang ilmu pangan pada tahun 2010 di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: dwiyati@mercubuana-yogya.ac.id

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Elmeizy Arafah, M.S.

Dosen Program Studi Agribisnis dan Program Studi Ilmu Perikanan
Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Selatan

Penulis sejak 2019 sampai dengan sekarang bekerja sebagai dosen tetap Program Studi Agribisnis sekaligus sebagai Dekan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Selatan. Sebelumnya Penulis dari tahun 1992 sampai dengan tahun 2010 bekerja sebagai dosen di Jurusan Teknologi Hasil Pertanian Faperta Universitas Sriwijaya. Tahun 2006 sampai dengan tahun 2010 Penulis menjadi Ketua Jurusan Teknologi Hasil Perikanan Faperta Unsri. Pada tahun 2002 Penulis selama 5 bulan pernah melakukan penelitian sandwich di BRC Yosei University Seoul. Di tahun 2008, Penulis pernah mendapatkan dana hibah penelitian Dikti dan tahun 2010 penulis bersama peneliti Balitbangda Sumsel mendapatkan dana penelitian dari kementerian Ristek. Saat ini Penulis dipercaya menjadi wakil ketua Patpi cabang Sumsel dan wakil ketua MHPI wilayah Sumsel.