

Jilid
1



Editor:

Feri Kusnandar
Winiati P Rahayu
Abdullah Muzi Marpaung
Umar Santoso

Perspektif Global ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN

Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI)



**Jilid
1**

Perspektif Global

ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN

Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI)

Perspektif Global

ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN

Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI)

Editor

Feri Kusnandar
Winiati P Rahayu
Abdullah Muzi Marpaung
Umar Santoso



Penerbit IPB Press

Jalan Taman Kencana No. 3,
Kota Bogor - Indonesia

C.01/09.2020

Judul Buku:

Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan, (Jilid 1)
Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI)

Editor:

Feri Kusnandar
Winiati P Rahayu
Abdullah Muzi Marpaung
Umar Santoso

Desain Sampul & Penata Isi:

Makhtubub Khoirul Fahmi
Felicia Angela

Sumber Foto Sampul:

<https://unsplash.com/>
<https://funny.pho.to/globe/>

Jumlah Halaman:

522 + 16 hal romawi

Edisi/Cetakan:

Cetakan 1, September 2020

Korektor:

Tania Panandita

PT Penerbit IPB Press

Anggota IKAPI
Jalan Taman Kencana No. 3, Bogor 16128
Telp. 0251 - 8355 158 E-mail: penerbit.ipbpress@gmail.com
www.ipbpress.com

ISBN: 978-623-256-220-2

Dicetak oleh Percetakan IPB, Bogor - Indonesia
Isi di Luar Tanggung Jawab Percetakan

© 2020, HAK CIPTA DILINDUNGI OLEH UNDANG-UNDANG
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku
tanpa izin tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

EDITOR

Buku "**Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan**" ini menyajikan informasi secara komprehensif lingkup ilmu dan teknologi pangan, baik yang terkait dengan aspek pengetahuan, keterampilan maupun sikap yang harus dikuasai oleh seseorang yang menekuni bidang ilmu dan teknologi pangan. Pokok bahasan yang dicakup dalam buku ini disusun berdasarkan kompetensi minimal yang perlu dikuasai oleh lulusan ilmu dan teknologi pangan berdasarkan pada standar pendidikan yang direkomendasikan oleh Perhimpunan Ahli dan Teknologi Pangan (PATPI) dan *Institute of Food Technologists* (IFT) Amerika Serikat.

Buku dibagi menjadi dua jilid. Buku "**Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan Jilid 1**" mencakup gambaran industri pangan dan kompetensi yang diperlukan oleh lulusan teknologi pangan untuk bekerja di industri pangan, ilmu dasar yang harus dikuasai yang mendukung bidang ilmu pangan, pengetahuan inti bidang ilmu pangan, terutama yang terkait dengan karakteristik bahan pangan, bahan tambahan pangan, biokimia, gizi dan kesehatan, kimia pangan dan analisis pangan, mikrobiologi pangan dan keamanan pangan, dan unit proses di industri pangan. Buku "**Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan Jilid 2**" mencakup teknologi pengolahan pangan nabati dan hewani, teknologi pengemasan dan penyimpanan pangan, ilmu sensori, sistem jaminan mutu pangan di industri pangan, peraturan dan legislasi pangan, dan ilmu pendukung (statistika dan analisis data, komunikasi tulisan dan lisan, kecakapan hidup dan etika profesi). Gambaran industri pangan, peluang dan tantangannya di era Revolusi Industri 4.0 juga dibahas pada buku Jilid 2.

Buku Jilid 1 ini ditulis oleh 19 orang pakar dari berbagai perguruan tinggi di Indonesia yang sesuai dengan bidang keahlian dan spesialisasinya, sehingga dapat menjadi referensi yang kredibel bagi mahasiswa dan dosen. Buku ini juga sangat bermanfaat bagi praktisi di industri pangan dan instansi pemerintah, dan masyarakat luas yang ingin mendalami bidang ilmu dan teknologi pangan.

Kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh kontributor dan *reviewer* atas sumbangan tulisan dan pemikirannya, sehingga buku ini dapat terwujud dan diterbitkan. Masukan dari semua pihak akan sangat berharga untuk menyempurnakan buku ini pada edisi penerbitan berikutnya.

Ketua Tim Editor,

Feri Kusnandar

KATA PENGANTAR

KETUA UMUM PATPI

Perhimpunan Ahli dan Teknologi Pangan (PATPI) menyambut baik diterbitkannya buku “**Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan**” yang ditulis oleh para anggota PATPI. Informasi yang dicakup dalam buku ini sesuai dengan standar pendidikan yang dikeluarkan oleh PATPI, dan standar pendidikan yang direkomendasikan oleh *Institute of Food Technologists* (IFT). Dengan demikian, buku ini merupakan referensi yang sesuai bagi mahasiswa dan dosen di program studi ilmu dan teknologi pangan dan program studi lain yang terkait di seluruh Indonesia, praktisi di industri pangan dan instansi pemerintah, serta masyarakat luas untuk memperoleh informasi yang komprehensif mengenai bidang ilmu dan teknologi pangan.

Kami mengucapkan terima kasih kepada seluruh kontributor dari 16 perguruan tinggi di Indonesia dan praktisi di industri pangan yang telah menyumbangkan naskah, yang tentu saja disiapkan dan ditulis berdasarkan pengalaman yang sesuai bidangnya masing-masing. Kami juga sangat mengapresiasi Ketua (Dr Feri Kusnandar) dan anggota Tim Editor yang telah mengkoordinasikan penulisan buku ini, mulai dari tahap menghimpun para kontributor, menyusun kisi-kisi di setiap bab, mengedit naskah dan harmonisasi antar bab. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada *reviewer* yang telah mengoreksi dan memberikan masukan, untuk penyempurnaan naskah.

Kami berharap buku ini memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi kemajuan pendidikan ilmu dan teknologi pangan di Indonesia.

Ketua Umum PATPI,

Umar Santoso

KATA SAMBUTAN

DIRJEN DIKTI–KEMENDIKBUD

Pangan merupakan kebutuhan dasar manusia yang paling utama dan pemenuhannya merupakan bagian dari hak asasi manusia yang dijamin oleh konstitusi, demikian amanat yang tertuang dalam Undang-Undang 18 Tahun 2012 tentang Pangan. Oleh karena itu, menjadi tugas kita bersama untuk mewujudkan kedaulatan, kemandirian, dan ketahanan pangan. Perguruan tinggi sebagai lembaga pendidikan tertinggi untuk menghasilkan sumber daya manusia unggul sekaligus sebagai pusat pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi memiliki peran dan tugas yang sangat strategis dalam mewujudkannya.

Kehadiran buku **“Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan”** yang dihasilkan oleh para pakar ilmu dan teknologi pangan dari berbagai perguruan tinggi ini tentu kita sambut dan berikan apresiasi setinggi-tingginya. Di tengah langkanya buku ilmiah tentang ilmu dan teknologi pangan di Indonesia, kehadiran buku compendium keilmuan pangan ini sangat dinantikan oleh dunia perguruan tinggi, para peneliti, dan masyarakat yang ingin belajar tentang ilmu dan teknologi pangan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan menyampaikan selamat dan apresiasi mendalam pada Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI) yang telah berhasil mewujudkan buku yang terdiri atas 19 Bab yang dibagi menjadi buku Jilid 1 dan 2. Bukan hal yang mudah untuk menyatukan pemikiran dari para guru besar dan ahli di bidang pangan dan menuangkannya dalam satu buku yang sangat komprehensif seperti ini.

Melihat luasnya cakupan bahasannya, buku ini sangat ideal dimanfaatkan sebagai salah satu acuan utama di program pendidikan ilmu dan teknologi pangan. Cakupan pengetahuan (*body of knowledge*) yang tertuang di dalam

buku ini sangat komprehensif sebagai kerangka pengembangan kompetensi ilmu dan teknologi pangan. Saya berharap buku ini dapat mengisi kekosongan pustaka saat ini serta mampu berkontribusi dalam membangun kedaulatan, kemandirian, dan ketahanan pangan di Indonesia.

Semoga kehadiran buku ini juga dapat menginspirasi bidang-bidang lain untuk mengikutinya.

Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi

Nizam

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| KATA PENGANTAR EDITOR | v |
| KATA PENGANTAR KETUA UMUM PATPI | vii |
| KATA SAMBUTAN DIRJEN DIKTI–KEMENDIKBUD | ix |
| DAFTAR ISI..... | xi |

Bab 1 Lingkup Ilmu dan Teknologi Pangan

| | |
|---|----|
| <i>Feri Kusnandar, Winiati P Rahayu, dan Umar Santoso</i> | 1 |
| 1.1 Pendahuluan..... | 1 |
| 1.2 Pengertian Ilmu dan Teknologi Pangan..... | 4 |
| 1.3 Gambaran Industri Pangan..... | 4 |
| 1.4 Profesi Ahli Ilmu dan Teknologi Pangan | 7 |
| 1.5 Lingkup Ilmu dan Teknologi Pangan..... | 11 |
| 1.6 Program Pendidikan Ilmu dan Teknologi Pangan | 16 |
| 1.7 Ringkasan..... | 23 |
| 1.8 Pustaka..... | 25 |
| Latihan..... | 25 |
| Tugas Mandiri (<i>Challenge Questions</i>)..... | 28 |

Bab 2 Aplikasi Ilmu Dasar dalam Ilmu dan Teknologi Pangan

| | |
|---|----|
| <i>Eko Hari Purnomo, Nur Hidayat, Harsi D Kusumaningrum, dan Feri Kusnandar</i> | 29 |
| 2.1 Pendahuluan..... | 29 |
| 2.2 Kalkulus | 30 |
| 2.3 Fisika..... | 34 |
| 2.4 Kimia | 40 |

| | |
|---|----|
| 2.5 Kimia Organik | 44 |
| 2.6 Biologi..... | 49 |
| 2.7 Mikrobiologi | 58 |
| 2.8 Ringkasan..... | 73 |
| 2.9 Pustaka..... | 74 |
| Latihan..... | 75 |
| Tugas Mandiri (<i>Challenge Questions</i>)..... | 77 |

Bab 3 Karakteristik Bahan Pangan

| | |
|---|-----|
| <i>Nur Aini dan Yudi Pranoto</i> | 79 |
| 3.1 Pendahuluan..... | 79 |
| 3.2 Komposisi Bahan Pangan | 80 |
| 3.3 Sereal | 82 |
| 3.4 Umbi-umbian | 89 |
| 3.5 Kacang-kacangan..... | 94 |
| 3.6 Daging | 98 |
| 3.7 Telur..... | 112 |
| 3.8 Susu | 120 |
| 3.9 Ikan dan <i>Seafood</i> | 122 |
| 3.10 Rumput Laut..... | 130 |
| 3.11 Sayuran dan Buah-buahan..... | 136 |
| 3.12 Cokelat, Teh, Kopi | 146 |
| 3.13 Rempah-Rempah dan Tanaman Penyegar..... | 154 |
| 3.14 Ringkasan..... | 166 |
| 3.15 Pustaka | 167 |
| Latihan..... | 173 |
| Tugas Mandiri (<i>Challenge Questions</i>)..... | 176 |

Bab 4 Bahan Tambahan Pangan

| | |
|---|-----|
| <i>Ambar Rukmini dan Nuri Andarwulan</i> | 177 |
| 4.1 Pendahuluan..... | 177 |
| 4.2 Mengenal Bahan Tambahan Pangan | 178 |
| 4.3 Kajian Keamanan Bahan Tambahan Pangan | 197 |
| 4.4 Ringkasan..... | 209 |
| 4.5 Pustaka..... | 211 |
| Latihan..... | 212 |
| Tugas Mandiri (<i>Challenge Questions</i>)..... | 214 |

Bab 5 Biokimia Pangan, Gizi dan Kesehatan

| | |
|---|-----|
| <i>Ardiansyah, Eni Harmayani, dan Lily Arsanti Lestari</i> | 215 |
| 5.1 Pendahuluan..... | 215 |
| 5.2 Struktur Biokimia..... | 217 |
| 5.3 Zat Gizi Makro dan Mikro, serta Peranannya dalam Tubuh | 219 |
| 5.4 Pencernaan, Absorpsi dan Transportasi Pangan dalam Tubuh | 226 |
| 5.5 Metabolisme Karbohidrat, Lipida, dan Asam Amino | 236 |
| 5.6 Pangan dan Kesehatan..... | 249 |
| 5.7 Ringkasan..... | 259 |
| 5.8 Pustaka | 261 |
| Latihan..... | 264 |
| Tugas Mandiri (<i>Challenge Questions</i>)..... | 266 |

Bab 6 Kimia dan Analisis Komponen Pangan

| | |
|--|-----|
| <i>Umar Santoso dan Didah Nur Faridah</i> | 267 |
| 6.1 Pendahuluan..... | 267 |
| 6.2 Air..... | 267 |
| 6.3 Karbohidrat..... | 273 |
| 6.4 Asam Amino dan Protein | 285 |
| 6.5 Lemak..... | 292 |
| 6.6 Vitamin..... | 299 |
| 6.7 Mineral | 305 |
| 6.8 Komponen <i>Flavor</i> | 308 |
| 6.9 Komponen Bioaktif..... | 318 |
| 6.10 Komponen Toksik dalam Pangan | 319 |
| 6.11 Reaksi Kimia Selama Pengolahan dan Penyimpanan, dan Cara Pengendaliannya | 333 |
| 6.12 Prinsip Analisis Kimia Komponen Pangan..... | 336 |
| 6.13 Ringkasan..... | 346 |
| 6.14 Pustaka..... | 348 |
| Latihan..... | 350 |
| Tugas Mandiri (<i>Challenge Questions</i>)..... | 352 |

Bab 7 Mikrobiologi Pangan, Fermentasi dan Analisis Mikrobiologi

| | |
|--|-----|
| <i>Winiati P Rahayu dan Endang S. Rahayu</i> | 353 |
| 7.1 Pendahuluan..... | 353 |
| 7.2 Jenis Mikroba yang Tumbuh pada Pangan | 354 |
| 7.3 Pertumbuhan Mikroba | 358 |
| 7.4 Kerusakan Mikrobiologi Pangan..... | 363 |
| 7.5 Keracunan Pangan | 367 |

| | |
|---|-----|
| 7.6 Pengendalian Mikroba pada Pangan | 371 |
| 7.7 Teknologi Fermentasi | 374 |
| 7.8 Analisis Mikroba pada Pangan | 385 |
| 7.9 Ringkasan..... | 388 |
| 7.10 Pustaka..... | 389 |
| Latihan..... | 390 |
| Tugas Mandiri (<i>Challenge Questions</i>)..... | 392 |
| | |
| Bab 8 Keamanan Pangan | |
| <i>Ratih Dewanti-Hariyadi dan Hanifah Nuryani Lioe</i> | 393 |
| 8.1 Pendahuluan..... | 393 |
| 8.2 Bahaya Keamanan Pangan: Bahaya Biologi..... | 397 |
| 8.3 Bahaya Keamanan Pangan: Bahaya Kimia | 417 |
| 8.4 Bahaya Keamanan Pangan: Bahaya Fisik..... | 433 |
| 8.5 Sistem Manajemen Keamanan pangan | 434 |
| 8.6 Ringkasan..... | 438 |
| 8.7 Pustaka..... | 439 |
| Latihan..... | 447 |
| Tugas Mandiri (<i>Challenge Questions</i>)..... | 450 |
| | |
| Bab 9 Unit Operasi di Industri Pangan | |
| <i>Azis Boing Sitanggung dan Anton Rahmadi</i> | 451 |
| 9.1 Pendahuluan..... | 451 |
| 9.2 Fenomena Perpindahan dalam Unit Operasi..... | 455 |
| 9.3 Pendendalian Parameter Proses dalam Unit Operasi Industri Pangan | 459 |
| 9.4 Sifat Fisik Bahan Pangan | 463 |
| 9.5 Berbagai Unit Operasi di Industri Pangan | 464 |

| | |
|---|-----|
| 9.6 Ringkasan..... | 495 |
| 9.7 Pustaka..... | 496 |
| Latihan..... | 497 |
| Tugas Mandiri (<i>Challenge Questions</i>)..... | 500 |
| INDEKS..... | 501 |
| KONTRIBUTOR | 519 |

Bab

1

Lingkup Ilmu dan Teknologi Pangan

*Feri Kusnandar, Winiati P Rahayu,
dan Umar Santoso*

1.1 Pendahuluan

Perserikatan Bangsa-bangsa (PBB) mengeluarkan satu deklarasi penting pada tahun 1948 yang dinamakan Deklarasi Universal Hak Asasi Manusia. Pada salah satu butir deklarasi tersebut dinyatakan tentang hak setiap orang atas standar hidup yang layak untuk kesehatan dan kesejahteraan diri dan keluarga, termasuk pangan. Pemenuhan atas hak asasi ini bukanlah pekerjaan mudah. Diperlukan komitmen bersama untuk menyingkirkan perbedaan kepentingan yang dapat menyebabkan konflik. Rumitnya persoalan komitmen bersama ini membuat deklarasi hak atas pangan ini diperkuat berkali-kali.

Pada tahun 1996 perwakilan dari 185 negara berkumpul di Roma, markas FAO, untuk menghadiri konferensi tingkat tinggi Pangan (*World Food Summit*). Konferensi ini menghasilkan Deklarasi Roma yang pada intinya memperbarui komitmen global di tingkat politik tertinggi untuk menghapus kelaparan dan kekurangan gizi serta pencapaian ketahanan pangan yang berkelanjutan bagi semua orang. Kemudian, pada tahun 2015 PBB menyusun 17 tujuan pembangunan berkelanjutan atau *sustainable development goals* (SDG) yang hendak dicapai pada tahun 2030. Salah satunya adalah *zero hunger* atau bebas dari kelaparan. Pada saat buku ini ditulis, sekitar 690 juta orang di seluruh permukaan bumi ini masih berada dalam keadaan kelaparan.

Pangan yang dikonsumsi manusia harus bermutu, aman, menyehatkan, beragam dan sesuai dengan keyakinan. Bermutu artinya pangan memenuhi karakteristik inderawi yang diinginkan oleh konsumen, seperti rasa, tekstur, *flavor*, penampakan dan warna. Aman berarti pangan tidak membahayakan atau menyebabkan sakit, sehingga harus terbebas dari potensi bahaya fisik (seperti kotoran, debu, krikil, ranting, dan pecahan gelas), bahaya kimia (seperti cemaran logam berat, bahan kimia yang dilarang, dan residu pestisida), dan bahaya mikrobiologi (terbebas dari bahaya mikroba patogen dan pembusuk). Menyehatkan bermakna pangan memiliki nilai gizi yang diperlukan untuk memelihara kesehatan dan kebugaran tubuh (seperti karbohidrat, protein, lemak, vitamin, mineral, dan komponen gizi lainnya). Pangan yang dikonsumsi juga harus beragam yang berasal dari sumber pangan nabati (seperti sereal, kacang-kacangan, umbi-umbian, sayuran, dan buah), hewani (daging, ikan, dan susu) dan hasil laut (ikan, rumput laut, dsb) untuk memenuhi nilai gizi yang mencukupi. Memenuhi keyakinan berarti pangan yang dikonsumsi memenuhi kebutuhan konsumen berdasarkan keyakinan, agama, dan kepercayaan (seperti halal, *kosher*, vegetarian, dan sebagainya).

Pangan yang dikonsumsi oleh manusia adalah pangan yang diolah terlebih dahulu, baik dengan cara pengolahan yang sederhana (seperti dicuci, dibersihkan, dikupas, dan dipotong) maupun melalui tahapan proses yang panjang dan kompleks (diekstraksi, dipanaskan, difermentasi, didinginkan, diuapkan, dipanggang, dikeringkan, dsb). Untuk menghasilkan satu jenis pangan yang siap dikonsumsi, bahan pangan yang diolah dapat terdiri dari satu jenis bahan, serta melibatkan proses dan peralatan yang sederhana. Misalnya, nasi dihasilkan dengan cara menambahkan air ke dalam beras, lalu dipanaskan dengan *rice cooker* hingga masak. Namun demikian, banyak proses pengolahan pangan menggunakan beberapa jenis bahan baku atau ingridien dan melibatkan beberapa tahapan proses dan peralatan yang kompleks. Misalnya, biskuit dibuat dari bahan tepung terigu, gula, mentega, dsb, dan melibatkan tahapan proses penimbangan, pencampuran, pencetakan dan pemanggangan (*baking*).

Proses pengolahan pangan dapat dilakukan di tingkat keluarga dengan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan, atau diolah dalam jumlah lebih besar oleh pengolah pangan di restoran dan industri katering. Pangan juga dapat

diolah dan dikemas secara masal oleh industri pangan untuk menghasilkan produk pangan yang lebih tahan lama (awet), sehingga dapat didistribusikan ke wilayah yang lebih luas dan jauh. Dalam memproduksi pangan secara masal (*mass production*), khususnya pada skala industri, bahan pangan diolah oleh personil yang bukan hanya “terampil mengolah”, melainkan juga oleh personil yang memiliki pengetahuan dan keterampilan yang memadai. Pengetahuan dan keterampilan yang dibutuhkan di bidang pengolahan, keamanan, dan mutu pangan diperlukan agar dapat dihasilkan pangan dengan kriteria seperti dijelaskan di atas. Berawal dari sini, berkembang bidang ilmu dan teknologi pangan, yang merupakan bidang kepakaran ahli pangan (*food scientist*) atau ahli teknologi pangan (*food technologist*). Peranan ilmu dan teknologi pangan menjadi sangat penting untuk berkontribusi dalam penyediaan pangan bagi umat manusia, terutama pangan olahan, seiring dengan jumlah penduduk dunia yang terus bertambah dan ketersediaan sumber daya yang terbatas untuk menghasilkan pangan.

Ilmu dan teknologi pangan berkembang menjadi disiplin ilmu yang kompleks dan melibatkan berbagai bidang ilmu lain, serta telah berkontribusi besar dalam perkembangan rantai pasok pangan di dunia. Ilmu pangan terus berkembang, yaitu perkembangan awal ilmu pangan oleh penemuan Nicolas Appert pada tahun 1810 yang berhasil mengawetkan pangan dengan proses pengalengan; hasil penelitian dari Louis Pasteur pada tahun 1864 yang dapat menjelaskan proses pembusukan makanan oleh mikroba dan cara mengatasinya dengan proses pemanasan; hingga saat ini berkembang berbagai teknologi canggih dalam proses pengolahan pangan, seperti proses instanisasi dengan teknologi pengering semprot (*spray drying*), proses sterilisasi dengan teknologi *ultra high temperature process* (UHT) atau *high pressure processing* (HPP), teknologi iradiasi, teknologi gelombang mikro (*microwave*), dsb.

Bab 1 ini menjelaskan pengertian dan lingkup ilmu dan teknologi pangan, gambaran industri pangan, kompetensi, peranan atau profesi dari seorang ahli teknologi pangan, cakupan pendidikan ilmu dan teknologi pangan, dan himpunan profesi di bidang ilmu dan teknologi pangan nasional dan global. Setelah mempelajari bab ini, pembaca dapat memperoleh gambaran secara komprehensif lingkup ilmu dan teknologi pangan, yang akan dibahas lebih mendalam di bab-bab selanjutnya.

1.2 Pengertian Ilmu dan Teknologi Pangan

Ilmu pangan (*food science*) merupakan disiplin ilmu terapan (*applied science*) dari ilmu-ilmu dasar (matematika, biologi, fisika, kimia dan keteknikan) untuk mempelajari karakteristik bahan pangan, penyebab kerusakan bahan pangan dan prinsip yang mendasari suatu proses pengolahan dan pengawetan pangan. IFT (2018) menetapkan beberapa ilmu dasar yang diperlukan dalam ilmu pangan, yaitu kimia, kimia organik, biologi, biokimia dan gizi, mikrobiologi dasar, kalkulus, dan statistika. Cakupan bidang ilmu pangan dapat dikelompokkan menjadi kimia dan analisis pangan, mikrobiologi dan keamanan pangan, rekayasa dan proses pengolahan pangan, biokimia pangan dan gizi, dan ilmu pangan terapan. Ilmu pangan terapan mencakup ilmu sensori (organoleptik), sistem jaminan mutu pangan, pengemasan dan penyimpanan pangan, peraturan dan regulasi pangan (PATPI 2015; IFT 2011). Ilmu pangan juga bersinggungan dengan bidang ilmu lainnya, seperti bioteknologi, bioproses, teknik kimia, kimia analitik, kimia fisik, teknik mesin, ilmu gizi, ilmu konsumen, dan manajemen.

Teknologi pangan (*food technology*) merupakan penerapan ilmu dasar dan ilmu pangan, manajemen dan ekonomi dalam seluruh rantai penanganan bahan pangan, mulai tahap penanganan pascapanen (penanganan bahan segar sebelum proses produksi), proses pengolahan (dari tahap persiapan hingga pengemasan), didistribusikan dan dipasarkan hingga sampai ke tangan konsumen (PATPI 2015). Ilmu manajemen dan ekonomi diperlukan karena proses produksi pangan secara masal oleh industri pangan melibatkan berbagai divisi yang harus dikelola secara profesional dan produk yang dihasilkan harus dapat dipasarkan kepada masyarakat.

1.3 Gambaran Industri Pangan

Industri pangan merupakan bentuk bisnis di bidang pengolahan pangan yang tujuan utamanya adalah menyiapkan, mengolah dan mendistribusikan pangan (makanan dan minuman) untuk kebutuhan manusia. Industri pangan merupakan bisnis yang kompleks, bukan hanya memproduksi pangan, tetapi

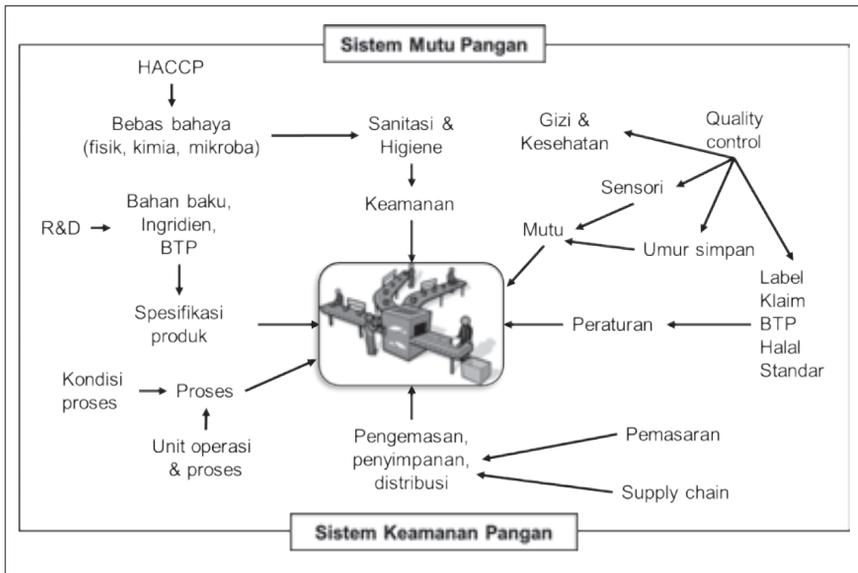
juga cara bahan/ produk pangan disimpan, ditransportasikan, didistribusikan, dipromosikan, dan dipasarkan. Industri pangan harus dapat menjamin produk pangan yang dihasilkan memiliki mutu yang memenuhi kebutuhan konsumen, aman dikonsumsi, memenuhi kebutuhan gizi, menyehatkan, dan sesuai dengan keyakinan/kepercayaan konsumen.

Industri pangan di Indonesia, baik industri kecil, menengah dan besar, berkembang sangat pesat dan berkontribusi besar dalam penyediaan pangan bagi masyarakat. Industri pangan menjadi salah satu sektor andalan dan strategis yang menopang pertumbuhan manufaktur dan ekonomi nasional. Sektor industri pangan berkontribusi besar terhadap produk domestik bruto (PDB) industri non-migas. Sektor industri pangan Indonesia memiliki potensi pertumbuhan yang besar karena didukung oleh sumber daya pertanian yang berlimpah dan permintaan domestik yang besar (Kemenperin 2018).

Industri pangan dapat mengolah bahan pangan menjadi ingridien pangan, misalnya mengolah jagung pipil menjadi pati jagung (maizena) atau singkong menjadi tepung tapioka. Produk yang dihasilkan dapat dimanfaatkan oleh industri pangan lainnya sebagai salah satu ingridien. Industri pangan juga dapat mengolah produk pangan yang siap dikonsumsi masyarakat, misalnya industri roti, biskuit, makanan kaleng, makanan ringan, minuman, dsb. Bahan baku yang digunakan umumnya terdiri atas beberapa jenis untuk memenuhi karakteristik mutu produk yang diinginkan.

Secara umum, organisasi di industri pangan terdiri atas bagian pengadaan/pembelian dan penanganan bahan baku (segar, ingridien/bahan tambahan pangan, kemasan dan material lainnya), pengembangan produk pangan baru (R&D), produksi, *regulatory affair*, pengendalian mutu (*quality control*), penjaminan mutu (*quality assurance*), penggudangan dan penyimpanan produk, transportasi dan distribusi, dan pemasaran (*sale, promotion and marketing*). Bidang lainnya adalah pengembangan sumberdaya manusia (*human & research development*) dan keuangan (*finance*). Agar proses bisnis yang dijalankan oleh perusahaan berlangsung dengan baik, maka perusahaan menerapkan sistem keamanan dan mutu pangan. Industri pangan memerlukan personil yang beragam, baik keahlian teknis maupun manajemen. Lulusan

teknologi pangan dapat bekerja di bagian tersebut dengan lingkup pekerjaan sesuai dengan kompetensinya. **Gambar 1.1** memberikan ilustrasi proses bisnis yang berlangsung di perusahaan, terutama yang memerlukan keahlian di bidang ilmu dan teknologi pangan.



Gambar 1.1 Proses bisnis di industri pangan yang memerlukan keahlian bidang ilmu dan teknologi pangan

Industri pangan sangat beragam jenis usahanya. Pada tahun 2015, di Indonesia terdapat usaha skala mikro dan kecil sebanyak 1.614.149, dan skala industri sebanyak 6875 (Mahandika 2015). Jumlah industri pangan cenderung meningkat dari tahun ke tahun, baik untuk memenuhi kebutuhan pangan di dalam negeri maupun untuk ekspor. Industri pangan di Indonesia sangat beragam dan berhimpun dalam asosiasi, yaitu Gabungan Pengusaha Makanan dan Minuman (GAPMMI). GAPMMI berperan dalam membangun iklim usaha yang kondusif bagi industri makanan dan minuman, dan mengusahakan penyediaan produk pangan yang aman, bermutu dan menyehatkan bagi masyarakat. GAPMMI juga berperan dalam membantu pemerintah untuk membina sektor usaha mikro, kecil dan menengah (UMKM). Asosiasi lainnya

di bidang pangan adalah himpunan pengusaha pangan di tingkat global sejenis seperti *the Food Industry Association*, *Flavor Extract Manufacturers Association*, *Food Additives and Ingredients Association*, *Specialty Food Ingredients*, dsb.

1.4 Profesi Ahli Ilmu dan Teknologi Pangan

Seseorang yang memiliki kompetensi di bidang ilmu dan teknologi pangan disebut ahli pangan atau ahli teknologi pangan. Terminologi keprofesian ilmu pangan dan teknologi pangan ini telah dikenal dan diakui secara internasional. Lalu apa perbedaan antara penyebutan ahli pangan (*food scientist*) dan ahli teknologi pangan (*food technologist*), yang mungkin dapat membingungkan. Potter (1978) menjelaskan bahwa ahli teknologi pangan merujuk pada seseorang yang memiliki kemampuan dalam mengaplikasikan pilar ilmu pangan dan memiliki jenjang pendidikan diploma/sarjana atau yang setara. Seorang ahli teknologi pangan dapat berperan sebagai pendidik di berbagai jenjang dan jalur pendidikan, atau sebagai praktisi di industri pangan, instansi pemerintah, lembaga swadaya masyarakat, atau sebagai wirausahawan. Sementara ahli pangan merujuk pada seseorang yang memiliki kompetensi dalam melakukan riset di bidang pangan, dan memiliki jenjang pendidikan magister atau doktor.

Seorang lulusan teknologi pangan pada jenjang diploma atau sarjana yang bekerja di industri pangan dapat menekuni bidang yang spesifik, seperti di bagian pengadaan bahan baku (*material procurement*), penggudangan dan penyimpanan (*warehouse*), perancangan proses dan produksi, penelitian dan pengembangan (*food research & development*), jaminan mutu (*quality control*), sistem pengendalian mutu (*quality assurance*), regulasi (*regulatory affair*), pemasaran (*sale and marketing*), analisis data (*data analyst*), distribusi, dsb. Contoh pekerjaan yang dapat dilakukan oleh seorang lulusan teknologi pangan disajikan pada **Tabel 1.1**. Jabatan seseorang di industri pangan berjenjang sesuai dengan tugas dan kewenangannya, mulai dari karyawan, supervisor, asisten manajer, manajer divisi, manajer pabrik, dan direktur. Jabatan ini dapat bervariasi di setiap industri pangan, bergantung dari proses bisnis yang dilakukan.

Tabel 1.1 Contoh pekerjaan yang dapat dilakukan oleh lulusan teknologi pangan di industri pangan

| Divisi | Pekerjaan yang Dapat Dilakukan |
|--------------------------|--|
| Pembelian bahan baku | Menentukan <i>supplier</i> bahan baku, ingredien atau bahan tambahan pangan yang sesuai kebutuhan (berdasarkan rekomendasi dari divisi pengembangan produk baru). |
| Penggudangan | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mengevaluasi kesesuaian bahan baku, ingredien dan bahan tambahan pangan yang dibeli dengan spesifikasi yang diinginkan. 2. Menentukan kondisi penyimpanan bahan baku, ingredien dan bahan tambahan pangan sesuai dengan karakteristiknya (sebelum digunakan dalam proses produksi). 3. Menentukan kondisi penyimpanan produk yang sesuai dengan karakteristiknya. |
| Pengembangan produk baru | <ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan pengembangan produk pangan baru yang sesuai dengan <i>market signal</i> (mulai dari konsep produk, <i>protocept</i>, prototipe, hingga produk yang siap diproduksi secara masal). 2. Memilih bahan baku, ingredien dan bahan tambahan pangan yang sesuai dengan kebutuhan proses dan konsep produk yang diinginkan, serta memenuhi persyaratan mutu, keamanan dan kehalalan produk. 3. Menentukan formulasi dan kondisi proses yang sesuai untuk mencapai persyaratan mutu dan keamanan yang diinginkan. 4. Mengevaluasi/menentukan umur simpan bahan dan produk pangan yang dihasilkan. |
| Produksi | <ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan <i>scale up</i> dari produksi hasil pengembangan produk pangan (menentukan <i>setting</i> peralatan atau kondisi proses yang optimum). 2. Merancang proses produksi mulai dari tahap persiapan, proses pengolahan hingga pengemasan. 3. Mengendalikan proses produksi sesuai target produksi yang ditetapkan oleh manajemen. 4. Menerapkan prinsip <i>good manufacturing practices</i> (GMP), sistem keamanan pangan, sistem mutu pangan dan sistem jaminan halal dalam keseluruhan proses produksi. 5. Menetapkan kondisi proses yang sesuai dengan persyaratan mutu dan keamanan yang ditetapkan. |

Tabel 1.1 Contoh pekerjaan yang dapat dilakukan oleh lulusan teknologi pangan di industri pangan (lanjutan)

| Divisi | Pekerjaan yang Dapat Dilakukan |
|--|--|
| <i>Quality control</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mengevaluasi bahan baku/ingridien, produk intermediet dan produk akhir untuk memastikan persyaratan mutu dan keamanan yang ditetapkan telah terpenuhi. 2. Melakukan pengujian kondisi sanitasi dan hygiene sarana produksi dan personil produksi. 3. Merekomendasikan produk pangan yang dihasilkan dapat didistribusikan/dijual ke pasaran berdasarkan hasil pengujian produk akhir. |
| Peraturan (<i>regulatory affair</i>) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mengurus izin produksi, izin edar produk (P-IRT, MD, ML), izin pencantuman logo halal atau klaim produk. 2. Mengurus perizinan ekspor atau impor bahan baku atau produk. 3. Berkomunikasi, membahas, atau memberikan masukan terhadap draf peraturan atau standar pangan yang diusulkan oleh pemerintah. |
| <i>Quality assurance</i> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Mengembangkan, menerapkan dan mengevaluasi penerapan sistem mutu (misal ISO9001), sistem keamanan pangan (misal HACCP dan FSSC) dan sistem jaminan halal (misal HAS23000). 2. Mengembangkan sistem ketertelusuran (<i>traceability</i>) produk hingga ke bahan baku yang digunakan, lini proses yang digunakan dan <i>batch</i> produksi. |
| Transportasi dan distribusi | <ol style="list-style-type: none"> 1. Menentukan kondisi sarana transportasi dan distribusi untuk meminimalkam kerusakan produk. 2. Memastikan kondisi sarana transportasi dan distribusi sesuai persyaratan mutu, keamanan dan kehalalan. |
| Pemasaran | <ol style="list-style-type: none"> 1. Menggali informasi dari konsumen (<i>market signal</i>) untuk digunakan dalam pengembangan produk pangan baru. 2. Menyusun strategi promosi produk kepada konsumen, dan mengevaluasi penerimaan produk oleh konsumen di pasaran. 3. Menganalisis data dan mengevaluasi pemasaran produk, dan menyusun strategi pemasaran yang efektif. |

Lulusan teknologi pangan yang bekerja di instansi pemerintah dapat berperan sebagai pengawas pangan, penyuluh keamanan pangan, peneliti, penyusun kebijakan dan peraturan pangan, penilai proses registrasi dan

perizinan, pengujian produk pangan, dsb. Bidang profesi lainnya yang dapat menjadi lingkup kerja lulusan teknologi pangan adalah distributor (ingridien pangan, mesin pengolahan atau instrumentasi untuk analisis), jurnalis, penulis buku, *blogger*, wirausahawan, dsb.

Seorang ahli pangan (*food scientist*) dapat memiliki bidang kepakaran yang beragam dan spesifik, seperti ahli kimia pangan, mikrobiologi pangan, rekayasa pangan, biokimia pangan, dsb. Bidang ilmu pangan ini pun masih dapat diturunkan ke dalam bidang kepakaran yang lebih spesifik, seperti ahli di bidang ilmu sensori, teknik pangan, pengemasan, keamanan pangan, sistem mutu pangan, reologi, proses termal, fermentasi, *flavor*, regulasi, analisis kimia dan instrumentasi, enzimologi, nanoteknologi, metabolomik, dsb. Penelitian yang dikembangkan oleh ahli pangan dapat terkait dengan eksplorasi pemanfaatan bahan pangan sebagai ingridien pangan, penemuan teknik pengolahan dan pengawetan pangan yang dapat memperpanjang umur simpan produk dengan meminimalkan kerusakan mutunya, kajian perubahan komponen pangan akibat proses pengolahan atau penyimpanan, pengembangan produk pangan yang dapat memberikan manfaat bagi kesehatan dan kebugaran tubuh, dsb.

Para ahli ilmu dan teknologi pangan berhimpun dalam berbagai asosiasi keprofesian nasional dan internasional. Himpunan keprofesian ini bertujuan untuk menjalin komunikasi positif dan berbagi informasi antar ahli dan praktisi di bidang ilmu dan teknologi pangan melalui kegiatan *workshop*, seminar, konferensi, pameran, dsb. Di Indonesia, asosiasi profesi tempat berhimpun para ahli dan praktisi di bidang pangan adalah Perhimpunan Ahli dan Teknologi Pangan Indonesia (PATPI). Himpunan profesi lain yang terkait dengan bidang ilmu dan teknologi pangan adalah Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia (PERMI) dan Perhimpunan Pakar Gizi dan Pangan Indonesia (PERGIZI PANGAN). Banyak negara juga memiliki himpunan profesi ilmu dan teknologi pangan, misalnya *USA Institute of Food Technologists* (IFT), *Malaysian Institute of Food Technology* (MIFT), *Singapore Institute of Food Science and Technology* (SIFST), *Food Science and Technology Association of Thailand* (FoSTAT), *Australian Institute of Food Science and Technology* (AIFST), *Canadian Institute of Food Science & Technology* (CIFST), *The*

European Federation of Food Science and Technology (EFFoST), dsb. Himpunan profesi tersebut bersatu di tingkat regional dan internasional. Di tingkat Asia Tenggara, himpunan profesi teknologi pangan bergabung dalam *Federation of Institutes of Food Science and Technology of ASEAN* (FIFSTA), sedangkan di tingkat internasional bergabung dalam *International Union of Food Science and Technology* (IUFoST). PATPI merupakan anggota dari FIFSTA dan IUFoST.

1.5 Lingkup Ilmu dan Teknologi Pangan

Cakupan lingkup ilmu dan teknologi pangan sangat luas. Oleh karena itu, deskripsi berikut membatasi lingkup ilmu dan teknologi pangan yang diperlukan untuk membangun kompetensi ahli teknologi pangan pada jenjang sarjana.

1.5.1 Ilmu Dasar

Sebagaimana dijelaskan di atas, ilmu dan teknologi pangan merupakan ilmu terapan dari ilmu dasar. IFT (2018) menetapkan ilmu dasar yang harus dikuasai agar ilmu dan teknologi pangan dapat dikuasai, yaitu kimia, kimia organik, biokimia, biologi, mikrobiologi, ilmu gizi, kalkulus, fisika, statistika, dan komunikasi (oral dan tulisan). Cakupan materi atau bahan kajian yang diperlukan untuk masing-masing ilmu dasar tersebut disajikan pada **Tabel 1.2**. PATPI (2018) tidak mengelompokkan biokimia dan ilmu gizi ke dalam ilmu dasar, tetapi sebagai bagian dari inti ilmu pangan.

Tabel 1.2 Cakupan ilmu dasar yang diperlukan di bidang ilmu dan teknologi pangan

| Ilmu Dasar | Cakupan Bahan Kajian |
|------------|--|
| Kimia | Prinsip dasar sifat kimia dan fisik dan transformasi bahan yang meliputi energi dan penggunaannya, hukum gas, teori molekul kinetik, hukum kombinasi kimia, struktur atom dan molekul, klasifikasi periodik unsur, dan ikatan kimia, dan prinsip keseimbangan dan perubahan kimia yang meliputi kesetimbangan kimia, kimia asam/basa, dan kesetimbangan ionik lainnya, elektrokimia, termodinamika kimia dasar dan kinetika. |

Tabel 1.2 Cakupan ilmu dasar yang diperlukan di bidang ilmu dan teknologi pangan (lanjutan)

| Ilmu Dasar | Cakupan Bahan Kajian |
|---------------|---|
| Kimia organik | Tatanama, struktur, sintesis, stereokimia, gugus fungsional, dan mekanisme reaksi organik, dan kimia senyawa organik (alkana, alkena, alkuna, senyawa aromatik, alkil halida, alkohol, eter, aldehida dan keton, asam karboksilat dan turunannya, fenol, amina, lemak, asam amino, dan karbohidrat). |
| Biokimia | Konsep dasar hubungan struktur dan fungsi biokimia, reaktivitas, dan termodinamika. Topik yang dibahas meliputi struktur biologis, enzim, membran, produksi energi, metabolisme karbohidrat, lipid, dan asam amino, transduksi sinyal, transportasi melintasi membran, replikasi dan perbaikan DNA, transkripsi dan perbaikan terjemahan, motor molekuler, mekanisme kerja obat, dan biosintesis produk alami, dan biomaterial. |
| Biologi | Konsep dasar sistem kehidupan, biologi sel dan molekuler, mitosis dan meiosis, prinsip genetika, biologi perkembangan. Topik yang dibahas meliputi kimia, biokimia makromolekul, struktur dan fungsi sel, fotosintesis, respirasi, evolusi, keragaman kehidupan, struktur DNA, dan replikasi. |
| Mikrobiologi | Prinsip dasar mikroba yang meliputi bakteri, khamir, kapang, dan virus; struktur dan fungsi sel mikroba, metabolisme, genetika mikroba, dan peran mikroba dalam penyakit, kekebalan, dan aplikasi lainnya yang sesuai; Teknik dasar yang digunakan dalam mengamati aktivitas dan sifat mikroba yang meliputi penanganan, identifikasi, dan karakterisasi mikroba dan aktivitasnya. |
| Ilmu gizi | Prinsip dasar nilai gizi pangan dan metabolisme zat gizi penting, sistem pencernaan, penyerapan, metabolisme, interaksi dan fungsi zat gizi, kebutuhan nutrisi dan energi, dan kekurangan zat gizi). |
| Kalkulus | Prinsip dasar kalkulus yang meliputi limit, turunan, diferensiasi, model persamaan linier, kuadratik dan polinomial, optimisasi, integral, fungsi trigonometri, dan fungsi eksponensial. |
| Fisika | Prinsip dasar sifat fisik dan hukum yang meliputi mekanika, kerja dan energi, fluida, termodinamika, gelombang, elektromagnetisme, optik, relativitas, dan fisika modern. |

Tabel 1.2 Cakupan ilmu dasar yang diperlukan di bidang ilmu dan teknologi pangan (lanjutan)

| Ilmu Dasar | Cakupan Bahan Kajian |
|------------------------------|--|
| Statistika dan analisis data | Prinsip dasar statistik yang meliputi statistik deskriptif, probabilitas, normalitas, estimasi, pengujian hipotesis, inferensi statistik, dan interval kepercayaan. |
| Komunikasi tertulis | Prinsip dasar dan praktik dalam menulis dan berkomunikasi yang meliputi penulisan ilmiah berdasarkan hasil penelitian, esai argumentatif berdasarkan bukti dari sumber primer dan sekunder. |
| Komunikasi lisan | Teknik persiapan dan presentasi oral yang informatif dan persuasif. Topik yang dibahas meliputi pemilihan dan pengorganisasian makalah, dan cara memotivasi minat dan perhatian dari audien selama presentasi. |

Sumber: IFT (2018)

1.5.2 Ilmu dan Teknologi Pangan

Pengetahuan inti dari ilmu dan teknologi pangan mencakup kimia dan analisis pangan, mikrobiologi pangan, keamanan pangan, ilmu gizi dan kesehatan, rekayasa dan proses pengolahan pangan, ilmu sensori, jaminan mutu pangan, dan peraturan dan regulasi pangan. Bahan kajian dari masing-masing kelompok keilmuan secara garis besar disajikan pada **Tabel 1.3**. Ranah keilmuan tersebut secara lebih rinci dijelaskan di bab-bab selanjutnya.

1.5.3 Kecakapan Hidup

Penguasaan pengetahuan dan keterampilan perlu didukung oleh kemampuan komunikasi lisan dan tulisan, kemampuan manajerial, kecakapan hidup, etika, profesionalisme. Bahan kajian yang harus dicakup dan dikuasai dalam pendidikan teknologi pangan yang terkait aspek kecakapan hidup disajikan pada **Tabel 1.4**.

Tabel 1.3 Cakupan bahan kajian inti ilmu dan teknologi pangan

| Ilmu Pangan | Cakupan Bahan Kajian |
|--|---|
| Kimia dan analisis pangan | Komponen pangan makro (air, karbohidrat, protein, lemak) dan mikro (vitamin, mineral, komponen mikro lainnya) yang mencakup struktur kimia, sifat fisikokimia, reaksi penting, dan peranannya dalam sistem pangan; perubahan karakteristik pangan sebagai akibat reaksi kimia, dan cara pengendaliannya; prinsip analisis kimia komponen pangan (termasuk instrumentasi); komponen toksik dalam pangan (alami dan sintetik), komponen <i>flavor</i> , dan komponen/ senyawa bioaktif. |
| Mikrobiologi pangan, fermentasi dan analisis mikrobiologi pangan | Jenis mikroba dalam sistem pangan (yang menguntungkan, menimbulkan penyakit, atau membusukkan), dan karakteristiknya, faktor yang memengaruhi pertumbuhan mikroba, kerusakan mikrobiologi pangan, keracunan pangan, pengendalian mikroba pada pangan, prinsip bioteknologi pangan/teknologi fermentasi dan aplikasinya dalam sistem pangan, metode identifikasi dan analisis mikrobiologi. |
| Keamanan pangan | Potensi bahaya dalam pangan, Jenis bahaya dalam pangan (kimia, mikrobiologi, fisik), pentingnya sanitasi dan higiene, dan prinsipnya, pengendalian potensi bahaya kimia, mikrobiologi dan fisik dalam pangan, dan sistem manajemen keamanan pangan di industri pangan (GMP, HACCP, FSSC, dan sebagainya). |
| Gizi dan kesehatan | Makronutrien dan mikronutrien, serta peranannya dalam tubuh, pencernaan, absorpsi dan transportasi pangan dalam tubuh, mekanisme metabolisme karbohidrat, lipida, asam amino, pangan, kesehatan dan kebugaran (termasuk pangan fungsional). |
| Pengetahuan bahan pangan | Komposisi kimia pangan, sifat fisiologi bahan pangan, kategori pangan, pengenalan bahan nabati (serealia, biji-bijian, umbi-umbian, kacang-kacangan, sayuran dan buah-buahan, rempah-rempah, bahan penyegar), hewani (daging, ikan, telur, susu), hasil laut (<i>seafood</i> dan rumput laut), bahan penyegar (cokelat, teh, kopi), dan rempah-rempah), ingridien dan bahan tambahan pangan (jenis dan fungsinya), dan 16 kategori pangan. |
| Prinsip rekayasa pangan | Prinsip pengawetan dan pengolahan pangan, prinsip pindah masa dan pindah panas, pengenalan penukar panas (<i>heat exchanger</i>), prinsip psikometrika dan pengeringan, reologi, proses termal), pengenalan unit operasi penting yang umum digunakan di industri pangan (homogenizer, pengering, <i>aseptic processing</i> , evaporator, retort, dan sebagainya). |
| Teknologi pengolahan pangan nabati dan hewani | Berbagai teknologi pengolahan pangan nabati (teknologi baking, pasta, minyak dan lemak, gula dan konfeksioneri, minuman, teknologi makanan ringan, pengolahan buah dan sayur, dsb), dan pengolahan pangan hewani asal daging, unggas, ikan, susu, dan telur (seperti bakso, <i>nugget</i> , sosis, dsb). |

Tabel 1.3 Cakupan bahan kajian inti ilmu dan teknologi pangan (lanjutan)

| Ilmu Pangan | Cakupan Bahan Kajian |
|-------------------------------|--|
| Ilmu sensori | Pengenalan sensori manusia, metode analisis sensori (jenis dan cara pengujiannya), panelis dalam uji sensori, laboratorium sensori, dan aplikasi ilmu sensori dalam pengembangan produk pangan. |
| Pengemasan dan penyimpanan | Fungsi pengemasan, jenis dan karakteristik bahan pengemas, teknik pengemasan pangan, pengujian bahan pengemas, penyimpanan dan penggudangan, pengendalian hama gudang, dan kerusakan pangan selama penyimpanan, pengertian umur simpan dan cara penentuannya. |
| Jaminan mutu pangan | Pengertian mutu dan keamanan pangan, prinsip jaminan dan pengendalian mutu, sistem jaminan dan pengendalian mutu dan aplikasinya di industri pangan. |
| Peraturan dan regulasi pangan | Pentingnya peraturan pangan, peraturan pangan yang penting, mekanisme penyusunan regulasi pangan, dan lembaga yang berperan (termasuk penerapan prinsip <i>risk analysis</i>), mengenal <i>Codex Alimentarius</i> dan peranannya dalam regulasi pangan global; peraturan pangan yang penting di Indonesia (undang-undang pangan, bahan tambahan pangan, halal, dsb), dan kajian keamanan bahan tambahan pangan. |

Tabel 1.4 Cakupan kemampuan kecakapan hidup dan kompetensi lainnya

| Kecakapan hidup | Cakupan Bahan Kajian |
|---|--|
| Teknik komunikasi lisan dan tulisan | Jenis karya ilmiah, teknik menulis karya ilmiah, plagiarisme dan cara mencegahnya, jenis forum ilmiah, teknik presentasi dalam forum ilmiah (teknis dan non-teknis) |
| Kemampuan manajerial dan <i>soft skills</i> | Kemampuan berfikir kritis, penyelesaian masalah secara komprehensif, serta pengambil keputusan yang tepat berdasarkan analisis informasi dan data, sikap untuk belajar seumur hidup (<i>life-long learning</i>), kemampuan memimpin dan bekerja dalam tim, mandiri dan bertanggung jawab terhadap pekerjaannya, bekerja sama dengan individu yang memiliki latar belakang sosial dan budaya yang beragam, kemampuan beradaptasi terhadap situasi yang dihadapi, kemampuan bekerja secara simultan pada berbagai kondisi. |
| Profesionalisme dan etika | Integritas profesional dan berkomitmen terhadap nilai etika. |

1.6 Program Pendidikan Ilmu dan Teknologi Pangan

1.6.1 Kompetensi Lulusan

Program pendidikan tinggi teknologi pangan diselenggarakan untuk menghasilkan lulusan yang mampu mengaplikasikan prinsip ilmu dan teknologi pangan dalam rantai proses produksi pangan di industri pangan, sejak pascapanen hingga produk pangan dihasilkan. Pada program pendidikan sarjana, kemampuan yang dimiliki harus mencakup penguasaan pengetahuan di bidang ilmu dan teknologi pangan, memiliki keterampilan kerja, dan kemampuan manajerial yang sesuai dengan tingkatan seorang sarjana. Deskripsi umum seorang sarjana merujuk pada Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia (KKNI) seperti yang ditetapkan dalam Peraturan Presiden Nomor 8 Tahun 2012. Penjenjangan kualifikasi dalam KKNI dibagi ke dalam sembilan jenjang, dan lulusan program pendidikan sarjana dan diploma 4 harus memiliki kesetaraan dengan jenjang enam. Deskripsi umum lulusan yang memenuhi kualifikasi jenjang enam tersebut adalah sebagai berikut:

1. Mampu mengaplikasikan bidang keahliannya dan memanfaatkan IPTEKS pada bidangnya dalam penyelesaian masalah serta mampu beradaptasi terhadap situasi yang dihadapi.
2. Menguasai konsep teoritis bidang pengetahuan tertentu secara umum dan konsep teoritis bagian khusus dalam bidang pengetahuan tersebut secara mendalam, serta mampu memformulasikan penyelesaian masalah prosedural.
3. Mampu mengambil keputusan yang tepat berdasarkan analisis informasi dan data, dan memberikan petunjuk dalam memilih berbagai alternatif solusi secara mandiri dan kelompok.
4. Bertanggung jawab pada pekerjaan sendiri dan dapat diberi tanggung jawab atas pencapaian hasil kerja organisasi.

Berdasarkan deskripsi KKNI di atas, maka seorang lulusan sarjana atau diploma 4 harus menguasai ilmu pengetahuan, baik umum maupun khusus, dan menerapkannya pada bidang yang sesuai. Ciri penting lainnya adalah

kemampuan dalam menyelesaikan masalah, berfikir kritis dan analitis, menganalisis informasi dan data, beradaptasi dengan berbagai situasi, dapat bekerja secara mandiri dan dalam kelompok, serta mampu memimpin dan mengambil keputusan.

Standar Nasional Pendidikan Tinggi menetapkan sikap, pengetahuan umum dan keterampilan umum yang harus dikuasai oleh seorang lulusan sarjana (Permendikbud Nomor 3 Tahun 2020). Khususnya yang terkait keterampilan umum, maka kemampuan yang harus dimiliki oleh seorang sarjana adalah sebagai berikut:

1. Mampu menerapkan pemikiran logis, kritis, sistematis, dan inovatif dalam konteks pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang memperhatikan dan menerapkan nilai humaniora yang sesuai dengan bidang keahliannya.
2. Mampu menunjukkan kinerja mandiri, bermutu, dan terukur.
3. Mampu mengkaji implikasi pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan teknologi yang memperhatikan dan menerapkan nilai humaniora sesuai dengan keahliannya berdasarkan kaidah, tata cara dan etika ilmiah dalam rangka menghasilkan solusi, gagasan, desain atau kritik seni, menyusun deskripsi *scientific* hasil kajiannya dalam bentuk skripsi atau laporan tugas akhir, dan mengunggahnya dalam laman perguruan tinggi.
4. Mampu mengambil keputusan secara tepat dalam konteks penyelesaian masalah di bidang keahliannya, berdasarkan hasil analisis informasi dan data.
5. Mampu memelihara dan mengembangkan jaringan kerja dengan pembimbing, kolega, sejawat baik di dalam maupun di luar lembaganya.
6. Mampu bertanggung jawab atas pencapaian hasil kerja kelompok dan melakukan supervisi dan evaluasi terhadap penyelesaian pekerjaan yang ditugaskan kepada pekerja yang berada di bawah tanggung jawabnya.

7. Mampu melakukan proses evaluasi diri terhadap kelompok kerja yang berada di bawah tanggung jawabnya, dan mampu mengelola pembelajaran secara mandiri.
8. Mampu mendokumentasikan, menyimpan, mengamankan, dan menemukan kembali data untuk menjamin kesahihan dan mencegah plagiasi.

PATPI (2015) telah merumuskan kompetensi inti (pengetahuan, keterampilan dan kemampuan manajerial) dari lulusan sarjana teknologi pangan sebagai berikut:

1. Mampu merancang proses penambahan nilai terhadap bahan pangan berdasarkan prinsip ilmu pangan dengan memadukan berbagai unit operasi untuk menghasilkan produk pangan yang aman, bergizi, dan bermutu.
2. Menguasai pengetahuan tentang prinsip ilmu pangan/hasil pertanian (kimia dan analisis pangan, mikrobiologi dan keamanan pangan, rekayasa proses pengolahan pangan, biokimia pangan dan gizi) untuk diformulasikan dalam teknik perancangan proses secara terpadu.
3. Mampu berkomunikasi secara lisan dan tulisan tentang aspek teknis dan non-teknis, berfikir secara kritis dan bertanggung jawab atas pekerjaannya secara mandiri, bekerja dalam tim, berinteraksi dengan orang yang berbeda latar belakang, terampil dalam berorganisasi dan memimpin dalam berbagai situasi, memanfaatkan sumber informasi, serta memiliki komitmen terhadap profesionalisme dan nilai etika.

Ketiga aspek tersebut diperlukan bagi lulusan teknologi pangan agar memenuhi standar nasional pendidikan tinggi dan terbentuk kesetaraan kualifikasi lulusan pada jenjang dan program studi yang sama dan sesuai dengan bidangnya masing-masing (Permendikbud Nomor 3 Tahun 2020 tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi). Saat terjun ke dunia kerja, para lulusan tersebut mampu berkontribusi, bekerja sama, bersaing, dan memunculkan ide baru dan bermanfaat yang dibutuhkan seiring perkembangan zaman. Lulusan teknologi pangan yang bekerja atas dasar keahlian (*expertise*), kemahiran,

dan pengalaman yang didapatkan selama masa pendidikannya di pendidikan teknologi pangan dan dapat menunjukkannya dalam lingkup pekerjaan maka boleh disebut sebagai ahli atau pekerja profesional.

IFT (2018) juga merumuskan kompetensi lulusan ilmu dan teknologi pangan, yaitu menguasai pengetahuan bidang ilmu pangan (kimia dan analisis pangan, mikrobiologi dan keamanan pangan, rekayasa proses pengolahan pangan), dapat mengintegrasikan dan menerapkan pengetahuannya, mampu berkomunikasi dengan baik (lisan dan tulisan), dan menunjukkan profesionalisme dan kemampuan dalam memimpin.

1.6.2 Standar Kompetensi dan Capaian Pembelajaran

PATPI (2015) menetapkan standar kompetensi dan capaian pembelajaran dari program studi teknologi pangan yang dikelompokkan ke dalam ranah kompetensi kimia dan analisis pangan, mikrobiologi dan keamanan pangan, rekayasa dan proses pengolahan pangan, biokimia pangan, gizi dan kesehatan, ilmu pangan terapan, dan kecakapan hidup. IFT (2018) telah merevisi standar kompetensinya dengan mengelompokkan ranah kompetensi menjadi (1) kimia pangan, (2) mikrobiologi pangan, (3) keamanan pangan, (4) rekayasa dan proses pengolahan pangan, (5) ilmu sensori, (6) jaminan mutu pangan, (7) regulasi dan peraturan pangan, (8) statistika dan analisis data, (9) komunikasi bidang ilmu pangan, dan (10) profesionalisme dan kepemimpinan. Standar kompetensi tersebut kemudian diturunkan menjadi 54 capaian pembelajaran inti (*essential learning outcomes*).

Berdasarkan Standar Pendidikan PATPI (2015), capaian pembelajaran minimal yang harus dikuasai oleh lulusan program sarjana studi teknologi pangan atau program studi lain yang setara disajikan pada **Tabel 1.5**. Standar kompetensi/capaian pembelajaran ini menjadi rujukan bagi program studi teknologi pangan atau program studi lain yang setara untuk mengembangkan kurikulum pendidikannya.

Untuk mencapai standar kompetensi tersebut, pendidikan teknologi pangan harus difasilitasi prasarana dan sarana pembelajaran yang memadai. IFT (2018) mensyaratkan program studi teknologi pangan memiliki fasilitas laboratorium kimia/biokimia pangan, laboratorium mikrobiologi pangan, rekayasa dan pengolahan pangan, sensori, dan *pilot plant* pengolahan pangan. Fasilitas tersebut diperlukan untuk kegiatan praktikum dan penelitian.

Tabel 1.5 Capaian pembelajaran program pendidikan sarjana teknologi pangan untuk memenuhi kualifikasi lulusan sesuai KKNI jenjang enam

| No | Ranah Kompetensi Inti | Setelah menyelesaikan program pendidikan ini, lulusan mampu: |
|----|----------------------------------|---|
| 1. | Kimia dan analisis pangan | 1.1. Menjelaskan kejadian kimia utama yang mendasari sifat dan reaksi berbagai komponen pangan. 1.2. Menjelaskan cara pengendalian reaksi kimia yang terjadi di dalam bahan pangan. 1.3. Menjelaskan kaitan reaksi kimia dengan mekanisme kerusakan dan umur simpan bahan pangan. 1.4. Menjelaskan prinsip teknik dan metode analisis pangan. 1.5. Memiliki keterampilan dalam melakukan berbagai teknik analisis kimia dasar dan terapan pada bahan pangan. 1.6. Memilih teknik analisis pangan yang sesuai dengan karakteristik bahan dan kebutuhan. |
| 2. | Mikrobiologi dan keamanan pangan | 1.1. Mengidentifikasi mikroba patogen dan penyebab kerusakan pangan serta kondisi pertumbuhannya. 1.2. Menjelaskan faktor lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan mikroba. 1.3. Mengidentifikasi kondisi untuk menginaktivasi dan membunuh mikroba pembusuk dan patogen. 1.4. Menjelaskan prinsip pengawetan dan pengolahan pangan dengan proses fermentasi. 1.5. Menjelaskan dan memiliki keterampilan dalam melakukan teknik analisis mikrobiologi dalam bahan pangan. |

Tabel 1.5 Capaian pembelajaran program pendidikan sarjana teknologi pangan untuk memenuhi kualifikasi lulusan sesuai KKNI jenjang enam (lanjutan)

| No | Ranah Kompetensi Inti | Setelah menyelesaikan program pendidikan ini, lulusan mampu: |
|----|---------------------------------------|---|
| 3. | Rekayasa dan proses pengolahan pangan | <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Menjelaskan karakteristik bahan baku, ingridien dan bahan tambahan pangan serta pengaruhnya terhadap karakteristik produk pangan yang dihasilkan. 1.2. Menjelaskan mekanisme kerusakan bahan pangan dan mengidentifikasi cara pengendaliannya. 1.3. Menjelaskan kesetimbangan massa dan energi dalam proses pengolahan pangan. 1.4. Menjelaskan prinsip proses transfer panas dan masa dalam proses pengolahan pangan. 1.5. Menjelaskan prinsip unit operasi dan unit proses di industri pangan. 1.6. Mengidentifikasi unit operasi dan peralatan proses yang sesuai dalam proses pengolahan pangan. 1.7. Menjelaskan prinsip dan teknik penanganan dan pengolahan pangan, serta pengaruh parameter proses terhadap mutu, keamanan dan umur simpan produk pangan. 1.8. Menjelaskan karakteristik dan penggunaan bahan pengemas. 1.9. Menjelaskan persyaratan air untuk pengolahan pangan dan cara pengelolaan limbah dari pengolahan pangan. |
| 4. | Biokimia pangan, gizi dan kesehatan | <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Menjelaskan proses biokimia, konsep dasar ilmu gizi serta hubungan antara konsumsi pangan dengan status gizi dan kesehatan. 1.2. Menjelaskan proses pencernaan dan metabolisme zat gizi. 1.3. Menjelaskan perbedaan zat gizi dan pangan fungsional dalam hubungannya dengan kesehatan dan kebugaran 1.4. Menjelaskan perubahan zat gizi selama pengolahan dan penyimpanan. 1.5. Menjelaskan teknik laboratorium yang umum diaplikasikan dalam biokimia dan evaluasi nilai biologis pangan. |

Tabel 1.5 Capaian pembelajaran program pendidikan sarjana teknologi pangan untuk memenuhi kualifikasi lulusan sesuai KKNI jenjang enam (lanjutan)

| No | Ranah Kompetensi Inti | Setelah menyelesaikan program pendidikan ini, lulusan mampu: |
|----|-----------------------|---|
| 5. | Ilmu pangan terapan | <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Menerapkan dan menginkorporasikan prinsip ilmu pangan dalam praktik dan kondisi nyata di industri pangan. 1.2. Menguasai prinsip dasar evaluasi sensori/penilaian inderawi bahan pangan. 1.3. Memilih teknik pengemasan dan penyimpanan pangan dalam memperpanjang umur simpan produk pangan. 1.4. Menerapkan prinsip statistika dan komputer di bidang pangan. 1.5. Mengembangkan produk pangan berdasarkan prinsip ilmu pangan. 1.6. Menerapkan sistem penjaminan mutu dalam rantai proses pengolahan pangan. 1.7. Menerapkan prinsip pembersihan dan sanitasi dalam pengolahan pangan. 1.8. Menerapkan peraturan dan manajemen keamanan pangan. 1.9. Memahami isu mutakhir dalam bidang pangan. |
| 6. | Kecakapan hidup | <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Mendemonstrasikan kemampuan komunikasi lisan dan tulisan yang berkaitan dengan aspek teknis dan non-teknis. 1.2. Berfikir kritis, mengidentifikasi akar masalah dan pemecahannya secara komprehensif, serta mengambil keputusan yang tepat berdasarkan analisis informasi dan data. 1.3. Memiliki integritas profesional dan berkomitmen terhadap nilai etika. 1.4. Memiliki sikap untuk belajar seumur hidup (<i>life-long learning</i>). 1.5. Memimpin dan bekerja dalam tim, mandiri dan bertanggung jawab terhadap pekerjaannya. 1.6. Bekerja sama dengan individu yang memiliki latar belakang sosial dan budaya yang beragam. 1.7. Mencari, merunut, menyarikan informasi ilmiah dan non-ilmiah secara mandiri dan kritis. 1.8. Beradaptasi terhadap situasi yang dihadapi dan menangani berbagai kegiatan secara simultan pada berbagai kondisi. |

Sumber: PATPI (2015)

1.7 Ringkasan

1. Pangan merupakan kebutuhan dasar manusia. Ilmu dan teknologi pangan memiliki peran penting dalam penyediaan pangan bagi umat manusia agar pangan yang dihasilkan bermutu, aman, beragam, menyehatkan dan sesuai keyakinan/kepercayaan konsumen.
2. Ilmu pangan merupakan disiplin ilmu yang menerapkan dasar ilmu matematika, kalkulus, biologi, fisika, kimia dan keteknikan dalam mempelajari sifat bahan pangan, penyebab kerusakan bahan pangan dan prinsip yang mendasari suatu pengolahan dan pengawetan pangan. Teknologi pangan merupakan bidang keahlian dan bidang profesi yang mencakup aplikasi dari ilmu dasar, yaitu kimia, fisika dan mikrobiologi, serta prinsip keteknikan, ekonomi dan manajemen pada seluruh mata rantai penanganan bahan pangan mulai dari tahap pemanenan sampai ke tangan konsumen.
4. Industri pangan merupakan bidang bisnis yang berperan dalam penyediaan pangan bagi masyarakat, dan berkontribusi besar dalam perkembangan perekonomian nasional, dan mengalami perkembangan yang pesat dari tahun ke tahun.
5. Ilmu dan teknologi pangan mencakup ilmu dasar (kimia, kimia organik, biokimia, biologi, mikrobiologi, ilmu gizi, kalkulus, fisika, statistika, dan komunikasi). Ilmu pangan mencakup kimia dan analisis pangan, biokimia, gizi dan kesehatan, mikrobiologi pangan, keamanan pangan, rekayasa dan proses pengolahan pangan, dan ilmu terapan (ilmu sensori, pengemasan dan penyimpanan, jaminan mutu pangan dan peraturan dan regulasi pangan).
6. Lulusan program pendidikan teknologi pangan memiliki kemampuan dalam mengaplikasikan prinsip ilmu dan teknologi pangan dalam rantai proses produksi pangan di industri pangan, sejak pascapanen hingga produk pangan dihasilkan. Pekerjaan yang dapat dilakukan oleh lulusan teknologi pangan di industri pangan antara lain adalah di divisi pengadaan/pembelian bahan, penyimpanan/penggudangan,

pengembangan produk, produksi, *regulatory affair*, *quality control*, *quality assurance*, transportasi dan distribusi, dan pemasaran. Bidang pekerjaan lain dari lulusan teknologi pangan adalah bidang pendidikan, lembaga swadaya masyarakat, pengawas pangan, instansi pemerintah yang terkait bidang pangan, wirausaha, dsb

7. Lulusan program sarjana atau diploma 4 bidang teknologi pangan harus memiliki sikap, pengetahuan umum, kompetensi umum, pengetahuan dan keterampilan khusus sebagaimana ditetapkan dalam Standar Nasional Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti Nomor 3 Tahun 2020). Di tingkat nasional, kemampuan khusus (pengetahuan, keterampilan kerja dan sikap) dari lulusan teknologi pangan dapat merujuk pada standar kompetensi yang direkomendasikan oleh PATPI. Ranah kompetensi berdasarkan standar PATPI mencakup (1) Kimia dan analisis pangan; (2) Mikrobiologi dan keamanan pangan; (3) Rekayasa dan proses pengolahan pangan; (4) Biokimia pangan, gizi dan kesehatan, (5) Ilmu pangan terapan; dan (6) Kecakapan hidup.
8. Di tingkat internasional, salah satu standar kompetensi yang dapat dijadikan sebagai rujukan adalah yang direkomendasikan oleh IFT (2018). IFT mengelompokkan standar kompetensi menjadi (1) Kimia pangan, (2) Mikrobiologi pangan, (3) Keamanan pangan, (4) Rekayasa dan proses pengolahan pangan, (5) Ilmu sensori, (6) Jaminan mutu pangan, (7) Regulasi dan peraturan pangan, (8) Statistika dan analisis data, (9) Komunikasi bidang ilmu pangan, dan (10) Profesionalisme dan kepemimpinan.

1.8 Pustaka

- [IFT] Institute of Food Technologists. 2011. *Resource Guide for Approval and ReApproval of Undergraduate Food Science Programs*.
- [IFT] Institute of Food Technologists. 2018. *Guidelines for Initial IFT Approval of Undergraduate Food Science and Food Technology Programs*. Higher Education Review Board IFT.
- Kemenperin. 2018. *Kebijakan Sektor Industri Makanan dan Minuman dalam Rangka Implementasi Roadmap Industri 4.0*.
- Mahardika RB. 2018. *Mengenal Industri Makanan Dan Minuman Di Era Industri 4.0*. Forbil Institute
- [PATPI] Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia. 2015. *Standar Pendidikan Sarjana Teknologi Pangan/Teknologi Hasil Pertanian*.
- Peraturan Presiden Nomor 18 Tahun 2012 tentang Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia.
- Permendikbud Nomor 3 Tahun 2020 tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi.
- Potter NN. 1978. *Food Science*. Avi Publishing Co., Westport, Connecticut.

Latihan

Petunjuk: Untuk memahami materi pada Bab 1 ini, kerjakan soal berikut. Pilih satu jawaban yang benar.

1. Asosiasi profesi ilmu dan teknologi pangan di Asia Tenggara yang beranggotakan himpunan profesi dari berbagai negara adalah:
 - a. IFT
 - b. IUFoST
 - c. FIFSTA
 - d. CIFST

2. Berikut yang merupakan ilmu dasar yang diperlukan dalam ilmu dan teknologi pangan, kecuali:
 - a. Kimia
 - b. Biologi
 - c. Fisika
 - d. Ekonomi
3. Yang termasuk lingkup ilmu rekayasa proses pangan adalah:
 - a. Proses termal
 - b. Perubahan komponen pangan selama pengolahan
 - c. Pangan fungsional
 - d. Nilai gizi pangan
4. Ilmu dasar yang diperlukan untuk mengetahui tingkah laku aliran fluida di dalam pipa adalah:
 - a. Kimia
 - b. Fisika
 - c. Biologi
 - d. Mikrobiologi
5. Agar produk yang dihasilkan oleh industri pangan harus memenuhi standar/spesifikasi mutu dan keamanan pangan yang ditetapkan, maka produk harus dilakukan pengujian. Pekerjaan ini dilakukan oleh seorang lulusan teknologi pangan di divisi:
 - a. Divisi *quality assurance* produksi
 - b. Divisi produksi
 - c. Divisi regulasi
 - d. Divisi *quality control*

6. Bila Anda ingin mengevaluasi metabolisme komponen gizi di dalam tubuh, maka ranah bidang ilmu pangan yang perlu diketahui adalah:
 - a. Mikrobiologi pangan
 - b. Rekayasa proses pangan
 - c. Proses pengolahan pangan
 - d. Biokimia pangan
7. Berikut ini yang tidak termasuk lingkup bidang keilmuan kimia pangan:
 - a. Analisis pangan
 - b. Komposisi bahan pangan
 - c. Reaksi kimia antar komponen pangan
 - d. Pengendalian pertumbuhan mikroba
8. Berikut kompetensi inti bidang ilmu dan teknologi pangan, kecuali:
 - a. Kimia pangan
 - b. Mikrobiologi pangan
 - c. Manajemen
 - d. Ilmu pangan terapan
9. Berikut ini yang termasuk cakupan bidang keilmuan mikrobiologi pangan:
 - a. Pengembangan pangan probiotik
 - b. Identifikasi penyebab kerusakan pangan
 - c. Identifikasi penyebab keracunan pangan
 - d. Semua jawaban di atas benar

10. Sikap yang harus dimiliki oleh seorang lulusan teknologi pangan adalah:
 - a. Dapat bekerja mandiri
 - b. Membuat keputusan berdasarkan informasi dan data
 - c. Mudah beradaptasi dengan situasi terkini
 - d. Semua jawaban di atas benar

Tugas Mandiri (*Challenge Questions*)

1. Identifikasi tiga contoh profesi di bidang ilmu dan teknologi pangan yang dapat dikembangkan di era revolusi industri 4.0.
2. Cari dalam pustaka contoh bidang penelitian terbaru yang terkait dengan pengembangan ilmu dan teknologi pangan.
3. Berikan masing-masing tiga contoh industri pengolahan pangan yang menghasilkan ingridien dari bahan baku berbasis asal tanaman, hewan, dan laut.

Bab

2

Aplikasi Ilmu Dasar dalam Ilmu dan Teknologi Pangan

*Eko Hari Purnomo, Nur Hidayat,
Harsi D Kusumaningrum, dan Feri Kusnandar*

2.1 Pendahuluan

Seperti dijelaskan dalam Bab 1, ilmu dan teknologi pangan merupakan ilmu terapan dari ilmu dasar. IFT (2018) merekomendasikan ilmu dasar yang diperlukan untuk mempelajari ilmu pangan, yaitu kimia, kimia organik, biokimia, kalkulus, fisika, biologi, mikrobiologi, statistika dan analisis data, serta komunikasi lisan dan tulisan (lihat kembali **Tabel 1.2, Bab 1**). Bidang ilmu dasar lainnya yang diperlukan dalam ilmu pangan adalah kimia analitik dan kimia fisik sebagaimana direkomendasikan oleh PATPI (2015).

Bab 2 ini membahas secara garis besar cakupan ilmu dasar dan contoh aplikasinya di bidang ilmu dan teknologi pangan, sehingga dapat dipahami mengapa ilmu dasar tersebut perlu dikuasai oleh mahasiswa yang mendalami ilmu dan teknologi pangan. Bab ini terutama membahas ilmu dasar kalkulus, fisika, kimia, kimia organik, biologi, dan mikrobiologi. Pembahasan terutama mengilustrasikan contoh penerapan ilmu dasar di bidang ilmu dan teknologi pangan. Ilmu dasar lain, yaitu biokimia dan ilmu gizi dibahas di Bab 5, statistika dan analisis data di Bab 7 (buku Jilid 2), dan dasar komunikasi tulisan dan lisan dibahas di Bab 8 (buku jilid 2). Untuk pendalaman mengenai ilmu dasar, mahasiswa disarankan untuk mempelajari referensi yang relevan dengan topik yang dibahas.

2.2 Kalkulus

Pemahaman tentang ilmu dasar terutama matematika dan kalkulus sangat membantu memformulasikan permasalahan dalam persamaan matematika dan kemudian menyelesaikan persamaan tersebut untuk memperoleh jawaban kuantitatif. Namun yang tidak kalah penting adalah memaknai proses yang terjadi dan arti dari jawaban atau hasil akhir yang diperoleh. Pemahaman tersebut membantu dalam mengaplikasikan konsep dasar kalkulus dalam berbagai situasi yang berbeda yang dapat ditemui di bidang teknologi pangan. Ilmu kalkulus yang diperlukan adalah limit, turunan, diferensiasi, model persamaan linier, kuadratik dan polinomial, optimisasi, integral, fungsi trigonometri, dan fungsi eksponensial.

Ilmu kalkulus terdiri atas dua cabang ilmu, yaitu turunan dan integral. Turunan berkaitan erat dengan kemiringan dari suatu kurva, sedangkan integral dengan penentuan luasan di bawah kurva. Meskipun diterapkan pada hampir semua aspek teknologi pangan, kalkulus memegang peranan penting terutama di bidang rekayasa dan pengolahan pangan.

Kalkulus sebagai ilmu dasar membantu dalam memberikan penjelasan kuantitatif di bidang ilmu pangan. Sebagai contoh, berbagai aplikasi teknologi diaplikasikan untuk meningkatkan keawetan atau umur simpan pangan. Untuk dapat menduga umur simpan suatu produk pangan, maka laju kerusakan pangan harus ditentukan secara tepat. Laju suatu reaksi pada dasarnya adalah kemiringan kurva hubungan antara suatu parameter mutu tertentu (misalnya kekentalan) dengan waktu penyimpanan. Di kasus yang lain, keamanan produk yang disterilisasi dengan menggunakan panas dievaluasi berdasarkan dosis panas yang diterima oleh produk selama proses pemanasan dalam wadah tertutup. Dosis panas yang diterima oleh produk tersebut diperoleh dari integrasi luasan kurva hubungan antara fungsi suhu (letalitas) dan waktu pemanasan. Luasan suatu kurva tentunya dapat diselesaikan dengan menggunakan konsep integral.

2.2.1 Turunan

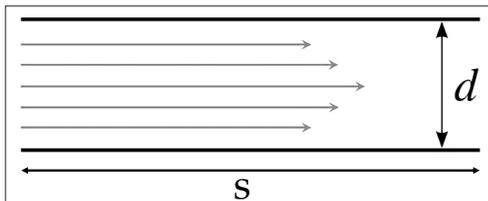
Turunan dapat dipahami sebagai perubahan nilai suatu fungsi ($f(x)$ atau y) pada saat terjadi perubahan nilai variabel bebas (x) di mana perubahan variabel bebas tersebut nilainya sangat kecil atau mendekati nol. Secara matematis turunan dapat dijelaskan dengan persamaan (2.1) berikut:

$$f'(x) = \frac{\partial y}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta) - f(x)}{\Delta x} \quad (2.1)$$

Contoh klasik dari konsep turunan adalah dalam penetapan kecepatan suatu benda yang bergerak dari satu titik ke titik yang lain yang terpisahkan oleh jarak tertentu dalam periode waktu tertentu. Kecepatan adalah jarak yang ditempuh dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut yang tidak lain adalah kemiringan dari kurva jarak sebagai fungsi dari waktu. Dalam bahasa matematika, deskripsi di atas dapat ditulis sebagai $\Delta s / \Delta t$, di mana Δs adalah jarak dan Δt adalah waktu. Apabila delta perubahan jarak dan waktu dibuat sangat kecil (ds/dt) maka didapatkan informasi kecepatan di setiap waktu dan bukan kecepatan rata-rata. Konsep turunan ini juga banyak diterapkan di bidang pangan terutama terkait pertumbuhan dan inaktivasi mikroba, kerusakan parameter mutu, dan laju reaksi kimia dan biokimia.

Bakteri adalah salah satu jenis mikroba yang sering bertanggung jawab terhadap kerusakan pangan. Pangan yang bermutu menjadi tidak layak dikonsumsi karena mikroba tumbuh di bahan pangan tersebut dan menimbulkan tanda kerusakan seperti bau busuk, tekstur yang lembek, atau warna yang menyimpang. Tanda kerusakan tersebut umumnya muncul setelah bakteri mencapai jumlah tertentu. Dengan memahami pola pertumbuhan mikroba dalam suatu pangan dan kemampuan untuk menentukan laju pertumbuhan mikroba maka jumlah mikroba setelah masa inkubasi tertentu dapat ditentukan dengan mudah. Dengan kata lain, pengetahuan tentang laju pertumbuhan mikroba yang merupakan aplikasi konsep turunan memfasilitasi ahli teknologi pangan untuk memprediksi umur simpan produk yang rusak sebagai akibat dari pertumbuhan mikroba. Pendekatan yang sama juga bisa digunakan untuk jenis kerusakan yang lain, misalnya karena ketengangan, migrasi kelembaban, reaksi pencokelatan, dan sebagainya.

Aplikasi lain konsep turunan di bidang pengolahan dan pengawetan pangan misalnya adalah dalam evaluasi kecukupan proses sterilisasi susu secara aseptik dalam pipa *holding* (**Gambar 2.1**). Tingkat kecukupan panas yang digunakan untuk sterilisasi susu ditentukan oleh dua parameter utama yaitu suhu dan waktu sterilisasi. Waktu sterilisasi pada susu yang mengalir pada suatu pipa *holding* tidak lain adalah waktu tinggal (*residence time*) susu dalam pipa yang suhunya dipertahankan konstan pada suhu proses tertentu (misalnya 140°C). Waktu tinggal tersebut dapat dihitung dengan mudah apabila panjang pipa (s) dan kecepatan aliran susu diketahui. Panjang pipa dapat dengan mudah diukur dengan menggunakan penggaris. Kecepatan fluida diperoleh dari debit aliran yang merupakan turunan volume (V) terhadap waktu (t) atau dapat ditulis sebagai dV/dt . Kecepatan rata-rata susu (\bar{v}) dengan debit dV/dt yang mengalir dalam pipa *holding* dengan diameter d adalah $\bar{v} = (dV/dt)/(\pi d^2/4)$. Namun untuk faktor keamanan, kecepatan yang umumnya digunakan dalam perhitungan kecukupan proses sterilisasi adalah kecepatan maksimal yang nilainya adalah dua kali kecepatan rata-rata untuk susu ($v_{\max}=2 \bar{v}$). Dengan diketahuinya waktu tinggal minimal dari data kecepatan maksimal dan juga informasi suhu produk, maka kecukupan proses sterilisasi susu dapat ditentukan.



Gambar 2.1 Skema aliran susu dalam pipa *holding* selama proses sterilisasi menggunakan sistem aseptik

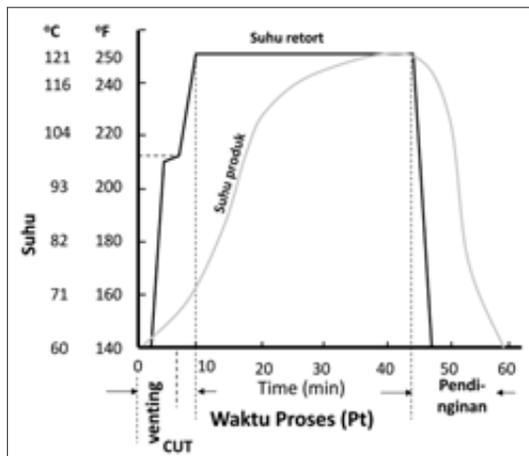
2.2.2 Integral

Konsep integral menggambarkan luasan area di bawah suatu kurva yang dibentuk oleh fungsi $f(x)$ yang secara matematis dapat dituliskan dalam persamaan (2.2) ($F(x)$ adalah persamaan hasil integrasi fungsi $f(x)$ serta a dan b adalah batas integrasinya).

$$F(x) = \int_a^b f(x) = F(b) - F(a) \tag{2.2}$$

Contoh aplikasi integral di bidang teknologi pangan dapat ditemukan pada perhitungan nilai sterilitas atau F_0 . Nilai F_0 digunakan sebagai parameter utama untuk menentukan pemenuhan standar minimum kecukupan proses sterilisasi. Nilai F_0 ini menggambarkan total dosis panas yang diterima produk selama proses pemanasan yang merupakan integrasi fungsi suhu produk dari awal sampai akhir proses sterilisasi. Proses sterilisasi makanan kaleng dimulai dengan tahapan *venting* setelah produk dimasukkan dalam retort untuk membuang udara yang terjebak di dalam retort. Proses pemanasan dilanjutkan sampai suhu retort yang diharapkan tercapai dan dipertahankan konstan selama waktu tertentu sebelum akhirnya dilakukan proses pendinginan (**Gambar 2.2**). Nilai F_0 selama proses sterilisasi tersebut dapat diformulasikan dalam persamaan (2.3) (T adalah suhu produk di titik terdingin, °C). Dari persamaan 2.3 tersebut terlihat jelas bahwa nilai F_0 adalah integrasi fungsi suhu produk di titik terdingin dari mulai saat pertama kali proses pemanasan dimulai sampai dengan berakhirnya proses pendinginan.

$$F_0 = \int_0^t 10^{\frac{T-121.1}{10}} dt \tag{2.3}$$



Gambar 2.2 Perubahan suhu retort dan suhu produk selama proses sterilisasi makanan dalam kaleng

2.3 Fisika

Fisika dapat dipahami sebagai ilmu tentang materi dan energi di alam, dan sangat erat kaitannya dengan ilmu dan teknologi pangan. Di antara ilmu terapan yang terkait dengan bidang fisika adalah rekayasa proses pangan dan analisis fisik. Tentunya fisika sangat berbeda dengan biologi yang fokus ke makhluk hidup sedangkan fisika memberikan perhatian kepada interaksi antara benda mati. Perkembangan keilmuan saat ini sangat memungkinkan untuk mengawinkan fisika dan biologi untuk memahami alam secara lebih utuh. Hal ini bisa diamati pada pengamatan sifat mekanis sel dengan teknik mikroeologi untuk menentukan apakah sel tersebut merupakan sel sehat atau sel kanker. Prinsip ilmu fisika dasar yang diperlukan adalah sifat fisik dan hukum yang meliputi mekanika, kerja dan energi, fluida, termodinamika, gelombang elektromagnetik, optik, relativitas, dan fisika modern.

2.3.1 Fisika Dalam Proses Pengolahan

Salah satu jenis energi yang banyak digunakan di industri pangan adalah dalam bentuk energi panas. Energi panas digunakan misalnya dalam proses pemanggangan, perebusan, penggorengan, pengeringan, dan lain sebagainya. Untuk dapat dimanfaatkan pada berbagai proses pengolahan maka energi harus dipindahkan dari satu titik ke titik yang lain atau dari satu media ke bahan yang lain.

Pindah panas terjadi melalui berbagai mekanisme yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Pindah panas secara konduksi terjadi tanpa perpindahan materi. Panas dipindahkan dari satu molekul ke molekul di sebelahnya. Pindah panas secara konduksi umumnya terjadi pada bahan padat. Pindah panas secara konveksi umumnya terjadi pada bahan pangan yang bersifat cair. Pada proses pindah panas secara konveksi, perpindahan panas disertai dengan perpindahan materi. Pindah panas yang terjadi tanpa melalui medium apapun adalah radiasi. Dalam hal ini, panas dipindahkan melalui gelombang elektromagnetik.

Contoh nyata aplikasi pindah panas adalah dalam proses sterilisasi tuna dalam kaleng. Panas harus dipindahkan secara bertahap dari medium pemanas ke dalam ikan tuna untuk mematangkan daging ikan dan juga membunuh mikroba baik pembusuk maupun patogen yang menyebabkan penyakit. Medium pemanas yang umum digunakan di industri pangan adalah uap panas. Energi dari uap panas berpindah secara konveksi ke permukaan luar kaleng. Selanjutnya panas berpindah secara konduksi dari permukaan luar kaleng menuju permukaan dalam kaleng baru kemudian dilanjutkan dengan konduksi melalui daging ikan tuna.

Pemahaman tentang bagaimana panas berpindah dari satu titik ke titik yang lain bermanfaat, misalnya untuk memprediksi suhu yang dicapai oleh suatu produk setelah pemanasan pada suhu tertentu dan dalam periode waktu tertentu. Suhu akhir produk sering terkait erat dengan tingkat keamanan maupun tingkat kematangan yang ingin dicapai. Situasi lain yang mungkin dihadapi adalah apabila dihendaki suatu titik pada produk pangan mencapai suhu tertentu, maka pemahaman tentang pindah panas membantu dalam memprediksi waktu pemanasan yang diperlukan. Dengan kemampuan memprediksi waktu pemanasan yang dibutuhkan, maka seorang ahli teknologi pangan dapat mendesain waktu proses untuk satu siklus produksi, sumber daya yang diperlukan, dan memprediksi kapasitas produksi dari retort yang digunakan.

Dengan memahami bagaimana panas berpindah dan faktor apa saja yang memengaruhi kecepatan perpindahan panas, seorang ahli teknologi pangan juga dapat melakukan optimasi proses pindah panas. Untuk mendapatkan produk dengan kualitas yang baik dan juga menghemat energi serta meningkatkan produktivitas, proses pindah panas yang cepat sangat diharapkan.

Di beberapa kasus yang lain, pindah panas juga perlu dihindari, misalnya kehilangan panas selama proses transportasi uap panas. Kehilangan panas dari pipa transportasi uap panas memiliki dampak ekonomi cukup signifikan bagi industri pangan. Harus dipahami bahwa energi adalah bentuk lain dari uang karena untuk menghasilkan energi diperlukan bahan bakar yang harus dibayar oleh industri pangan. Aplikasi fisika di bidang teknologi pangan juga

dapat diamati pada proses analisis sifat fisik pangan misalnya sifat rheologi, proses ekstraksi menggunakan fluida superkritis, dan pengawetan produk menggunakan teknologi pengeringan beku.

2.3.2 Fisika untuk Analisis

Gaya merupakan salah satu konsep fisika yang sudah sangat dikenal. Bahan pangan memberikan respons yang berbeda saat diaplikasikan suatu gaya kepada bahan pangan tersebut. Pangan yang sifatnya cair misalnya madu, maka bahan tersebut mengalir pada saat diaplikasikan gaya. Respons yang sangat berbeda ditunjukkan apabila bahan pangan yang merupakan suatu benda padat (misalnya bakso). Gaya yang diaplikasikan ke bakso hanya mengakibatkan perubahan bentuk atau deformasi. Bidang ilmu yang mempelajari tentang aliran dan perubahan bentuk dikenal sebagai rheologi.

Sifat rheologi dari bahan pangan biasanya bersifat unik. Pemahaman tentang sifat rheologi sangat membantu seorang ahli teknologi pangan untuk misalnya mengidentifikasi adanya kemungkinan pemalsuan, mendesain produk yang sesuai dengan karakteristik yang diharapkan konsumen, mengevaluasi kestabilan mutu produk pangan, dan bahkan mendesain proses untuk menjamin keamanan dan konsistensi mutu produk.

Air murni dan sirup adalah dua bahan pangan yang sama-sama bersifat cair. Namun, kita dengan mudah dapat menyatakan bahwa sirup lebih kental dibandingkan air. Konsep kekentalan atau viskositas merupakan aplikasi fisika di bidang rheologi pangan. Viskositas dapat dimaknai sebagai tahanan yang ditunjukkan oleh suatu bahan cair untuk mengalir saat diaplikasikan suatu gaya kepada bahan tersebut. Semakin besar tahanan yang diberikan oleh bahan cair untuk mengalir maka bahan tersebut semakin kental atau viskositasnya semakin tinggi. Sir Isaac Newton menggambarkan viskositas (μ) dengan persamaan $\mu = \tau / \dot{\gamma}$ di mana τ adalah *shear stress* (tegangan geser) dan $\dot{\gamma}$ adalah *shear rate* (laju geser). *Shear stress* adalah parameter yang berbanding lurus dengan gaya yang diaplikasikan, sedangkan laju geser berbanding lurus dengan kecepatan putaran batang pengaduk (*spindle*) yang digunakan untuk mengukur viskositas. Dalam pengertian yang lebih sederhana, seorang ahli teknologi pangan dapat menganalisis kekentalan produk pangan dengan

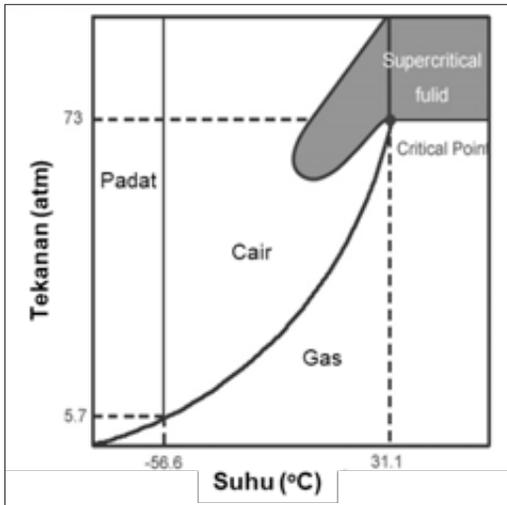
mengukur besarnya gaya yang diperlukan untuk memutar *spindle* dengan kecepatan tertentu. Analisis viskositas seperti dijelaskan di atas dapat digunakan untuk mengetahui jika kadar gula dalam sirup telah dikurangi untuk mendapatkan keuntungan ekonomis.

2.3.3 Fisika dalam Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi adalah proses untuk mengambil suatu komponen dari suatu matrik bahan. Proses pengambilan minyak dari buah sawit adalah salah satu contoh proses ekstraksi di bidang pangan. Proses ekstraksi pada umumnya dilakukan dengan cara merendam hancuran bahan dalam cairan pelarut yang melarutkan komponen tertentu ke dalam cairan pelarut tersebut. Komponen tersebut selanjutnya dipisahkan dari pelarutnya dengan proses penguapan menggunakan panas. Kondisi seperti ini memberikan dampak kurang baik terhadap kualitas komponen yang diekstrak karena efek negatif dari aplikasi termal yang diterima selama proses penguapan zat pelarut.

Berdasarkan pengetahuan sifat fisik suatu materi misalnya karbon dioksida (CO_2) pada berbagai kombinasi suhu dan tekanan, ilmuwan menemukan bahwa karbondioksida bisa berada pada fase padat, gas, cair, dan superkritis (**Gambar 2.3**). Titik kritis yang menandai dimulainya fase kritis merupakan akhir dari garis kesetimbangan antara fase cair atau likuid dan fase gas. Dengan melewati titik kritis ini, fase likuid dan fase gas sudah tidak bisa dibedakan lagi. Dari gambar tersebut tampak bahwa CO_2 pada suhu di atas $31,1^\circ\text{C}$ dan tekanan di atas 73 atm berada pada fase superkritis atau dikenal sebagai fluida superkritis. Gas CO_2 superkritis memiliki sifat-sifat seperti gas tetapi masih dapat melarutkan komponen tertentu seperti halnya likuid. Kombinasi dari sifat gas CO_2 pada suhu rendah dan sifat cairan pada tekanan tinggi membuat CO_2 mudah untuk berpenetrasi ke jaringan bahan pangan tanpa hambatan tegangan permukaan dan juga mudah untuk memisahkannya dari bahan yang diekstrak. Kombinasi dari sifat gas dan likuid ini dimanfaatkan dalam prinsip ekstraksi menggunakan fluida super kritis (*supercritical fluid extraction*).

Ekstraksi menggunakan fluida superkritis sudah diterapkan pada proses ekstraksi kafein dari biji kopi, penghilangan kolesterol dari lemak, dan ekstraksi komponen *flavor* dan rempah-rempah. Salah satu keuntungan utama dari ekstraksi menggunakan fluida superkritis adalah suhu yang dijaga relatif rendah (sekitar 31,1°C) sehingga tidak merusak komponen yang diekstrak. Lebih lanjut, pemisahan pelarut dari komponen yang diekstrak dapat dilakukan dengan mudah melalui proses penurunan tekanan. Penurunan tekanan tersebut secara otomatis mengubah pelarut menjadi gas. Pemahaman dan penggunaan diagram fase CO₂ untuk proses ekstraksi fluida superkritis adalah gambaran nyata aplikasi fisika dalam proses pangan.

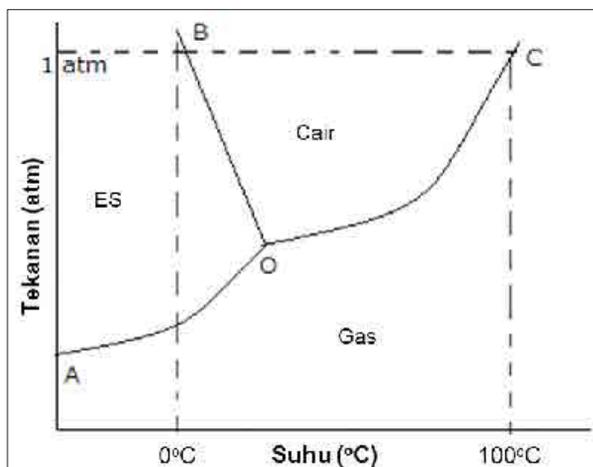


Gambar 2.3 Diagram fase dari karbon dioksida

2.3.4 Fisika dan Pengawetan

Ilmu fisika juga diterapkan di teknologi pangan dalam rangka proses pengawetan pangan. Bahan pangan segar pada umumnya cepat mengalami kerusakan karena kandungan airnya yang relatif tinggi. Air yang banyak terdapat pada produk pangan dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroba yang selanjutnya merusak bahan pangan itu sendiri. Telah lama diketahui bahwa salah satu cara untuk membuat bahan pangan menjadi awet adalah dengan melakukan proses pengeringan.

Proses pengeringan pada prinsipnya adalah proses membuang sebagian besar air dari produk pangan dengan cara menguapkan air tersebut menjadi gas. Dalam **Gambar 2.4**, proses pengeringan pada dasarnya adalah proses untuk mengubah fase air dari fase cair ke fase gas. Proses ini dapat dicapai dengan menggunakan oven pengering di mana udara panas dan kering mengalir ke produk, sehingga air dari produk menjadi gas dan terbawa dalam udara kering. Teknik pengeringan konvensional seperti ini sering berdampak buruk terhadap kualitas produk yang dikeringkan sebagai akibat dari tingginya suhu yang diaplikasikan.



Gambar 2.4 Diagram fase air

Apabila **Gambar 2.4** dicermati dengan baik, proses pengeringan yang tujuannya adalah untuk mengubah air dari fase cair ke fase gas sebenarnya bisa dicapai tidak hanya dengan meningkatkan suhu. Untuk dapat berubah menjadi gas, air dapat menempuh alternatif jalur lain yaitu dengan lebih dulu menjadi fase padat dan kemudian menyublim menuju fase gas. Hal ini dapat dicapai dengan membekukan air yang ada dalam bahan pangan melalui penurunan suhu melewati titik beku air dan dilanjutkan dengan penurunan tekanan untuk mendorong agar es yang telah terbentuk mengalami sublimasi menjadi gas. Proses ini dikenal dengan pengeringan beku (*freeze drying*) yang umum digunakan pada produk yang sensitif terhadap perlakuan panas. Produk yang dikeringkan dengan teknik pengeringan beku memiliki *flavor*,

citarasa, tekstur, dan nilai gizi yang mendekati produk segarnya saat direhidrasi kembali. Sekali lagi disini ditunjukkan bagaimana ilmu fisika sangat berperan dalam teknologi pangan, khususnya untuk meningkatkan keawetan produk melalui proses pengeringan.

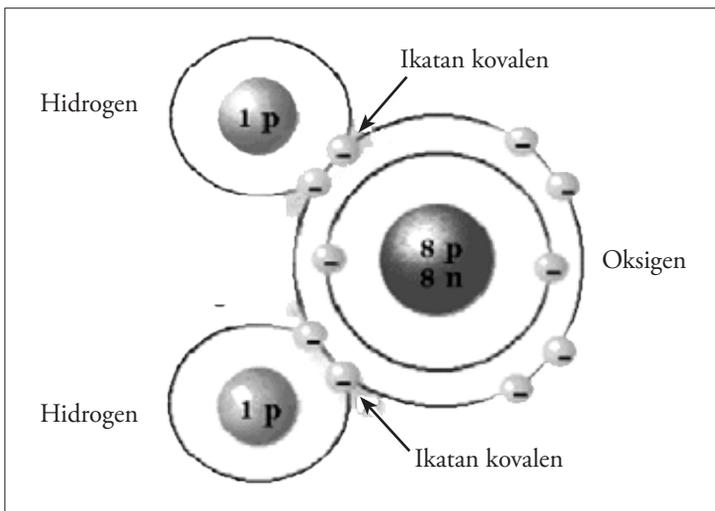
2.4 Kimia

Kimia umum yang sangat terkait dengan pembahasan kimia komponen pangan adalah prinsip dasar sifat kimia dan fisik dan transformasi bahan yang meliputi energi dan penggunaannya, hukum gas, teori molekul kinetik, senyawa logam, non-logam atau metaloid yang terdapat dalam tabel periodik unsur, ikatan kimia senyawa anorganik/organik (struktur Lewis, ikatan ion, ikatan kovalen tunggal/rangkap, ikatan hidrogen, ikatan koordinat, dan sifat elektronegativitas), bentuk molekul (linier, trigonal planar, tetrahedral, trigonal bipiramidal, atau oktahedral), teori valensi, dan teori orbital molekul (*orbital bonding* dan *antibonding*). Pengetahuan kimia anorganik ini penting pada saat membahas struktur kimia komponen pangan, reaksi-reaksi kimia yang melibatkan komponen organik, prinsip keseimbangan dan perubahan kimia yang meliputi kesetimbangan kimia, kimia asam/basa, dan kesetimbangan ionik lainnya, elektrokimia, termodinamika kimia dasar dan kinetika. Bidang ilmu kimia yang juga diperlukan adalah kimia analitik (prinsip analisis dasar kimia, pembuatan larutan dan perhitungan konsentrasi larutan, dan pengenalan instrumentasi) dan kimia fisik (di antaranya termodinamika, kesetimbangan kimia, dan kinetika reaksi).

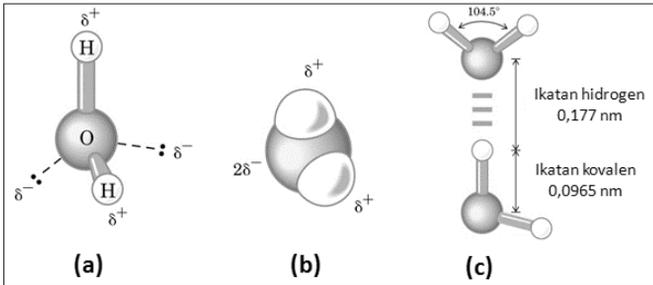
Aplikasi ilmu kimia ini banyak ditemui dalam pembahasan yang luas, baik bidang kimia pangan, analisis pangan, biokimia pangan, dasar keteknikan pangan, dan mikrobiologi pangan, yang contohnya dapat dilihat pada bab yang terkait. Bidang ilmu dan teknologi pangan yang juga bersinggungan dengan bidang ilmu kimia adalah karakteristik bahan pangan, pengolahan pangan, pengemasan dan penyimpanan pangan. Berikut ini beberapa contoh aplikasi ilmu kimia dalam bidang ilmu dan teknologi pangan.

2.4.1 Struktur Atom, Struktur Molekul, dan Ikatan Kimia

Pemahaman mengenai struktur atom, bentuk molekul, dan ikatan kimia sangat membantu dalam memahami struktur molekul komponen pangan. Sebagai contoh, molekul air dibentuk oleh atom hidrogen (H) dan oksigen (O). Hidrogen memiliki 1 elektron, sedangkan oksigen memiliki 8 elektron dengan 6 elektronnya terdapat pada kulit terluar. Kedua atom ini dapat membentuk ikatan kovalen, sehingga membentuk molekul H_2O (**Gambar 2.5**). Molekul ini membentuk struktur tetrahedral yang bersifat polar, di mana hidrogen cenderung bermuatan positif, dan oksigen cenderung bermuatan negatif. Akibat muatan polar ini, maka molekul air dapat berikatan satu sama lain melalui ikatan hidrogen (**Gambar 2.6**). Adanya ikatan hidrogen ini menyebabkan ikatan molekul air relatif kuat sehingga memiliki titik didih yang tinggi, karena untuk mengubah air dari fase cair menjadi fase uap diperlukan energi untuk memutus ikatan hidrogen antar molekul air.



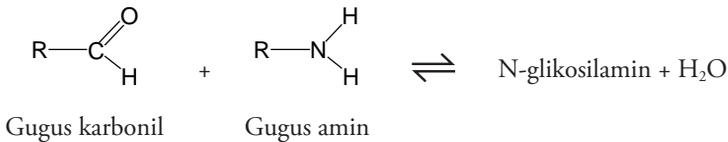
Gambar 2.5 Pembentukan ikatan kovalen dalam molekul air



Gambar 2.6 Struktur polar dalam molekul air dan pembentukan ikatan hidrogen

2.4.2 Kestimbangan Kimia dan Kinetika Reaksi

Sebagai gambaran aplikasi ilmu kimia adalah menjelaskan fenomena reaksi kimia dalam sistem pangan berdasarkan prinsip kesetimbangan kimia dan kinetika reaksi. Reaksi kimia umumnya dipengaruhi oleh jenis reaktan, dan kondisi lingkungan yang memengaruhinya, seperti suhu, pH, aktivitas air, kekuatan ion, katalis/enzim, dsb. Sebagai contoh, reaksi Maillard merupakan reaksi yang melibatkan gula pereduksi (gula yang memiliki gugus karbonil) dan gugus amin (contohnya asam amino) yang di tahap awal reaksinya merupakan reaksi kesetimbangan (**Gambar 2.7**).



Gambar 2.7 Tahap awal reaksi Maillard

Reaksi Maillard bertanggung jawab dalam pembentukan warna kecoklatan pada produk pangan. Reaksi Maillard dipengaruhi oleh jenis reaktan dan hasil reaksinya. Contohnya adalah asam amino lisin yang memiliki dua gugus amin lebih cepat mengalami reaksi Maillard dibandingkan dengan asam amino glisin yang memiliki satu gugus amin. Hal ini terkait dengan prinsip kesetimbangan kimia bahwa reaksi bergeser ke arah pembentukan hasil reaksi (N-glikosilamin dan air) dengan semakin tingginya konsentrasi reaktan. Reaksi Maillard melambat apabila jumlah air dalam sistem pangan semakin

tinggi, karena berdasarkan prinsip kesetimbangan, peningkatan hasil reaksi (dalam hal ini air) dapat menekan reaksi ke sebelah kiri. Reaksi Maillard juga dipengaruhi oleh suhu, yaitu reaksi semakin cepat pada suhu yang lebih tinggi. Prinsip ini dapat digunakan untuk mengendalikan laju reaksi Maillard yang dapat menyebabkan kerusakan mutu pangan. Sebagai contoh, pembentukan warna kecokelatan dari susu steril, yang mengindikasikan penurunan mutu susu selama penyimpanan, dapat diperlambat dengan menyimpan susu pada suhu yang rendah (misalnya suhu refrigerasi).

2.4.3 Larutan dan Sistem Bufer

Contoh lainnya adalah prinsip larutan yang dipelajari di kimia dasar dan kimia analitik. Sebagian besar percobaan dan penelitian di bidang kimia dan biokimia pangan menggunakan media cair berbentuk larutan. Larutan yang digunakan harus dibuat dengan ketelitian yang tinggi, termasuk larutan dengan konsentrasi yang rendah hingga ukuran mikro molar (μM). Larutan dengan konsentrasi rendah sulit disiapkan dari bahan bubuk atau padatan, karena harus menimbang bahan dengan jumlah yang sangat kecil. Dalam membuat larutan, harus diperhatikan volume larutan yang diperlukan untuk memenuhi perlakuan percobaan atau analisis yang dilakukan. Dalam pembuatan larutan, perlakuan pengadukan, pemanasan atau penambahan asam/basa encer sering diperlukan. Pengenceran harus dilakukan dengan benar, karena menentukan perhitungan akhir dari suatu percobaan atau penelitian.

Contoh aplikasi lainnya adalah aplikasi larutan bufer. Reaksi kimia sering dipengaruhi oleh pH, sehingga untuk menjaga stabilitas pH, maka reaksi dilakukan dalam sistem bufer. Reaksi biokimia banyak yang terjadi di dalam larutan dengan pH sekitar netral yang harus dipertahankan nilainya. Perubahan pH sedikit saja dapat mengubah aktivitas enzim yang dapat berakibat fatal bagi sel tersebut. Agar pH fisiologis dalam sel tetap stabil, maka terdapat bufer. Cairan di dalam setiap sel makhluk hidup mempunyai kapasitas bufer tertentu. Beberapa bufer terdapat secara alami dalam bahan pangan. Dalam produk hewani, bufer biasanya terdapat dalam bentuk asam amino, protein dan garam fosfat, sedangkan dalam produk nabati dalam bentuk asam organik (asam sitrat, malat, oksalat dan tartarat) yang berikatan dengan garam fosfat.

2.5 Kimia Organik

Pembahasan senyawa organik mencakup senyawa yang dapat dibentuk oleh atom karbon. Pengetahuan dasar yang diperlukan adalah ikatan kovalen yang dapat dibentuk oleh atom karbon tersebut, yaitu setiap atom karbon dapat membentuk empat ikatan kovalen dengan atom lainnya untuk menuju struktur stabil oktat. Pembahasan kimia organik juga mencakup tata nama, struktur, sintesis, stereokimia, dan mekanisme reaksi organik, dan kimia senyawa organik (alkana, alkena, alkuna, gugus fungsional, senyawa aromatik, alkil halida, alkohol, eter, aldehida dan keton, asam karboksilat dan turunannya, fenol, amina, lemak, asam amino, dan karbohidrat).

2.5.1 Struktur Kimia Organik dan Gugus Fungsional

Senyawa organik merupakan senyawa yang jenis dan jumlahnya sangat banyak. Sebagai senyawa organik dasar yang dibentuk oleh atom karbon adalah hidrokarbon, yang dapat membentuk rantai hidrokarbon dengan satu, dua, tiga, atau lebih atom karbon (C) sebagai satu homolog. Dari jumlah atom karbon yang terikat, maka dapat disusun tatanama sistematis senyawa karbon. Di antara hidrokarbon sederhana adalah homolog alkana yang memiliki ikatan karbon jenuh, yaitu metana (1C), etana (2C), propana (3C), butana (4C), pentana (5C), heksana (6C), dan seterusnya. Dari senyawa hidrokarbon ini terdapat senyawa turunannya sebagai satu famili, seperti alkena (memiliki ikatan rangkap dua), dan alkuna (memiliki ikatan rangkap tiga). Senyawa lain sebagai turunan hidrokarbon adalah senyawa yang memiliki gugus fungsional yang membentuk kelompok senyawa alkohol (R-OH), senyawa eter (R-O-R), aldehida/karbonil (R-CHO), keton (R.C=O.R), asam karboksilat (R-COOH), amin (-NH₂), fosfat (-OPO₃²⁻) dan sulfidril (-SH). Contoh gugus fungsional dan contoh senyawanya dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Senyawa organik juga mencakup sifat asimetrik dari atom karbon pada beberapa senyawa organik, yaitu adanya atom karbon yang mengikat gugus yang berbeda pada keempat rantai ikatan kovalennya. Senyawa ini mempunyai pusat kiral yang dapat membentuk stereoisomer dan memiliki sifat optik aktif. Sebagai contoh adalah struktur asam amino (**Gambar 2.8**).

Asam amino memiliki dua buah gugus fungsional primer, yaitu gugus amin (-NH₂) dan gugus karboksil (-COOH) yang terikat melalui ikatan kovalen pada atom karbon primer atau karbon α. Atom karbon α merupakan pusat kiral, yaitu dapat memutar sinar bidang polarisasi menuju suatu arah atau kebalikannya.

Tabel 2.1 Beberapa gugus fungsional yang ditemui dalam senyawa penyusun komponen pangan

| Gugus fungsional | Kelompok | Rumus umum | Contoh |
|---|------------------|---|--|
| Hidroksil (-OH) | Alkohol | R-OH | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}_2\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}_2\text{C}-\text{OH} \end{array}$ Gliserol |
| Karbonil (-COH) | Aldehida | $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{R}-\text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} \\ & // \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$ Asetaldehida |
| $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \end{array}$ | Keton | $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{R}-\text{C}-\text{R} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} & \text{H} \\ & // & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{C} & -\text{C}-\text{H} \\ & & \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$ Aseton |
| Karboksil (-COOH) | Asam karboksilat | $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{R}-\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$ | C ₁₇ H ₂₉ -COOH Asam linolenat |
| Amin (-NH ₂) | Amino | $\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{N} \\ \\ \text{H} \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ & \\ \text{H}-\text{C}- & \text{N} \\ & \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$ Metilamin |
| Fosfat (-PO ₃ ²⁻) | Fosfat organik | $\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ \text{R}-\text{O}-\text{P}-\text{O}^- \\ \\ \text{O}^- \end{array}$ | $\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}=\text{O} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{OH} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{P}-\text{O}^- \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \quad \text{O}^- \end{array}$ 3-phosphoglyceric acid |

Tabel 2.1 Beberapa gugus fungsional yang ditemui dalam senyawa penyusun komponen pangan (lanjutan)

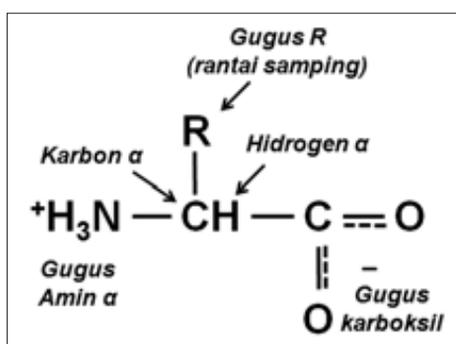
| Gugus fungsional | Kelompok | Rumus umum | Contoh |
|------------------|----------|---|---|
| Sulfidril (-SH) | Tiol | R-SH | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{NH}_2\text{-CH-C-OH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{SH} \end{array}$ Sistein |
| Fenil | Benzena |  | $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{NH}_2\text{-CH-C-OH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$ Fenilalanin |

Kecuali asam amino glisin, atom karbon α pada struktur asam amino bersifat asimetrik, yaitu mengikat empat gugus yang berbeda, yaitu gugus -COOH , gugus -NH_2 , atom H dan gugus R. Keempat gugus substituen yang terikat pada karbon α dapat menempati dua susunan yang berbeda dalam ruang yang merupakan bayangan cermin yang tidak saling menutupi sesamanya. Kedua bentuk ini dinamakan isomer optik, enansiomer atau stereoisomer. Asam amino memiliki struktur kiral yang dapat membentuk enantiomer dengan konfigurasi L atau D, misalnya asam amino alanin yang dapat membentuk L-alanin dan D-alanin (**Gambar 2.9**).

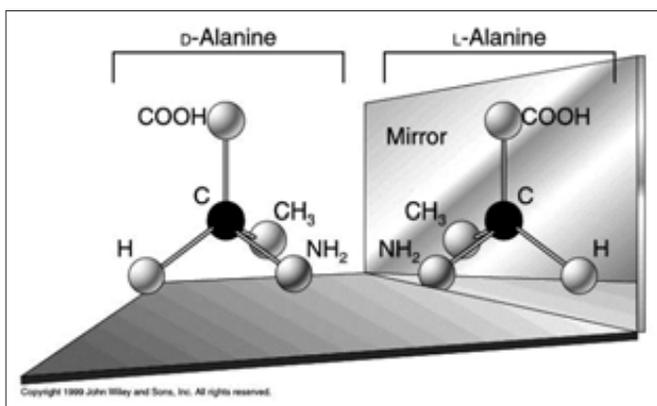
2.5.2 Reaksi Kimia Organik

Pembahasan kimia organik juga mencakup reaksi kimia yang dapat terjadi pada senyawa organik. Umumnya reaksi kimia melibatkan ikatan rangkap dan gugus-gugus fungsional. Di antara reaksi kimia pada senyawa organik yang penting adalah reaksi substitusi, adisi, oksidasi, dan eliminasi. Contohnya, reaksi antara asam lemak (R-COOH) dengan sodium hidroksida (NaOH) membentuk garam asam lemak (R-COONa) adalah reaksi substitusi

(R- merupakan gugus radikal bebas). Hidrogenasi asam oleat (C18:1) dengan hidrogen membentuk asam stearat (C18:0) adalah reaksi adisi, sedangkan reaksi sebaliknya adalah reaksi eliminasi. Pembentukan asam glukonat melibatkan reaksi oksidasi glukosa. Reaksi tersebut juga dapat menjelaskan mekanisme reaksi polimerisasi pembentukan protein dan polisakarida, oksidasi lemak, reaksi Maillard, hidrolisis lemak, oksidasi vitamin C, dsb yang banyak terjadi dalam pangan selama proses pengolahan dan penyimpanan. **Tabel 2.2** menyajikan contoh reaksi kimia organik dalam sistem pangan.



Gambar 2.8 Struktur umum asam amino



Gambar 2.9 Contoh enantiomer dari asam amino alanin

Tabel 2.2 Contoh reaksi kimia organik dalam sistem pangan

| Jenis reaksi | Contoh aplikasi |
|---------------------|---|
| Reaksi adisi | Reaksi hidrogenasi untuk mengubah asam lemak tidak jenuh menjadi asam lemak jenuh, misalnya perubahan asam oleat ($C_{17}H_{33}COOH$) menjadi asam stearat ($C_{17}H_{35}COOH$) dengan adanya adisi satu molekul hidrogen $C_{17}H_{33}COOH + H_2 \rightarrow C_{17}H_{35}COOH$ |
| Reaksi eliminasi | Reaksi eliminasi merupakan kebalikan dari reaksi adisi, contohnya perubahan dari asam lemak jenuh menjadi asam lemak tidak jenuh dengan melepaskan hidrogen. |
| Reaksi esterifikasi | Reaksi esterifikasi merupakan reaksi pembentukan senyawa ester dengan melibatkan gugus karboksil dan gugus hidroksil dengan membebaskan satu molekul air. Contohnya adalah dalam pembentukan trigliserida dari asam lemak dan gliserol. <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> Gliserol Asam lemak Trigliserida Air </p> </div> |
| Reaksi oksidasi | Reaksi oksidasi merupakan reaksi yang melibatkan oksigen, contohnya dalam oksidasi asam lemak tidak jenuh. <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 5px;"> Asam lemak tidak jenuh Radikal bebas Peroksida </p> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">Hidroperoksida</p> </div> |
| Reaksi hidrolisis | Reaksi hidrolisis merupakan memecah suatu komponen kimia organik dengan membebaskan satu molekul air. Contoh reaksi hidrolisis adalah pemecahan senyawa ester (contohnya trigliserida) menjadi asam lemak dan gliserol dengan membutuhkan molekul air (merupakan kebalikan dari reaksi esterifikasi). |

2.6 Biologi

Hampir semua kajian dalam ilmu pangan melibatkan organisme hidup yang mencakup hewan, tumbuhan dan mikroorganisme. Oleh karena itu, penguasaan ilmu biologi menjadi sangat penting agar mahasiswa ilmu dan teknologi pangan dapat memahami fenomena biologis dalam sistem pangan. Di antara ilmu dasar biologi yang dibutuhkan adalah yang terkait dengan pemahaman konsep dasar sistem hidup, biologi sel dan molekuler, mitosis dan meiosis, prinsip genetika, dan biologi perkembangan. Ilmu biologi ini banyak bermanfaat untuk memahami karakteristik bahan pangan, kimia pangan, biokimia pangan, mikrobiologi pangan, dan sifat fisiologis bahan pangan. Berikut ini ulasan secara garis besar tentang ilmu biologi tersebut dan contoh aplikasinya di bidang ilmu dan teknologi pangan.

2.6.1 Konsep Dasar Sistem Hidup

Dalam memahami konsep dasar sistem hidup, maka harus dipahami terlebih dahulu apa itu sistem. Sistem dapat dilihat dari adanya kebersamaan, yaitu kombinasi antar komponen yang secara bersama-sama melakukan sesuatu. Oleh karena itu, sistem hidup merupakan aktivitas bersama pada tingkat organisasi hidup. Organisasi ini dapat berupa sel atau sekumpulan organisme yang melakukan aktivitas.

Sebagai contoh satu bakteri, dapat disebut sistem hidup, karena dalam sel tersebut terjadi suatu aktivitas untuk menghasilkan energi dari materi yang ada, sehingga dapat melakukan pertumbuhan. Satu tanaman juga dapat dikatakan sebagai sistem hidup, bagaimana daun dapat menangkap energi matahari melalui fotosintesis, sehingga dapat memenuhi kebutuhan dan pertumbuhan tanaman tersebut. Hewan juga mengalami hal yang sama. Suatu lingkungan di mana terdapat mikroorganisme, tumbuhan dan hewan disebut juga sistem hidup karena ada interaksi di dalamnya.

Dalam mempelajari sistem hidup, maka pengetahuan tentang materi atau massa dan energi menjadi penting. Dalam ilmu biologi, pemahaman bagaimana energi dibentuk dan digunakan selalu dipelajari pada bagian awal, serta bagaimana melalui siklus yang ada bahan organik atau anorganik diubah menjadi bahan yang lain dengan menghasilkan energi.

Oleh sebab itu, dalam mempelajari sistem hidup dikenal setidaknya dua siklus, yaitu siklus nutrisi dan siklus energi. Sebagai gambaran, tanaman dapat mengubah energi cahaya menjadi energi kimia pada proses fotosintesis. Energi kimia ini disimpan dalam molekul massa (misalnya gula), dan bahkan dapat disimpan dalam bentuk polimer yang suatu saat dapat digunakan oleh organisme itu sendiri (misal pati dan serat) atau organisme lain yang menjadi pemangsanya.

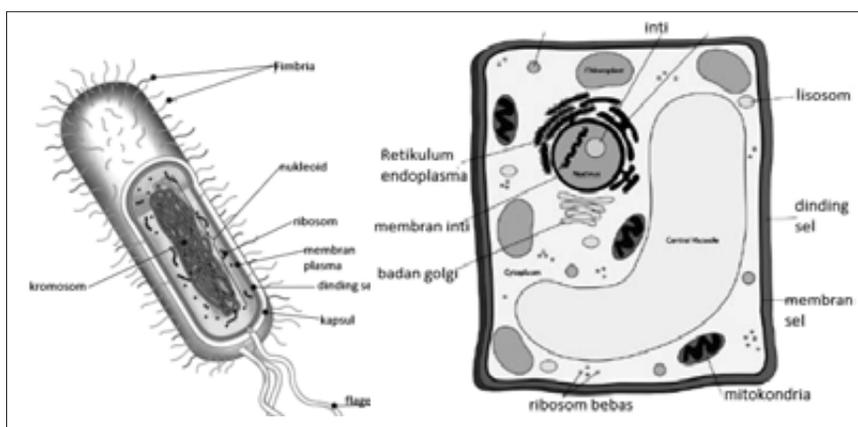
Sistem hidup penting dalam ilmu pangan. Dalam mempelajari ilmu pangan, maka tidak lepas dari apa yang namanya makanan/minuman. Makanan/minuman dihasilkan oleh tanaman ataupun hewan. Tanaman menghasilkan bahan pangan yang dibutuhkan melalui proses fotosintesis. Hasil fotosintesis dimanfaatkan sebagai sumber nutrisi. Ragam nutrisi yang ada tergantung jenis tanamannya. Oleh sebab itu, berbagai hasil tanaman dimanfaatkan dalam kehidupan, baik oleh manusia maupun hewan. Hewan yang memakan tanaman juga menjadi sumber makanan bagi manusia, dan sisa dari semua aktivitas dikeluarkan dari sistem hidup masing-masing dan masuk dalam sistem hidup mikroorganisme. Jadi sistem hidup baik yang ada pada individu ataupun di alam harus dipelajari dengan baik agar ketersediaan pangan bagi umat manusia selalu tercukupi.

2.6.2 Biologi Sel dan Molekuler

Biologi sel dan molekuler mempelajari tentang struktur sel dan fungsinya sebagai unit dasar kehidupan. Biologi sel memfokuskan pada sifat fisiologis, proses metabolik, siklus energi, komposisi kimia dan interaksi sel dengan lingkungannya. Dalam level (aras) molekuler, maka kajian lebih dititikberatkan pada genetika sel.

Biologi sel membahas komponen sel, mulai dari dinding sel (jika ada) hingga ke asam deoksiribonukleat atau DNA (prokariot) atau inti (eukariot). Komponen utama sel prokariot adalah dinding sel, membran sel, sitoplasma, ribosom dan kromosom (**Gambar 2.10**), sedangkan pada eukariot belum tentu ada dinding sel dan memiliki membran inti, retikulum endoplasma dan beberapa organel penting lainnya.

Kajian biologi sel dan molekuler penting dalam ilmu pangan, terutama di bidang bioteknologi pangan. Bagaimana sel dapat menghasilkan enzim misalnya memudahkan dalam mengetahui cara produksi enzim yang digunakan dalam bidang pangan. Bagaimana DNA melakukan transkripsi sampai dihasilkan enzim yang dibutuhkan, bagaimana enzim tadi dapat dihasilkan dalam jumlah yang diharapkan, dapat mudah dipahami jika juga mengetahui biologi sel dan molekuler.



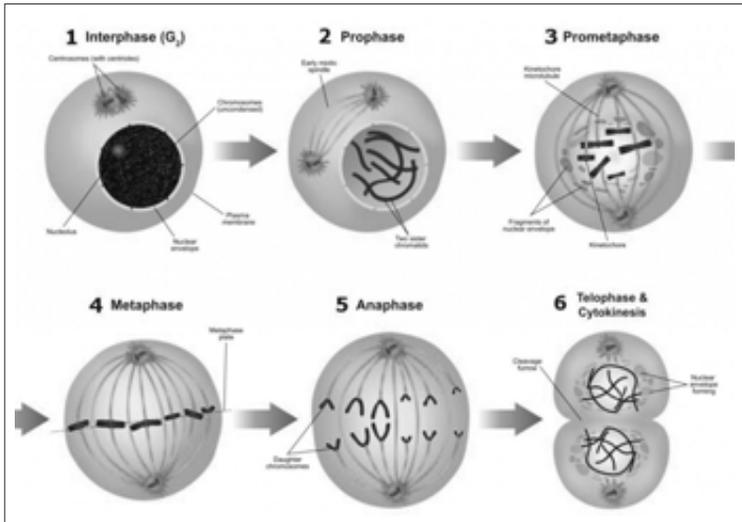
Gambar 2.10 Sel prokariotik (Reece *et al.* 2014) dan eukariot (Wong 2019)

2.6.3 Mitosis dan Meiosis

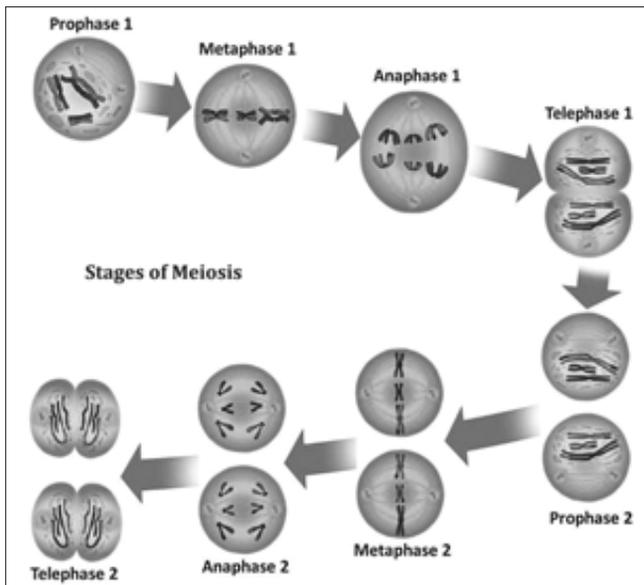
Mitosis dan meiosis merupakan proses yang penting dalam penurunan sifat genetik pada organisme. Kedua proses ini menggambarkan bagaimana terjadinya variasi genetik ataupun identiknya suatu spesies. Dengan memahami peristiwa mitosis dan meiosis, maka dapat dipahami mengapa biji yang ditanam menghasilkan rasa buah yang tidak persis sama dengan buah dari induk yang ditanam. Dengan belajar tentang mitosis dan meiosis, maka mudah dipahami haploid dan diploid.

Mitosis adalah proses pembelahan inti dalam sel eukariotik, yang terdiri atas tahapan profase (interfase), prometafase, metafase, anafase dan telofase (**Gambar 2.11**), sedangkan meiosis adalah pembelahan sel termodifikasi

pada organisme eukariotik yang bereproduksi secara seksual (**Gambar 2.12**). Dalam proses reproduksi ini terjadi dua kali pembekalan sel (pembelahan I dan II).



Gambar 2.11 Mitosis (Shetty 2016)



Gambar 2.12 Meiosis (Shetty 2016)

Dalam bidang pangan, peristiwa meiosis dan mitosis lebih ditekankan untuk produksi bahan pangan. Semangka tanpa biji misalnya, merupakan produk pemuliaan tanaman melalui perubahan tahap mitosis dan meiosis, sehingga tanaman yang tadinya diploid diubah menjadi tetraploid.

2.6.4 Prinsip Genetika

Dasar penting dalam biologi adalah genetika. Mengapa demikian? Karena genetika mempelajari hereditas dan variasinya. Dengan mempelajari genetika, maka lebih mudah dipahami mengapa suatu sifat dapat diturunkan dalam unit yang disebut gen. Gen manusia membawa sifat spesifik yang terdapat dalam DNA. Sebagian besar gen membawa kode genetik untuk sintesis enzim spesifik. Sintesis enzim ini harus dilakukan penyalinan kode pada DNA menjadi kode pada asam ribonukleat atau RNA yang disebut mRNA (RNA yang membawa pesan, *m=messenger*). Kode mRNA ini menuju ribosom untuk membentuk protein enzim.

Pada organisme, DNA ini dikemas dalam kromosom. Lokasi spesifik suatu gen spesifik pada kromosom disebut lokus. Ada organisme yang hanya memiliki satu kromosom, misalnya bakteri dan sebagian besar lebih dari satu. Ada beberapa DNA yang tidak dikemas dalam kromosom misalnya yang terdapat dalam mitokondria dan kloroplas. Ada juga DNA sirkulair kecil yang disebut plasmid.

Perkembangan genetika menjadi menarik di bidang pangan ketika produk pangan memerlukan penanganan yang lebih baik. Sebagai contoh, ketika plastik menjadi masalah lingkungan, maka kemudian dikembangkan kemasan yang dapat dimakan dan kemasan yang ramah lingkungan yang dibuat dari bahan pangan atau dari polimer yang dihasilkan oleh mikroorganisme yang dikenal sebagai biopolimer. Kemasan yang memiliki sifat antimikroba dikembangkan dari pengetahuan tentang genetika.

2.6.5 Biokimia Molekuler

Biokimia molekuler membahas proses kimia dalam organisme pada level molekuler. Fokus utama biokimia molekul adalah pada makromolekul seperti virus, membran ataupun enzim yang terkait struktur dan fungsinya.

Dalam bidang pangan lebih banyak dikaji pada enzim, terutama yang berkaitan dengan proses yang melibatkan reaksi enzimatik yaitu bagaimana enzim dihasilkan dari DNA dan RNA. Enzim yang banyak dipelajari adalah enzim ekstraseluler terutama hidrolase, liase dan isomerase, sedangkan yang intraseluler adalah oksidoreduktase, transferase, dan ligase. Enzim intraseluler dipelajari dalam berbagai siklus energi dan nutrisi.

Pengetahuan tentang biologi molekuler memberikan pemahaman, misalnya mengapa apel cepat mengalami pencokelatan ketika dikupas atau dipotong. Bagaimana membuat apel yang tidak mudah mengalami pencokelatan. Bagaimana menghambat aktivitas enzim pada buah dan sebagainya.

2.6.6 Struktur dan Fungsi Sel

Sel sebagai unit terkecil dari organisme seluler memiliki peran yang penting karena semua aktivitas organisme dapat ditelusuri dari sisi seluler. Sel memiliki komponen yang lengkap untuk sebuah aktivitas. Pada organisme bersel tunggal, semua aktivitasnya dilakukan oleh sel itu sendiri, sedangkan pada organisme multiseluler terjadi pembagian fungsi. Oleh sebab itu, untuk mempelajari organisme, maka perlu dipahami komponen sel dan fungsinya (**Tabel 2.3**).

Tabel 2.3 Komponen sel dan fungsinya

| Komponen | Fungsi |
|----------------------|---|
| Dinding sel | Pembentuk sel |
| Membran sitoplasma | Pembatas antara bagian dalam sel dan bagian luar. Tersusun oleh fosfolipid bilayer. Beberapa organisme ada yang membran sitoplasmanya tersusun oleh fosfolipid monolayer. |
| Sitoplasma | Cairan dalam sel tempat organel sel berada |
| Inti | Mengandung material genetik |
| Kloroplas | Organel yang berfungsi untuk melakukan fotosintesis |
| Lisosom | Vakuola yang terikat membran, mengandung enzim pencernaan |
| Reticulum endoplasma | Jaringan dalam sel eukariotik tempat menempel ribosom |

Tabel 2.3 Komponen sel dan fungsinya (lanjutan)

| Komponen | Fungsi |
|-----------------|---|
| Apparatus golgi | Area pada retikulum endoplasma yang memiliki fungsi untuk sekresi |
| Mitokondria | Tempat melakukan respirasi dan diselubungi oleh membran plasma |
| Klorofil | Tempat melakukan fotosintesis |

Struktur sel antara sel prokariotik dan eukariotik dibedakan dengan ada tidaknya membran inti. Komponen lain relatif sama meskipun ada perbedaan. Antar sel eukariotik juga terdapat perbedaan, misalnya antara sel tumbuhan dan sel hewan terkait tidaknya dinding sel. Secara umum perbedaan struktur sel dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

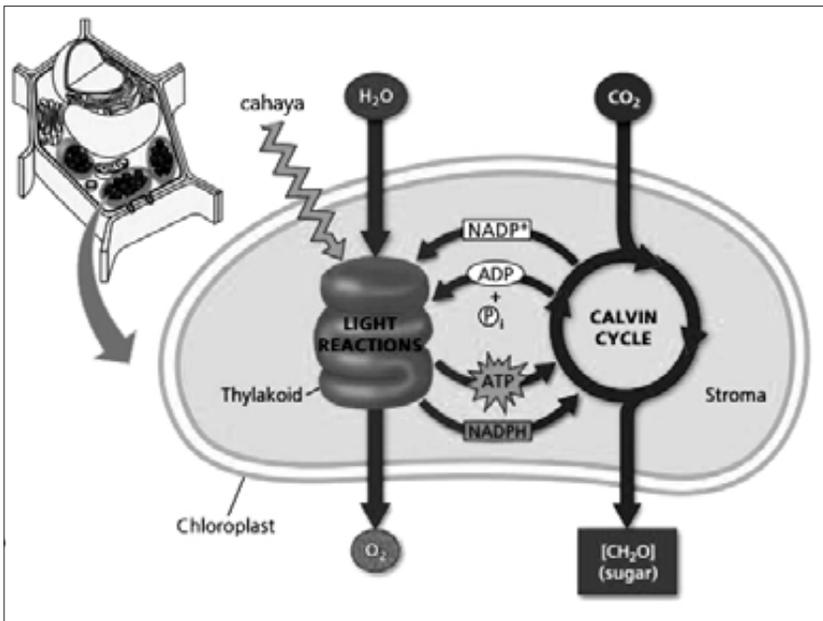
Tabel 2.4 Struktur sel bakteri, tanaman, dan hewan

| Komponen | Prokariotik | Eukariotik | |
|----------------------|--|---|---|
| | | Sel hewan | Sel tanaman |
| Membran sel | Ada | Ada | Ada |
| Dinding sel | Ada | Tidak ada | Ada |
| Membran inti | Tidak ada | Ada | Ada |
| Kromosom | <i>Bacterial chromosome</i> tidak terkait dengan histon, dan kadang terdapat plsamid | Mengandung beberapa kromosom yang terikat dengan histon | Mengandung beberapa kromosom yang terkait dengan histon |
| Mitokondria | Tidak ada | Ada | Ada |
| Kloroplas | Tidak ada kecuali pada beberapa bakteri fotosintetik | Tidak ada | Biasanya ada |
| Retikulum endoplasma | Tidak ada | Biasanya ada | Biasanya ada |
| Ribosom | Ada diameter 18 nm | Ada diameter 22 nm | Ada diameter 22 nm |
| Centriole | Tidak ada | Ada | Tidak ada |

2.6.7 Fotosintesis

Fotosintesis berperan penting dalam penyediaan pangan di dunia. Fotosintesis mengubah energi cahaya menjadi energi kimia dalam makanan. Organisme yang dapat melakukan fotosintesis dikenal sebagai autotrof, sedangkan yang menggunakan bahan organik disebut dengan heterotrof. Tempat fotosintesis pada tumbuhan disebut kloroplas.

Proses fotosintesis sebenarnya proses yang kompleks (**Gambar 2.13**). Proses fotosintesis dapat dibagi menjadi dua tahap yaitu reaksi terang (bagian foto dari fotosintesis) dan siklus Calvin (bagian dari sintesis). Reaksi terang mengubah energi matahari menjadi energi kimia, yaitu air dipecah untuk menyediakan sumber elektron dan proton (ion H^+) dan melepaskan oksigen. Siklus Calvin diawali dengan penggabungan karbon dioksida dari udara ke dalam molekul organik yang sudah ada di dalam kloroplas. Peristiwa ini disebut dengan fiksasi karbon dan selanjutnya dihasilkan karbohidrat (gula).



Gambar 2.13 Fotosintesis (Reece *et al.* 2013)

Proses fotosintesis penting dalam bidang pangan karena terbentuknya gula dalam fotosintesis menjadi dasar terbentuknya senyawa yang dibutuhkan organisme heterotrof untuk hidupnya. Gula yang disimpan dalam tanaman menjadi sumber gula dalam kehidupan, misalnya pada tanaman tebu, atau menjadi pati pada singkong dan umbi-umbian. Biji-bijian, daun dan sebagainya menjadikan ragam olahan pangan dapat dibuat dan dikembangkan.

2.6.8 Respirasi

Setelah proses fotosintesis yang menghasilkan senyawa organik, maka proses lanjut yang juga penting adalah reaksi katabolik, yaitu menghasilkan energi dengan mengoksidasi senyawa organik. Terdapat dua proses katabolik, yaitu katabolik tanpa melibatkan oksigen dan respirasi yang melibatkan oksigen.

Respirasi seluler mencakup tiga tahap metabolik, yaitu glikolisis, siklus asam sitrat dan fosforilasi oksidatif. Glikolisis terjadi dalam sitosol yang memecah glukosa menjadi dua molekul asam piruvat. Siklus asam sitrat (siklus Krebs) terjadi dalam mitokondria (eukariotik) atau dalam sitosol (prokariotik) yang mengoksidasi asam piruvat menjadi karbon dioksida. Pada tahap ketiga (fosforilasi oksidatif), rantai transport elektron menerima elektron dari penguraian pada tahap sebelumnya dan digunakan untuk membentuk ATP.

Pengetahuan proses respirasi juga dapat menjadi landasan dalam menyusun atau mengembangkan produk pangan. Pengetahuan bagaimana makanan mengalami metabolisme dalam tubuh bermanfaat saat menyusun menu yang berbeda bagi kebutuhan orang yang berbeda, seperti menu untuk penderita diabetes, penderita hipertensi, kegemukan, *stunting* dan sebagainya. Bagaimana agar produk tersebut dapat bermanfaat dapat dikaitkan dengan bagaimana metabolisme yang mencakup respirasi dalam organisme tersebut berlangsung dan kendala yang dihadapinya.

2.6.9 Struktur dan Replikasi DNA

DNA bagi organisme seluler merupakan komponen sel yang sangat penting. DNA menyimpan semua informasi genetik organisme tersebut. DNA tersusun atas gula (deoksiribosa), fosfat dan nukleotida (timin, adenin, kitosin

atau guanin). Gabungan ketiganya membentuk satu rangka DNA. Rangka DNA ini membentuk satu pasangan dan disebut heliks ganda. Pasangan didasarkan pada nukleotida A-T dan G-C. Untai ini memiliki susunan tiga tiga yang disebut dengan triplet kodon. Triplet kodon menunjukkan asam amino apa yang disusun dalam sintesis protein. Selain menandakan asam amino juga menandakan awal sintesis dan akhir sintesis.

Pada saat sel melakukan pembelahan, maka DNA juga harus menjadikan dirinya dua kali lipat agar masing-masing sel memiliki DNA yang sesuai. Proses penggandaan DNA ini dikenal dengan sebutan replikasi karena pada dasarnya hanya dibuat sebuah replikan. Permasalahannya adalah untai ganda (*double helix*) DNA tersusun secara berbalikan satu untai dalam urutan 5'-3' sedang pasangannya dalam urutan 3'-5'.

Replikasi DNA dimulai dari tempat yang khusus yang disebut titik mula replikasi dan terjadi pembukaan ikatan DNA. Untuk sintesis DNA baru, maka diperlukan enzim DNA polymerase. Sintesis dilakukan dengan menambahkan nukleotida ke rantai yang telah ada sebelumnya. Penambahan nukleotida selalu dimulai dari ujung 5' ke 3', tidak pernah kebalikannya. Dengan demikian, ketika DNA membuka, maka satu untai dapat langsung membuat pasangan DNA, sedang untai yang lain dalam bentuk fragmen kecil 5'-3' yang disebut dengan fragmen Okazaki. Untuk menggabungkan antar fragmen digunakan enzim DNA ligase.

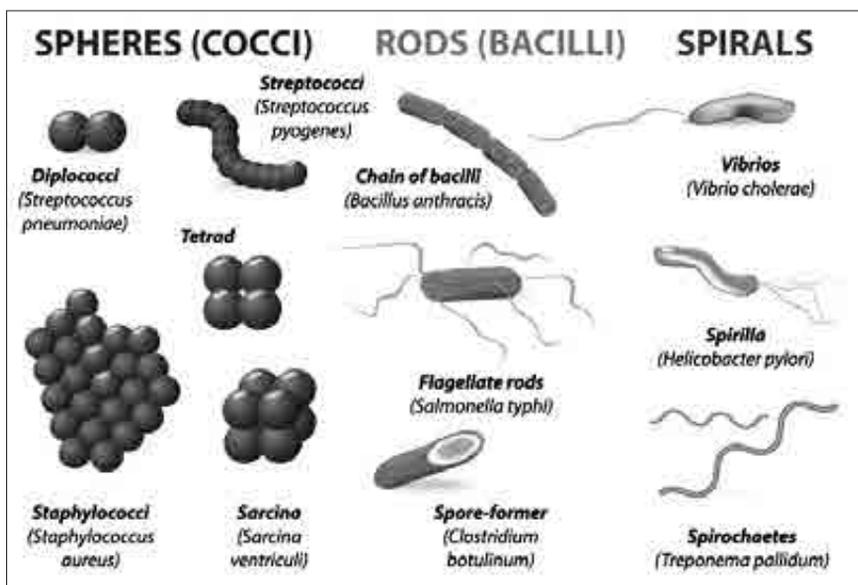
2.7 Mikrobiologi

Ilmu mikrobiologi dasar sangat erat kaitannya dengan bidang ilmu dan teknologi pangan. Aspek ilmu mikrobiologi penting yang perlu dikuasai adalah prinsip dasar mikroba yang meliputi bakteri, khamir, kapang, dan virus; struktur dan fungsi sel mikroba, metabolisme, genetika mikroba, dan peran mikroba dalam penyakit, kekebalan, dan aplikasi lainnya yang sesuai, serta teknik dasar yang digunakan dalam mengamati aktivitas dan sifat mikroba yang meliputi penanganan, identifikasi, dan karakterisasi mikroba dan aktivitasnya. Berikut ini ulasan mengenai mikrobiologi dasar yang penting untuk diketahui.

2.7.1 Bakteri, Khamir, Kapang, dan Virus

Bakteri

Bakteri adalah organisme hidup mikroskopis, biasanya bersel satu, yang dapat ditemukan di mana-mana. Mereka dapat berbahaya, karena dapat menyebabkan penyakit, atau bermanfaat (seperti dalam proses fermentasi pembuatan tempe dan kecap) dan proses penguraian. Bakteri diklasifikasikan menjadi lima kelompok sesuai dengan bentuk dasarnya (**Gambar 2.14**), yaitu kokus (*cocci*), batang (*basil*), spiral (*spirilla*), koma (*vibrios*) atau pembuka botol (*spirochaetes*). Keberadaan bakteri ini dapat sebagai sel tunggal, berpasangan, rantai atau kluster.



Gambar 2.14 Bentuk bentuk bakteri (Bobick *et al.* 2004)

Beberapa bakteri memiliki kemampuan untuk membentuk endospora. Spora terbentuk pada saat ada tekanan lingkungan, seperti kekurangan nutrisi dan kelembaban yang dibutuhkan untuk pertumbuhan, dan karenanya merupakan strategi bertahan hidup. Spora tidak memiliki metabolisme dan dapat menahan kondisi buruk seperti panas, desinfektan, dan sinar ultraviolet.

Ketika lingkungan menjadi menguntungkan, maka spora bergerminasi dan membentuk sel bakteri vegetatif tunggal. Beberapa contoh pembentuk spora yang penting dalam teknologi pangan adalah anggota genera *Bacillus* dan *Clostridium*.

Bakteri bereproduksi secara aseksual dengan pembelahan biner. Ketika kondisi menguntungkan seperti suhu yang tepat dan nutrisi tersedia, maka beberapa bakteri (seperti *Escherichia coli*) dapat membelah setiap 20 menit. Karena setiap sel tumbuh dan membelah pada tingkat yang sama dengan sel induk, maka peningkatan dari satu sel menjadi 10 juta sel dapat terjadi dalam 11 jam. Namun, pertumbuhan bakteri pada kenyataannya dibatasi oleh terbatasnya sumber nutrisi, akumulasi racun dan metabolit, suhu yang tidak menguntungkan, dan atau pengeringan. Jumlah maksimum bakteri yang sering ditemukan adalah sekitar 1×10^9 CFU/g atau mL.

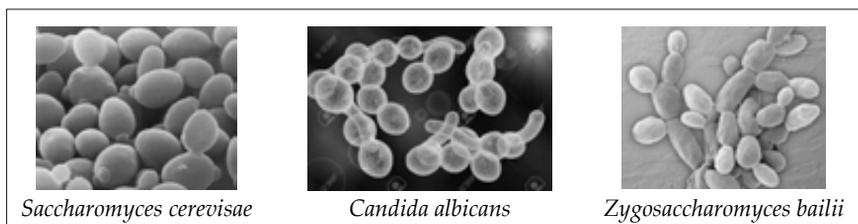
Khamir

Khamir adalah mikroorganisme eukariot yang diklasifikasikan dalam kingdom Fungi, dengan 1.500 spesies yang telah dapat dideskripsikan (diperkirakan 1% dari seluruh spesies fungi). Khamir adalah organisme sel tunggal berbentuk bulat, elips atau silinder. Beberapa spesies dapat menjadi multiseluler melalui pembentukan benang dari sel *budding* tersambung yang dikenal sebagai hifa semu (pseudohyphae). Ukurannya sangat bervariasi tetapi umumnya lebih besar dari sel bakteri. Ukuran khamir bervariasi tergantung spesies, umumnya memiliki diameter 3–4 μm , namun beberapa jenis khamir dapat mencapai ukuran lebih 40 μm . Sebagian besar khamir bereproduksi secara aseksual dengan mitosis, dan dengan pembelahan sel asimetris yang disebut *budding*.

Khamir tidak membentuk kelompok taksonomi atau filogeni tunggal. Khamir dibagi menjadi dua kelompok sesuai dengan metode reproduksinya, yaitu *Fungi imperfecti* atau ragi palsu yang bereproduksi dengan pembentukan tunas (*budding*) serta *Ascomycetes* atau khamir sejati yang bereproduksi dengan pembentukan tunas dan spora. Istilah “khamir” atau “ragi” sering digunakan sebagai sinonim dari *Saccharomyces cerevisiae*. Namun keragaman filogeni

dari khamir dipisahkan dalam dua filum terpisah, yaitu Ascomycota dan Basidiomycota. Khamir yang reproduksinya dengan *budding* (“khamir sejati”) diklasifikasikan dalam ordo *Saccharomycetales*.

Khamir yang paling umum digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae*, yang dimanfaatkan untuk produksi anggur, roti, tape, dan bir sejak ribuan tahun yang silam dalam bentuk ragi. *Saccharomyces cerevisiae* dapat mengkonversi karbohidrat menjadi karbon dioksida dan alkohol melalui proses fermentasi, karbon dioksida digunakan dalam proses pembuatan roti dan alkohol dalam minuman beralkohol. *Saccharomyces cerevisiae* juga merupakan organisme model penting dalam penelitian biologi sel modern, dan juga salah satu mikroorganisme eukariot yang paling sering diteliti secara menyeluruh. Peneliti menggunakannya untuk mendapatkan informasi mengenai biologi sel eukariot dan terutama biologi manusia. Spesies khamir lainnya seperti *Candida albicans* adalah patogen oportunistik dan dapat menyebabkan infeksi pada manusia (kandidiasis). Khamir juga dapat digunakan untuk memproduksi etanol untuk industri biofuel. Contoh bentuk struktur khamir di bawah mikroskop dapat dilihat pada **Gambar 2.15**.



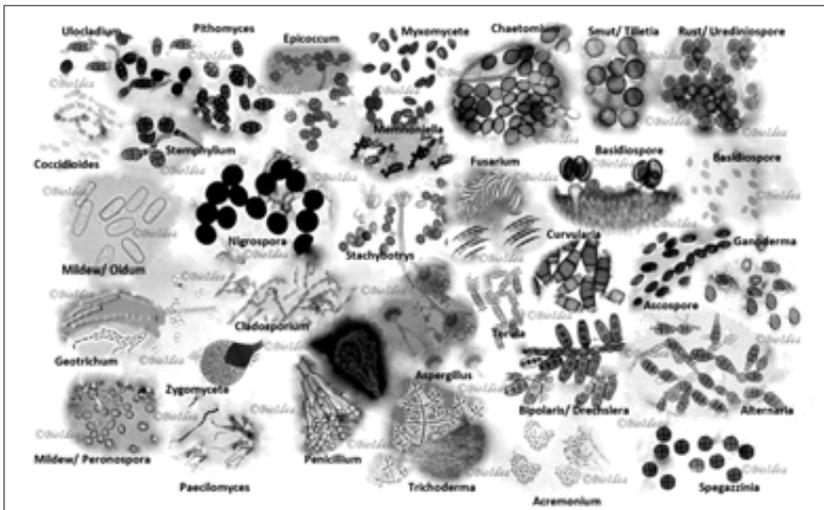
Gambar 2.15 Beberapa contoh khamir (dari berbagai sumber)

Kapang

Seperti halnya khamir, kapang adalah mikroorganisme yang termasuk dalam anggota kingdom fungi. Kapang bukan merupakan kelompok taksonomi yang resmi. Kapang dianggap sebagai mikroorganisme dan tidak membentuk pengelompokan taksonomi atau filogenetik tertentu, tetapi dapat ditemukan di divisi Zygomycota dan Ascomycota. Di masa lalu, sebagian besar kapang diklasifikasikan dalam Deuteromycota. Kapang telah digunakan sebagai nama

umum untuk kelompok non-jamur seperti kapang air atau kapang lendir yang sebelumnya diklasifikasikan sebagai jamur. Contoh kapang dapat dilihat pada **Gambar 2.16**.

Kapang merupakan mikroorganisme multiseluler, dengan ukuran rata-rata lebih besar dari bakteri dan khamir ($10 \times 40 \mu\text{m}$), yang membentuk filamen. Setiap filamen disebut sebagai hifa. Massa hifa yang dapat dengan cepat menyebar ke substrat pangan ini disebut miselium dan dianggap sebagai organisme tunggal. Hifa umumnya transparan sehingga miselium tampak seperti benang putih yang sangat halus di atas permukaan. Kapang dapat bereproduksi baik secara seksual maupun aseksual, kadang-kadang keduanya dalam spesies yang sama.



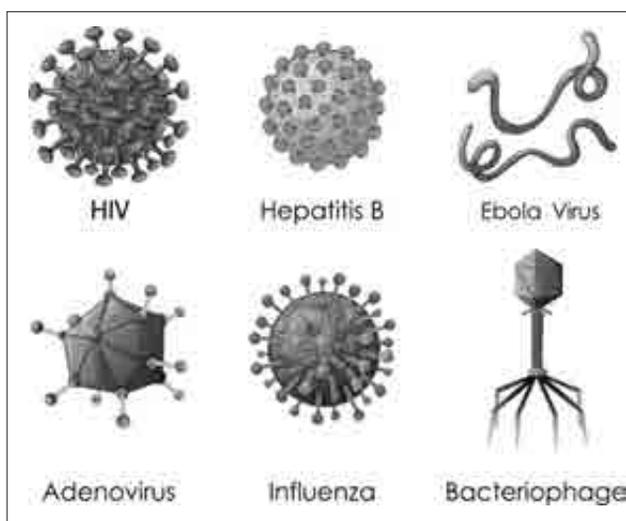
Gambar 2.16 Berbagai jenis kapang (Anonim 2020)

Dinding silang (septa) dapat membatasi kompartemen yang terhubung di sepanjang hifa, masing-masing berisi satu atau lebih, inti genetik identik. Tekstur berdebu dari banyak cetakan disebabkan oleh produksi spora aseksual (konidia) yang sangat besar yang dibentuk oleh diferensiasi pada ujung hifa. Mode pembentukan dan bentuk spora ini secara tradisional digunakan untuk mengklasifikasikan kapang. Banyak dari spora ini berwarna, membuat kapang jauh lebih jelas bagi mata manusia pada tahap ini dalam siklus hidupnya.

Kapang dapat menyebabkan biodegradasi bahan-bahan alami yang tidak diinginkan, seperti pembusukan makanan atau kerusakan bahan. Namun, kapang juga memainkan peran penting dalam bioteknologi dan ilmu pangan dalam produksi berbagai pangan, minuman, antibiotik, obat-obatan, dan enzim. Beberapa penyakit pada hewan dan manusia dapat disebabkan oleh kapang tertentu. Penyakit dapat disebabkan oleh sensitivitas alergi terhadap spora kapang atau dari efek senyawa beracun yang tertelan atau terhirup (mikotoksin) yang diproduksi oleh kapang.

Virus

Virus adalah jasad hidup yang bersifat parasit obligat, berukuran sangat kecil atau sub-mikroskopik. Virus hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron. Virus bukan berbentuk sel dan tidak dapat membentuk energi sendiri serta tidak dapat berbiak tanpa menggunakan jasad hidup lain. Struktur virus terutama terdiri atas bahan genetik, baik DNA atau RNA yang dikelilingi oleh mantel pelindung yang disebut kapsid yang terdiri atas protein. Kadang-kadang kapsid dikelilingi oleh semacam mantel berpaku yang disebut *envelope*. Contoh beberapa jenis virus dapat dilihat pada **Gambar 2.17**.



Gambar 2.17 Beberapa bentuk virus (Anonim 2017)

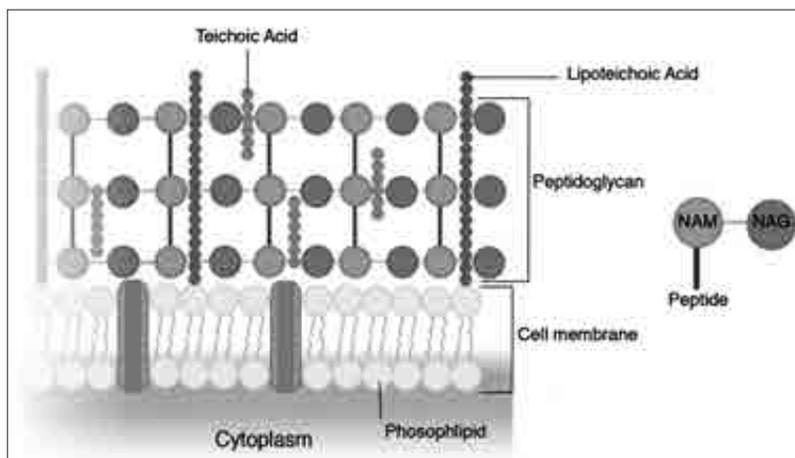
Virus bawaan pangan umumnya berasal dari saluran pencernaan manusia, dan keberadaannya dalam pangan adalah akibat kontaminasi dengan limbah, kebersihan yang buruk, atau kontaminasi oleh penjamah pangan. Virus sendiri tidak tumbuh dalam media pangan. Norovirus dan virus hepatitis A (HAV) banyak dilaporkan sebagai virus bawaan pangan yang menyebabkan penyakit pada manusia. Virus lain, termasuk enterovirus, sapovirus, rotavirus, astrovirus, adenovirus dan virus Hepatitis E, juga dilaporkan dapat ditularkan melalui pangan.

2.7.2 Struktur dan Fungsi Sel

Dinding Sel Bakteri

Dinding sel terletak di luar membran sel dengan struktur semi-kaku. Dinding sel bakteri, selain memberikan kekuatan keseluruhan pada sel, juga membantu mempertahankan bentuk sel, yang penting bagi sel dalam pertumbuhan, bereproduksi, memperoleh nutrisi, dan bergerak. Dinding sel juga melindungi sel dari lisis osmotik, ketika sel bergerak dari satu lingkungan ke lingkungan lain atau mengangkut nutrisi dari lingkungannya. Kebanyakan bakteri (sekitar 90%) memiliki dinding sel dan berdasarkan karakter dinding selnya, dibedakan menjadi bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif

Dinding sel bakteri Gram positif sebagian besar terdiri dari peptidoglikan, hingga 90% dari dinding sel, dengan lapisan demi lapisan terbentuk di sekitar membran sel (**Gambar 2.18**). Komponen lain dalam dinding sel Gram positif adalah asam teichoic, glikopolimer, yang tertanam di dalam lapisan peptidoglikan. Asam teichoic diyakini memainkan beberapa peran penting untuk sel, seperti generasi muatan negatif bagi sel, berkontribusi terhadap kekakuan keseluruhan dinding sel, yang penting untuk pemeliharaan bentuk sel, terutama pada organisme berbentuk batang.

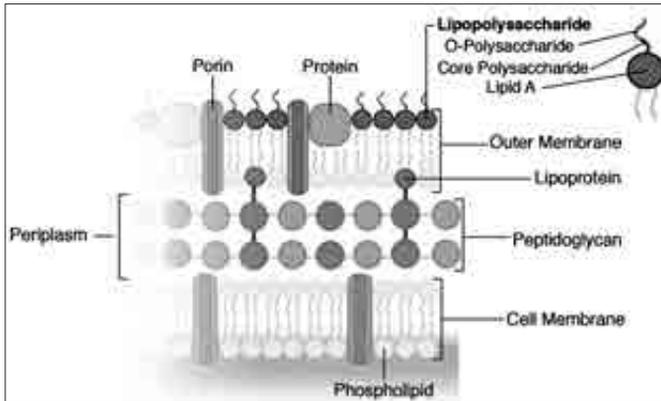


Gambar 2.18 Struktur dinding sel bakteri Gram positif (Bruslind 2020)

Karena peptidoglikan relatif porous, sebagian besar zat dapat melewati dinding sel Gram positif tanpa kesulitan. Tetapi beberapa nutrisi yang besar, harus dipecah terlebih dahulu oleh eksoenzim. Enzim ekstraseluler ini dibuat di dalam sitoplasma sel dan kemudian disekresikan melewati membran sel dan melalui dinding sel, kemudian di luar sel berfungsi memecah makromolekul besar menjadi komponen yang lebih kecil.

Dinding sel bakteri Gram negatif lebih kompleks daripada bakteri Gram positif, dengan lebih banyak komponen penyusun. Dinding sel bakteri Gram negatif juga mengandung peptidoglikan, meskipun hanya beberapa lapisan, yaitu 5–10% dari total dinding sel (**Gambar 2.19**). Yang paling menonjol tentang dinding sel Gram negatif adalah adanya membran plasma yang terletak di luar lapisan peptidoglikan, yang dikenal sebagai membran luar (*outer membrane*). Membran luar membentuk lapisan sebagian besar dinding sel Gram negatif. Membran luar terdiri atas lipid lapisan ganda (*bilayer*). Membran luar berbeda dari membran sel dengan kehadiran molekul besar yang dikenal sebagai *lipopolysaccharide* (LPS). LPS terdiri atas tiga komponen yang berbeda: (1) antigen-O atau polisakarida O, yang mewakili bagian paling luar dari struktur, (2) inti polisakarida, dan (3) lipid A. LPS diketahui memiliki banyak fungsi berbeda untuk sel, seperti berkontribusi pada muatan negatif

netto untuk sel, membantu menstabilkan membran luar, dan memberikan perlindungan dari zat kimia tertentu dengan secara fisik memblokir akses ke bagian lain dari dinding sel.

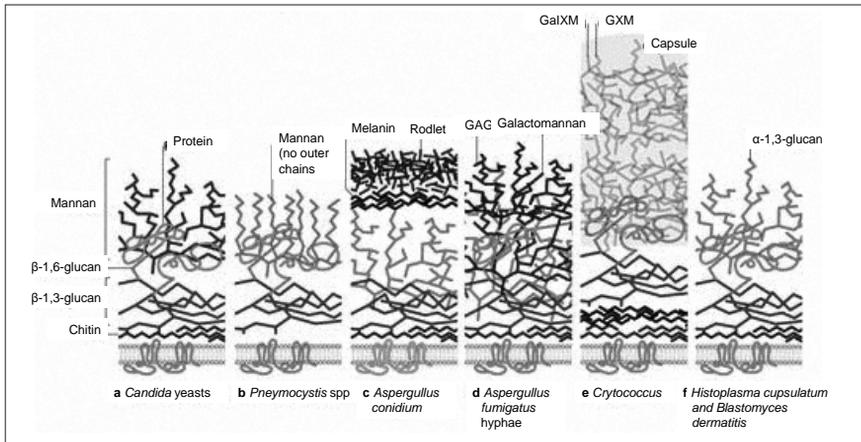


Gambar 2.19 Struktur dinding sel bakteri Gram negatif (Bruslind 2020)

Dinding Sel Fungi (Kapang dan Khamir)

Dinding sel fungi terletak di luar membran plasma dan merupakan kompartemen sel yang memediasi semua hubungan sel dengan lingkungan (**Gambar 2.20**). Struktur ini melindungi isi sel, memberikan kekakuan dan mendefinisikan struktur seluler fungi. Dinding sel fungi adalah organel seluler yang spesifik dan kompleks, terdiri atas glukana, *chitin*, *chitosan*, dan protein glikosilasi. Protein umumnya tersusun bersama dengan polisakarida membentuk glikoprotein. Bersama-sama, komponen ini berkontribusi pada kekakuan dinding sel.

Glukan adalah polisakarida struktural yang paling penting dinding sel fungi dan merupakan 50–60% dari berat kering struktur dinding sel. Sebagian besar polimer glukana terdiri atas 1,3 tautan unit glukosa (65–90%), meskipun ada juga glukana dengan tautan β -1,6 (dalam *Candida*, tetapi tidak dalam *Aspergillus*), β -1,4, α -1,3 dan α -1,4. Kandungan kitin dari dinding fungi bervariasi sesuai dengan fase morfologis fungi. Umumnya kandungan kitin mencapai sekitar 1–2% dari kering berat dinding sel khamir, sementara dalam kapang filamen dapat mencapai hingga 10–20%.



Gambar 2.20 Struktur dinding sel fungi (Gow *et al.* 2017)

Protein pada glikoprotein menyusun 30–50% dari berat kering dinding sel khamir dan mencapai 20–30% dari berat kering dinding sel kapang filamen. Sebagian besar protein berasosiasi dengan karbohidrat melalui ikatan yang terbentuk dengan atom O atau N untuk menghasilkan glikoprotein.

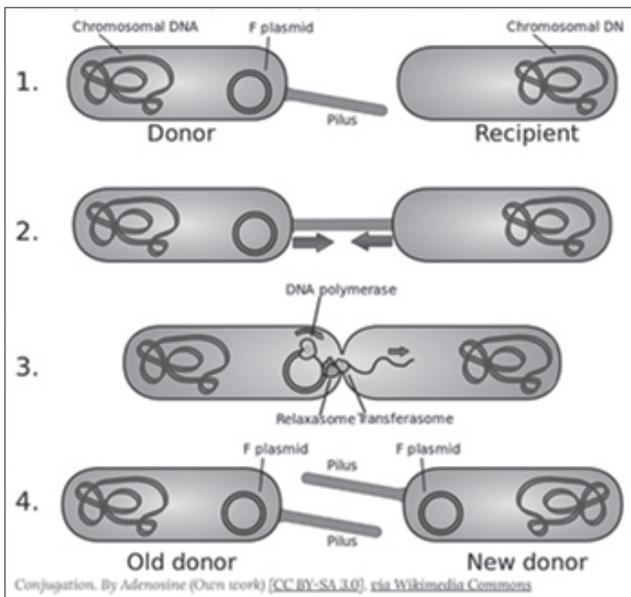
2.7.3 Genetika Mikroba

Genetika mikroba adalah studi yang membahas tentang mekanisme pewarisan informasi genetik dalam mikroorganisme. Beberapa mekanisme yang umum adalah konjugasi, transformasi, dan transduksi.

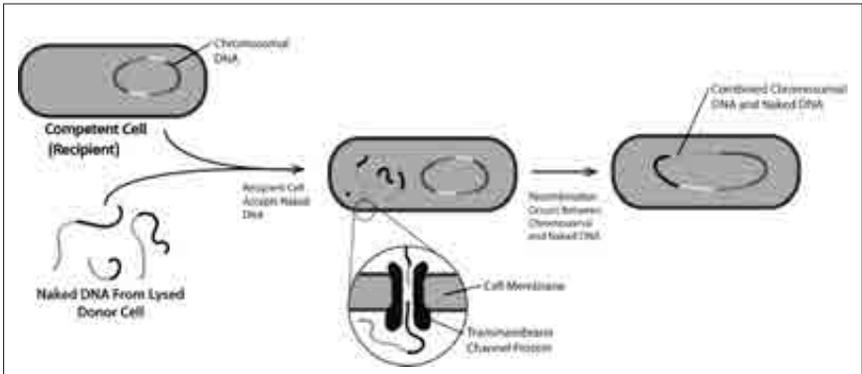
Konjugasi adalah proses di mana bakteri donor mentransfer salinan plasmid ke bakteri penerima melalui pilus. Proses ini membutuhkan kontak sel ke sel. Sel donor (F⁺) memiliki plasmid konjugatif, sepotong DNA utas-ganda ekstra kromosomal yang mengode protein yang diperlukan untuk membuat filamen mirip benang yang dikenal sebagai pilus (**Gambar 2.21**). Pilus digunakan untuk mengikat ke sel penerima (F⁻), membawanya dekat dengan sel donor. Suatu saluran di antara dua sel kemudian terbuka, yang memungkinkan salinan DNA utas-tunggal dari plasmid untuk masuk ke sel penerima. Kedua sel kemudian membuat salinan komplementer ke DNA utas-tunggal, menghasilkan dua sel F⁺ yang mampu terkonjugasi.

Proses transformasi juga memungkinkan sel bakteri memperoleh gen baru, tetapi tidak memerlukan kontak sel ke sel (**Gambar 2.22**). Dalam proses ini gen baru diperoleh langsung dari lingkungan. Biasanya proses ini membutuhkan sel donor yang pada suatu saat melisis dan melepaskan DNA telanjang (*naked-DNA*) ke lingkungan. Sel penerima adalah sel yang mampu mengambil DNA dari lingkungan dan menggabungkannya ke dalam genomnya sendiri (*competent cell*).

Transduksi melibatkan penggunaan virus, bakteriofag, untuk bertindak sebagai saluran untuk memindahkan gen bakteri dari satu sel ke sel lainnya, sehingga tidak perlu adanya kontak sel ke sel. Ada dua jenis transduksi yang berbeda, yaitu transduksi umum dan transduksi khusus.

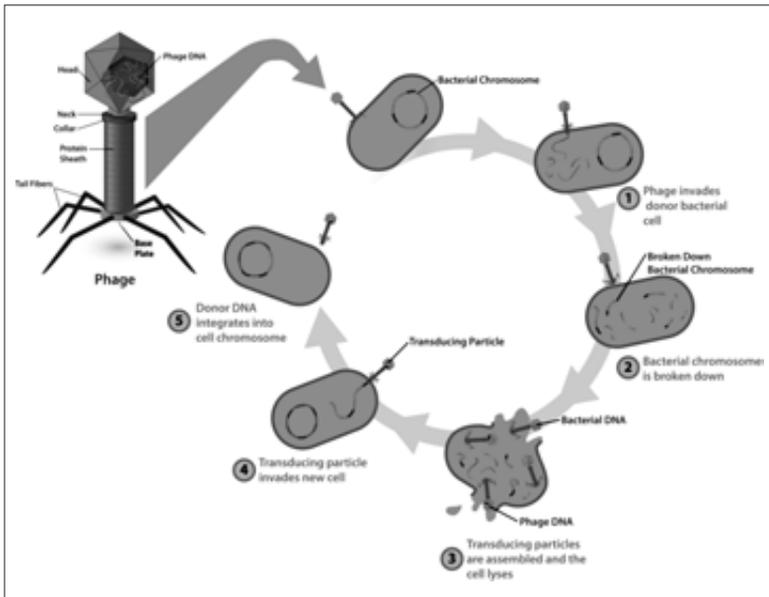


Gambar 2.21 Proses konjugasi (Bruslind 2020)



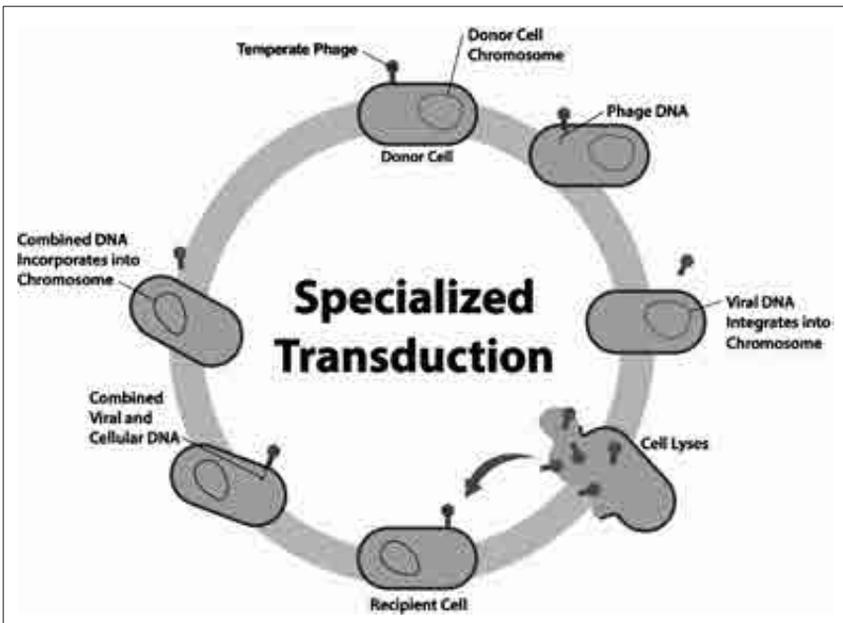
Gambar 2.22 Akuisisi gen melalui proses transformasi (Bruslind 2020)

Pada transduksi umum, sel inang (*host*) bakteri terinfeksi dengan bakteriofag yang virulen atau sedang dalam siklus replikasi litik (**Gambar. 2.23**). Setelah tiga langkah pertama replikasi (penyerapan, penetrasi, dan sintesis), virus masuk ke tahap perakitan, di mana virion sepenuhnya dibuat. Jika DNA (dari sel inang bakteri pertama) dimasukkan ke dalam kromosom penerima, gen dapat diekspresikan.



Gambar 2.23 Proses transduksi umum (Bruslind 2020)

Transduksi khusus hanya dapat terjadi pada *temperate* bakteriofag, karena melibatkan siklus replikasi lisogenik (**Gambar 2.24**). Bakteriofage secara acak menempel pada sel inang bakteri, menyuntikkan DNA virus di dalamnya. DNA berintegrasi ke dalam kromosom sel inang dan membentuk profag. Pada beberapa titik terjadi induksi, di mana profag dikeluarkan dari kromosom bakteri. Karena DNA ini digunakan sebagai *template* untuk tahap sintesis, semua salinan akan menjadi hibrida dari DNA virus dan bakteri, dan semua virion yang dihasilkan mengandung DNA virus dan bakteri. Setelah sel dilisiskan, virion dilepaskan untuk menginfeksi sel inang bakteri lainnya. Setiap virion menempel pada sel inang dan menyuntikkan hibrida DNA, yang dapat dimasukkan ke dalam kromosom inang, jika profag terbentuk. Pada titik ini sel inang bakteri kedua dapat mengandung DNA sendiri, DNA dari sel inang bakteri sebelumnya, dan DNA virus.



Gambar 2.24 Proses transduksi khusus (Bruslind 2020)

2.7.4 Peran Mikroorganisme

Mikroorganisme penting bagi manusia dan kesehatan dalam banyak hal, yaitu berfungsi dalam fermentasi pangan, pengolahan limbah, menghasilkan bahan bakar, serta produksi enzim, dan senyawa bioaktif lainnya. Alam menggunakan mikroorganisme untuk melakukan proses fermentasi, dan selama ribuan tahun manusia telah menggunakan khamir, kapang dan bakteri untuk membuat produk pangan seperti roti, bir, anggur, cuka, yoghurt dan keju, serta produk fermentasi dari ikan, daging, dan sayuran.

Mikroorganisme adalah bagian integral dari sistem produksi pangan fermentasi. Kultur mikroba dapat ditingkatkan secara genetik dengan menggunakan pendekatan tradisional dan molekuler. Peningkatan fungsi bakteri, kapang dan khamir adalah subjek dari banyak penelitian akademis dan industri. Mikroorganisme dapat dimanfaatkan untuk peningkatan kualitas sensori (rasa, aroma, penampilan visual, tekstur, dan konsistensi), resistensi starter terhadap virus (bakteriofag) dalam fermentasi susu, dan kemampuan untuk menghasilkan senyawa antimikroba (misal bakteriosin, hidrogen peroksida) untuk menghambat mikroorganisme yang tidak diinginkan. Secara ringkas, peran mikroorganisme dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.5 Peran dan pemanfaatan mikroba

| Bidang | Contoh |
|---------------------|---|
| Proses klasik | Bakteri asam laktat pada yoghurt dan kefir, bakteri asam asetat pada vinegar, kapang <i>Aspergillus</i> sp. pada kecap, dan kapang <i>Rhizopus</i> sp. pada tempe, khamir pada <i>wine</i> dan roti |
| Produksi antibiotik | Penisilin oleh kapang <i>Penicillium</i> sp., streptomisin oleh <i>Streptomyces</i> sp. |
| Proses baru | Enzim amilase oleh kapang <i>Aspergillus</i> sp, asam glutamat oleh <i>Corynebacterium glutamicum</i> , riboflavin oleh <i>Eremothecium gossypii</i> dan lain-lain. |
| Bidang pertanian | Pupuk hayati (biofertilizer), biopestisida, pengomposan, dan sebagainya. |
| Bidang pertambangan | Proses <i>leaching</i> di tambang emas, desulfurisasi batubara, maupun untuk proses penambangan minyak bumi |
| Bidang lingkungan | Mengatasi pencemaran limbah organik maupun anorganik termasuk logam berat dan senyawa xenobiotik |

2.7.5 Identifikasi dan Karakterisasi Mikroorganisme

Metode konvensional untuk mengidentifikasi mikroorganisme pada pangan didasarkan pada pembiakan mikroorganisme pada cawan agar diikuti dengan identifikasi biokimia standar. Metode konvensional biasanya tidak mahal dan sederhana, tetapi metode ini dapat memakan waktu karena tergantung pada kemampuan mikroorganisme untuk tumbuh di media kultur yang berbeda seperti media pra-pengayaan, media pengayaan selektif dan media cawan selektif. Biasanya metode konvensional memerlukan 2–3 hari untuk identifikasi awal dan lebih dari satu minggu untuk mengonfirmasi sampai tingkat spesies. Metode konvensional juga memerlukan persiapan media kultur, inokulasi pada cawan dan penghitungan koloni. Selain itu, metode konvensional mungkin dibatasi oleh sensitivitasnya yang rendah. Hasil negatif palsu dapat terjadi karena mikroorganisme yang viabel tetapi tidak dapat dikulturkan (VBNC).

Pada beberapa dekade terakhir berbagai metode cepat dengan sensitivitas dan spesifisitas tinggi telah dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan metode konvensional. Secara umum, metode deteksi cepat dikategorikan ke dalam metode berbasis asam nukleat, berbasis biosensor dan berbasis imunologi. Metode berbasis asam nukleat beroperasi dengan mendeteksi DNA spesifik atau urutan RNA dalam mikroorganisme target. Hal ini dilakukan dengan melakukan hibridisasi sekuen asam nukleat target ke oligonukleotida sintesis (probe atau primer) yang komplementer dengan target sekuen. Metode berbasis biosensor umumnya memanfaatkan perangkat analitis yang terdiri atas dua elemen utama, yaitu bioreseptor dan transduser. Bioreseptor bertanggung jawab untuk mengenali analit target yang dapat berupa: (1) Bahan biologis (enzim, antibodi, asam nukleat dan reseptor sel), atau (2) Bahan yang diturunkan secara biologis: aptamers dan rekombinan antibodi, atau (3) Biomimik (polimer tercetak dan katalis sintetik). Transduser mengubah interaksi biologis menjadi sinyal listrik yang dapat diukur, dapat berupa optik, elektrokimia, berbasis massa, termometrik, mikromekanis atau magnetik. Deteksi mikroorganisme dengan metode berbasis imunologis didasarkan pada interaksi antibodi-antigen, di mana antibodi tertentu berikatan dengan antigen spesifiknya. Kekuatan ikatan antibodi tertentu

terhadap antigennya menentukan sensitivitas dan spesifisitas metode berbasis imunologis. Metode berbasis imunologi melibatkan penggunaan poliklonal dan antibodi monoklonal. *Enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA) dan *lateral flow immunoassay* merupakan metode berbasis imunologi yang pada dekade terakhir banyak digunakan untuk mendeteksi mikroorganisme pada pangan.

2.8 Ringkasan

1. Ilmu dasar yang sangat berkaitan dan mendasari ilmu dan teknologi pangan adalah kalkulus, fisika, kimia, kimia organik, biologi, mikrobiologi dasar. Bidang ilmu dasar lain yang penting adalah kimia analitik, kimia fisik, biokimia, ilmu gizi, statistika, dan ilmu komunikasi.
2. Kalkulus dan fisika sangat diperlukan pada saat memahami ilmu rekayasa pangan, sifat fisik pangan, dan kinetika. Banyak ilmu pangan yang dapat dijelaskan dengan ilmu dasar ini. Ilmu kalkulus yang diperlukan adalah limit, turunan, diferensiasi, model persamaan linier, kuadratik dan polinomial, optimisasi, integral, fungsi trigonometri, dan fungsi eksponensial. Prinsip ilmu fisika dasar yang diperlukan adalah sifat fisik dan hukum yang meliputi mekanika, kerja dan energi, fluida, termodinamika, gelombang, elektromagnetisme, optik, relativitas, dan fisika modern.
3. Kimia anorganik, kimia organik, kimia analitik, dan kimia fisik merupakan bidang ilmu kimia dasar yang sangat diperlukan untuk memberikan dasar keilmuan di bidang ilmu dan teknologi pangan. Bidang ilmu ini banyak bersinggungan dengan bidang ilmu kimia pangan, analisis pangan, biokimia pangan, dasar keteknikan pangan, mikrobiologi pangan, karakteristik bahan pangan, pengolahan pangan, pengemasan dan penyimpanan pangan.
4. Biologi merupakan ilmu dasar yang dapat menjelaskan banyak fenomena dalam ilmu pangan. Bidang ilmu ini banyak bersinggungan dengan bidang kimia dan biokimia pangan, karakteristik bahan pangan,

fisiologis pasca panen, proses pengolahan pangan, bioteknologi, dsb. Ilmu dasar biologi yang dibutuhkan adalah yang terkait dengan pemahaman konsep dasar sistem hidup, biologi sel dan molekuler, mitosis dan meiosis, prinsip genetika, dan biologi perkembangan.

5. Mikrobiologi dasar diperlukan sebagai dasar dalam mempelajari mikrobiologi pangan, teknologi fermentasi, bioteknologi, keamanan pangan, dsb. Aspek ilmu mikrobiologi penting yang perlu dikuasai adalah prinsip dasar mikroba yang meliputi bakteri, khamir, kapang, dan virus; struktur dan fungsi sel mikroba, metabolisme, genetika mikroba, dan peran mikroba dalam penyakit, kekebalan, dan aplikasi lainnya yang sesuai, serta teknik dasar yang digunakan dalam mengamati aktivitas dan sifat mikroba yang meliputi penanganan, identifikasi, dan karakterisasi mikroba dan aktivitasnya

2.9 Pustaka

- Anonim. 2017. <https://www.istockphoto.com/vector/six-types-of-viruses-on-white-background-gm838082782-136418499>. Diakses 29 Juni 2020.
- Anonim. 2020. <http://mold-awareness.org/mold-types/>. Diakses 29 Juni 2020.
- Bobick J, Balaban N, Bobick S, Roberts LB. 2004. *Handy Biology Answer Book*.
- Bruslind L. 2020. General Microbiology. Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License. (e-book) <https://open.oregonstate.edu/generalmicrobiology/>. Diakses tanggal 5 Juni 2020.
- Gow NAR, Latge JP, Munro CA. 2017. *The Fungal Cell Wall: Structure, Biosynthesis, and Function*. [ASMscience.org/MicrobiolSpectrum](https://asmscience.org/MicrobiolSpectrum).
- Law JW *et al.* 2015. Rapid methods for the detection of foodborne bacterial pathogens: principles, applications, advantages and limitations. *Front Microbiology*.

Reece JB, Urry LA, Cain ML, Wasserman SA, Minorsky PV, Jackson RB. 2013. *Campbell Biology*. Pearson. Boston.

Shetty V. 2016. *Mitosis Vs Meiosis – How Does Cell Division Work?* <https://www.scienceabc.com/nature/mitosis-vs-meiosis-how-does-cell-division-work.html> diakses tanggal 21 April 2020.

Latihan

Petunjuk: Untuk memahami materi pada Bab 2 ini, kerjakan soal berikut. Pilih satu jawaban yang benar.

1. Ilmu fisika yang bersinggungan dengan sifat reologi pangan cair:
 - a. Mekanika fluida
 - b. Termodinamika
 - c. Hukum kekekalan massa
 - d. Kinetika
2. Prinsip pengeringan bahan pangan dengan pengeringan beku menggunakan prinsip ilmu fisika berikut:
 - a. Termodinamika
 - b. Fase air
 - c. Mekanika fluida
 - d. Sifat koligatif
3. Berikut yang merupakan ilmu dasar yang diperlukan dalam ilmu dan teknologi pangan, kecuali:
 - a. Kimia
 - b. Biologi
 - c. Fisika
 - d. Ekonomi

4. Berikut ini faktor lingkungan di luar pangan yang dapat mempengaruhi laju reaksi:
 - a. pH
 - b. aktivitas air
 - c. suhu
 - d. komponen kimia penyusun
5. Bidang ilmu kimia yang relevan untuk menjelaskan struktur molekul air, kecuali
 - a. Ikatan kovalen
 - b. Ikatan koordinat
 - c. Ikatan hidrogen
 - d. Struktur atom
6. Fenomena ilmu kimia yang dapat menjelaskan fenomena reaksi Maillard dalam sistem pangan:
 - a. Kestimbangan kimia
 - b. Kinetika reaksi
 - c. Struktur kimia
 - d. Semuanya benar
7. Gula yang disimpan dalam tanaman menjadi sumber gula dalam kehidupan. Ilmu biologi yang terkait
 - a. Fotosintesis
 - b. Replikasi DNA
 - c. Respirasi
 - d. Biokimia molekuler

8. Kajian mengenai enzim dan aplikasinya dalam pangan sangat erat dengan bidang ilmu biologi berikut:
 - a. Biokimia molekuler
 - b. Respirasi
 - c. Respirasi
 - d. Fotosintesis
9. Mikroba berikut tidak dapat tumbuh dalam pangan:
 - a. Bakteri
 - b. Kapang
 - c. Virus
 - d. Khamir
10. Yang salah tentang bakteri Gram negatif
 - a. Memiliki membran plasma
 - b. Dinding selnya sebagian besar terdiri dari peptidoglikan
 - c. Dinding selnya lebih kompleks daripada bakteri Gram positif
 - d. Membran luar sebagian besar tersusun oleh LPS

Tugas Mandiri (*Challenge Questions*)

1. Bila Anda membuat segelas teh, ilmu fisika apa yang terkait dengan mekanisme ekstraksi komponen teh ke dalam sistem air.
2. Berikan satu contoh aplikasi ilmu kimia dasar, kimia analitik, kimia fisik atau kimia organik dalam menjelaskan fenomena yang terjadi dalam sistem pangan.
3. Berikan satu contoh enzim yang dihasilkan oleh proses biokimia tanaman, serta aplikasinya dalam bidang pangan.
4. Sebutkan satu jenis mikroba baik yang menguntungkan atau merugikan yang terkait dengan bidang pangan.

Bab

3

Karakteristik Bahan Pangan

Nur Aini dan Yudi Pranoto

3.1 Pendahuluan

Proses pengolahan pangan di industri pangan menggunakan bahan baku, baik dalam bentuk segar, bahan setengah jadi (*intermediate*) dan bahan tambahan pangan. Bahan pangan segar (contohnya sayuran, buah, umbi, telur, susu, ikan, dsb) umumnya diproses dengan melewati tahapan proses pencucian, penyembelihan, pemotongan, pembersihan, pengupasan, sortasi, ekstraksi, dsb). Proses yang diterapkan sesuai dengan kondisi dan karakteristik dari bahannya. Hasil proses pengolahan bahan pangan dapat menghasilkan bahan setengah jadi untuk diproses lebih lanjut atau sebagai produk akhir yang siap dikonsumsi. Dalam proses pengolahan pangan yang melibatkan proses yang lebih kompleks, baik dari segi bahan baku yang digunakan maupun unit operasi yang diterapkan, maka interaksi fisik dan kimia antara satu bahan dengan bahan lain, atau dengan parameter proses (pengaruh pemanasan, pendinginan, pengadukan, tekanan, dsb) dapat terjadi, yang akan memengaruhi mutu produk akhir yang dihasilkan.

Setiap bahan pangan memiliki karakteristik yang unik, baik dari komposisi kimia maupun karakteristik fisikokimianya. Dengan demikian, interaksi antar bahan dan perlakuan proses pengolahan yang sama belum tentu memberikan karakteristik mutu produk akhir yang sama. Sebagai contoh, karakteristik biskuit yang dihasilkan dari bahan tepung terigu dan tepung singkong berbeda,

walaupun kondisi proses pengolahannya sama. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan karakteristik dari kedua tepung. Oleh karena itu, seorang lulusan teknologi pangan, terutama yang bekerja di bagian pengembangan produk dan produksi, memerlukan pengetahuan bahan pangan yang memadai yang diperlukan pada saat memilih bahan yang sesuai dengan kondisi proses dan karakteristik produk akhir yang diinginkan.

Bahan baku pangan di alam sangat beragam jenisnya, yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi bahan pangan nabati (seperti sereal, kacang-kacangan, umbi-umbian, rumput laut), dan hewani (daging, telur, susu, dan ikan). Bab 3 ini membahas pengelompokan bahan pangan, komposisi kimia bahan pangan, dan karakteristik dasar beberapa bahan pangan penting yang banyak digunakan dalam proses pengolahan pangan di industri pangan.

3.2 Komposisi Bahan Pangan

Pengelompokan bahan pangan dapat berdasarkan komoditas atau bahan bakunya. *United State Department of Agriculture* (USDA) mengelompokkan bahan pangan menjadi 14 kelompok, yaitu daging, unggas, ikan dan *seafood*, telur, susu, olahan susu, lemak dan minyak, buah, sayur, kacang-kacangan, sereal, pemanis, kopi, dan kakao.

Komposisi pangan merupakan susunan komponen atau substansi pada suatu bahan pangan. Komposisi pangan umumnya dikelompokkan menjadi kelompok komponen mikro (air, protein, lemak, dan karbohidrat) dan komponen mikro (vitamin dan mineral). Masing-masing komponen makro dan mikro dapat dibagi menjadi komponen yang lebih rinci. Misalnya, karbohidrat menjadi monosakarida, disakarida, oligosakarida, dan polisakarida. Demikian juga, sub-kelompok ini dapat dirinci kembali, misalnya monosakarida menjadi glukosa, fruktosa, galaktosa, dan sebagainya. Pembahasan mengenai kimia komponen pangan ini dibahas pada Bab 6.

Untuk mengetahui komposisi masing-masing pangan, maka dibuat tabel komposisi pangan. Tabel komposisi pangan memberikan informasi mengenai jenis dan jumlah masing-masing komponen kimia. Komposisi bahan pangan dipublikasikan oleh USDA pada website

<https://fdc.nal.usda.gov/>. Jenis komponen yang tercantum dalam tabel komposisi pangan meliputi protein, lemak, karbohidrat (dalam bentuk pati, gula, dan serat), vitamin dan mineral. Di Indonesia, data komposisi bahan pangan disajikan oleh Departemen Kesehatan dalam Daftar Komposisi Bahan Makanan (DKBM). Dengan data komposisi bahan pangan, maka dapat diperkirakan komposisi kimia dari suatu produk pangan, baik yang dibuat dari bahan tunggal maupun dalam bentuk produk formulasi.

Komposisi pangan mentah terdiri atas bahan yang tersedia secara alami, sedangkan untuk bahan pangan olahan, selain tergantung cara pengolahannya juga terkadang ditambahkan bahan tambahan pangan. Bahan pangan pada kategori yang sama, cenderung memiliki komposisi yang hampir sama, dengan perbedaan pada jumlahnya. Sebagai contoh, kelompok umbi-umbian memiliki komponen terbesar berupa karbohidrat dalam bentuk pati, dengan komposisi lemak dan protein dalam jumlah rendah. Kelompok susu dan olahannya memiliki kadar protein, lemak dan kalsium lebih tinggi. Sebaliknya, kelompok buah dan sayur memiliki kadar protein dan lemak rendah, namun memiliki kadar vitamin A, vitamin C dan serat yang tinggi.

Serealialia dan umbi-umbian merupakan sumber karbohidrat utama, sehingga menjadi penyedia energi. Karbohidrat utama yang terdapat pada serealialia dan umbi-umbian adalah pati. Pati terdapat dalam bentuk granula kecil, di mana setiap jenis pati memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda, yang disusun oleh dua komponen utama amilosa dan amilopektin. Pembahasan mengenai pati dan sifatnya dibahas di Bab 6. Masing-masing serealialia dan umbi-umbian memiliki proporsi amilosa-amilopektin tertentu. Proporsi amilosa dan amilopektin menentukan karakteristik bahan pangan berpati apabila diproses. Apabila pati memiliki kadar amilosa tinggi, maka produk yang dihasilkan bersifat plastis dan struktur produk padat, sedangkan produk berupa gel akan bersifat tegar, namun lebih mudah mengalami retrogradasi dan sineresis. Apabila pati memiliki kadar amilopektin tinggi, maka produk bersifat elastis dan struktur produk berpori, sedangkan gel yang dihasilkan bersifat lunak dan lebih lambat mengalami retrogradasi dan sineresis. Selain pati sebagai komponen utama, serealialia dan umbi-umbian juga mengandung gula dan serat. Gula dapat dalam bentuk glukosa, fruktosa dan maltosa.

Selain karbohidrat, sereal juga merupakan sumber protein dan lemak dalam jumlah kecil. Zat gizi mikro juga terdapat pada sereal dan umbi-umbian, berupa vitamin dan mineral, misalnya vitamin E, beberapa vitamin B, natrium, magnesium dan seng.

3.3 Serealia

Gandum, beras, jagung, sorgum, *millet*, *barley* dan *oat* merupakan jenis serealia yang ada di dunia. Masing-masing sereal mempunyai sifat yang khusus/unik. Keunikan sifat masing-masing sereal tersebut menghasilkan sifat yang berbeda apabila diaplikasikan pada produk yang sama. Sebagai contoh, gandum dan jagung akan menghasilkan sifat yang berbeda, baik dari segi gizi dan sifat sensoris, apabila dibuat menjadi *breakfast cereal* (Kent dan Evers, 1994).

Di antara jenis serealia tersebut, yang banyak dikonsumsi di Indonesia adalah beras sebagai makanan pokok. Beras dan jagung merupakan sereal paling penting yang dapat tumbuh dengan kondisi iklim di Indonesia. Gandum juga mempunyai peran penting di Indonesia karena penduduk Indonesia banyak menggunakan tepung terigu yang merupakan olahan dari gandum. Namun, iklim di Indonesia kurang sesuai untuk pertumbuhan gandum sehingga kecukupannya dipenuhi dari impor. Jenis dan komposisi gizi beberapa serealia disajikan pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Komposisi gizi beberapa jenis serealia tiap 100 g bahan

| Komponen | Beras | Jagung | Gandum | Sorghum | Millet | Oat | Barley | Rye |
|-----------------|-------|--------|--------|---------|--------|------|--------|-------|
| Karbohidrat (g) | 79 | 72 | 77 | 73 | 72,9 | 67 | 77,4 | 63 |
| Protein (g) | 7,5 | 8,9 | 8,9 | 11 | 9,9 | 16 | 13,1 | 10,5 |
| Lemak (g) | 0,7 | 4,5 | 1,3 | 3,3 | 2,9 | 6,3 | 1,9 | 2,5 |
| Energi (kkal) | 360 | 361 | 365 | 332 | 443 | 384 | 352 | 256 |
| Thiamin (mg) | 0,34 | 0,37 | 0,55 | 0,38 | 0,73 | 0,73 | 0,49 | 0,005 |
| Riboflavin (mg) | 0,05 | 0,12 | 0,12 | 0,15 | 0,38 | 0,14 | 0,31 | 0,002 |
| Niasin (mg) | 1,7 | 2,2 | 4,3 | 3,9 | 2,3 | 0,78 | 4,6 | 0,012 |
| Mineral (g) | 1,2 | 1,2 | 1,7 | 1,7 | 2,5 | 2,9 | 2,7 | 2 |
| Kalsium (mg) | 32 | 22 | 41 | 28 | 20 | 94 | 40 | 49 |
| Fosfor (mg) | 260 | 294 | 387 | 305 | 379 | 385 | 356 | 428 |
| Zat besi (mg) | 2,8 | 3,1 | 4,6 | 7 | 11 | 6,2 | 4,6 | 4,4 |

Sumber: <https://fdc.nal.usda.gov/>

Pada umumnya, biji serealida terdiri atas tiga bagian utama, yaitu perikarp, endosperma, dan lembaga. Perikarp merupakan lapisan luar yang tipis, berfungsi mencegah embrio dari organisme pengganggu dan kehilangan air. Endosperma merupakan bagian utama yang terdiri atas 75% dari bobot biji berupa endosperma yang merupakan cadangan makanan. Endosperma terdiri 90% pati dan 10% protein, mineral, minyak, dan lainnya. Lembaga (*germ*) merupakan bagian yang banyak mengandung lemak. Khusus untuk jagung ada bagian khusus yaitu *tip cap*, yaitu bagian yang menghubungkan biji dengan janggél.

Serealida merupakan sumber karbohidrat, terutama pada bagian endosperma, namun kadar protein serealida juga cukup tinggi (**Tabel 3.1**). Protein serealida biasanya kurang asam amino lisin dan memiliki triptopan dan metionin dalam jumlah yang sedikit (Charley dan Weaver 1998). Serealida umumnya tidak diproses langsung menjadi produk yang dapat dikonsumsi, tetapi diolah dahulu menjadi produk setengah jadi. Proses pertama dalam pengolahan serealida adalah penggilingan, sehingga dihasilkan bentuk tepung, sehingga dikenal tepung terigu, tepung beras, maizena, dsb. Komponen kimia dari serealida juga dapat dipisahkan melalui proses pemisahan atau ekstraksi. Sebagai contoh, proses pemisahan dari bulir jagung menghasilkan gluten, minyak jagung, serat, dan pati jagung (maizena).

3.3.1 Beras

Beras merupakan pangan sumber karbohidrat yang utama bagi masyarakat Indonesia. Sumbangan energi dari beras pada masyarakat Indonesia sebesar 75% energi harian. Ada beragam varietas beras di Indonesia antara lain IR 36, IR 64, Logawa, Rojolele, IR 42, Ciherang, dan sebagainya. Menurut FAO, sebagai pangan sumber berkarbohidrat, beras memainkan peran penting dalam penyediaan energi dan nutrisi. Selain sebagai sumber karbohidrat, beras juga merupakan sumber protein, vitamin dan juga mineral. Beras berkontribusi terhadap 20% energi dari makanan di dunia.

Berdasarkan kadar amilosanya, beras dibedakan menjadi empat, yaitu beras dengan kadar amilosa tinggi (>25%), kadar amilosa sedang (20–25%), kadar amilosa rendah (9–20%), dan kadar amilopektin tinggi (98–99%).

Beras kadar amilosa tinggi memiliki tekstur yang sangat pera bila dimasak, dan setelah dingin nasi yang dihasilkan mudah mengeras karena retrogradasi pati. Beras jenis ini biasanya diolah menjadi produk bihun. Beras kadar amilosa sedang, apabila dimasak menghasilkan nasi yang tidak terlalu pera, dan sering juga diolah menjadi tepung. Beras kadar amilosa rendah apabila dimasak menghasilkan nasi yang pulen. Beras jenis ini diolah menjadi produk pangan seperti sereal sarapan. Beras kadar amilopektin tinggi memiliki tekstur nasi yang sangat lengket, liat dan rasa manis. Di Indonesia, jenis beras dikenal sebagai beras ketan, yang digunakan untuk beberapa produk kue tradisional dengan tekstur padat dan lengket, serta pada produk fermentasi seperti tape dan brem.

Pada umumnya beras yang dikonsumsi masyarakat dalam bentuk beras putih. Namun dengan semakin meningkatnya minat masyarakat terhadap pangan fungsional yang bermanfaat untuk mempertahankan kesehatan, masyarakat mulai mengonsumsi jenis beras lain yaitu beras merah dan beras hitam. Beras merah merupakan jenis beras yang tidak mengalami penyosohan saat pengolahan, dan mengandung antosianin yang memberikan warna merah. Tidak adanya tahap penyosohan mengakibatkan beras merah memiliki komponen gizi yang lebih baik dibandingkan beras biasa yang disosoh hingga bersih. Beras merah memiliki serat kasar, asam lemak esensial, vitamin B kompleks serta mineral yang tinggi yang banyak terdapat pada bagian kulit arinya (Trhitipramote *et al.* 2016).

Beras hitam mulai populer di masyarakat karena adanya kandungan senyawa fenolik terutama antosianin yaitu *cyranidin-3-glucoside* (C3G) (Shao *et al.* 2014). Selain dalam bentuk antosianin, beras hitam juga mengandung antioksidan lain berupa tokoferol, tokotrienol, oryzanol, dan vitamin B kompleks. Beras hitam juga mengandung kadar protein, vitamin dan mineral lebih tinggi bila dibandingkan dengan beras putih. Beras hitam mengandung asam amino esensial, seperti lisin, triptofan, vitamin seperti vitamin B1, vitamin B2, asam folat dan sumber mineral seperti zat besi, seng, kalsium, fosfor, dan selenium (Kushwaha 2016). Beberapa jenis beras hitam yang dibudidayakan di Indonesia antara lain Sirampog, Wulung, Laka, Gadong, dan sebagainya.

3.3.2 Gandum

Gandum merupakan salah satu sereal sebagai makanan pokok penduduk di dunia. Berdasarkan sifatnya, gandum dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu gandum keras (*hard wheat*), gandum lunak (*soft wheat*), dan gandum durum. Gandum keras (*Triticum aestivum*) mengandung kadar protein tinggi (11–17%) dan merupakan jenis gandum yang paling banyak ditanam. Gandum ini memiliki kulit luar berwarna cokelat, bijinya keras, dan kapasitas penyerapan airnya tinggi. Gandum lunak (*Triticum compactum*) memiliki kadar protein rendah (7–10%). Gandum ini berwarna lebih putih dibandingkan gandum keras, dengan tekstur biji lunak dan kapasitas penyerapan airnya yang rendah. Gluten dari tepung gandum lunak umumnya agak lemah dibandingkan tepung dari gandum keras. Gandum durum (*Triticum durum*) merupakan jenis gandum dengan ciri khusus bagian endosperma berwarna kuning keemasan, bukan putih seperti gandum yang lain. Warna kuning keemasan tersebut disebabkan oleh pigmen karotenoid. Gandum durum memiliki kadar protein 13–15% dan warna kulit cokelat. Tepung dari gandum durum ini biasanya digunakan untuk pembuatan pasta dan produk *bakery* tertentu misalnya *Italian semolina bread*.

Selain pembagian di atas, gandum juga dapat dibedakan berdasarkan warna dan iklim tumbuhnya. Berdasarkan warnanya dikenal gandum merah dan putih. Gandum putih tidak memiliki tanin dan asam fenol di bagian kulit terluar, warna lebih putih dan rasa lebih manis, sedangkan gandum merah memiliki tanin dan asam fenol dan rasa kurang manis. Berdasarkan musim tumbuhnya, gandum dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gandum musim semi (*spring wheat*) dan musim dingin (*winter wheat*). *Spring wheat* memiliki kadar protein lebih tinggi dan gluten lebih kuat dibandingkan *winter wheat* (Abdelghafor *et al.* 2011). Sekitar 80% gandum yang dibudidayakan adalah jenis *winter wheat*.

Pengolahan gandum biasanya dilakukan secara kering untuk menghasilkan tepung gandum atau di Indonesia disebut tepung terigu. Tepung terigu memiliki kemampuan untuk membentuk gluten yang bersifat elastis. Pada saat tepung terigu dibasahi dengan air dan dibentuk adonan, maka protein

pada gandum yaitu gliadin dan glutenin membentuk gluten yang bersifat elastis. Sifat elastis gluten pada adonan ini berkontribusi pada tekstur elastis dan tidak putus mudah dari mi saat dicetak dan dimasak (Li *et al.* 2018). Penjelasan lebih rinci mengenai proses pembuatan tepung terigu dapat di baca Bab 1 buku Jilid 2.

3.3.3 Jagung

Di Indonesia, produksi jagung sebagai bahan pangan pokok berada di urutan ketiga setelah beras dan ubikayu. Jagung dan beras sama-sama sumber karbohidrat sehingga jagung dapat dijadikan sebagai pangan pokok selain beras. Jagung mengandung protein yang lebih tinggi (8,9%) dibandingkan beras (7,5%). Jagung juga mengandung komponen bioaktif, seperti karotenoid (6,4–11,3 µg/g), yang 22% di antaranya β -karoten dan 51% xantofil.

Jagung dapat dikelompokkan menjadi jagung yang dapat langsung dikonsumsi manusia dan jagung yang digunakan untuk industri pengolahan. Jenis jagung yang langsung dikonsumsi manusia adalah jagung manis, jagung pop (*pop corn*) dan jagung putih. Jagung untuk industri berupa *flint corn*, *yellow dent corn*, *flour corn*, *high starch corn*, *high oil corn* dan *high lisin corn* (Aini 2013). Hasil pengolahan jagung di industri adalah tepung, pati dan minyak jagung yang merupakan ingredien dalam proses pengolahan pangan lebih lanjut. Proses pengolahan jagung menjadi produk antara ini dibahas pada Bab 1 buku Jilid 2.

Berdasarkan warna kernelnya, jagung dibedakan menjadi jagung kuning dan jagung putih. Sebenarnya selain kedua warna tersebut, ada jagung yang berwarna lain, misalnya merah, namun peruntukannya lebih untuk hiasan, bukan sebagai bahan pangan. Jagung putih lebih disukai untuk dikonsumsi dibandingkan jagung kuning di Afrika timur dan selatan (Aini 2013). Jagung putih jarang dikonsumsi di Indonesia karena budidayanya hanya dilakukan di beberapa daerah seperti Temanggung dan Makassar dengan produktivitas rendah (2 ton/ha). Sebagian masyarakat mengolah jagung putih menjadi nasi jagung, juga sebagai baku industri rumah tangga seperti marning dan emping jagung.

Berdasarkan kadar proporsi amilosa-amilopektin, jagung dibedakan menjadi jagung amilosa tinggi dan amilopektin tinggi. Jagung amilopektin tinggi atau disebut jagung *waxy* juga dikenal sebagai jagung pulut.

3.3.4 Sorgum

Sorgum merupakan jenis sereal yang memiliki warna putih, merah dan coklat. Berdasarkan kadar amilosanya, biji sorgum dapat dikelompokkan menjadi sorgum amilosa tinggi (*non-waxy sorghum*) dengan kadar amilosa 10–17% dan sorgum amilopektin tinggi atau yang dikenal sebagai sorgum ketan (*waxy sorghum*) dengan kadar amilosa kurang dari 1%. Sorgum mengandung serat pangan yang merupakan salah satu komponen pangan fungsional, namun sorgum memiliki senyawa antigizi, yaitu tanin (Sun *et al.* 2014). Tanin merupakan senyawa polifenolik yang dapat menurunkan daya cerna dan mutu protein karena tanin membentuk kompleks dengan protein. Adanya senyawa polifenol juga dapat menghambat aktivitas enzim pencernaan, terutama amilase dan tripsin yang berdampak pada penurunan daya cerna pati (Abdelseed *et al.* 2011). Meskipun demikian, tanin juga bermanfaat bagi tubuh sebagai antioksidan dalam jumlah tertentu. Sifat antioksidan tanin lebih tinggi daripada vitamin E dan C, dan antosianin pada sorgum juga lebih stabil (Gabaza *et al.* 2018). Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan sorgum yang tepat, sehingga komponen pangan fungsional tersebut dapat dioptimalkan dan produk yang dihasilkan dapat diterima secara sensori.

Sorgum memiliki kadar protein cukup tinggi yaitu 11% (**Table 3.1**), yang berdasarkan kelarutannya dapat dikelompokkan menjadi empat fraksi, yaitu prolamin (larut alkohol) (27,0–43,1%), glutenin (larut dalam larutan alkali) (26,1–39,6%), albumin (larut air) (2–9%), dan globulin (larut dalam larutan garam) (12,9–16,0%). Asam lemak pada sorgum terdiri atas linoleat (49%), oleat (31%), palmitat (14%), linolenat (2,7%) dan stearat (2,1%) (Taylor dan Emmambux 2008).

3.3.5 Serealia Lainnya

Jewawut atau *millet* (*Setaria italica*) selama ini lebih dikenal sebagai pakan burung, padahal nilai gizinya mendekati tanaman pangan lainnya seperti padi, jagung dan gandum. Di beberapa tempat, jewawut diolah dengan teknologi yang terbatas, sehingga produk yang dihasilkan juga terbatas umur simpannya, misalnya dalam bentuk dodol atau jenang. Di China dan Sinegal, jewawut diolah menjadi beberapa produk misalnya keripik, tepung, produk ekstruder dan pensubstitusi yoghurt. Produk olahan dari jewawut pada umumnya memiliki warna kekuningan dan *flavor* yang tajam (Oduor *et al.* 2010).

Rye merupakan pangan pokok beberapa negara di Eropa utara. Konsumsi *rye* tertinggi ada di Denmark dan Finlandia, yang konsumsi serat pangan dari *rye* mencapai 40%. Penghasil utama *rye* adalah Rusia, Polandia, Jerman, Belarusia dan Ukraina. *Rye* memiliki serat pangan yang cukup tinggi (15–21%). Serat utama pada *rye* adalah arabinoxylan (8–2%), β -glukan (1,3–2,2%) dan selulosa (1–1,7%) (Hansen *et al.* 2003). *Rye* juga mengandung fruktan (golongan fruktooligosakarida) sejumlah 4,6–6,6%. *Rye* memiliki kadar protein yang lebih tinggi dibandingkan gandum (**Tabel 3.1**), namun produk dari tepung *rye* tidak bisa mengembang karena protein tepung *rye* tidak memiliki kemampuan membentuk gluten, walaupun protein *rye* juga mengandung gliadin dan glutenin dalam jumlah lebih sedikit dibandingkan gandum. Pada *rye*, gliadin tidak bereaksi dengan glutenin sebagaimana pembentukan gluten pada tepung gandum (Hamaker 2008).

Barley merupakan jenis serealia yang awalnya dikonsumsi dalam jumlah besar di Tibet dan Maroko. Namun dengan adanya pengetahuan mengenai keistimewaan *barley* sebagai sumber serat pangan, terutama β -glukan, mulai terjadi peningkatan konsumsi *barley* di negara lain (Anderson dan Aman 2008). Selain itu, dinding sel endosperma pada *barley* juga memiliki sifat lebih resisten terhadap retogradasi dibandingkan gandum dan maizena, sehingga daya cernanya lebih rendah yang sesuai untuk dikonsumsi oleh orang yang menginginkan pangan dengan indeks glikemik rendah. *Barley* dapat

dikonsumsi dalam bentuk olahan langsung atau setelah proses penggilingan menjadi tepung atau semolina. *Barley* dapat dikonsumsi langsung seperti halnya *popcorn*.

Oat merupakan jenis sereal yang memiliki kelebihan adanya serat larut dalam bentuk β -glukan lebih banyak, sehingga kecernaannya lebih lambat. *Oat* memiliki kadar protein lebih tinggi (16%) dibandingkan sereal lain (**Tabel 3.1**), dan sifat protein *oat* mirip dengan protein kedelai. Selain β -glukan, dinding sel *oat* juga mengandung pentosan yang juga merupakan serat larut. Dibandingkan jenis sereal yang lain, *oat* memiliki kadar lemak yang lebih tinggi (6,3%). Lemak pada *oat* berada pada bagian endosperma, berbeda dengan sereal lainnya yang terutama terdapat pada lembaga. Sebagian besar asam lemak pada *oat* merupakan asam lemak tidak jenuh, yang terbanyak adalah asam oleat. *Oat* dapat diolah menjadi *oatmeal*, *flakes*, *bread* dan *breakfast cereal*. *Oat* juga dapat diolah langsung menjadi *quick cooking oats*, baik dalam bentuk *cut*, *steamed* maupun *rolled*.

3.4 Umbi-umbian

Umbi-umbian merupakan sumber karbohidrat penting di Indonesia setelah sereal. Kelemahan umbi-umbian adalah kadar proteinnya rendah, tidak setinggi sereal. Kelemahan lain dari umbi-umbian adalah kadar airnya relatif tinggi dengan tingkat keasaman rendah, sehingga umur simpannya lebih pendek dibandingkan sereal. Ada beragam umbi-umbian di Indonesia, yang terbanyak produksinya yaitu ubi kayu, ubi jalar dan kentang. Jenis umbi-umbian lain di Indonesia antara lain talas, garut, kimpul, ganyong, dan sebagainya.

Komponen utama umbi-umbian adalah air (60–90%), pati dan serat, serta sejumlah kecil protein, lemak, gula, vitamin dan mineral (**Tabel 3.2**). Kulit umbi-umbian merupakan pelindung terhadap mikroorganisme dan serangga, namun kulit tersebut mudah mengalami kerusakan selama transportasi, apabila tidak ditangani dengan baik. Kerusakan kulit umbi-umbian mempercepat kebusukan umbi, dan kemungkinan kehilangan air dari umbi, sehingga mengakibatkan tekstur menjadi kering. Oleh karena itu, umbi-umbian harus cepat diproses sebelum mengalami kerusakan.

Tabel 3.2 Komposisi kimia beberapa jenis umbi-umbian

| Komposisi | Ubi jalar | Kentang | Ubi kayu | Suweg | Garut | Kimpul | Talas |
|--------------------|-----------|---------|----------|-------|-------|--------|-------|
| Karbohidrat (%) | 24,3 | 25,2 | 27 | 15,7 | 24 | 34,2 | 28,2 |
| Gula reduksi (%) | 8,5 | 0,9 | 1 | ta | ta | ta | ta |
| Serat (%) | 1,4 | 1,35 | 1,7 | ta | 1,3 | 1,5 | 0,7 |
| Protein (%) | 1,65 | 1,95 | 0,7 | 1 | 1 | 1,2 | 1,5 |
| Lemak (%) | 0,3 | 1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,3 |
| Mineral | 1,98 | 4 | 2,4 | ta | 1,4 | 1 | 0,8 |
| Thiamin (mg/100 g) | 0,066 | 0,1 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | ta | ta |
| Vitamin C (mg) | 36 | 21 | 30 | 5 | 1,9 | 2 | 2 |
| Fosfor | 28 | 5,8 | 40 | 41 | 22 | ta | 67 |
| Zat besi (mg) | 0,5 | 0,7 | 0,9 | 4,2 | 1,5 | 1,4 | 0,7 |
| Kalsium (mg) | 30 | 63 | 60 | 62 | 8 | Ta | 31 |

Keterangan: ta: tidak ada data

Sumber: (Titchenal dan Dobbs 2004; Wankhede *et al.* 1998)

3.4.1 Ubi Kayu

Ubi kayu atau sering disebut singkong merupakan umbi-umbian dengan jumlah produksi paling tinggi di Indonesia. Kelemahan ubi kayu adalah adanya asam sianida (HCN), di mana reaksi enzimatik yang terjadi di dalam tubuh manusia bisa mengurainya menjadi hidrogen sianida yang berbahaya bagi tubuh.

Setiap jenis ubi kayu memiliki kandungan asam sianida yang berbeda-beda. Menurut kadar sianidanya, ubi kayu dikelompokkan menjadi ubi kayu manis, pahit dan ubi kayu dengan kadar sianida tinggi. Ubi kayu manis memiliki kadar asam sianida <40 mg/kg umbi, sehingga tidak membahayakan kesehatan dan berasa manis. Ubi kayu pahit mengandung kadar asam sianida 50–80 mg/kg umbi, dan sifatnya beracun. Ubi kayu dengan kadar asam sianida >100 mg/kg membahayakan kesehatan bahkan dapat mematikan, sehingga tidak dikonsumsi manusia. Ubi kayu dengan kadar asam sianida >50 mg/kg biasanya tidak dikonsumsi secara langsung, tetapi diolah menjadi pati ubi kayu (tapioka) (Omolola *et al.* 2017).

Keberadaan asam sianida pada ubi kayu dapat dilihat dari warnanya, yaitu semakin biru warna daging ubi kayu semakin tinggi kadar asam sianidanya. Konsentrasi asam sianida terbesar terdapat pada kulit (15 kali lebih besar

dibandingkan daging umbi), sehingga proses pengupasan dan pembersihan harus dilakukan secara maksimal. Perebusan merupakan salah satu cara mengurangi kandungan asam sianida karena asam sianida mudah menguap, terutama pada suhu di atas 25°C. Proses penjemuran menggunakan sinar matahari juga dapat mengurangi asam sianida hingga 80%. Asam sianida juga larut dalam air sehingga proses perendaman, terutama menggunakan air mengalir dapat menurunkan kadar asam sianida (Omolola *et al.* 2017).

3.4.2 Kentang

Di antara umbi-umbian, kentang merupakan komoditas penting karena dikonsumsi sebagai pangan pokok di beberapa negara. Hal ini disebabkan kentang memiliki karbohidrat 80%, yaitu 70% tersusun dari pati, dan sisanya adalah gula reduksi (2%) dan serat pangan (8%). Kadar protein kentang sebesar 2,1%, tidak setinggi sereal, tetapi protein kentang lebih kaya lisin serta memiliki nilai biologi tinggi (UNIDO, 2004). Sebagai bahan pangan pokok, kentang dapat menyumbang 7% energi dalam sehari dan 12% kebutuhan protein. Kentang merupakan sumber vitamin C yang baik yaitu sebesar 21 mg/100 g. Selain itu, kentang juga mengandung tiamin, riboflavin serta mineral berupa zat besi, kalsium dan fosfor (**Tabel 3.2**). Kadar natrium di dalam kentang rendah yang menguntungkan bagi yang harus mengonsumsi pangan rendah natrium, misalnya orang yang memiliki tekanan darah tinggi.

Di dalam kentang terdapat enzim, terutama polifenol oksidase, peroksidase dan katalase yang memengaruhi proses pengolahannya. Enzim polifenol oksidase mengakibatkan kentang mudah mengalami reaksi pencokelatan enzimatis, sehingga selama proses pengolahan harus dilakukan upaya untuk mencegahnya sehingga warna produk yang dihasilkan tetap menarik.

Kentang dapat diolah menjadi beragam produk, mulai untuk pangan pokok maupun makanan ringan. Untuk mempermudah penggunaan kentang di industri maupun skala rumah tangga, salah satu pengolahan kentang adalah menjadi *prepeeled potato* (kentang kupas/olah minimal. *Pre-peeled potato* ini disiapkan dalam bentuk kentang utuh (*whole*) atau yang sudah dipotong (*cut*) dan banyak digunakan di restoran atau katering untuk mempercepat proses penyiapannya. Proses olah minimal untuk mempersiapkan *pre-peeled potato*

meliputi pembersihan, pengupasan, perendaman dalam larutan sulfit untuk mencegah pencokelatan enzimatis, pencucian, dan pengemasan (Jadhav dan Kadam 1998).

3.4.3 Ubi Jalar

Ubi jalar merupakan sumber karbohidrat potensial di Indonesia, dan berdasarkan warnanya, ada beberapa jenis ubi jalar, yang masing-masing memiliki keistimewaan. Ubi jalar kuning memiliki beta karoten 794 µg/100 g dan vitamin C lebih tinggi (21 mg/100 g) dibanding ubi jalar yang lain. Ubi jalar ungu memiliki antosianin 20–924 mg/100 g, di mana antosianin berperan sebagai antioksidan.

Komposisi gula pereduksi ubi jalar paling tinggi di antara umbi-umbian yang lain, yaitu sebesar 8,5% (**Tabel 3.2**). Gizi yang utama pada ubi jalar adalah karbohidrat, yang terdiri atas pati, gula reduksi, dan serta. Kadar gula pereduksi ubi jalar meningkat selama penyimpanan akibat pemecahan pati menjadi gula pereduksi (Kotecha dan Kadam 1998). Kandungan gula pereduksi yang tinggi menyebabkan ubi jalar memiliki rasa manis. Namun demikian, kadar gula pereduksi yang tinggi juga mengakibatkan produk olahan ubi jalar mudah mengalami pencokelatan.

3.4.4 Umbi-umbian Lain

Selain ketiga jenis umbi-umbian tersebut, masih ada beberapa jenis umbi-umbian. Namun sebagian umbi-umbian tersebut masih belum diproses secara rutin, karena keterbatasan teknologi maupun bahan baku. Contoh umbi-umbian tersebut adalah garut, gadung, kimpul, suweg, dan talas. Beberapa jenis umbi (talas, suweg, dan kimpul) mengandung kalsium oksalat yang menyebabkan rasa gatal saat dikonsumsi. Untuk menghilangkan atau mengurangi kalsium oksalat, setelah proses pembersihan dan pengupasan dilakukan perendaman dalam larutan garam (NaCl) 5–7,5% selama 30–60 menit. Selesai proses perendaman, umbi dicuci kembali dengan air mengalir. Selain menghilangkan kalsium oksalat, perendaman pada pembuatan tepung umbi juga menghasilkan tepung yang berwarna lebih putih (Nuriana *et al.* 2019).

Garut (*Maranta arundinaceae* Linn.) merupakan jenis umbi yang memiliki kelebihan bila dibandingkan dengan pati dari umbi lain yaitu lebih mudah dicerna dengan daya cerna 90%. Pengolahan garut biasanya dilakukan dalam bentuk pati karena kadar seratnya terlalu tinggi apabila diproses menjadi tepung. Pati garut mempunyai ciri khas yaitu jika diolah menghasilkan produk dengan tekstur halus dan mudah larut di dalam mulut. Pati garut memiliki kadar amilosa cukup tinggi (31,3%) sehingga menghasilkan produk yang renyah. Tepung dan pati garut dapat diolah menjadi produk pangan seperti produk bakeri, kue, mi, makanan ringan dan makanan tradisional. Penggunaan tepung garut sebagai pengganti tepung terigu misalnya pada roti dan mi dapat menggantikan sampai 20%, sedangkan pada kue kering bisa menggantikan hingga 100%. Pati garut juga digunakan di industri pangan misalnya sebagai bahan pengental, penstabil, dan pengental (Moorthy 2004).

Talas merupakan jenis umbi yang sebenarnya memiliki nilai ekonomi cukup tinggi, karena hampir sebagian besar bagian tanaman dapat dikonsumsi manusia. Talas mengandung pati yang mudah dicerna sebesar 18,2%, sukrosa dan gula reduksi 1,42%, serta karbohidrat 23,7%. Talas juga memiliki keunggulan dengan adanya senyawa kimia yang dihasilkan dari metabolisme sekunder seperti alkaloid, glikosida, saponin, minyak esensial, resin, gula dan asam organik. Dibandingkan dengan ubi jalar dan ubi kayu, talas mempunyai keunggulan dalam kandungan protein, vitamin B1, fosfor dan zat besi yang lebih tinggi, serta kadar lemak yang rendah. Pengolahan talas saat ini kebanyakan memanfaatkan umbi segar yang dijadikan berbagai hasil olahan, di antaranya yang paling populer adalah keripik talas.

Suweg (*Amorphophallus campanulatus*) merupakan jenis umbi yang kurang populer di Indonesia. Ada dua jenis suweg yaitu *sylvestris* dan *hortensis*. Jenis *sylvestris* memiliki batang yang kasar dan berwarna agak gelap, serta umbinya memberikan rasa sangat gatal karena adanya kalsium oksalat dalam jumlah tinggi, sehingga belum banyak dimanfaatkan oleh masyarakat dan masih merupakan tanaman liar. Suweg *hortensis* berciri batangnya halus dan berwarna hijau dengan bintik putih, umbinya tidak menimbulkan rasa gatal yang berlebihan karena kadar kalsium oksalatnya rendah. Dengan melihat sifatnya yang lebih baik, suweg *hortensis* lebih banyak dikonsumsi oleh

masyarakat dan dibudidayakan. Suweg dapat diolah menjadi tepung dan pati. Tepung suweg memiliki daya cerna pati rendah, yaitu 61,75% karena adanya serat dalam jumlah tinggi (13,7%). Suweg juga memiliki nilai indeks glikemik rendah, yaitu 36. Tepung suweg dapat digunakan untuk menyubstitusi tepung terigu, namun penggunaannya pada produk pangan belum banyak. Di Filipina, tepung suweg digunakan sebagai bahan baku produk bakeri untuk menggantikan tepung terigu, sedangkan di Jepang, salah satu penggunaannya adalah pada pembuatan mi instan.

Kimpul (*Xanthosoma sagittifolium*) yang juga disebut sebagai talas Belitung merupakan jenis umbi-umbian yang di Indonesia pengolahannya masih sederhana, yaitu direbus, digoreng dan diolah menjadi keripik. Padahal kimpul potensial untuk diolah menjadi pati kimpul dan produk turunannya (Wankhede *et al.* 1998).

Gadung (*Dioscorea hispida* Dennst) merupakan jenis umbi-umbian yang cukup populer namun kurang mendapat perhatian masyarakat. Sampai sekarang teknologi pengolahan gadung belum berkembang, sehingga pengolahan yang dilakukan selama ini hanya dalam bentuk keripik dengan proses dan kemasan yang masih sederhana. Kendala pada pengolahan gadung adalah adanya zat alkaloid yang disebut dioscorin ($\text{CH}_{13}\text{H}_{19}\text{O}_2\text{N}$). Apabila proses pengolahannya kurang tepat, dioscorin dapat mengakibatkan pusing dan muntah. Dengan potensi gadung yang sebenarnya cukup tinggi, masih perlu dilakukan penelitian pengolahan gadung agar menghasilkan produk lain dengan nilai ekonomi tinggi dan aman dikonsumsi.

3.5 Kacang-kacangan

Di Indonesia, kacang-kacangan meliputi jenis polong-polongan (*legume*) dan kacang (*nut*), padahal keduanya merupakan kelompok yang berbeda. *Legume* merupakan jenis biji-bijian yang dapat dimakan, di antaranya kacang hijau, kacang merah dan kacang koro. Kacang-kacangan merupakan sumber protein dan biasanya diolah untuk memperbaiki mutu protein sereal, karena kacang-kacangan kaya akan lisin, sedangkan sereal kekurangan lisin. Selain protein, kacang-kacangan juga merupakan sumber karbohidrat terutama serat,

mikronutrien berupa vitamin dan mineral. Kacang-kacangan memberikan peran sebagai sumber protein sebesar 20% dari kebutuhan di dunia. **Tabel 3.3** menyajikan komposisi kimia beberapa jenis kacang-kacangan.

Tabel 3.3 Komposisi zat gizi per beberapa jenis kacang-kacangan kelompok polong-polongan (*legume*) (dalam berat kering)

| Zat gizi | Kedelai | Kacang merah | Kacang hijau | Kacang tunggak | Kacang gude | Kecapir | Kacang tanah |
|-----------------|---------|--------------|--------------|----------------|-------------|---------|--------------|
| Protein (g) | 36,5 | 23,6 | 22,2 | 24,65 | 26,17 | 15 | 25 |
| Karbohidrat (g) | 30,2 | 60 | 62,9 | 66,5 | 28,13 | 21,1 | 49,3 |
| Lemak (g) | 19,9 | 0,8 | 1,2 | 1,41 | 0,88 | 10,62 | 42,8 |
| Vitamin A (SI) | 24 | 8 | 157 | 1861 | 28 | 465 | 0 |
| Thiamin (mg) | 0,87 | 0,53 | 0,64 | 0,07 | 0,64 | 0,16 | 0,25 |
| Riboflavin (mg) | 0,87 | 0,22 | 0,13 | 0,09 | 0,19 | 0,1 | 0,11 |
| Niasin (mg) | 1,6 | 2,1 | 0,75 | 0,9 | 2,97 | 0,85 | 14,3 |
| Vitamin C | 6,0 | 4,5 | 13,2 | 22 | 130 | 29 | 0 |
| Kalsium (mg) | 277 | 143 | 125 | 72 | 60 | 145 | 92 |
| Fosfor (mg) | 704 | 407 | 320 | 59 | 450 | 26,6 | 335 |
| Besi (mg) | 15,7 | 8,2 | 6,7 | 2,5 | 2 | 6,1 | 4,6 |

Sumber <https://fdc.nal.usda.gov/>

Kacang-kacangan merupakan sumber asam amino esensial, yaitu isoleusin, leusin, fenilalanin, treonin dan valin. Sebagian besar kacang-kacangan kaya asam amino lisin, yang defisien pada sereal, sehingga suplementasi antara kacang-kacangan dan sereal merupakan kombinasi yang tepat. Pada umumnya kacang-kacangan (kecuali kedelai dan kacang tanah) memiliki kadar lemak rendah (kurang dari 2%) serta kaya karbohidrat dan serat pangan.

Kacang-kacangan mengandung kalsium yang tinggi, dan yang tertinggi adalah kedelai (**Tabel 3.3**). Kemampuan tubuh dalam menyerap kalsium dari kacang-kacangan pada umumnya rendah (setengah dari penyerapan kalsium dari susu), dan kedelai memiliki penyerapan kalsium tertinggi (Charley dan Weaver 1998). Kacang-kacangan juga kaya fosfor, yaitu semakin tua umurnya kadar fosfor semakin tinggi. Pada kacang yang masih muda, fosfor berada dalam bentuk asam fitat atau *inositol hexaphosphoric acid*. Kacang-kacangan juga kaya vitamin B berupa B1, B6, folacin, asam pantotenat dan biotin, sedangkan vitamin A dan C hampir tidak ada. Beberapa jenis kacang-

kacangan yaitu *chickpea*, kedelai, *navy beans* dan *kidney bean* mengandung sejumlah senyawa saponin yang mengakibatkan adanya pembuihan pada saat pemasakan.

Beberapa jenis kacang-kacangan, misalnya kedelai dan kacang koro pedang, mengandung senyawa anti gizi berupa antitripsin, asam fitat, hemaglutinin dan oligosakarida penyebab flatulensi. Aktivitas anti tripsin dapat dihilangkan dengan cara perendaman dan dilanjutkan pemanasan. Hemaglutinin dapat menggumpalkan sel darah merah, dan untuk menghilangkannya, dapat dilakukan dengan pemanasan dengan menggunakan autoklaf, perebusan atau pengukusan. Asam fitat dapat mengikat mineral terutama seng, kalsium, magnesium dan besi, sehingga mengurangi ketersediaan mineral tersebut secara biologis. Selain itu, asam fitat juga bereaksi dengan protein membentuk senyawa kompleks sehingga menghambat kecepatan hidrolisis protein oleh enzim proteolitik dalam sistem pencernaan. Selain senyawa anti gizi, beberapa kacang-kacangan juga mengandung senyawa penyebab *off-flavor*, misalnya glukosida, saponin dan estrogen.

Di antara jenis kacang-kacangan, kedelai merupakan sumber protein yang paling murah. Kedelai memiliki kadar protein 35%, yang 85–95% merupakan protein globulin. Susunan asam amino pada kedelai lebih lengkap dan seimbang dengan kadar lisin cukup tinggi. Kedelai juga mengandung lemak (18–20%), dan 25% di antaranya terdiri atas asam lemak tidak jenuh. Di dalam lemak kedelai juga terkandung beberapa posfolipida penting, yaitu lesitin, sepalin dan lipositol. Kedelai menggunakan lemak yang tinggi dan sebagian besar tersusun atas asam lemak tidak jenuh sehingga dapat diproses menjadi minyak kedelai dengan mutu yang baik.

Kedelai memiliki kadar karbohidrat 35%, dan hanya 12–14% yang dapat digunakan tubuh secara biologis. Karbohidrat pada kedelai terdiri atas polisakarida dan oligosakarida. Polisakarida pada kedelai terdiri atas arabinogalaktan dan selulosa, sedangkan oligosakarida pada kedelai terdiri atas sukrosa, stakiosa, dan rafinosa. Kulit kedelai mengandung 87% serat pangan (*dietary fiber*) yang terdiri 40–53% selulosa, 14–33% hemiselulosa dan 1–3% serat kasar.

Kedelai merupakan sumber vitamin B yang baik, terdiri atas B₁, B₂, niasin dan piridoksin. Vitamin lain yang terkandung dalam jumlah cukup ialah vitamin E dan K. Mineral yang banyak terdapat pada kedelai adalah kalsium dan fosfor, sedangkan besi relatif sedikit. Mineral lain ada dalam jumlah sangat kecil (kurang dari 0,003%) yaitu boron, magnesium, berilium dan seng.

Kacang hijau termasuk kelompok leguminosa yang merupakan sumber protein yang baik dan murah, dengan kadar protein sebesar 22%. Kadar lemak kacang hijau cukup rendah (1%), yang tersusun atas 73% asam lemak tidak jenuh. Kacang hijau merupakan sumber mineral penting, yaitu fosfor sebesar 445 mg, kalsium 146 mg dan zat besi 4,7 mg (Kadam dan Chavan 1998).

Kacang-kacangan dalam kelompok leguminosa lain yang cukup dikenal di Indonesia adalah kacang merah (*Phaseolus vulgaris* L), yang memiliki kadar karbohidrat tinggi (79%). Karbohidrat pada kacang merah sebagian besar terdiri atas pati, selain itu juga terdapat gula, dekstrin, pentosa, galaktosa, selulosa, dan pektin. Kadar lemak kacang merah hanya 1,1%, yang terdiri atas asam lemak jenuh 19% (sebagian besar palmitat) dan asam lemak tidak jenuh 63,3% (asam oleat, asam linoleat, dan asam linolenat). Kacang merah juga merupakan sumber mineral yang baik, meliputi zat besi, kalsium, natrium, fosfor dan magnesium (**Tabel 3.3**).

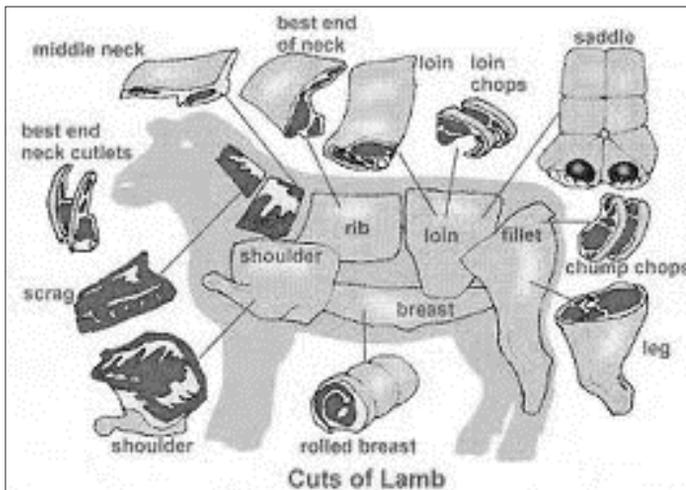
Kacang tanah terdiri atas bagian kulit (21–29%), kernel atau daging biji (69–72,4%), dan lembaga (3,1–3,6%). Kacang tanah mengandung lemak, protein, serat dan mineral yang tinggi. Tingginya kadar lemak pada kacang tanah tinggi (42,8%) berkontribusi terhadap rasa gurih kacang tanah, dan lemak tersebut sebagian besar terdiri atas asam lemak tidak jenuh sehingga kacang tanah mudah mengalami ketengikan.

Almond merupakan jenis *tree nuts* yang terdiri atas dua jenis yakni *almond* pahit dan manis. *Almond* pahit mengandung amygdalin yang beracun karena dapat dipecah menjadi hidrogen sianida. *Almond* memiliki kadar lemak tinggi (49,9%), yang membuat rasanya menjadi gurih dan teksturnya empuk. Lemak pada *almond* terdiri atas 90% asam lemak tidak jenuh, terutama asam oleat dan linoleat. *Almond* mengandung serat pangan yang tinggi

(12,2 g/100g), vitamin B (4,7 mg/100 g), dan vitamin E (25,63 mg/100 g). *Almond* juga mengandung mineral dengan jumlah cukup tinggi, yaitu kalsium, fosfor dan zat besi (**Tabel 3.3**).

3.6 Daging

Dalam subbab ini, hewan yang dimaksud adalah ternak yang terdiri atas sapi, domba, biri-biri, kambing, unggas, dan babi. Setelah hewan disembelih, bagian hewan yang dikonsumsi merupakan karkas. Berkaitan dengan sumbernya tersebut, dikenal istilah daging merah dan daging putih. Daging merah berasal dari daging sapi, kambing dan babi, sedangkan daging putih berasal dari unggas (ayam, itik, kalkun). **Gambar 3.1** mengilustrasikan bagian-bagian dari karkas.



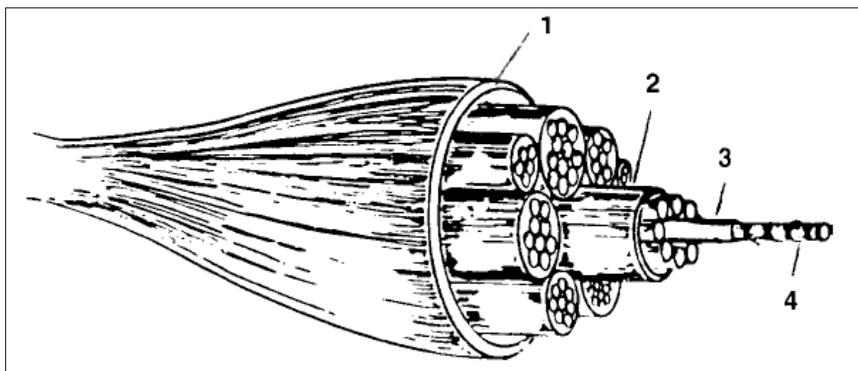
Gambar 3.1 Bagian-bagian dari karkas

(Sumber: <http://tokopastri.com/blog/pengetahuan-tentang-karkas-daging>)

3.6.1 Struktur Daging

Daging terdiri atas sel paralel, tipis, dan panjang yang tersusun menjadi *fiber bundles* (**Gambar 3.2**). Setiap serat daging (*muscle fiber*) ada dalam bentuk satuan yang terpisah yang diselubungi oleh jaringan ikat yang disebut endomisium (*endomysium*). Sejumlah serat daging ini bergabung bersama

dalam suatu ikatan serat (*fiber bundle*) yang diselaputi oleh jaringan ikat tipis yang disebut perimysium (*perimysium*). Sejumlah *fiber bundle* bergabung dan dibungkus oleh jaringan ikat yang tebal dan besar yang disebut epimysium (*epimysium*).

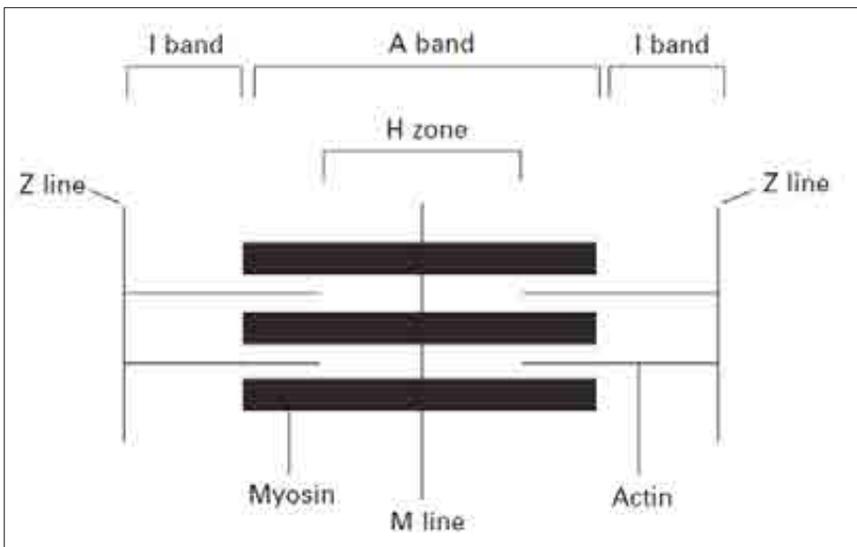


Gambar 3.2 Struktur otot atau daging. 1. Epimysium, 2. Perimysium, 3. Endomysium, 4. *Muscle fiber* (Belitz *et al.* 2009)

Membran yang mengelilingi masing-masing *muscle fiber* disebut sarkolema (*sarcolemma*) yang mempunyai ketebalan 75 nm. Sarkolema terdiri atas tiga lapis, yaitu endomysium, lapisan tengah yang *amorf*, dan membran plasma bagian dalam. *Muscle fiber* merupakan sel berinti banyak. Inti sel diselubungi oleh cairan yang disebut sarkoplasma (*sarcoplasm*) dan komponen sel lainnya seperti mitokondria, retikulum endoplasma, dan lisosom. Pada kondisi aerobik, energi sel dihasilkan dalam bentuk ATP di dalam mitokondria. Lisosom menghasilkan endopeptidase yang berperan pada proses pengempukan daging.

Muscle fiber atau sel daging (*muscle cell*) mempunyai diameter 0,01–0,1 mm dan panjang 150 mm atau lebih. Komponen utama sel daging adalah miofibril (*myofibril*) yang masing-masing mempunyai diameter 1–2 μm . Sel daging tersusun hingga 1000 miofibril secara paralel. Pada daging unggas yang mempunyai rasio miofibril terhadap sarkoplasma yang tinggi, kontraksi terjadi secara cepat tetapi cepat mengalami relaksasi. Sebaliknya pada daging merah yang lebih sedikit miofibril, kontraksi terjadi secara lambat tetapi lebih lama.

Unit kontraktile dari serat daging disebut dengan sarkomer (**Gambar 3.3**). Sarkomer mempunyai panjang 2 mm dan terletak di antara dua garis z (Z line). Aktin berikatan dengan garis Z dan sebagian berikatan dengan ujung miosin. Miosin terhubung dengan garis M (M line). Pita I merupakan zona di mana tidak terdapat tumpang tindih dengan miosin, sedangkan zona H merupakan ruang di mana tidak ada tumpang tindih aktin dan miosin. Pita A mewakili miosin. Satu unit sarkomer membentang antar garis Z yang terdiri atas filamen tipis dan tebal.



Gambar 3.3 Struktur sarkomer (Feiner 2006)

3.6.2 Komposisi Gizi Daging

Selain kulit, karkas terdiri atas otot (daging), lemak, dan tulang (**Tabel 3.4**). Umumnya produk olahan daging (daging ruminansia dan daging unggas) berasal dari karkas yang terdiri atas jaringan otot (daging). Secara garis besar, jaringan otot ini dibagi menjadi otot polos, otot lurik, dan jaringan ikat. Daging merupakan komponen yang dapat dimakan setelah *post mortem* dari hewan. Selain daging, bagian yang biasa dikonsumsi adalah hati dan jantung.

Tabel 3.4 Komposisi karkas berbagai jenis hewan ternak

| Komponen | Sapi | Sapi Muda | Babi | Rusa | Domba | Kalkun | Ayam Brolier |
|---------------------------------|------|-----------|------|------|-------|--------|--------------|
| Berat hidup (kg) | 550 | 160 | 110 | 70 | 50 | 16 | - |
| Rerata proporsi berat hidup (%) | | | | | | | |
| Non karkas (%) | 38 | 46 | 27 | 42 | 48 | 18 | 23 |
| Kulit karkas (%) | * | * | | * | | 9 | 9 |
| Lemak karkas(%) | 17 | 7 | 23 | 10 | 17 | 6 | 7 |
| Tulang karkas(%) | 10 | 15 | 9 | 8 | 10 | 17 | 22 |
| Otot karkas (%) | 35 | 32 | 36 | 40 | 25 | 50 | 39 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Karkas bersih(%) | 62 | 54 | 73 | 58 | 82 | 77 | 63 |
| Rasio otot/tulang | 3,5 | 2,1 | 4,0 | 5,0 | 2,5 | 2,9 | 1,8 |

*termasuk ke dalam non karkas

Sumber: Kauffman (2012)

Daging merupakan jaringan hewan dan semua produk hasil pengolahan jaringan tersebut dapat dikonsumsi dan tidak menimbulkan gangguan kesehatan bagi yang memakannya (Lawrie dan Ledward 2006). Dengan demikian, organ misalnya hati, ginjal, otak, paru-paru, jantung, limpa, pankreas, dan jaringan otot termasuk dalam definisi daging. Selain daging, ada istilah *meat product* yaitu hasil pemotongan hewan termasuk hasil ikutannya (tulang, kulit, bulu, kuku, dan sebagainya).

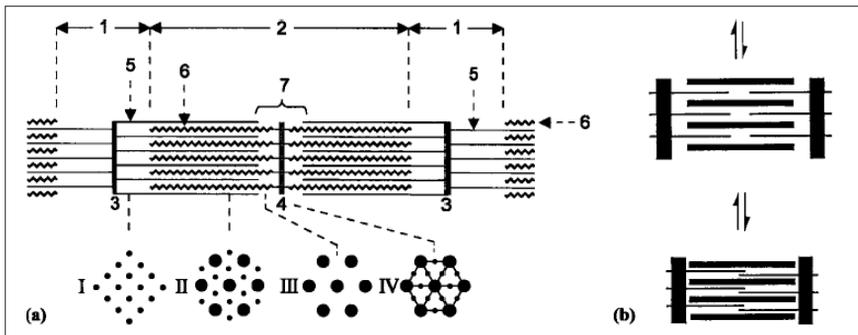
Daging biasanya dikaitkan dengan pangan bergizi, yang merupakan sumber protein tinggi (15–20%) dan bermutu tinggi. Kadar lemak daging bervariasi (5–30%), tergantung jenis hewan, bagian, pakan dan umurnya. Daging merah mengandung lemak yang lebih tinggi dibandingkan daging putih (dapat sampai 40%). Komposisi lemak daging terdiri atas asam lemak jenuh, asam lemak tidak jenuh, dan kolesterol. Daging unggas lebih banyak mengandung protein, namun lebih rendah kandungan lemak dan kolesterolnya dibandingkan daging merah. Daging juga merupakan sumber vitamin B, zat besi, magnesium dan mineral lain.

Satu bagian daging terdiri atas bagian non lemak, air, protein, bagian berlemak, dan tulang. Bagian non lemak tersusun atas otot, di mana masing-masing terdiri atas serat otot. Serat otot merupakan jaringan yang panjang, tipis, bentuk silindris dan diselimuti oleh membran transparan, yaitu

sarkolema. Serat otot memiliki diameter 10–100 μm dan panjang beberapa milimeter sampai beberapa sentimeter. Serat otot ini tersusun dari unit yang disebut miofibril, yang terdiri atas protein yang memiliki filamen tebal, disebut miosin dan protein yang memiliki filamen tipis, disebut aktin. Pada saat terjadi kontraksi otot, filamen tersebut saling berikatan membentuk protein baru yang disebut aktinomiosin (Lawrie dan Ledward 2006).

3.6.3 Fase Pasca Penyembelihan

Setelah hewan disembelih, otot hewan berubah menjadi daging setelah pemotongan karena fungsi fisiologisnya telah berhenti. Relaksasi dan kontraksi pada hewan mati tergantung pada pH, kekuatan ion NaCl dan komponen adenosin triphosphat (ATP). Setelah proses penyembelihan, daging mengalami tiga fase yaitu fase *pre-rigor*, *rigormortis* dan *post-rigor*. **Gambar 3.4** menunjukkan suatu sarkomer pada kondisi relaksasi dan kontraksi.



Gambar 3.4 Contoh suatu sarkomer pada kondisi relaksasi (a) dan berkontraksi (b). 1. Pita I, 2. Pita A, 3. Garis Z, 4. Garis M, 5. Filamen tipis, 6. Filamen tebal, 7. Zona H. I. Filamen tipis dekat garis Z, II. Tumpang tindih filamen tipis dan tebal, III. Filamen tebal, IV. Garis M (Belitz *et al.* 2009)

Fase *Pre-rigor*

Pada fase *pre-rigor*, daging memiliki ciri-ciri fisik yaitu daging lunak dan kenyal. Pada fase *pre-rigor*, daging mengalami perubahan sebagai berikut: (a) Perubahan metabolisme, yaitu pengubahan glikogen menjadi glukosa,

selanjutnya menjadi asam laktat sehingga miofibril larut dan ikatan antar serat lebih lunak. Peningkatan asam laktat terjadi sampai habisnya glikogen pada otot; (b) Penurunan pH karena terbentuknya asam laktat. Penurunan pH ini akan meningkatkan kecepatan pembentukan spesies oksigen yang reaktif seperti superoksida dan hidrogen peroksida, sebagai akibatnya stabilitas lipida dan membran menurun. Selanjutnya akan terjadi perubahan warna menjadi cokelat menunjukkan habisnya *nicotinamide adenine dinucleotide hydrogen* (NADH). Perubahan pH ini juga akan memengaruhi tekstur yaitu daging menjadi lebih lunak; (c) Peningkatan ATP yang digunakan untuk menguraikan aktin dan miosin dalam jumlah besar sehingga daging cenderung longgar dan mudah menyerap air; dan (d) Kenaikan kapasitas menahan air yang disebabkan longgarnya ikatan antara aktin dan miosin.

Adanya perubahan pada fase *pre-rigor* mengakibatkan daging segar cocok untuk diolah menjadi produk dengan penambahan daging maksimal, misalnya sosis dan bakso.

Fase Rigor Mortis

Rigor mortis adalah fase pada keadaan kontraksi penuh karena sirkulasi darah kekurangan oksigen dan otot berada pada kondisi anaerobik. Hal ini mengakibatkan daging menjadi sangat liat kalau dimasak. Pada fase *rigor-mortis* pelayuan daging dilakukan sehingga fase ini berlangsung yaitu dengan mengistirahatkan daging pada suhu 3,6–4,4°C selama kurang lebih dua jam sehingga daging masuk *post-rigor* (Lawrie dan Ledward 2006). Fase *rigor-mortis* penting dalam memengaruhi tingkat keempukan daging.

Pada fase *rigor mortis*, daging mengalami perubahan sebagai berikut: (a) Terjadi hidrolisis glikogen atau *glikogenolisis* yang menggunakan cadangan karbohidrat di otot, membentuk ATP dan asam laktat; (b) Terjadi tarik menarik yang kuat antar ikatan peptida, sehingga serat mengerut yang berakibat pada mengerutnya daging dan teksturnya menjadi keras; dan (c) Daging memiliki kapasitas menahan air paling kecil di antara tahap lain.

Pada sebagian besar hewan, *rigor mortis* terjadi pada pH awal rata-rata 7, selama 24 jam pada suhu 15°C sehingga pH mencapai 5,8. Pada hewan tertentu, adanya *stress* atau perlakuan kasar pada hewan sebelum disembelih akan mempercepat proses *rigor-mortis*.

Fase Post-rigor

Setelah proses *rigor-mortis*, daging mengalami fase *post-rigor*. Pada fase *post-rigor* terjadi perubahan pada daging sebagai berikut: (a) Melemahnya ikatan antara aktin dan miosin dalam filamen dan bergabungnya *Z line* dalam sarkomer mengakibatkan kelunakan daging; (b) Antibakteri alami yang terdapat pada hewan hidup akan mati sehingga pertumbuhan bakteri meningkat. Kecepatan pertumbuhan bakteri tergantung suhu, kelembapan relatif dan adanya gas di sekitarnya; (c) pH turun, enzim katepsin lepas dari lysozime dan mendegradasi jaringan; (d) Selama penyimpanan, enzim pada daging mentah terus berperan pada komponen daging membentuk penyusun *flavor* potensial; (e) Perubahan yang tidak diinginkan yaitu kesegaran daging berkurang; dan (f) Dengan adanya oksigen, warna daging berubah dari merah segar karena adanya senyawa haemoprotein menjadi cokelat karena terbentuk senyawa metmioglobin.

Dengan adanya perubahan tersebut, pada fase *post-rigor*, tekstur daging menjadi lunak dan kenyal serta terbentuk *flavor* yang enak (Lawrie dan Ledward 2006). Warna daging berubah selama perubahan fase, yang ditentukan konsentrasi pigmen mioglobin, yang berada dalam jumlah $\frac{3}{4}$ dari pigmen pada daging. Pada hewan yang masih hidup, mioglobin pada otot diambil dari hemoglobin pada darah untuk dibawa ke jaringan yang membutuhkan. Begitu hewan selesai bernafas, maka suplai oksigen berhenti dan jaringan kekurangan oksigen. Mioglobin tanpa oksigen yang mengikat Fe dalam bentuk ferro memberikan warna merah-keunguan pada daging yang baru dipotong. Begitu daging mengalami kontak dengan udara maka daging akan mengikat oksigen membentuk oksimioglobin, yang berwarna merah cerah. Perbedaan warna pada daging tergantung ada tidaknya oksigen yang terikat pada bagian tersebut, sehingga daging pada bagian luar memiliki warna merah cerah, sedangkan pada bagian luar berwarna merah-keunguan.

3.6.4 Protein Daging

Daging mengandung protein tinggi, yang dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu protein miofibril, protein sarkoplasmik dan protein kolagen (jaringan ikat).

Protein Miofibril

Sebagian besar serabut otot mengandung lebih dari 50% protein miofibril. Miofibril berperan terhadap panjang serat otot dan dikelilingi otot yang lengkap, dan satu otot tunggal terdiri atas 1000 sampai 2000 miofibril. Berdasarkan fungsinya, protein miofibril dapat dibagi menjadi tiga, yaitu (1) *contractile protein* yang berperan terhadap kontraksi otot, yang terdiri atas miosin dan aktin; (2) *regulatory protein*, yang berperan terhadap pengaturan dan kontraksi otot; dan (3) *cytoskeletal protein* yang mendukung dan mempertahankan keutuhan struktur miofibril (Lawrie dan Ledward 2006).

Miofibril tersusun dari 55–60% miosin dan 20% protein aktin. Protein miofibril lainnya ada dalam jumlah kecil, yang disebut protein pengatur, karena berfungsi mengatur kompleks ATP aktin miosin. Miosin merupakan protein yang dominan dalam filament tebal sarkomer dan mempunyai proporsi asam amino basa dan asam tinggi. Miosin mempunyai tiga sifat fungsional yaitu (1) merupakan enzim aktivitas ATPase; (2) membentuk kompleks alami dengan aktin; (3) molekul miosin bereaksi dengan yang lain dan membentuk filamen. Aktin merupakan protein miofibril terpenting kedua, merupakan filamen tipis yang terdiri atas G-aktin dan F-aktin. Aktin mengandung 376 asam amino dan yang berperan besar adalah prolin dan glisin.

Protein miofibril memiliki sifat sebagai berikut: (1) Tidak larut air pada suhu kamar, tetapi larut pada suhu dingin (-4 sampai 4°C); (2) Larut dalam larutan garam 1%; (3) Berperan terhadap tekstur produk, dengan membentuk tekstur seperti berserat (*fibrous*); (4) Memiliki kapasitas pengikatan air yang sangat tinggi; (5) Kemampuan menstabilkan emulsi lebih tinggi daripada fraksi protein lain pada pH tinggi; (6) Kapasitas pembentukan gel tinggi walaupun pada konsentrasi rendah (0,1–0,5%); dan (7) Viskositas sangat tinggi.

Protein miofibril memiliki peran penting pada teknologi pengolahan daging dengan melihat sifatnya. Pada pembuatan sosis/*nugget* yang terpenting adalah mengembangkan struktur untuk menyerap air. Hal ini tergantung perubahan intensitas pengembangan miofibril karena 97% kapasitas pengikatan air pada daging berhubungan dengan fraksi protein miofibril. Pada produk daging restrukturisasi yang terbuat dari elemen otot, kemampuan mengikat protein memainkan peran penting, tergantung jumlah protein miofibril yang terekstrak. Sifat protein miofibril dalam pembentukan gel penting dalam menentukan tekstur produk daging (Kim *et al.* 2018).

Protein Sarkoplasmik

Jenis protein kedua yang dominan pada daging adalah protein sarkoplasmik yang memiliki komponen utama mioglobin dan hemoglobin. Protein sarkoplasmik merupakan protein globular yang larut air dan dalam larutan dengan kekuatan ionik kuat. Protein sarkoplasmik memiliki kapasitas menahan air rendah, viskositas rendah, serta kapasitas pembentukan emulsi sangat rendah. Pada teknologi pengolahan daging, mioglobin dan hemoglobin yang merupakan komponen utama protein sarkoplasmik berperan dalam memberi cita rasa dan warna daging (Lawrie dan Ledward 2006). Protein sarkoplasmik berperan dalam reaksi Maillard sehingga mendukung pembentukan warna produk olahan daging. Meskipun kapasitas emulsinya lemah, protein sarkoplasma yang mengelilingi globula fase terdispersi berperan dalam menurunkan tegangan *interfacial* antara fase air dan lipid.

Protein Kolagen

Protein kolagen (jaringan ikat) merupakan jenis protein ketiga yang dominan pada daging dengan jumlah 20–25% dari total protein. Kolagen merupakan protein struktural yang terdiri atas substansi dasar, sel dan serabut ekstraseluler. Kadar kolagen daging dapat berbeda di antara jenis kelamin, umur dan di antara daging pada karkas yang sama. Jumlah dan kekuatan kolagen meningkat sesuai umur. Perbedaan kandungan kolagen sangat menentukan nilai ekonomis bagian karkas dan daging. Kulit banyak mengandung kolagen, demikian juga tendo, ligamentum, tulang dan tulang rawan atau kartilago.

Distribusi kolagen pada otot skeletal tidak merata, tergantung pada aktivitas fisik masing-masing otot. Serabut kolagen jaringan ikat mempunyai diameter antara 1–12 μm , sedangkan ikatan paralel fibril penyusun serabut kolagen tersebut berdiameter antara 2–100 nm (Lawrie dan Ledward 2006).

Kolagen tersusun atas asam amino, terutama glisin, sejumlah 1/3 dari total asam amino serta hidroksiprolin dan prolin sebanyak 23%. Hidroksiprolin merupakan komponen kolagen yang terdapat dalam jumlah cukup besar dan relatif konstan, yaitu 12,8–14,0% dan hanya terdapat dalam jumlah kecil pada protein tubuh lainnya (Lawrie dan Ledward 2006). Kolagen mengandung sejumlah kecil gula berupa glukosa dan galaktosa. Di samping itu kolagen juga mengandung asam glutamat, alanin dan hidroksilislin.

Kolagen memiliki sifat sebagai berikut: (1) Larut pada kondisi panas, yang dapat dilihat dari melunaknya tekstur daging saat direbus yang disebabkan oleh melarutnya kolagen; (2) Larut pada pH rendah (kondisi asam), yang ditunjukkan dengan tekstur daging setelah daging lebih lunak daripada sebelumnya; (3) Kadar kolagen pada daging dipengaruhi kandungan lemaknya. Kadar lemak yang relatif tinggi akan melarutkan atau menurunkan kandungan kolagen; (4) Kolagen memiliki sifat pembentukan gel unik, yaitu dapat membentuk gel yang *reversible* (dapat balik) pada rentang luas dan tanpa penambahan bahan tambahan; dan (e) Struktur kolagen bersifat elastis dengan modulus elastisitas sangat tinggi.

Beberapa aplikasi pengolahan daging menuntut peran kolagen, di antaranya pada pembuatan gelatin yang bertujuan mengekstrak kolagen dari jaringan. Pada pembuatan sosis, kolagen berperan dalam pembentukan strukturnya, karena tanpa kolagen, sosis yang terbentuk menjadi lunak dan *rubbery*, serta *cohesiveness* rendah. Pada teknologi pengolahan daging lainnya, kolagen menentukan kealotan hasil olahan daging. Ikatan silang meningkat selama pertumbuhan dan perkembangan ternak, dan kolagen menjadi lebih kuat. Oleh karena itu, ternak yang lebih tua menghasilkan daging yang cenderung lebih alot daripada daging ternak muda pada bagian karkas yang sama. Perbedaan kealotan di antara daging dari suatu karkas, daging yang sama di antara spesies ternak, juga disebabkan oleh perbedaan jumlah ikatan silang

serabut kolagen. Untuk memecah struktur kolagen agar daging menjadi lebih lunak digunakan beberapa cara misalnya penambahan asam, pemanasan, dan penambahan enzim (Laville *et al.* 2009).

3.6.5 Mutu Daging

Salah satu faktor yang menentukan mutu daging adalah aroma. Daging yang baru disembelih cenderung beraroma dan berasa darah karena *flavor* daging yang menghasilkan senyawa volatil biasanya baru berkembang dengan adanya pemanasan. Pada daging yang baru disembelih, *flavornya* didominasi oleh *flavor* daging mentah yang merupakan kombinasi garam darah dan saliva. Selama tahap pelayuan, terjadi pemecahan nukleotida yang mengakibatkan perubahan *flavor*. Sampai tahap *rigor-mortis*, belum terbentuk komponen *flavor* pada daging karena belum ada fosforilasi adenosin dipospat (ADP) dan ATP. Pada tahap *post-rigor* terbentuk senyawa penyusun *flavor* daging yaitu asam inosinat, glikoprotein dan asam amino. Asam amino, nukleotida, peptida, asam, gula dan inosin monofosfat merupakan komponen cita rasa dasar pada daging. Selain itu juga terdapat senyawa mudah menguap sebagai penyusun aroma daging yaitu asetaldehida, propionaldehid, 2-metil propanal, 3-metilbutanal, aseton, 2-buta-non n-heksanal dan 3 metil-2 butanon (Lawrie dan Ledward 2006).

Tiap jenis daging memiliki komposisi yang berbeda, tergantung umur, jenis kelamin serta bagian daging yang diambil. Secara umum, daging sapi terdiri atas empat kelompok yaitu *prime cut*, *secondary cut*, daging variasi dan jeroan (*offal*). Setiap bagian daging tersebut memiliki ciri khas masing-masing sehingga apabila kita ingin menerapkan pada produk yang tepat maka kita harus mengetahui karakteristik masing-masing produk tersebut (Lawrie dan Ledward 2006).

Prime cut atau biasa disebut daging bermutu merupakan daging sapi dengan mutu tertinggi yang berasal dari bagian has dalam sapi. *Prime cut* adalah bagian yang murni dari daging yang memiliki tekstur empuk karena tidak ada bagian otot, dengan jumlah tidak lebih dari 10% dibanding dengan total berat daging. Daging *prime cut* terdiri atas bagian *tenderloin* (has dalam), *cube roll* (*lamosir*) dan *striploin* (Charley dan Weaver 1998).

Secondary cut juga disebut daging industri berasal dari bagian daging yang bukan *prime*. Meskipun bukan berasal dari bagian *prime* pada daging, *secondary cut* ini mempunyai tekstur yang hampir sama lembutnya dengan *primary cut*, demikian juga rasanya. Selain berbeda pada bagian asalnya, *primary* dan *secondary cut* juga berbeda pada suhu dan waktu pemasakan. Daging *secondary cut* memerlukan waktu pemasakan yang relatif lebih lama dibandingkan *primary cut*.

Daging variasi terdiri atas beberapa bagian antara lain ekor, cingur (tulang rawan dari bagian hidung dan bibir atas) dan kikir (daging pada kaki sapi). Bagian jeroan pada kelompok daging sapi antara lain adalah jantung dan hati. Bagi sebagian masyarakat Indonesia terutama rakyat kecil, jeroan merupakan sumber protein dan lemak yang harganya terjangkau walaupun di luar negeri jeroan dianggap sebagai sampah. Jantung biasanya dicampur dengan daging untuk membuat bakso dan *corned*, sehingga harganya menjadi lebih murah.

Di antara empat bagian tersebut, yang jumlahnya paling banyak adalah *secondary cut*. Daging *secondary cut* terdiri atas bagian *oyster blade*, *chuck*, *chuck tender*, *knuckle*, *silverside*, *topside*, dan *rump*. Bagian daging *secondary cut* berbentuk acak dan pada bagian tengahnya ada otot atau jaringan lemak sehingga perlu penanganan khusus untuk membersihkan bagian ini. *Oyster blade*, atau juga disebut *blade*, *clod*, *oyster* atau sampul kecil merupakan bagian daging bahu atas dan bawah yang berbentuk segi empat. *Oyster blade* memiliki berat kurang lebih 5,5% dari berat karkas dan merupakan daging yang tebal, mempunyai tekstur lembut serta mudah diurai. *Oyster blade* memiliki kulit luar/lemak yang cukup tebal sehingga perlu waktu yang lebih lama untuk membersihkan daging dari kulit luar tersebut, apabila bagian ini diolah menjadi produk tanpa lemak.

Chuck atau sampul merupakan bagian bahu sampai ke arah leher yang dagingnya berwarna merah pekat dan memiliki ketebalan sekitar 2–3 cm. *Chuck* terdiri atas sekelompok serabut daging besar dan kecil yang saling berseberangan/melintang. Jumlah *chuck* kurang lebih 4.8% dari berat karkas (Charley dan Weaver 1998). Karena banyak serabut otot yang saling berseberangan/melintang, *chuck* lebih alot bila dibandingkan dengan *blade*.

Kelebihan *chuck* dari *blade* adalah tidak terlalu banyak kulit luar/lemak permukaan yang tebal. Meskipun memiliki struktur relatif agak keras, rasa *chuck* cukup lezat karena mengandung kolagen cukup tinggi.

Chuck tender merupakan bagian daging pada kaki depan atau paha dan berjumlah kurang lebih 0,9% dari berat karkas sapi. Bentuknya seperti batu ulekan dan terbungkus kulit luar yang tipis. *Chuck tender* mempunyai karakteristik tidak jauh berbeda dengan *oyster blade* yaitu tekstur lembut dan mudah diurai. Kelebihan *chuck tender* adalah tidak banyak lapisan kulit luar keras/lemak tebal yang membungkusnya.

Silverside merupakan bagian daging bagian belakang di atas kaki, tepat di bawah pantat. *Silverside* terdiri dua jenis yaitu bagian yang rata (*flat-side*) dan bagian luar (*outside*), tetapi *silverside* yang dijual biasanya yang berasal dari bagian luar. *Silverside* biasanya digunakan sebagai bahan baku produk panggang, misalnya di Indonesia sebagai bahan baku sate. Pada saat pemanggangan, bagian luar dari daging ini harus diolesi lemak untuk mencegah hilangnya lemak dari bagian dalam yang membuat daging menjadi kering sebelum matang.

Knuckle merupakan bagian daging dari paha belakang bagian atas di antara penutup dan gandik, sedangkan *rump* merupakan bagian daging punggung belakang. *Flank (plate)* merupakan bagian daging yang berasal dari otot perut, yang berbentuk panjang dan datar, tapi kurang lunak. *Brisket* atau di Indonesia dikenal sebagai sandung lamur merupakan bagian daging yang berasal dari bagian dada bawah sekitar ketiak, dan agak berlemak.

Rib atau daging iga sapi merupakan bagian daging sapi yang berasal dari daging di sekitar tulang iga atau tulang rusuk. Seluruh bagian daging iga ini bisa terdiri atas beberapa iga, mulai dari iga ke-6 sampai dengan iga ke-12. *Rib-eye steak* merupakan potongan dalam bentuk *steak*, bisa dengan tulang (*bone in*) atau tanpa tulang (*boneless*), sedangkan *shank (shin)* berasal dari bagian depan atas kaki sapi.

Tekstur daging bervariasi antar bagian, dan daging dapat memiliki tekstur dari lunak hingga sangat keras. Daging yang berada di bagian atas karkas dan dekat dengan tulang belakang lebih lunak daripada daging yang berada pada

bagian bawah. Daging dari bagian bawah kaki serta dari sekitar leher paling keras di antara yang lain. Daging dari bagian *chuck* lebih lunak daripada bagian brisket, sedangkan bagian *rib* lebih lunak daripada *plate*. Keempukan daging tidak hanya tergantung dari bagian tersebut. Adanya lemak pada jaringan penghubung yang disebut *marbling*, membuat tekstur daging lebih empuk. Menurut (Lawrie dan Ledward 2006), kekerasan pada daging juga dipengaruhi kolagen dan jaringan penghubung intramuskular.

Mutu daging juga ditentukan rendemen (*yield*) yang dihasilkan, ketebalan, dan kesempurnaan otot serta jumlah lemak yang harus dihilangkan. Mutu daging tertinggi terdapat pada daging yang memiliki jumlah daging tanpa tulang paling tinggi (Charley dan Weaver 1998).

3.6.6 Penyimpanan Daging

Daging mengalami proses yang cukup panjang dimulai saat masih hidup, kemudian mengalami proses penyembelihan menjadi karkas sampai daging diolah. Selama proses tersebut, daging rentan mengalami kontaminasi yang dapat menurunkan mutunya. Mutu dan umur simpan produk olahan daging terutama ditentukan oleh kondisi mikrobiologi dan biokimia daging yang diolah.

Penyimpanan tidak memperbaiki mutu daging, namun juga tidak menurunkan secara nyata asalkan penyimpanan dilakukan secara benar pada waktu yang telah ditetapkan. Selama penanganan, penyimpanan dan konsumsi, banyak faktor yang memengaruhi keterbatasan umur simpan daging, yaitu pH, aktivitas air (a_w), oksigen, kondisi penyimpanan, penguapan dan kontaminasi sekunder. Umur simpan daging dapat diperpanjang dengan mengendalikan faktor tersebut. Pertumbuhan bakteri pembusuk dan kerusakan fisik, kimia dan organoleptik dapat dihambat dengan mengatur jumlah oksigen yang tersedia, suhu dan pengaturan kondisi udara.

Umur simpan daging dapat diperpanjang dengan menurunkan pH dan atau a_w . Nilai pH dan a_w memengaruhi pertumbuhan mikroorganisme pada bahan pangan, namun produk daging yang diawetkan dengan menurunkan

pH dan a_w memiliki keterbatasan terutama dalam sifat organoleptik, kecuali untuk beberapa produk olahan daging yang diinginkan memiliki rasa asin atau tekstur kering.

Oksigen memengaruhi daging dan produk olahannya sehingga mengubah warna daging yang semula merah menjadi agak abu-abu atau hijau (Kim *et al.* 2018). Oksigen juga dapat mengakibatkan terjadinya oksidasi dan ketengikan pada lemak daging sehingga menghasilkan *flavor* yang tidak diharapkan. Untuk menghindari reaksi antara daging dengan oksigen, dapat dilakukan dengan memodifikasi pengemasan.

Kondisi penyimpanan memengaruhi umur simpan daging, terutama suhu dan cahaya. Semakin lama daging terpapar cahaya, maka semakin cepat reaksi oksidasi terjadi dan daging menjadi tengik. Bahan pengemas yang transparan tidak melindungi produk terhadap pengaruh cahaya, sehingga untuk produk yang sering terpapar cahaya, pengemas yang berwarna atau tidak tembus pandang lebih dianjurkan. Pengemas film yang dilapis dengan aluminium foil baik untuk daging karena tidak tembus cahaya. Daging atau olahannya yang dikemas dengan pengemas yang transparan terlindungi apabila disimpan pada kondisi gelap atau kurang cahaya.

Selama penanganan daging, mulai penyembelihan sampai pengolahan, kontaminasi daging tidak bisa dihindarkan. Kontaminasi sekunder pada produk seperti debu dan kotoran lain dapat dicegah menggunakan pengemas, terutama plastik. Kerusakan daging oleh pertumbuhan mikroba tidak dapat dicegah dengan hanya dikemas, tetapi perlu dikombinasikan dengan metode pengawetan lainnya, seperti pembekuan.

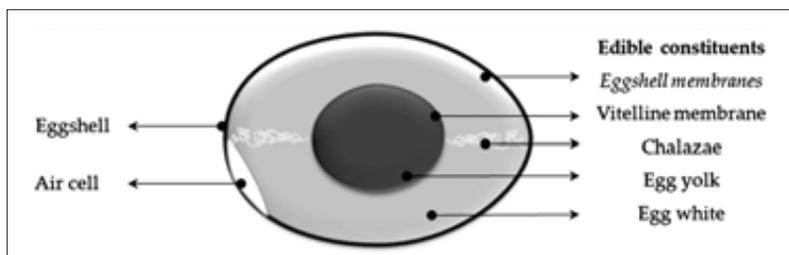
3.7 Telur

Telur merupakan hasil ternak unggas, seperti ayam, bebek, itik, burung puyuh, penyu, dan sebagainya. Secara definisi, telur segar adalah telur dalam kerabang yang berasal dari kelompok hewan unggas atau penyu, yang tidak mengalami proses pendinginan dan tidak mengalami pengawetan, dan tidak busuk. Pada telur tersebut belum terjadi pertumbuhan embrio, belum dierami, kerabangnya bebas dari benda asing (kotoran hewan, tanah) dan

tidak retak atau pecah. Telur merupakan sumber protein dan dapat diolah menjadi berbagai produk olahan, baik olahan yang siap dikonsumsi maupun produk intermediet, seperti tepung telur.

3.7.1 Komposisi Telur

Telur dari berbagai jenis unggas mempunyai struktur dan karakteristik fisik serta kimiawi yang hampir sama. Telur berbentuk bulat oval dan di bagian tumpul sebelah dalam terdapat rongga udara. Struktur telur unggas tersusun atas tiga bagian utama, yaitu dari luar ke dalam berturut-turut berupa cangkang/kulit telur (*shell egg*), putih telur (*egg white*), dan kuning telur (*egg yolk*) (**Gambar 3.5**). Komposisi masing-masing bagian sebagai berikut: kulit telur (11%), putih telur (58%) dan kuning telur (31%). Kulit telur terdiri atas komponen utama kristal kalsium karbonat, yang terkumpul dalam matrik organik yang mengelilingi bagian utama. Kulit telur terdiri atas empat lapisan, yaitu lapisan kutikula, bunga karang, mamilaris, dan membran kerabang telur (Charley dan Weaver 1998). Kulit telur merupakan pelindung isi telur terhadap kontaminasi mikroorganisme, dan merupakan bagian yang paling keras dan kaku. Lapisan kutikula terdiri atas 90% protein dan sedikit lemak yang melapisi pori-pori telur dan berfungsi untuk mencegah penetrasi mikroba melalui kerabang telur dan mengurangi penguapan air yang terlalu cepat.



Gambar 3.5 Struktur telur (Rehault-Godbert *et al.* 2019)

Telur mengandung zat gizi relatif lengkap seperti protein, lemak, vitamin dan mineral sehingga dapat disebut sebagai kapsul gizi (Rehault-Godbert *et al.* 2019). Telur juga nilai biologinya tinggi. Masing-masing bagian telur memiliki komposisi yang berbeda seperti terlihat pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5 Komposisi telur, kuning telur dan putih telur

| Komponen | Telur | Kuning telur | Putih telur |
|-----------------|-------|--------------|-------------|
| Berat (g) | 50 | 16,6 | 33,4 |
| Air (%) | 37 | 8 | 29 |
| Kalori | 75 | 59 | 17 |
| Protein (g) | 6,3 | 2,8 | 3,5 |
| Lemak (g) | 5 | 5,1 | 0 |
| Karbohidrat (g) | 0,61 | 0,3 | 0,34 |
| Fosfor | 89 | 81 | 4 |
| Zat besi | 0,72 | 0,59 | 0,01 |
| Vitamin A (IU) | 317 | 323 | - |
| Thiamin (mg) | 0,03 | 0,03 | - |
| Riboflavin (mg) | 0,25 | 0,11 | 0,15 |
| Niasin (mg) | 0,037 | 0,002 | 0,031 |

Sumber: Murano (2003)

Putih telur atau albumen terdiri atas tiga lapisan, yaitu lapisan yang paling luar yang tipis, lapisan tebal dan lapisan tipis lain yang melekat pada kuning telur. Ketiga lapisan tersebut memiliki perbedaan kekentalan yang disebabkan perbedaan kadar air. Kandungan air putih telur lebih banyak dibandingkan dengan kuning telur, sehingga bagian ini lebih mudah rusak selama penyimpanan.

Putih telur tersusun atas protein, terutama ovalbumin yang sebagian besar terdiri atas gugus sulfidril. Selain itu juga terdapat protein conalbumin (*ovotransferin*) sebanyak 12% dan *ovomucoid* sebanyak 11%. Jenis protein lain pada putih telur adalah globulin (8%), lisozim (kurang dari 4%), *ovomucin* (kurang dari 2%). Protein avidin juga terdapat dalam jumlah kecil, yang dapat mengikat biotin sehingga membuat tidak tersedia untuk mikroorganisme. Pada saat pemasakan, avidin ini mudah mengalami denaturasi.

Bagian kuning telur yang terluar, yang memisahkan dari putih telur, disebut sebagai membran vitelin. Warna kuning telur terutama dipengaruhi oleh kadar pigmen xantofil pada pakan ayamnya. Komposisi kuning telur yang utama adalah $\frac{1}{2}$ air, $\frac{1}{3}$ lemak dan $\frac{1}{3}$ protein. Kadar lemak pada kuning telur tinggi karena $\frac{3}{4}$ energi pada telur disuplai oleh kuning telur. Lemak

pada kuning telur terdiri atas triasilgliserol sebanyak $\frac{3}{4}$ bagian dan kurang dari $\frac{1}{4}$ bagian berupa fosfolipida, dengan kolesterol sebesar 4–6%. Asam lemak utama pada kuning telur adalah oleat, palmitat, stearat dan linoleat. Fosfolipid utama pada kuning telur adalah lesitin (fosfatidil kolin), diikuti oleh fosfatidil etanolamin dan fosfatidil serin.

Protein utama pada kuning telur adalah vitellin, yang membentuk kompleks dengan lemak yang disebut lipovitellin. Kuning telur juga mengandung fosfoprotein (*phosvitin*), yang mengikat lebih dari 80% zat besi pada kuning telur. Protein lain pada kuning telur yaitu livetin (protein globular yang mengandung sulfur dan lipoprotein berdensitas rendah) (Charley dan Weaver 1998).

3.7.2 Mutu Telur

Telur segar memiliki konsistensi yang kental dan tidak menyebar pada saat dipisahkan dari kulitnya. Karakter telur tersebut ditentukan oleh *ovomucin*, dan didukung oleh lisozim. Telur yang kental dan gel yang bersifat transparan tersebut bertahan selama satu minggu. Pada telur yang masih segar, kuning telur berada pada bagian tengah, dan akan bergeser seiring penurunan mutu telur.

Telur yang sudah disimpan akan kehilangan air dan karbondioksida, yang mengakibatkan pH telur menjadi lebih basa. Telur segar memiliki pH 7,6, dan meningkat menjadi 9,0–9,7 dalam beberapa hari. Perubahan lain yang terjadi adalah putih telur menjadi encer yang disebabkan oleh putusya ikatan kompleks lisozim-ovomucin karena pH yang tinggi. Seiring dengan encernya putih telur, warnanya juga berubah menjadi lebih kekuningan dan keruh. Kuning telur melebar dan tidak lagi berada di tengah karena mengalami penurunan mutu.

Agar telur tetap dipertahankan mutunya, penyimpanan harus dilakukan pada 4°C. Penyimpanan telur di tempat tertutup atau merendam di dalam larutan natrium silikat dapat mencegah kehilangan air dan karbondioksida. Kondisi penyimpanan tersebut dapat mempertahankan mutu telur hingga enam bulan dibandingkan telur yang disimpan pada suhu ruang yang hanya dapat bertahan hingga beberapa hari. Mutu telur juga dapat dipertahankan

dengan pelapisan (*coating*) dengan menggunakan *mineral oil* untuk menutup pori-pori telur dan mencegah penguapan air serta karbondioksida dari dalam telur. Metode lain yang dapat dilakukan untuk mempertahankan mutu telur adalah pelilinan (Charley dan Weaver 1998).

Selain dalam bentuk utuh, pengawetan telur juga dilakukan dalam bentuk telur tanpa kulit, baik campuran putih dan kuning telur, atau yang sudah dipisahkan antara putih dan kuning. Putih telur yang dibekukan terpisah tidak memerlukan perlakuan pendahuluan. Kuning telur serta campuran putih dan kuning telur memerlukan perlakuan pendahuluan karena apabila tidak, selesai di-*thawing*, telur bersifat kental, pseudoplastis dan menggumpal. Hal ini disebabkan penggumpalan lipoprotein pada kuning telur, karena perubahan struktur air selama pembekuan. Penambahan garam, gula atau sirup jagung sebelum pembekuan menghasilkan telur dengan sifat seperti semula.

Selain dalam bentuk beku, telur juga diawetkan dengan metode pengeringan, menggunakan pengering beku, *foam-spray* dan pengering semprot. Sebelum pengeringan, telur perlu dipasteurisasi selama 3,5 menit pada 57°C untuk putih telur dan 60°C untuk campuran putih dan kuning telur. Pasteurisasi mengurangi kemungkinan kontaminasi mikroba patogen, terutama *Salmonella*. Sebelum pengeringan, telur harus dihilangkan glukosanya untuk menghindari reaksi pencokelatan yang mengakibatkan perubahan warna telur.

3.7.3 Sifat Fungsional Telur

Sifat fungsional merupakan sifat fisikokimia di luar sifat nutrisi yang memungkinkan telur menyumbang karakteristik yang diinginkan pada makanan yang didasarkan pada sifat komponen telur bila berinteraksi dengan komponen lain dalam sistem pangan yang kompleks. Komponen pada telur, terutama protein dan lemak menentukan sifat fungsional telur dalam sistem persiapan dan penyimpanan makanan.

Pengemulsi

Emulsi merupakan sistem yang terdiri atas dua fase cairan yang tidak saling melarutkan, di mana salah satu cairan terdispersi dalam bentuk globula di dalam cairan lainnya. Fase terdispersi adalah cairan yang terpecah menjadi globula, sedangkan cairan yang mengelilingi globula disebut fase kontinu atau medium dispersi. Untuk mendapatkan fase terdispersi dan medium dispersi diperlukan pengemulsi dan energi. Untuk memperoleh emulsi yang diinginkan secara cepat dan ekonomis, diperlukan jenis pengemulsi yang sesuai dengan tujuan. Pada produk berbentuk tepung dan pasta, pengemulsi berfungsi untuk menghomogenkan tepung dan mencegah penggumpalan sehingga adonan lebih konsisten dan seragam.

Pada telur, komponen pengemulsi terutama terdapat pada kuning telur yang berupa senyawa fosfolipid, yaitu lesitin serta lipoprotein berdensitas rendah. Contoh produk pangan yang menggunakan telur sebagai pengemulsi adalah *cake*, *mayonnaise* dan *french dressing*.

Pengental dan Pembentuk Gel

Protein telur mudah mengalami denaturasi oleh pemanasan, dan sifat ini yang menentukan peran telur sebagai senyawa pengental dan pembentuk gel. Pemanasan mengakibatkan protein menggumpal yang selanjutnya terjadi membentuk gel. Penggumpalan protein terjadi pada suhu tertentu yang ditentukan pH, kecepatan kenaikan suhu dan garam. Adanya panas pada putih telur juga mengakibatkan perubahan telur dari yang semula kental dan jernih menjadi keruh serta mempunyai sifat sebagai padatan yang elastis, sehingga bagian yang digunakan sebagai bahan pengental dan pembentuk gel adalah putih telur. Kuning telur juga meningkat kekentalannya pada saat dipanaskan, akan tetapi sensitivitasnya terhadap pemanasan lebih rendah dibandingkan putih telur.

Keberhasilan penggunaan telur sebagai bahan pengental dan pembentuk gel dipengaruhi suhu dan waktu pemasakan. Suhu terlalu tinggi dan waktu berlebihan mengakibatkan terjadinya pengendapan yang berlebihan. Hasil yang baik didapatkan dengan suhu pemanasan yang tinggi dalam waktu

singkat. *Pudding* merupakan contoh produk pangan yang menggunakan telur sebagai pembentuk gel, sedangkan produk yang menggunakan telur sebagai bahan pengental adalah saus dan *custard*.

Pembentuk dan Penjaga Kestabilan Buih

Buih merupakan dispersi koloid dari fase gas dalam fase cair, yang terbentuk dengan adanya pengocokan. Putih telur merupakan bagian yang berperan dalam membentuk dan menjaga kestabilan buih. Kemudahan pembentukan buih ditentukan protein globulin, sedangkan kemampuan menstabilkan buih saat dipanaskan ditentukan kompleks lisozim-ovomucin, ovalbumin dan conalbumin.

Proses pembentukan buih dimulai pada saat putih telur dikocok sehingga terbentuk gelembung udara yang ditangkap oleh putih telur, dan terbentuklah buih. Selama pengocokan terjadi peningkatan dan penurunan ukuran dan jumlah gelembung udara. Daya buih merupakan ukuran kemampuan putih telur untuk membentuk buih jika dikocok (dinyatakan dalam persen terhadap volume putih telur). Volume buih yang baik terbentuk sebesar 6–8 kali volume putih telur, dan kemampuan membuih putih telur memengaruhi pengembangan adonan selama pemanasan.

Kapasitas pembuihan putih telur juga ditentukan kestabilan buih yang dihasilkan. Struktur buih yang stabil umumnya dihasilkan dari putih telur yang mempunyai elastisitas tinggi, sebaliknya volume buih yang tinggi diperoleh dari putih telur dengan elastisitas rendah. Elastisitas hilang jika putih telur terlalu banyak dikocok atau diregangkan seluas mungkin.

Volume dan kestabilan buih ditentukan oleh beberapa hal, di antaranya jenis dan umur telur. Jenis telur yang berbeda memiliki kadar globulin yang berbeda, misalnya telur ayam memiliki kadar globulin lebih tinggi dibandingkan telur itik. Oleh karena itu, telur ayam memiliki kemampuan membentuk buih lebih baik dibandingkan telur itik. Semakin lama umur telur, maka volume dan kestabilan buih putih telur ayam semakin menurun. Suhu telur juga memengaruhi kemampuan putih telur dalam pembentukan buih.

Telur yang disimpan pada suhu ruang mempunyai kemampuan membentuk buih dan tekstur lebih baik daripada telur yang disimpan pada suhu dingin karena putih telur menjadi terlalu kental sehingga lebih sulit untuk dibuat buih.

Kemampuan pembentukan buih dipengaruhi oleh adanya lemak, yang meskipun dalam jumlah kecil juga akan mengganggu pembentukan buih dan menurunkan volume buih yang dihasilkan. Untuk mendapatkan kemampuan membentuk buih yang baik, putih telur dikocok terpisah dengan kuning telur, mentega atau sumber lemak yang lain agar menghasilkan volume pengembangan yang optimal. Pembentukan buih juga memerlukan penambahan bahan lain untuk menjaga kestabilan buih. Gula dapat mengikat protein sehingga tidak terjadi pengendapan protein, sehingga buih yang dihasilkan menjadi lebih stabil.

Aplikasi telur sebagai pembentuk dan penstabil buih penting dalam pembuatan *cake* karena memengaruhi kekokohan struktur *cake* yang dihasilkan. Pemanasan adonan *cake* mengakibatkan udara dalam sel memuai dan putih telur yang menyelubunginya meregang. Volume dan kestabilan buih yang bagus diperlukan agar kue yang dihasilkan mempunyai struktur dan tekstur yang bagus. Buih yang kurang stabil tidak dapat mendukung pengembangan kue secara maksimal.

Bahan Pengikat

Beberapa produk pangan memerlukan bahan pengikat yang bertujuan untuk mengurangi penyusutan pada waktu pengolahan, meningkatkan daya mengikat air, mempertahankan nutrisi, memperbaiki sifat irisan, dan mengurangi biaya produksi. Telur sering digunakan sebagai bahan pengikat pada produk olahan daging karena memiliki sifat adhesivitas sehingga dapat mengikat bahan lain dan menghasilkan tekstur produk yang kompak. Bakso dan burger merupakan dua contoh produk pangan yang menggunakan telur sebagai bahan pengikat.

Penjernih

Pada produk tertentu, kejernihan merupakan indikator penting yang menentukan mutu produk, misalnya pada pembuatan *wine*. Warna, *flavor* dan aroma merupakan indikator dalam tahap penjernihan *wine*. Adanya partikel pada suspensi tidak hanya memengaruhi penampilan *wine* saja, tetapi juga memengaruhi aroma. Senyawa penjernih yang digunakan adalah putih telur atau albumin. Senyawa yang menyebabkan kekeruhan dan *flavor* tidak diinginkan pada *wine* adalah tanin yang bermuatan negatif, dan penambahan albumin yang bermuatan positif akan mengikat tanin.

Pada satu jenis produk pangan, telur dapat berperan pada lebih dari satu sifat fungsionalnya, sebagai contoh pada pembuatan biskuit. Penggunaan telur pada proses pembuatan biskuit meningkatkan dan memperkuat *flavor*, warna dan berfungsi sebagai pengemulsi. Telur juga memberi efek yang menguntungkan terhadap kerenyahan dan tekstur biskuit.

3.8 Susu

Susu merupakan produk emulsi butiran lemak susu dalam air. Susu sapi segar memiliki pH 6,6. Susu sapi terdiri atas 88% air, 3,3% protein, 3,3% lemak, 4,7% karbohidrat dan 0,7% mineral. Lemak pada susu terutama terdiri atas trigliserida, dengan asam lemak rantai pendek jenuh, misalnya asam butirrat. Lemak susu juga mengandung vitamin yang larut lemak yaitu vitamin A, D, E dan K, serta pigmen karotenoid. Karbohidrat utama pada susu adalah laktosa, yang juga disebut gula susu. Laktosa memiliki tingkat kemanisan rendah (0,3 kali dibandingkan sukrosa), dan tingkat kelarutannya lebih rendah dibandingkan jenis gula lain, sehingga memberikan teksur berpasir pada beberapa produk. Laktosa merupakan disakarida yang tersusun dari glukosa dan galaktosa. Laktosa dapat dipisahkan dari susu dengan cara kristalisasi (Walstra *et al.* 1999).

Pada saat susu dipanaskan, kemungkinan laktosa mengalami beberapa perubahan. Laktosa dapat mengalami isomerisasi menjadi laktulosa, yang berarti glukosa mengalami konversi menjadi fruktosa. Selama pemanasan susu, juga terjadi karamelisasi, di mana reaksi tersebut dipengaruhi konsentrasi gula, waktu pemanasan, pH, dan suhu.

3.8.1 Protein Susu

Protein utama pada susu adalah kasein, yang jumlahnya mencapai 80% dari jumlah protein susu. Kasein tersusun atas alfa (α), beta (β) dan kappa (K), yang terdispersi sebagai kalsium kaseinat atau serum susu. Karakteristik penting kasein adalah dapat mengendap pada pH 4,6 dengan adanya enzim rennin. Proses tersebut terjadi pada pengolahan keju. Jenis protein lain pada susu adalah *whey protein* atau *serum protein*, tidak dapat mengendap dengan penambahan enzim rennin, tetapi dapat menggumpal karena panas. Protein susu, yaitu α dan β kasein juga merupakan pengemulsi yang baik.

Jenis protein susu yang lain adalah *whey protein* (laktalbumin atau laktoglobulin). *Whey protein* tidak dapat mengendap oleh asam atau enzim renin, akan tetapi dapat menggumpal karena panas. Hasil olahan *whey protein* misalnya *whey protein concentrate* dan *whey protein isolate*. *Whey protein concentrate* memiliki kadar protein 75% dihasilkan melalui proses pemanasan susu dan penyaringan melalui membran yang sangat halus (ultrafiltrasi). *Whey protein isolate* memiliki kadar protein lebih tinggi, yaitu 90%, diperoleh melalui pemurnian yang lebih tinggi atau pemekatan lebih lanjut. *Whey protein isolate* digunakan dalam produk bakeri, sup dan sebagai pembentuk gel pada produk *confectionery*.

3.8.2 Jenis Susu

Susu merupakan suatu sistem emulsi, tidak hanya merupakan sebuah larutan atau dispersi koloid. Lemak pada susu berada dalam bentuk globula kecil dengan diameter 3–6 μm . Pada saat susu didiamkan, terjadi proses *creaming*, di mana globula lemak tersebut akan memisah. Untuk menghindari proses *creaming*, dilakukan proses homogenisasi pada susu.

Proses homogenisasi dilakukan dengan cara melewatkan susu di bawah tekanan tertentu untuk mengurangi ukuran globula lemak sehingga kurang dari 2 μm . Semakin tinggi tekanan yang digunakan, semakin kecil ukuran globula lemak yang dihasilkan, sehingga dapat mencegah proses *creaming*. Homogenisasi memengaruhi beberapa sifat susu, antara lain warna susu lebih putih dan lebih kental dibandingkan susu yang tidak dihomogenisasi pada kadar lemak yang sama.

Ada beberapa jenis susu cair berdasarkan kadar lemaknya yaitu *whole milk*, susu cair dengan kadar lemak dikurangi, susu cair rendah lemak dan susu cair bebas lemak. *Whole milk* mengandung kadar lemak tidak kurang dari 3,25% dan 8,25% padatan susu non lemak. Susu cair dengan kadar lemak dikurangi memiliki kadar lemak 2%, dan susu rendah lemak memiliki kadar lemak 1%. Susu cair bebas lemak memiliki kadar lemak maksimal 0,5% dan total padatan non lemak minimal 8,25%. Pada susu homogenisasi dan pasteurisasi biasanya dilakukan fortifikasi 2000 IU vitamin A dan 400 unit vitamin D.

Ada orang yang mengalami kesulitan dalam mencerna laktosa pada susu karena dalam sistem pencernaannya tidak memiliki enzim laktase untuk mencerna laktosa. Untuk keperluan kelompok tersebut, dikembangkan susu dengan penambahan enzim laktase sehingga kadar laktosanya berkurang hingga 70% dan produk yang dihasilkan diberi label “bebas laktosa”.

3.9 Ikan dan *Seafood*

Ikan dan *seafood* merupakan sumber protein hewani dari hasil perairan. Menurut Oehlenschläger dan Rehbein (2009) ada sekitar 25.000–30.000 spesies ikan dan *seafood*, namun hanya 5% yang memiliki sifat sensori yang diinginkan sehingga dapat dikonsumsi. Perbedaan ikan dan *seafood* dengan hasil ternak hewani adalah hasil ternak hewani bisa dikendalikan (umur, ukuran, dan status gizi pakan), sedangkan ikan dan *seafood* tidak bisa dikendalikan (umur, berat, ukuran, dan sifat sensori), kecuali jenis ikan yang dibudidayakan.

Seafood meliputi kerang, oyster, lobster dan pangan hewani lainnya dari lautan, danau atau aliran air lainnya. Dengan demikian menurut definisi tersebut, ikan termasuk kelompok *seafood*. Ikan dapat dikelompokkan menjadi *finfish* dan *shellfish*. *Finfish* merupakan ikan yang memiliki tulang dan sirip halus, sedangkan *shellfish* meliputi *crustacea* (kepiting, udang, dan lobster) dan moluska (remis, tiram, dan *scallop*). Dengan demikian, selain ikan, pangan dari laut dikelompokkan ke dalam *shellfish*.

3.9.1 Pengelompokan Ikan

Berdasarkan asalnya, ikan dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu ikan air tawar dan ikan air laut. Ikan lele, belut, dan ikan mas merupakan contoh ikan air tawar, sedangkan ikan *cod*, *sardine*, *mackerel* dan *herring* merupakan contoh ikan air laut.

Berdasarkan kadar lemaknya, ikan dapat dikelompokkan menjadi empat (Oehlenschläger dan Rehbein 2009), yaitu ikan tanpa lemak, lemak rendah, lemak sedang dan berlemak. Ikan tanpa lemak memiliki kadar lemak kurang dari 1%, seperti ikan *cod*, *haddock*, *grenadier*, dan *Alaska pollack*. Ikan dengan kadar lemak rendah memiliki kadar lemak 1–5%, seperti belanak, *white halibut*, *wolffish*, dan *turbot*. Ikan berkadar lemak sedang memiliki kadar lemak 5–10%, meliputi *sardine*, *redfish*, *swordfish*, lele, *albacore*, *dogfish*, tuna, dan salmon. Ikan berlemak memiliki kadar lemak lebih dari 10%, seperti *black halibut*, *mackerel*, *herring* dan belut.

Berdasarkan bentuk anatominya, ikan dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu ikan berbentuk bundar (misalnya ikan *cod*, *saithe*, dan *hake*), ikan berbentuk datar (misalnya *plaice*, *dab* dan *flounder*), dan ikan berbentuk ular (misalnya belut, *lamprey* dan *moray*).

3.9.2 Nilai Gizi Ikan

Ikan dan *seafood* merupakan pangan tinggi protein (13–25%) dan proteinnya bermutu karena daya cerna proteinnya tinggi (Tabel 3.6 dan 3.7). Protein ikan mengandung asam amino esensial dan beberapa jenis ikan merupakan sumber asam lemak tidak jenuh ganda, terutama omega-3,

yang dapat mengurangi risiko terjadinya penyakit kardiovaskuler. Ikan juga merupakan sumber vitamin A, B₁₂, D dan E serta sumber mineral terutama iodin dan selenium. Kadar lemak ikan bervariasi, mulai dari rendah (0,1%) sampai tinggi (14,4%).

Ikan mengandung lebih banyak beberapa mineral esensial seperti selenium dan iodin dibandingkan pangan hewani lainnya (Oehlschläger dan Rehbein 2009). Protein ikan kaya asam amino esensial, memiliki nilai biologi tinggi dan mudah dicerna. Ikan memiliki jaringan ikat lebih rendah (1–2%) dibanding hewan lainnya (10–13%). Selain protein, pada daging ikan juga terdapat komponen nitrogen non protein, terdiri atas kreatin (0,2–0,7 g/100 g), trimetilamin oksida (0,1–1 g/100 g), adenosin nukleotida (0,2–0,4 g/100 g), asam amino bebas dan dipeptida.

Kadar lemak dalam ikan bervariasi mulai dari sangat rendah sampai tinggi, tergantung kelompoknya. Kadar lemak ini juga dipengaruhi status gizi ikan, umur dan musim. Lemak tidak terdistribusi secara merata pada seluruh tubuh ikan. Pada ikan berlemak rendah, lemak berada pada hati sebagai sumber energi, sedangkan pada ikan berlemak tinggi, lemak berada pada jaringan otot, pada lapisan di bawah kulit atau di dalam usus. Pada beberapa jenis ikan berlemak, terdapat kaitan antara kadar lemak dan kadar air pada jaringan otot. Ikan dengan kadar lemak rendah memiliki proporsi lipida polar (fosfatidil kolin dan fosfatidil etanolamin) daripada ikan berlemak tinggi, yang lebih didominasi triasilgliserol. Lemak polar terutama berada di lapisan *bilayer* pada membran sel, sedangkan lemak netral berada di dalam sel lemak penyimpan energi (hati dan otot). Kadar kolesterol pada otot ikan pada umumnya rendah (35 mg/100 g).

Lemak ikan berbeda dari hewan lain, terutama adanya asam lemak tidak jenuh ganda omega-3, yaitu *eicosapentanoic acid* (EPA) dan *docosahexaenoic acid* (DHA), yang disebut *polyunsaturated fatty acid* (PUFA). Kadar PUFA pada ikan bervariasi seperti terlihat pada **Tabel 3.6**. Beberapa jenis ikan seperti mackerel, tuna dan salmon memiliki kadar asam lemak tidak jenuh tinggi sehingga rentan terhadap oksidasi lemak dan perubahan oksidatif. Hal tersebut mengakibatkan ikan mudah mengalami perubahan bau dan rasa pada waktu penyimpanan tertentu.

Kadar vitamin pada ikan bervariasi berdasarkan spesiesnya, dan dipengaruhi juga oleh umur, ukuran, pakan dan letak geografisnya. Pada ikan yang dibudidayakan, kadar vitamin merefleksikan pakan yang diberikan. Vitamin larut lemak (A, D, E dan K) banyak terdapat pada hati ikan. Daging ikan yang gelap mengandung lebih banyak vitamin yang larut lemak daripada bagian yang putih. Ikan juga merupakan sumber vitamin D yang penting, dan semakin tinggi kadar lemaknya, kadar vitamin D juga semakin tinggi. Ikan memiliki kadar vitamin E yang bervariasi mulai dari rendah sampai sedang. Kadar vitamin K pada ikan relatif rendah, yaitu vitamin K tertinggi terdapat di bagian otot ikan dan hati (Oehlenschläger dan Rehbein 2009).

Kadar vitamin C pada ikan sangat kecil, yaitu 1–5 mg/100 g, demikian juga vitamin B₁ (thiamin). Pada ikan, ada satu masalah yaitu adanya enzim thiaminase yang dapat memecah molekul thiamin pada bagian jeroan ikan. Sebagai contoh ikan yang memiliki aktivitas thiaminase tinggi yaitu ikan mas dan *mackerel*. Enzim tersebut aktif selama penyimpanan, tetapi dapat dinaktifkan melalui pemanasan.

Ikan hanya mengandung vitamin B₂ (riboflavin) dalam jumlah kecil, terutama terdapat pada bagian otot yang gelap, telur dan hati. Ikan memiliki kadar niasin (vitamin B₃) yang tinggi, tetapi ikan dengan kadar lemak rendah mengandung lebih sedikit niasin daripada ikan berlemak seperti *mackerel*, salmon dan tuna. Hati dan telur ikan mengandung lebih banyak niasin dibandingkan bagian lainnya. Ikan hanya memiliki vitamin B₅ (asam pantotenat) dalam jumlah kecil, kecuali ikan salmon, di mana jumlah tertinggi terdapat pada bagian ovarium, dan terendah pada daging ikan.

Ikan merupakan sumber vitamin B₆ (pyridoxin), yang lebih banyak terdapat pada hati ikan, terutama ikan *mackerel*, *herring*, *tuna*, *sardine*, dan salmon. Sebanyak 200 g *fillet* ikan dapat memenuhi 30–60% kebutuhan vitamin B₆ tiap harinya. Ikan mengandung asam folat dalam jumlah kecil, dan tidak banyak memberikan kontribusi terhadap kebutuhan manusia dibandingkan pangan nabati. Organ ikan seperti hati dan ginjal mengandung lebih banyak asam folat dibandingkan bagian daging.

Tabel 3.6 Nilai gizi beberapa jenis ikan (dalam 100 g bagian yang dapat dimakan)

| Komposisi | Turbot | Cod | Herring | Mackerel | Salmon | Mullet | Swordfish | Haddock | Tuna | Ikan mas |
|-------------------------------|--------|--------|---------|----------|--------|--------|-----------|---------|-------|----------|
| Air (%) | 77 | 81,2 | 71,5 | 63,6 | 76,4 | 77 | 75,6 | 78 | 71 | 67 |
| Energi (kcal) | 95 | 82 | 195 | 205 | 196 | 117 | 121 | 87 | 108 | 127 |
| Protein (%) | 16 | 17,8 | 16,4 | 18,6 | 19,9 | 19 | 19,8 | 19 | 23,4 | 18 |
| Lemak (g) | 3 | 0,7 | 13,9 | 13,9 | 3,5 | 3,8 | 4 | 0,7 | 1 | 6 |
| Kalsium (mg) | 18 | 16 | 57 | 12 | 12 | 41 | 4 | 33 | 16 | 41 |
| Fosfor (mg) | 129 | 203 | 236 | 217 | 200 | 221 | 263 | 188 | 191 | 415 |
| Zar besi (mg) | - | 0,4 | 1,1 | 1,6 | 0,8 | - | 0,8 | 1,1 | 0,7 | - |
| Kalium (mg) | 238 | 413 | 327 | 314 | 490 | 357 | 288 | 311 | 444 | 333 |
| Natrium (mg) | 150 | 54 | 90 | 90 | 44 | 65 | 90 | 68 | 37 | 49 |
| Selenium (mg) | 0,036 | 0,033 | 0,036 | 0,044 | 0,037 | 0,036 | 0,048 | 0,03 | 0,036 | 0,037 |
| Iodin (mg) | 0,18 | 0,187 | 0,041 | 0,109 | 0,045 | - | - | 0,186 | - | - |
| Vitamin A (μ g) | 12 | 11 | 38 | 214 | 41 | 47 | 36 | 17 | 464 | 44 |
| Vitamin D (μ g) | 0,002 | 0,0015 | 0,027 | 0,013 | 0,03 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,005 | 0,5 |
| Vitamin E (mg) | 0,6 | 1,1 | 1,8 | 1,55 | 4 | 1 | 1 | 0,5 | 1,2 | 0,5 |
| Thiamin (vit B1) (mg) | 0,05 | 0,08 | 0,06 | 0,18 | 0,2 | 0,005 | 0,04 | 0,07 | 0,43 | 0,11 |
| Riboflavin (vit B2) (mg) | 0,15 | 0,07 | 0,3 | 0,31 | 0,135 | 0,15 | 0,1 | 0,17 | 0,05 | 0,08 |
| Niasin (vit B3) (mg) | 6,1 | 2,06 | 4,5 | 9,08 | 8,2 | 4,03 | 9,68 | 4 | 9,8 | 3 |
| Asam pantotenat (vit B5) (mg) | 1 | 0,25 | 1 | 1 | 2 | 0,3 | 0,41 | 0,3 | 0,74 | 0,59 |
| Pyridoxin (vit B6) (mg) | 0,3 | 0,23 | 0,5 | 0,8 | 0,98 | 0,4 | 0,33 | 0,5 | 0,61 | 0,16 |
| Asam askorbat (mg) | - | 1 | 0,67 | 0,4 | - | 0,6 | 1,1 | 2 | 1 | 1,1 |
| Asam lemak tidak jenuh (g) | 0,88 | 0,184 | 2,3 | 4,6 | 2,3 | 0,325 | 0,639 | 0,185 | 2,1 | 0,352 |
| Kolesterol (g) | 0,039 | 0,039 | 0,031 | 0,033 | 0,026 | 0,049 | 0,039 | 0,036 | 0,038 | 0,066 |

Sumber: Charley dan Weaver (1998); Oehlenschläger dan Rehbein (2009)

Vitamin yang larut lemak (A, D, E, K) terdapat pada ikan sesuai kadar lemak ikannya. Ikan dengan kadar lemak tinggi memiliki kadar vitamin A, D, E dan K lebih tinggi dibandingkan ikan berkadar lemak rendah. Ikan juga mengandung sejumlah mineral, di antaranya selenium dan iodin yang merupakan mineral esensial terutama ikan air laut. Kadar iodin pada ikan air laut berada pada kisaran 50–800 $\mu\text{g}/100\text{ g}$, yang terutama terdapat pada bagian kulit. Ikan air tawar hanya mengandung iodin dalam jumlah rendah, rata-rata 5 $\mu\text{g}/100\text{ g}$. Kadar selenium pada ikan air laut rata-rata 0,35–0,6 mg/kg.

Tabel 3.7 Nilai gizi *seafood* (dalam 100 g bagian yang dapat dimakan)

| Komposisi | American oyster | Pacific oyster | Gurita | Tiram | American lobster | King crab | Snow crab | Blue crab |
|----------------------------|-----------------|----------------|--------|-------|------------------|-----------|-----------|-----------|
| Air (%) | 85 | 82 | 80 | 81 | 77 | 80 | 81 | 79 |
| Energi (kkal) | 68 | 81 | 82 | 86 | 90 | 84 | 90 | 87 |
| Protein (%) | 7 | 9,5 | 15 | 12 | 19 | 18 | 19 | 18 |
| Lemak (g) | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0,6 | 1 | 1 |
| Kalsium (mg) | 45 | 8 | 53 | 26 | 48 | 46 | 26 | 89 |
| Fosfor (mg) | 135 | 162 | 186 | 197 | 144 | 219 | 133 | 229 |
| Zat besi (mg) | 6,7 | 5 | 5,3 | 4 | 0,3 | 0,6 | 2,5 | 0,7 |
| Kalium (mg) | 156 | 168 | 350 | 320 | 275 | 204 | 173 | 329 |
| Natrium (mg) | 211 | 106 | 230 | 286 | 296 | 836 | 539 | 293 |
| Selenium (mg) | 64 | 77 | 45 | 45 | 41 | 36 | 35 | 37 |
| Iodin (mg) | - | - | 25 | 99 | - | - | - | - |
| Magnesium (mg) | 47 | 22 | 30 | 34 | 27 | 49 | 49 | 34 |
| Asam lemak tidak jenuh (g) | 0,56 | 0,688 | 0,157 | 0,441 | 0,15 | 0,13 | 0,372 | 0,32 |
| Kolesterol (g) | 0,053 | 0,05 | 0,048 | 0,028 | 0,095 | 0,042 | 0,055 | 0,078 |

Sumber: Oehlenschläger dan Rehbein (2009)

3.9.3 Perubahan *Post Mortem*

Ikan dan *seafood* memiliki kadar air yang tinggi, yaitu 68–84%. Kadar air yang tinggi tersebut memicu cepatnya terjadi kerusakan jika tidak ditangani dan diolah dengan baik. Kunci keamanan pangan produk berbasis ikan adalah adanya kontaminasi bakteri patogen dan virus serta keberadaan senyawa seperti histamin dan biotoksin.

Ikan dan *seafood* merupakan produk yang mudah rusak tanpa proses pendinginan. Setelah kematian ikan, terjadi perubahan biokimia yang memengaruhi mutu dan umur simpan ikan. Reaksi tersebut tergantung jenis ikan, kondisi fisiologi dan lingkungan (suhu dan kadar garam). Metode penangkapan dan pemanenan, serta prosedur penyembelihan juga berperan besar dalam reaksi biokimia yang berkaitan dengan kelunakan daging ikan, misalnya pada ikan tuna, ada yang disebut *tuna burn* yaitu daging ikan tuna yang berwarna pucat dan lunak.

Selama proses penangkapan, konsentrasi ion ammonia pada *fillet* meningkat dan glikogen menurun. Pada saat ikan telah mati, peristiwa glikolisis berlanjut secara anaerob, mengakibatkan peningkatan konsentrasi L-laktat seiring dengan menurunnya pH. Konsentrasi kreatin fosfat dan ATP menurun, dan fase *rigor-mortis* dimulai pada saat konsentrasi ATP tidak lagi cukup sehingga tidak ada lagi ikatan antara filamen miosin dan aktin pada miofibril.

Setelah proses penangkapan, khususnya ikan air laut, ikan biasanya langsung dibekukan, sehingga sebagian besar reaksi enzimatik terhenti, tergantung kepada suhu pembekuan. Namun selama proses *thawing*, penyimpanan dingin atau pengolahan ikan, terjadi proses glikolisis, proteolisis, lipolisis dan reaksi enzimatik lain yang dapat mengakibatkan penurunan mutu. Contoh pengaruh proses *rigor* selama *thawing* adalah penurunan kapasitas pengikatan air dan kerusakan tekstur (Oehlschläger dan Rehbein 2009).

Saat mulai dan lamanya proses *rigor-mortis* antar spesies ikan bervariasi. *Rigor mortis* dapat berlangsung selama beberapa hari sampai ikan menjadi lunak karena aktivitas protease endogen, dan setelah itu teksturnya sama seperti sebelum terjadinya *rigor*. Beberapa enzim dan inhibitor proteolitik yang berperan dalam degradasi struktur protein ikan adalah katepsin, proteinase, proteosome, calpains, aminopeptidase, kolagenase, dan elastase.

Enzim yang terikat dalam sel atau berlokasi dalam membran sel secara perlahan-lahan akan lepas selama penyimpanan dengan adanya pelelehan es atau meningkatnya suhu refrigerasi. Lisosom pada otot ikan mengandung lebih banyak enzim hidrolitik, selain katepsin, yang dapat memengaruhi perubahan metabolit pada ikan segar. Proses tersebut melibatkan enzim di

mitokondria yang memecah ATP dan meningkatkan ion kalsium (Ca^{2+}) dalam sarkoplasma. Adanya kerusakan bagian dalam sel selama pembekuan dan *thawing* digunakan untuk membedakan ikan segar dan ikan yang telah mengalami *thawing*,

Penyimpanan ikan fase rigor pada suhu tinggi (sebagai contoh untuk ikan *cod* pada suhu 17°C) mengakibatkan pemotongan pada otot ikan dan jaringan penghubung terdenaturasi. Sebagian dan jaringan antara *myocommata* dan serabut otot menjadi hilang. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya *gap*, yang dicirikan dengan adanya celah dan pecahan pada *fillet* ikan.

Pada jaringan ikan laut yang steril, mutu ikan yang disimpan dalam es yang mengalami pelelehan dipengaruhi oleh reaksi autolisis. ATP terdegradasi dalam beberapa tahap menjadi *hyoxanthine* dan ribosa atau ribose fosfat, di mana pembentukan *hypoxanthin* dapat digunakan sebagai indikator kesegaran ikan.

Ikan gadoid (bertulang) seperti *cod*, *hake*, atau *Alaska pollack* mengandung enzim *trimethylamine oxide demethylase* (TMAOase), yang mempercepat pemotongan *trimethylamine oxide* (TMAO) menjadi *dimethylamine* (DMA) dan formaldehida. Ikan gadoid menghasilkan DMA dan formaldehida selama pengolahan (misalnya pada proses pemotongan), atau pada hari-hari pertama penyimpanan pada es yang mencair. Aktivitas enzim TMAOase dihambat oleh oksigen, yang berhenti setelah beberapa hari.

Sepuluh hari setelah penangkapan ikan, terjadi penurunan TMAO menjadi *trimetilamin* (TMA), di mana proses tersebut mendominasi selama penyimpanan ikan, yang mengakibatkan terjadinya perubahan *flavor* pada ikan laut. TMA dan amonia merupakan komponen utama *total volatile basic nitrogen* (TVBN) pada ikan yang disimpan dingin dan peningkatan nilainya berhubungan dengan kerusakan ikan. Ikan yang memiliki TVBN di atas nilai tertentu tidak layak dikonsumsi manusia, dan hal ini dapat dievaluasi secara sensori (Oehlenschläger dan Rehbein 2009). Komponen utama pada TVBN adalah amonia yang terjadi selama penyimpanan 1–2 minggu, tergantung kepada spesies dan kondisi penyimpanan.

Pada saat penangkapan ikan, jaringan otot pada ikan bebas dari bakteri, tetapi tidak demikian dengan insang, kulit dan usus. Bakteri masuk ke dalam tubuh melalui sirip dan rongga tubuh selama penyimpanan dan pengolahan, sehingga mengakibatkan perubahan komposisi bakteri dalam tubuh ikan. Bakteri Gram negatif psikotropik (*Shewanella* sp., *Pseudomonas* sp., *Vibrio* sp. dan *Aeromonas* sp) merupakan bakteri pembusuk pada ikan.

Bakteri tersebut juga mengakibatkan pembentukan amino biogenik dari asam amino melalui proses dekarboksilasi yang mengakibatkan kerusakan pada ikan. Beberapa senyawa amino biogenik tersebut adalah histamin yang dihasilkan dari histidin, cadaverin dari lisin, putrescine dari ornithin, triptemin dari triptofan, tiramin dari tirosin dan agmatin dari arginin. Ikan yang memiliki daging gelap, seperti kelompok *scromboid* (misalnya tuna, *mackerel*) atau *clupeids* (contohnya ikan teri) yang memiliki kadar histidin tinggi, terutama apabila disimpan pada suhu lebih tinggi.

Lemak pada ikan tidak stabil selama penyimpanan pada suhu berapapun. Oksidasi lemak dan lipolisis dapat terjadi pada ikan yang didinginkan atau dibekukan sehingga terbentuk komponen karbonil dan asam karbonat rantai pendek yang mengakibatkan pembentukan *flavor* dan rasa tidak diinginkan. Perubahan tekstur juga dapat terjadi karena pengikatan asam lemak bebas dengan protein pada otot ikan. Kecepatan dan intensitas lipolisis dan oksidasi asam lemak tidak jenuh pada ikan berdaging gelap lebih tinggi dibandingkan ikan berdaging putih. Selama penyimpanan beku, degradasi lemak karena lipolisis (lipase dan fosfolipase) tetap berlangsung pada kecepatan rendah, sehingga konsentrasi asam lemak bebas semakin meningkat yang digunakan sebagai indikator mutu ikan.

3.10 Rumput Laut

Rumput laut atau *seaweed*, juga dikenal sebagai *marine algae*. Dengan perairan di Indonesia seluas 5,8 juta km², potensi rumput laut di Indonesia sangat melimpah yaitu 8,6% dari yang ada di seluruh dunia. Di seluruh dunia ada 8.642 spesies rumput laut, dan 555 jenis di antaranya ada di Indonesia (Suparmi dan Sahri 2009).

3.10.1 Sifat dan Klasifikasi Rumput Laut

Rumput laut tergolong dalam makroalga, pada umumnya berada di dasar perairan dangkal yang masih terkena sinar matahari. Pertumbuhan rumput laut dipengaruhi kadar garam (salinitas), pH, arus, pasang surut, substrat dan sumber nutrisi (McHugh 2003).

Rumput laut termasuk kelompok tumbuhan yang tidak bisa dibedakan antara bagian batang, akar, dan daun. Seluruh bagian tumbuhan disebut *thallus*, sehingga rumput laut tergolong tumbuhan tingkat rendah dan termasuk divisi Thallophyta (McHugh 2003). Bentuk *thallus* rumput laut bermacam-macam, ada yang bulat seperti tabung, pipih dan seperti rambut. *Thallus* dapat tersusun oleh satu sel (uniseluler), tetapi sebagian besar tersusun atas beberapa sel (multiseluler). *Thallus* ada yang bersifat lunak seperti gelatin, lunak seperti tulang rawan, keras karena adanya zat kapur, berpori serta berserabut.

Rumput laut dapat dikelompokkan berdasarkan warnanya, yaitu rumput laut cokelat (*Phaeophyta*), rumput laut merah (*Rhodophyta*), dan hijau (*Chlorophyta*). Menurut (Simpson 2006), selain ketiga jenis tersebut, ada tambahan rumput laut pirang (*Chrysophyta*).

Rumput laut cokelat berukuran besar, dari yang panjangnya 20 m, ada yang berbentuk seperti kulit dengan panjang 2–4 m, dan ada juga yang kecil dengan ukuran 30–60 cm. Pigmen pada rumput laut cokelat terdiri atas klorofil a, klorofil c dan karotenoid (*fukoxantin*, *violaxantin* dan *zeaxantin*), dengan zat penyusun dinding sel berupa alginat. Rumput laut cokelat ini hanya dapat dibudidayakan di air laut. Beberapa genus yang termasuk rumput laut cokelat adalah *Sargassum*, *Laminaria*, *Himantalia*, *Bifurcaria*, *Saccharina*, *Undaria*, *Fucus*, dan *Ascophyllum*.

Rumput laut merah memiliki ukuran lebih kecil daripada rumput laut cokelat, pada umumnya dari beberapa sentimeter sampai satu meter. Zat penyusun dinding sel pada rumput laut merah berupa kalsium karbonat, selulosa dan produk fotosintetik berupa agar, karagenan, porpiran dan *fulcellaran*. Rumput laut merah tidak selalu berwarna merah, tetapi ada yang berwarna ungu dan merah kecokelatan. Klorofil a, klorofil b dan pikobiliprotein

(pikosianin dan pikoeritrin) merupakan pigmen pada rumput laut merah. Sebagian besar budidaya rumput laut cokelat ini ada di laut, dan hanya sedikit yang dapat dibudidayakan di air tawar. Beberapa genus yang termasuk rumput laut merah adalah *Gracilaria*, *Rhodomenia*, dan *Grateloupia*.

Rumput laut hijau memiliki ukuran kecil, hampir sama dengan rumput laut merah. Rumput laut hijau memiliki pigmen klorofil a, klorofil b dan karotenoid berupa *siponaxantin*, *siponein*, *lutein*, *violaxantin*, dan *zeaxantin*. Rumput laut hijau ini dapat dibudidayakan di air laut dan air tawar. Rumput laut hijau memiliki zat penyusun dinding sel berupa selulosa. Contoh rumput laut hijau adalah spesies *Ulva* yang biasanya dikenal sebagai *sea lettuce* (selada laut) dan *Monostroma* yang dikenal sebagai *slender sea lettuce* (Barry 2008).

Chrysophyta (rumput laut pirang) memiliki pigmen berupa karoten dan xanthofil, dengan penyusun dinding sel berupa silikon. *Chrysophyta* dapat dibudidayakan di laut atau air tawar.

3.10.2 Komposisi Kimia Rumput Laut

Selain air sebagai penyusun utama pada rumput laut, kandungan utama rumput laut adalah polisakarida (**Tabel 3.8**). Polisakarida pada rumput laut berbeda-beda, tergantung jenisnya, misalnya pada rumput laut merah ada karagenan dan agar, sedangkan pada rumput laut cokelat ada alginat (McHugh 2003). Sebagian besar polisakarida tersebut berfungsi sebagai serat yang tidak dapat dicerna. Kadar serat pada rumput laut sebesar 30–40%, yang didominasi oleh serat larut air. Kadar serat larut pada rumput laut lebih tinggi daripada tumbuhan daratan yang hanya 15%. Serat pada rumput laut terdiri atas selulosa, mannan, xylan dan lignin.

Kadar protein rumput laut bervariasi, tergantung jenisnya. Kadar protein paling besar terdapat pada beberapa jenis rumput laut merah, yaitu *Palmaria palmate* dan *Porphyra tenera* yang mencapai 35–47%. Beberapa jenis rumput laut merah dan hijau memiliki kadar protein 10–30%. Rumput laut cokelat memiliki kadar protein lebih kecil dibanding yang lainnya, yaitu 5–15%. Menurut (Smith *et al.* 2010), beberapa jenis rumput laut cokelat yang memiliki kadar protein rendah yaitu *Hormosira banksii* (6,1%), *Himanthalia* (5,5%), *Durvillaea antarctica* (7,3%), dan *Laminaria* (7,5%).

Tabel 3.8 Komposisi kimia beberapa jenis rumput laut

| Komponen | <i>Durvillaea antarctica</i> | <i>Undaria pinnatifida</i> | <i>Ecklonia radiata</i> | <i>Hormostira banksii</i> | <i>Ulva stenophylla</i> | <i>Porphyra spp.</i> | <i>Ecklonia</i> | <i>Macrocystis</i> |
|-----------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|--------------------|
| Protein (g) | 7,3 | 19,7 | 9,6 | 6,1 | 20,4 | 32,7 | 9,8 | 11,0 |
| Karbohidrat (g) | 58,8 | 50,4 | 66,9 | 62,9 | 55,6 | 45,4 | 69,6 | 44,5 |
| Lemak (g) | 2,0 | 3,3 | 1,8 | 2,6 | 1,2 | 2 | 0,8 | 1,6 |
| Mineral (g) | 22,1 | 26,6 | 22,1 | 28,4 | 22,7 | 19,8 | 20,6 | 42,9 |
| Zat besi (mg) | 13,7 | 133 | 284 | 234 | 1227 | 569 | 42,5 | 267,3 |
| Kalsium (g) | 14,1 | 12,8 | 11 | 15,3 | 12,9 | 8,5 | 11,6 | 37,9 |
| Natrium (g) | 52,9 | 36,1 | 30,8 | 56,7 | 1,9 | 1,7 | 31,9 | 41,2 |
| Kalium (g) | 51,6 | 71,2 | 58,9 | 42,9 | 7,9 | 21,7 | 65,9 | 118 |
| Klorida (mg) | 41,9 | 8.918 | 6.337 | 7.727 | 672 | 23,6 | 7313 | 14.064 |
| Seng (mg) | 9,9 | 22,9 | 20,7 | 12,7 | 61 | 35,2 | 26,6 | 18,9 |
| Iodin (mg) | 291 | 17,1 | 3.990 | 1.041 | 27 | 64 | 3.719 | 2.115,8 |
| Selenium (mg) | 0,04 | 0,07 | 0,07 | 0,15 | 0,17 | 0,16 | 0,2 | 0,01 |
| Seng (mg) | 9,9 | 22,9 | 20,7 | 12,7 | 61 | 35,2 | 26,6 | 18,9 |

Sumber: Smith *et al.* (2010)

Rumput laut mengandung lemak dalam jumlah kecil, hanya 1–5%, dan didominasi asam lemak tidak jenuh yang baik bagi kesehatan, yaitu asam lemak omega-3 dan omega-6. Asam lemak omega-3 banyak terdapat pada rumput laut hijau, sedangkan asam arakodinat dan asam eikosapentanoat banyak terdapat pada rumput laut merah dan cokelat. Pada rumput laut *Undaria* sp. dan *Ulva* spp. juga terdapat asam lemak berupa asam stearidonik dan asam heksadekatetraenoik sejumlah 40%.

Rumput laut mengandung mineral hingga 36%, dengan mineral utamanya adalah iodin dan kalsium. Jenis rumput laut yang kaya iodin adalah *Laminaria* sp, dengan kadar mencapai 8165 ppm dan *Ecklonia radiata* (3990 ppm) (Smith *et al.* 2010). Kalsium pada rumput laut mencapai 7%, dan khusus rumput laut yang mengandung kapur seperti rumput laut merah, kadar kalsium hingga mencapai 25–34%. Salah satu rumput laut yang mengandung kalsium dan magnesium dalam jumlah tinggi adalah 460,11 mg/l dan 581,2 mg/l pada *Kappaphycus alvarezii*. Kadar zat besi dalam rumput laut juga bervariasi, dari yang rendah pada *Durvillaea antarctica* (13,7 ppm) sampai yang tinggi pada *Ulva stenophylla* (1227 ppm). Zat besi pada rumput laut memiliki bioavailabilitas yang baik di dalam tubuh. Mineral esensial lain yang terdapat pada rumput laut adalah selenium dan seng sejumlah 0,04–0,2 mg dan 9,9–61 mg.

Rumput laut juga merupakan sumber vitamin B. Pada rumput laut hijau dan cokelat, kadar vitamin C dapat mencapai 500–3000 mg/kg dan rumput laut merah 100–800 mg/kg. Rumput laut cokelat *Fucuceae*, *Ascophyllum* dan *Fucus* sp. mengandung vitamin E berupa α , β dan γ -tokoferol dalam jumlah tinggi yaitu 200–600 mg/kg.

Rumput laut hijau dan merah mengandung vitamin E dalam bentuk α -tokoferol, yang jumlahnya lebih sedikit daripada rumput laut cokelat. Rumput laut juga mengandung senyawa polifenol. Pada tanaman darat, polifenol berasal dari asam galat, sedangkan pada rumput laut berasal dari floroglusinol (*1,3,5-trihydroxybenzine*). Rumput laut cokelat memiliki florotanin tertinggi, yaitu 5–15%.

3.10.3 Pemanfaatan Rumput Laut

Rumput laut dapat diolah langsung menjadi produk-produk pangan atau sebagai bahan ingridien pangan. Konsumsi rumput laut sebagai produk pangan langsung banyak dilakukan di Jepang dan Korea, sedangkan di Eropa dan Amerika Utara konsumsi rumput laut secara langsung masih terbatas (Brownlee *et al.* 2011). Rumput laut dapat diolah menjadi alginat, agar dan karagenan. Masing-masing spesies dalam rumput laut memiliki kegunaan tersendiri, baik untuk konsumsi langsung maupun sebagai bahan baku industri.

Laminaria, *Undaria* dan *Hizikia* merupakan jenis rumput laut cokelat yang sering dikonsumsi. *Laminaria* banyak dikonsumsi di Jepang dan China, serta sedikit di Korea. *Undaria* paling banyak dikonsumsi di Korea, diikuti Jepang dan China. Rumput laut *Hizikia* lebih populer di Jepang dan Korea. *Laminaria japonica* merupakan bahan baku wakame yang banyak dihasilkan di Korea. *Undaria pinnatifida* banyak dihasilkan di Jepang dan China, merupakan bahan baku nori.

Jenis rumput laut merah yang banyak dikonsumsi adalah *Porphyra*, dengan olahannya yang terkenal adalah nori. *Porphyra* ini banyak dibudidayakan di Jepang dan Korea karena banyak digunakan disana. *Palmaria palmata* merupakan jenis rumput merah lain yang digunakan sebagai bahan pangan. *Palmaria palmata* ini tumbuh pada air dingin, dan banyak terdapat di Irlandia dan Kanada bagian timur.

Salah satu produk olahan rumput laut yang banyak digunakan di industri adalah hidrokoloid. Berdasarkan jenis hidrokoloid yang dihasilkan, rumput laut dikelompokkan menjadi tiga, yaitu alginofit, karaginofit dan agarofit. Alginofit merupakan kelompok rumput laut penghasil alginat. Alginat merupakan komponen dinding sel rumput laut cokelat, selain pektin dan selulosa. Rumput laut cokelat dalam kelompok alginofit yang banyak tumbuh di Indonesia adalah *Sargassum*, *Turbinaria Padina* dan *Dictyota*. Di samping itu, terdapat rumput laut cokelat penghasil alginat yang tumbuh di perairan subtropis, yaitu *Macrocystis*, *Laminaria*, *Aschophyllum*, *Nerocystis*, *Ecklonia*, dan *Fucus*.

Rumput laut merah termasuk kelompok karaginoFit dan agarofit. KaraginoFit merupakan kelompok rumput laut penghasil karagenan. Ada tiga jenis karagenan yaitu kappa, iota dan lambda karagenan yang masing-masing diperoleh dari jenis rumput laut merah yang berbeda. *Kappaphycus alvarezii* merupakan sumber kappa karagenan, *EuCheuma spinosum* merupakan sumber iota karagenan, sedangkan *Chondrus* sebagai sumber kappa dan lambda karagenan. Rumput laut merah penghasil agar (agarofit) meliputi *Gracilaria*, *Gelidium*, *Gelidiopsis*, dan *Hypnea*. *Gelidium* merupakan spesies yang menghasilkan agar yang memiliki kekuatan gel terbaik. Salah satu negara penghasil *Gelidium* adalah Indonesia, Perancis, Korea dan Meksiko (McHugh 2003).

Rumput laut digunakan dalam berbagai produk pangan, termasuk daging dan produk bakeri. Sebagai contoh adalah penggunaan *Ascophyllum nodosum* dalam sosis, *Porphyra umbilicalis*, *Undaria pinnatifida* dan *Himantalia elongate* dalam frankfurter. Penggunaan lain rumput laut dalam bidang pangan adalah penambahan *Ascophyllum nodosum* pada *wholebread* untuk meningkatkan kadar seratnya (McHugh 2003). Selain itu *Ascophyllum nodosum* juga ditambahkan dalam pizza dan produk beku dari daging. Beberapa penelitian penambahan rumput laut ke dalam pangan juga telah dilakukan, misalnya *Sargassum marginatum* dan *Undaria pinnatifida* ke dalam pasta.

3.11 Sayuran dan Buah-buahan

Buah dan sayur memiliki kesamaan komposisi, metode budidaya dan pemanenan, penyimpanan, dan pengolahan. Secara botani, buah didefinisikan sebagai ovarium pada tanaman yang matang, yang mengandung biji. Buah memiliki karakteristik sensori yang baik dilihat dari warna yang menarik, aroma yang menarik, rasa manis, serta tekstur *crispy* dan *crunchy*. Sayuran didefinisikan sebagai bagian tanaman yang dapat dikonsumsi, baik berupa daun, akar, umbi, bunga dan batang. Berdasarkan definisi tersebut, maka beberapa tanaman yang secara tradisional dikelompokkan ke dalam sayur, misalnya tomat dan labu, termasuk ke dalam kelompok sayur. **Tabel 3.9** memberikan contoh beberapa jenis sayur berdasarkan bagian tanaman asalnya.

Tabel 3.9 Contoh sayuran berdasarkan bagian tanaman asalnya

| Bagian Tanaman | Contoh |
|----------------|---|
| Akar | Wortel, lobak, bit |
| Batang | Asparagus, bambu muda, daun bawang, kangkung |
| Daun | Kol, bayam, kangkung, kubis, selada, sawi |
| Bunga | Bunga kol, brokoli |
| Buah | Tomat, waluh, cabe, terung, buncis, gambas, paria |

Sumber: Hariyadi dan Aini (2015)

3.11.1 Komposisi Buah dan Sayur

Komposisi buah dan sayur bervariasi tergantung spesies, umur, tingkat kematangan dan kondisi lingkungan. Komponen utama pada buah dan sayur adalah air, yang jumlahnya 70–90%, seperti terlihat pada **Tabel 3.10**. Air mengandung beberapa komponen larut air seperti gula, garam, asam organik, pigmen, dan vitamin larut air. Pada buah dan sayur, air berperan menjaga tekanan turgor. Kehilangan tekanan turgor pada sel-sel buah sayur mengakibatkan buah dan sayur menurun kesegarannya dan menjadi lembek. Berkaitan dengan hal tersebut, proses pemanenan seharusnya dilakukan saat kadar air produk tinggi, buah dan sayur dalam kondisi segar dan mutu paling baik (Hariyadi dan Aini 2015). Setelah panen, terjadi penguapan air sehingga kadar air buah dan sayur menurun yang mengakibatkan menurunnya kesegaran. Kesegaran buah dan sayur dapat dipertahankan dengan mencegah penguapan air melalui pengaturan kelembaban tempat penyimpanan, pelilinan, dan pengemasan.

Buah dan sayur mengandung protein dalam jumlah kecil. Kadar protein pada buah lebih kecil dari 1%, sedangkan pada sayuran umumnya kurang dari 3%. Pada buah-buahan, kandungan protein ini lebih kecil dari 1% (berat basah).

Lemak juga terdapat dalam buah dan sayur dalam jumlah kecil, kecuali alpukat (15,3%) dan buah zaitun (30%) seperti terlihat pada **Tabel 3.10**. Pada buah dan sayur, lipid dapat dibedakan atas dua macam, yaitu lipid sebagai cadangan energi dan komponen membran sel.

Karbohidrat merupakan komponen utama pada buah dan sayur selain air. Kadar karbohidrat pada buah dan sayur sangat bervariasi, mulai dari 2–24% (**Tabel 3.10**). Karbohidrat pada buah dan sayur terdiri atas gula dan pati, selulosa, hemiselulosa dan substansi pektik. Pati merupakan jenis karbohidrat yang terdapat pada sayur dan buah dalam kondisi *immature*, misalnya apel.

Pada buah, karbohidrat didominasi oleh gula sederhana (sukrosa, glukosa, dan fruktosa) yang biasanya meningkat selama proses pematangan. Selain itu juga terdapat xylosa, arabinosa, manosa, galaktosa dan maltosa dalam jumlah kecil. Buah-buahan dari negara tropis dan subtropis memiliki kadar gula lebih tinggi (lebih dari 10%) dibandingkan buah dari negara beriklim dingin (kurang dari 10%), kecuali anggur, yang memiliki kadar gula lebih dari 10% (Hariyadi dan Aini 2015).

Selulosa merupakan salah satu penyusun dinding sel buah dan sayur, yang menentukan tekstur buah dan sayur. Tekstur ditentukan oleh derajat kristalinitas selulosa, di mana semakin tinggi derajat kristalinitas selulosa, tekstur buah dan sayur semakin keras. Hemiselulosa merupakan polisakarida penyusun dinding sel buah dan sayur yang merupakan polimer β -(1-4) D-xilopiranosil. Susunan rantai utama hemiselulosa mirip dengan selulosa. Lignin merupakan komponen penyusun dinding sel yang merupakan polimer kompleks senyawa aromatik. Lignin bukan termasuk karbohidrat, namun sering berasosiasi dengan karbohidrat karena biasanya terikat secara kovalen dengan hemiselulosa.

Senyawa pektat merupakan salah satu polisakarida yang berada dalam jumlah 1/3 dari padatan pada dinding sel. Senyawa pektat merupakan polimer asam α -D-galakturonat dan atau metil ester melalui ikatan α -(1,4) glikosida. Senyawa pektat dibedakan berdasarkan kadar metil esternya, yang terutama menentukan tekstur buah. Pada buah/sayuran yang belum matang (*mature*), senyawa pektat berada dalam bentuk protopektin, yang memiliki derajat esterifikasi (DE) tinggi. Senyawa protopektin ini mengakibatkan tekstur buah dan sayur yang masih mentah bersifat keras. Pada buah yang matang terdapat asam pektinat, yang memiliki DE lebih rendah daripada protopektin. Pada

buah yang *overripe*, senyawa pektat berada dalam bentuk asam pektat yang hanya terdiri atas asam galakturonat, tanpa metil ester sehingga memiliki DE 0 (nol).

Sayur memiliki kadar mineral lebih tinggi dibandingkan buah. Sayur berbentuk daun berwarna hijau, misalnya bayam, merupakan sumber zat besi yang baik. Kadar kalsium dan fosfor pada buah juga rata-rata lebih rendah dibandingkan pada sayur, seperti terlihat pada **Tabel 3.10**.

Kebanyakan buah dan sayur merupakan sumber vitamin C yang baik. Buah berwarna kuning seperti blewah, labu kuning dan apricot merupakan sumber vitamin A yang baik, sedangkan pada sayuran adalah bayam. Kadar vitamin pada buah dan sayur sangat bervariasi, yang tidak hanya tergantung jenis, tetapi juga faktor budidaya dan pasca panen. Salah satu faktor yang memengaruhi adalah semakin tinggi intensitas cahaya, maka kadar vitamin C semakin tinggi. Oleh karena itu, buah dan sayur dari daerah subtropis biasanya memiliki kadar vitamin C lebih rendah dibandingkan buah-buah tropis. Vitamin lain yang terdapat pada buah dan sayur adalah asam folat, yang terdapat pada bayam dan jeruk (Charley dan Weaver 1998).

Pada buah, asam organik bersama dengan gula berperan terhadap cita rasanya. Pada umumnya asam organik pada buah berupa asam sitrat, yang dominan pada jeruk, tomat dan nanas. Asam malat merupakan asam utama pada apel dan *peach*, sedangkan pada anggur berupa asam malat dan tartarat (Charley dan Weaver 1998). Buah memiliki kadar asam yang tinggi sehingga memiliki pH rendah (rata-rata kurang dari 4), kecuali pisang (pH 4,6) dan semangka (pH mendekati 6).

Sayur memiliki asam organik dalam jumlah lebih rendah daripada buah sehingga pHnya lebih tinggi daripada buah. Asam organik pada sayur kebanyakan berupa asam asetat, asam sitrat dan asam suksinat. Sayur memiliki pH 5–5,6, dan pH terendah terdapat pada tomat (pH 4,6).

Buah dan sayur juga mengandung beragam pigmen yang berperan terhadap warna, terutama buah. Secara umum pigmen buah dan sayur dikelompokkan menjadi empat macam yaitu klorofil, flavonoid, karotenoid dan betalain. Selain itu juga terdapat senyawa quinon, leukoantosianin, tanin, xanthone, dan phenalon.

Tabel 3.10 Komposisi beberapa jenis buah dan sayur (dalam 100 g bagian yang dapat dimakan)

| Buah | Air (%) | Energi (kkal) | Protein (g) | Lemak (g) | Karbohidrat (g) | Kalsium (mg) | Fosfor (mg) | Zat besi (mg) | Vitamin A (IU) | Thiamin (mg) | Riboflavin (mg) | Niasin (mg) | Vitamin C (mg) | Serat kasar (mg) | Serat pangan (mg) |
|-------------|---------|---------------|-------------|-----------|-----------------|--------------|-------------|---------------|----------------|--------------|-----------------|-------------|----------------|------------------|-------------------|
| Alpukat | 74,3 | 161 | 2,0 | 15,3 | 7,4 | 11 | 41 | 1,0 | 612 | 0,11 | 0,12 | 0,97 | 7,9 | 2,1 | - |
| Apel | 83,9 | 59 | 0,2 | 0,3 | 15,3 | 7 | 7 | 0,2 | 53 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 5,7 | 0,8 | 2,2 |
| Aprikot | 86,4 | 48 | 1,4 | 0,4 | 15,3 | 14 | 19 | 0,5 | 2.612 | 0,03 | 0,04 | 0,6 | 10,0 | 0,6 | - |
| Blewah | 89,8 | 35 | 0,9 | 0,3 | 8,4 | 11 | 17 | 0,2 | 3.224 | 0,04 | 0,02 | 0,57 | 42,2 | 0,4 | 0,8 |
| Grapefruit | 86,8 | 32 | 0,6 | 0,1 | 8,2 | 15 | 7 | 0,1 | 10 | 0,04 | 0,02 | 0,27 | 37,0 | 0,2 | 0,6 |
| Jeruk | 86,8 | 47 | 0,9 | 0,1 | 11,8 | 40 | 14 | 0,1 | 205 | 0,09 | 0,04 | 0,28 | 53,2 | 0,4 | 2,4 |
| Kiwi | 83,1 | 61 | 1,0 | 0,4 | 14,9 | 26 | 40 | 0,4 | 175 | 0,02 | 0,05 | 0,50 | 98,0 | 1,1 | 3,4 |
| Lemon | 89,0 | 29 | 1,1 | 0,3 | 9,3 | 26 | 16 | 0,6 | 29 | 0,04 | 0,02 | 0,10 | 53,0 | 0,4 | - |
| Nanas | 86,5 | 49 | 0,4 | 0,4 | 12,4 | 7 | 7 | 0,3 | 23 | 0,09 | 0,04 | 0,42 | 15,4 | 0,5 | 1,2 |
| Peach | 87,7 | 43 | 0,7 | 0,1 | 11,1 | 5 | 12 | 0,1 | 535 | 0,02 | 0,04 | 0,99 | 6,6 | 0,6 | 1,6 |
| Pir | 83,8 | 59 | 0,4 | 0,4 | 15,1 | 11 | 11 | 0,3 | 20 | 0,02 | 0,04 | 0,10 | 4,0 | 1,4 | 2,6 |
| Pisang | 74,3 | 92 | 1,0 | 0,5 | 23,4 | 6 | 20 | 0,3 | 81 | 0,05 | 0,10 | 0,54 | 9,1 | 0,5 | 1,6 |
| Semangka | 91,5 | 22 | 0,6 | 0,4 | 7,2 | 8 | 9 | 0,2 | 366 | 0,08 | 0,02 | 0,20 | 9,6 | 0,3 | 0,4 |
| Strawberry | 91,6 | 30 | 0,6 | 0,4 | 7,0 | 14 | 19 | 0,4 | 27 | 0,02 | 0,07 | 0,23 | 56,7 | 0,5 | 2,6 |
| Bayam | 91,6 | 22 | 2,9 | 4,4 | 3,5 | 99 | 49 | 2,7 | 6.715 | 0,08 | 0,19 | 0,72 | 28,1 | 0,9 | 2,6 |
| Bit | 87,3 | 44 | 1,5 | 0,1 | 10,0 | 16 | 48 | 0,9 | 20 | 0,05 | 0,02 | 0,40 | 11,0 | 0,8 | - |
| Brokoli | 90,7 | 28 | 3,0 | 0,4 | 5,2 | 48 | 66 | 0,9 | 1.542 | 0,07 | 0,12 | 0,64 | 93,2 | 1,1 | 2,8 |
| Kembang kol | 92,3 | 24 | 2,0 | 0,2 | 4,9 | 29 | 46 | 0,6 | 16 | 0,08 | 0,06 | 0,63 | 71,5 | 0,9 | 2,4 |
| Kubis | 92,5 | 24 | 1,2 | 0,2 | 5,3 | 47 | 23 | 0,6 | 126 | 0,05 | 0,03 | 0,30 | 47,3 | 0,8 | - |
| Selada | 95,9 | 13 | 1,0 | 0,2 | 2,1 | 19 | 20 | 0,5 | 330 | 0,05 | 0,03 | 0,19 | 3,9 | 0,5 | 1,0 |
| Tomat | 93,8 | 21 | 0,9 | 0,3 | 4,6 | 5 | 24 | 0,5 | 623 | 0,06 | 0,05 | 0,63 | 19,1 | 0,7 | 1,3 |
| Wortel | 87,8 | 43 | 1,0 | 0,2 | 10,1 | 27 | 44 | 0,5 | 28.129 | 0,10 | 0,06 | 0,93 | 9,3 | 1,0 | 3,2 |

Sumber: Charley dan Weaver (1998)

Klorofil berperan dalam proses fotosintesis yang memberikan warna hijau pada buah dan sayur. Klorofil dan karotenoid berfungsi menyerap energi dari matahari dalam fotosintesis. Untuk mencegah terjadinya fotooksidasi, karotenoid berfungsi melindungi klorofil. Karotenoid merupakan pigmen yang bersifat larut lemak dan memberikan warna merah, kuning dan oranye pada buah dan sayur. Karotenoid sangat sensitif terhadap oksidasi sehingga untuk mempertahankan warna dan nilai gizinya, harus dicegah terjadinya proses oksidasi.

Flavonoid merupakan senyawa polifenol yang memberikan warna biru, merah, oranye dan kuning pada berbagai tanaman, baik buah, bunga, daun dan batang. Contoh senyawa flavonoid adalah *myricetin* yang memberikan warna merah pada anggur dan kubis merah. Pigmen betalain memberikan warna merah, oranye, kuning dan ungu pada buah. Ada dua jenis betalain yaitu betaxanthin yang memberi warna kuning dan betacyanin memberi warna merah-ungu. Contoh buah yang ada pigmen betalain adalah buah bit (*Beta vulgaris*, L) berwarna merah-ungu.

3.11.2 Struktur Sel pada Buah dan Sayur

Buah dan sayuran tersusun dari empat jenis jaringan yang terdiri atas sel-sel. Empat jaringan yang menyusun buah dan sayur yaitu jaringan pelindung (epidermis), jaringan vaskuler, jaringan parenkim dan jaringan pendukung. Sesuai dengan namanya, jaringan pelindung atau jaringan epidermis berfungsi sebagai pelindung bagian dalam dari kerusakan fisik atau mekanik. Jaringan epidermis berada di sekitar permukaan, membentuk lapisan pelindung yang melapisi organ tanaman, atau sering disebut kulit pada buah. Sel pada jaringan epidermis tersusun secara rapi satu sama lain dan tidak menyisakan ruangan kosong antar sel. Bagian permukaan luar jaringan epidermis biasanya terdiri komponen pelindung, terutama kutin dan lilin, misalnya pada buah apel dan ketimun (Hariyadi dan Aini 2015).

Jaringan vaskuler terdiri atas dua, yaitu jaringan phloem dan xilem. Jaringan xylem berbentuk seperti tabung karena terdiri atas sel yang bentuknya memanjang, serta berperan dalam system transportasi air. Jaringan phloem berperan dalam transportasi bahan organik antar sel.

Jaringan parenkim merupakan bagian yang dapat dimakan, yang merupakan jaringan utama pada buah dan sayur. Buah dan sayur memiliki perbedaan bentuk dan fisiologi, tergantung kondisi masing-masing. Berbeda dengan jaringan epidermis, antar sel jaringan parenkim banyak terdapat rongga udara (*intercellular air spaces*) sehingga susunan jaringannya tidak rapi. Pada proses pasca panen, rongga udara ini berperan dalam pengendalian mutunya. Rongga udara ini dapat mencapai 25% volumenya, misalnya pada varietas apel tertentu (Hariyadi dan Aini 2015).

Jaringan parenkim memiliki dinding sel primer dan sekunder. Dinding sel terdiri atas senyawa karbohidrat kompleks berupa senyawa pektat, selulosa, hemiselulosa dan lignin. Tekstur buah dan sayur ditentukan oleh struktur sel pada jaringan parenkim. Dinding sel sekunder yang muda umumnya bersifat tipis, namun dapat menebal dan membentuk lignin selama proses penuaan sehingga teksturnya berubah menjadi keras.

Jaringan pendukung pada buah dan sayur terdiri dua macam, yaitu jaringan sklerenkim dan kollenkim. Dinding sel pada jaringan sklerenkim bersifat tebal dan merata serta telah mengalami lignifikasi. Dinding sel pada jaringan kollenkim memiliki ketebalan tidak merata dan bentuknya memanjang. Jaringan pendukung berperan terhadap struktur dan tekstur buah dan sayur secara keseluruhan (Rees dan Hammond 2002).

3.11.3 Perubahan Fisiologi pada Buah dan Sayur

Secara fisiologi, perkembangan buah dan sayur dapat dibagi ke dalam tiga tahap yaitu pertumbuhan, pendewasaan (*maturation*), dan pelayuan (*senescence*) (Hariyadi dan Aini 2015). Tahap pertumbuhan dicirikan dengan ukuran buah atau sayur yang semakin membesar. Tahap pendewasaan dimulai beberapa saat sebelum berhentinya proses pertumbuhan berhenti, yang dicirikan dengan terjadinya proses biokimia. Tahap pertumbuhan dan pendewasaan ini disebut proses perkembangan. Pada tahap pelayuan, proses biokimia berupa anabolisma (sintesis) mulai berkurang, dan mulai didominasi proses katabolisma (peruraian). Lambat laun terjadi proses penuaan serta kematian sel dan jaringan (Ree dan Hammond 2002).

Pada buah, ada istilah pematangan (*ripening*), yang dimulai pada akhir proses pendewasaan dan awal proses pelayuan. Pada tahap pematangan, buah berada pada puncak mutunya, di mana terjadi perubahan fisiologi yang menentukan mutu buah. Perubahan yang terjadi meliputi komposisi kimia (gula, komponen pektin, dan senyawa volatil). Perubahan komponen pektin yang akan memengaruhi sifat organoleptiknya meliputi warna, tekstur, cita rasa dan aroma. Perubahan yang dapat diamati adalah berubahnya warna kulit dari hijau menjadi kuning, tekstur dari keras menjadi lunak, rasa buah dari asam menjadi manis, dan timbulnya aroma khas karena terbentuknya senyawa volatil (Hariyadi dan Aini 2015).

Pematangan buah dibantu oleh enzim yang mengubah tekstur, warna, dan rasa buah. Pada tahap awal, enzim ACC *synthase* mengubah *S-adenosylmethionine* (SAM) menjadi *1-aminocyclopropane carboxylic acid* (ACC). Produksi ACC meningkat sampai tahap pematangan buah karena adanya aktivitas ACC *synthase*. Enzim ACC *oxydase* selanjutnya mengoksidasi ACC menjadi etilen. Adanya enzim ACC deaminiasi mengakibatkan proses deaminasi ACC menjadi α -*ketobutyrate* sehingga pembentukan etilen dan pematangan buah menjadi terhambat (Rees dan Hammond 2002).

Perubahan lain pada buah dan sayur selama pematangan adalah tekstur dari keras menjadi lunak. Perubahan tekstur selama pematangan disebabkan oleh perubahan protopektin yang memiliki berat molekul tinggi dan bersifat tidak larut air menjadi pektin yang larut air. Perubahan tekstur ini melibatkan enzim pektinesterase dan poligalakturonase. Enzim pektinesterase atau pektin metilesterase mempercepat hidrolisis metil ester menjadi asam pektat. Adanya enzim poligalakturonase menghidrolisis asam pektat. Ada dua macam poligalakturonase yaitu eksopoligalakturonase dan endopoligalakturonase. Endopoligalakturonase menghidrolisis ikatan β -(1-4) pada asam pektat menjadi asam pektat yang lebih pendek sehingga tekstur buah dan sayur menjadi lebih lunak. Eksopoligalakturonase menghidrolisis asam pektat dari luar menjadi asam galakturonat. Adanya hidrolisis enzim endopoligalakturonase dan eksopoligalakturonase ini meningkatkan pektin terlarut sehingga meningkatkan kelunakan tekstur buah maupun sayur (Rees dan Hammond 2002).

Perubahan tekstur selama tahap pematangan juga dipengaruhi oleh konversi pati menjadi gula, yang dikatalisis tiga macam enzim yaitu β -amilase, α -amilase dan phosphorylase. Hidrolisis pati oleh enzim amilase menghasilkan maltose, yang selanjutnya dihidrolisis lanjut menjadi glukosa oleh enzim maltase (Paliyath dan Murr 2008). Hidrolisis pati mengakibatkan tekstur menjadi lunak, meningkatkan rasa manis dan membuat aroma lebih enak.

Hidrolisis pati, pektin dan hemiselulosa mengakibatkan dinding sel menjadi lunak karena ikatan antar sel menjadi lemah. Hal ini dikehendaki karena mengakibatkan tekstur buah menjadi lunak sehingga dapat dikonsumsi. Namun, apabila proses terus berlangsung maka mengakibatkan tekstur menjadi terlalu lunak.

Selama proses pematangan juga terjadi perubahan warna pada buah, bersamaan dengan perubahan tekstur, dan terjadi setelah kenaikan respirasi klimakterik. Pada sayur, perubahan warna biasanya berhubungan dengan proses pelayuan, terutama pada sayuran daun, misalnya kubis dan selada. Pada buah, biasanya terjadi perubahan warna dari hijau menjadi kuning, jingga atau merah yang terjadi karena adanya sintesa antosianin dan degradasi klorofil.

Flavor buah mengalami peningkatan selama proses pematangan karena terbentuknya senyawa volatil. Selain itu menurunnya senyawa penyebab rasa pahit seperti tanin dan flavonoid serta menurunnya rasa asam juga mengakibatkan meningkatnya *flavor* buah. Peningkatan *flavor* buah juga disebabkan oleh peningkatan rasa manis karena hidrolisis polisakarida dan glukonesis selama proses pematangan buah (Paliyath dan Murr 2008).

Setiap tanaman mengalami respirasi yang merupakan pemecahan karbohidrat menjadi gula, selanjutnya dioksidasi menjadi energi panas. Energi panas ini penting digunakan dalam penanganan pasca panen untuk menghitung kebutuhan ventilasi pada saat pengemasan dan keperluan pendinginan. Proses respirasi menghasilkan hasil samping berupa uap air dan karbondioksida. Apabila kecepatan respirasi semakin tinggi maka pemecahan senyawa tersebut semakin besar sehingga terjadi penurunan mutu buah dan sayur. Penguapan air mengakibatkan buah dan sayur menjadi layu, sehingga

memengaruhi umur simpannya. Masing-masing buah dan sayur memiliki kecepatan respirasi berbeda, dan hal ini digunakan untuk penanganan pasca panen, sehingga umur simpannya dapat diperpanjang.

Berdasarkan kecepatan respirasinya, buah dapat dikelompokkan menjadi buah klimakterik dan non klimakterik. Buah klimakterik adalah buah yang setelah dipanen pada tahap *mature*, kecepatan respirasi dan produksi etilen meningkat. Contoh buah klimakterik adalah pisang, nangka, mangga, alpukat dan papaya. Buah non-klimakterik merupakan buah yang tidak mengalami kenaikan kecepatan respirasi dan produksi etilen setelah dipanen. Jeruk, leci, lemon dan nanas merupakan contoh buah non klimakterik (Hariyadi dan Aini 2015).

Aktivitas enzim piruvat dekarboksilase mengakibatkan meningkatnya etanol dan asetaldehid pada proses pematangan buah sehingga karbondioksida meningkat. Selain itu, adanya etilen yang dapat menembus mitokondria meningkatkan permeabilitas sel mitokondria. Peningkatan permeabilitas sel mengakibatkan terjadinya interaksi antara enzim pematangan dengan substrat buah. Selama proses pematangan terjadi beberapa perubahan pada buah dan sayur, yang masing-masing memiliki ciri khusus (Hariyadi dan Aini 2015).

Pelayuan merupakan salah satu tahap pada tahap perkembangan buah dan sayur. Pada awal pelayuan, mitokondria masih utuh, namun pada tahap selanjutnya mitokondria mengalami kerusakan. Akibat rusaknya mitokondria maka kecepatan respirasi dan fotosintesis akan menurun, di samping menurunnya permeabilitas membran sel. Pelayuan berhubungan dengan beberapa hormon tanaman yaitu auksin, etilen, giberelin, sitokinin dan asam absisat. Hormon auksin akan menghambat terjadinya pelayuan sehingga apabila hormon auksin hilang dapat mengakibatkan pelayuan. Hormon giberelin menghambat pelayuan, namun tidak semua tanaman dapat dihambat pelayuannya dengan adanya hormon ini, misalnya apel. Hormon sitokinin berfungsi menghambat pelayuan, dan jumlah hormon sitokinin yang semakin banyak maka klorofil yang ada semakin banyak pula sehingga sayur tetap segar.

3.12 Cokelat, Teh, Kopi

Cokelat, teh, dan kopi merupakan bahan pangan hasil perkebunan yang pemanfaatannya sangat luas dalam proses pengolahan pangan. Masing-masing bahan memiliki karakteristik yang berbeda-beda yang banyak dipengaruhi banyak faktor.

3.12.1 Cokelat

Cokelat merupakan produk olahan dari biji tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.). Kakao merupakan tanaman perkebunan/industri berupa pohon yang dikenal di Indonesia sejak tahun 1560, namun baru menjadi komoditas yang penting sejak tahun 1951. Negara utama penghasil kakao di dunia adalah Pantai Gading (31,6%), Ghana (18,2%), Indonesia (17,0%), Nigeria (8,0%), Kamerun (6,0%), dan Brasil (5,6%) (FAO, 2013).

Pusat penanaman budidaya kakao di Indonesia diusahakan oleh perusahaan perkebunan negara, swasta serta perkebunan rakyat. Lokasi perusahaan perkebunan skala besar yang diusahakan negara terletak di Sumatera Utara, Jawa Tengah dan Jawa Timur, sedangkan perkebunan rakyat terdapat terutama di Maluku, Irian Jaya, Sulawesi Utara, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara dan Nusa Tenggara Timur. Berdasarkan produksinya, daerah penghasil kakao Indonesia adalah sebagai berikut: Sulawesi Selatan (28,26%), Sulawesi Tengah (21,04%), Sulawesi Tenggara (17,05%), Sumatera Utara (7,85%), Kalimantan Timur (3,84%), Lampung (3,23%) dan daerah lainnya (18,74%).

Varietas tanaman kakao ada tiga, yaitu Criollo, forastero, dan trinitario. Criollo merupakan jenis tanaman kakao yang menghasilkan biji cokelat yang mutunya sangat baik dan dikenal sebagai cokelat mulia, *fine flavour cocoa*, *choiced cocoa*, dan *edel cocoa*. Buahnya berwarna merah atau hijau, kulit buahnya tipis berbintil kasar dan lunak. Biji buahnya berbentuk bulat telur dan berukuran besar dengan kotiledon berwarna putih pada waktu basah. Jumlahnya $\pm 7\%$, merupakan jenis edel yang dihasilkan di Ekuador, Venezuela, Trinidad, Grenada, Jamaika, Srilanka, Indonesia, dan Samoa (Minifie 1980). Forastero merupakan jenis tanaman kakao yang menghasilkan biji cokelat

yang mutunya sedang atau bulk cocoa, atau dikenal juga sebagai *ordinary cocoa*. Buahnya berwarna hijau dan kulitnya tebal. Biji buahnya tipis atau gepeng dan kotiledon berwarna ungu pada waktu basah. Jumlahnya $\pm 93\%$ dari produksi kakao dunia merupakan jenis *bulk* yang dihasilkan dari Afrika Barat, Brasil dan Dominika. Trinitario merupakan hibrida dari jenis Criollo dengan jenis Forastero secara alami sehingga kakao jenis ini sangat heterogen. Kakao Trinitario menghasilkan biji yang termasuk *fine flavour cocoa* dan ada yang termasuk *bulk cocoa*. Buahnya berwarna hijau atau merah dan bentuknya bermacam-macam. Biji buahnya juga bermacam-macam dengan kotiledon berwarna ungu muda sampai ungu tua pada waktu basah. Standar mutu biji kakao Indonesia diatur dalam SNI 01–2323–2008 (**Tabel 3.11** dan **3.12**).

Tabel 3.11 Mutu biji kakao berdasarkan ukurna biji SNI 01–2323–2008

| Kelas Mutu | Ukuran Jumlah biji/100 gram |
|------------|-----------------------------|
| AA | maks. 85 |
| A | maks. 100 |
| B | maks. 110 |
| C | maks. 120 |
| S | > 120 |

Tabel 3.12 Persyaratan umum biji kakao adalah sebagai berikut
(SNI 01–2323–2008)

| No | Jenis Uji | Satuan | Persyaratan |
|----|--|--------|-------------|
| 1 | Serangga hidup | | tidak ada |
| 2 | Serangga mati | | tidak ada |
| 3 | Kadar air | % | Maks 7,5 |
| 4 | Biji berbau asap dan atau abnormal dan atau berbau | | tidak ada |
| 5 | Kadar biji pecah dan atau pecahan kulit | % | maks. 3 |
| 6 | Kadar benda benda asing | % | tidak ada |

Biji kakao didefinisikan sebagai biji yang dihasilkan oleh tanaman kakao, yang telah difermentasi, dibersihkan dan dikeringkan. Biji kakao yang diekspor diklasifikasikan berdasarkan jenis tanaman, jenis mutu, dan ukuran berat biji. Atas dasar jenis tanaman, biji kakao dibedakan menjadi dua, yaitu jenis kakao mulia (*fine cocoa*) dan jenis kakao lindak (*bulk cocoa*).

Dalam proses pengolahan cokelat, biji kakao kering yang telah difermentasi perlu dipanggang atau disangrai (*roasting*) pada suhu 110–120°C selama 20–30 menit untuk mengeluarkan citarasanya. Dari biji cokelat ini, selanjutnya dipisahkan bijinya (*cacao nib*) dengan cara membuang kulitnya. Nib cokelat selanjutnya dilakukan penggilingan untuk memperoleh pasta cokelat. Untuk memperoleh lemak cokelat (*cocoa butter*), maka dilakukan penekanan (*pressing*) yang juga menghasilkan *cocoa cake*, apabila diproses lanjut menjadi cokelat bubuk (Wahyudi 1992). Selain cokelat bubuk, produk olahan kakao komersial yang populer adalah cokelat batang, yaitu cokelat gelap (*dark chocolate*), cokelat susu (*milk chocolate*) dan cokelat putih (*white chocolate*).

3.12.2 Teh

Teh adalah minuman sebuah infusi yang dibuat dengan cara menyeduh daun, pucuk daun, atau tangkai daun yang dikeringkan dari tanaman teh (*Camellia sinensis*) dengan air panas. Teh merupakan minuman yang paling banyak dikonsumsi dunia. Teh diduga berasal dari Tiongkok tempat teh telah dikonsumsi selama ribuan tahun. Sekitar abad ke-16, waktu Portugis memperluas kekuasaan mereka, minuman ini diimpor ke Eropa dan segera menjadi populer sehingga Portugis dan Belanda kemudian memutuskan untuk mendirikan perkebunan teh skala besar di koloni mereka di daerah tropis.

Indonesia adalah produsen teh terbesar ke-7 di dunia. Dua negara yang mendominasi produksi teh global adalah China dan India. Kedua negara ini berkontribusi untuk hampir setengah dari produksi teh dunia. Selanjutnya diikuti Kenya, Sri Lanka, Vietnam, Turki, dan Indonesia dengan produksi 139.362 ton pada tahun 2017. Hampir setengah dari produksi teh Indonesia diekspor ke luar negeri. Pasar ekspor utamanya adalah Rusia, Inggris, dan

Pakistan. Teh Indonesia yang diekspor terutama berasal dari perkebunan besar, baik yang dimiliki negara maupun swasta (biasanya menghasilkan teh bermutu tinggi atau premium), sementara mayoritas petani kecil lebih berorientasi kepada pasar domestik (karena teh yang dihasilkan bermutu lebih rendah dan karenanya memiliki harga penjualan yang lebih murah). Teh Indonesia dikenal karena memiliki kandungan katekin (antioksidan alami) tertinggi di dunia. Kebanyakan produksi teh Indonesia adalah teh hitam, diikuti oleh teh hijau (Anonim 2007).

Teh (*Camelia sinensis*) merupakan tanaman berbentuk semak yang umumnya tumbuh di daerah yang beriklim tropis dengan ketinggian antara 200–2000 meter di atas permukaan laut dengan suhu cuaca antara 14–25°C. Ketinggian tanaman hanya dapat mencapai 9 meter untuk teh China dan teh Jawa, sedangkan untuk teh jenis *Assamica* dapat mencapai 12–20 meter. Namun untuk mempermudah pemetikan daun teh yang masih muda, pohon teh selalu dijaga pertumbuhannya dengan cara dipotong dengan maksimal ketinggiannya mencapai 1 meter. Daun teh ini berbentuk oval, selalu berwarna hijau dan agak berkulit serta memiliki panjang antara 4 sampai 10 cm. Bunganya berwarna putih sebesar 3 cm berasal dari pucuk daunnya dan berbentuk lonjong seperti kapsul dan di dalamnya berisi sampai tiga biji benih. Tanaman ini memerlukan curah hujan yang teratur sekitar 2000 mm. Tanaman ini dikembangbiakkan dengan cara penyetekan batang setinggi sekitar 1 meter.

Jenis Teh

Berdasarkan proses pengolahannya, jenis teh dapat dibedakan menjadi teh tanpa fermentasi (teh putih dan teh hijau), teh semi fermentasi (teh oolong), serta teh fermentasi (teh hitam). Belakangan istilah fermentasi menjadi kurang populer dan diganti dengan istilah yang lebih tepat, yaitu oksidasi enzimatis atau disingkat menjadi oksimatis. Dibandingkan dengan jenis teh lainnya, teh hitam adalah teh yang paling banyak diproduksi yaitu sekitar 78%, diikuti teh hijau 20% kemudian sisanya adalah teh oolong dan teh putih yaitu 2% (Rohdiana 2015).

Teh Putih

Teh putih merupakan teh dengan proses pengolahan paling sederhana, yaitu pelayuan dan pengeringan.

Teh Hijau

Prinsip dasar proses pengolahannya adalah inaktivasi enzim polifenol oksidase untuk mencegah terjadinya oksimatis yang merubah polifenol menjadi senyawa oksidasinya berupa teaflavin dan tearubigin. Pada proses pengolahan teh hijau Cina digunakan mesin pelayuan berupa *rotary panner*, sementara itu proses teh hijau Jepang menggunakan *steamer* dalam menginaktivasi enzimnya. Daun teh yang sudah dilayukan, kemudian digulung dan dikeringkan sampai kadar air tertentu.

Teh Oolong

Setelah sampai di pabrik, daun teh sesegara mungkin dilayukan dengan memanfaatkan panas dari sinar matahari sambil digulung halus secara manual menggunakan tangan ataupun menggunakan mesin dengan maksud untuk mengoksidasi sebagian polifenol yang terdapat dalam daun teh. Setelah dipandang cukup semi oksimatisnya, daun teh kemudian dikeringkan. Proses ini juga dikenal sebagai proses semi oksimatis.

Teh Hitam

Berdasarkan prosesnya teh hitam dibedakan menjadi teh hitam ortodoks dan *crushing-tearing-curling* (CTC). Pada proses pengolahan teh hitam ortodoks, daun teh dilayukan semalam 14–18 jam. Setelah layu, daun teh digulung, digiling, dan dioksimatis selama kurang lebih 1 jam. Sementara itu, proses pengolahan CTC, pelayuannya lebih singkat yaitu, 8–11 jam dan diikuti dengan proses penggilingan yang sangat kuat untuk mengeluarkan cairan sel semaksimal mungkin. Proses selanjutnya adalah pengeringan dengan tujuan untuk menghentikan proses oksimatis dan menurunkan kadar air.

Standar Mutu Teh

Saat ini, standar mutu teh yang diatur dalam SNI telah mengalami perkembangan sesuai dengan jenis olahan turunan dari teh tersebut seperti; teh hitam (SNI 1902:2016), teh hitam celup (SNI 3753:2014), teh hijau (SNI 3945:2016), teh hijau celup (SNI 4324:2014), teh bubuk (SNI 01-4453-1998), teh kering dalam kemasan (SNI 3836: 2013), teh wangi (SNI 01-1898-2002) dan teh instan (SNI 7707:2011) (BSN, 2020).

Komposisi Kimia

Komposisi senyawa kimia yang terkandung dalam teh sangat kompleks, terdiri atas polifenol (katekin dan turunannya), senyawa xantin (kafein, teofilin dan teobromin), asam amino, karbohidrat, protein, klorofil, senyawa volatil, fluor, mineral. Turunan polifenol terdapat dalam jumlah yang paling banyak. Polifenol merupakan senyawa kimia yang salah satunya berfungsi sebagai antioksidan. Di dalam daun teh terkandung empat polifenol utama, yaitu: *epicatechin* (EC), *epicatechin gallate* (ECG), *epigallocatechin* (EGC), dan *epigallocatechin gallate* (EGCG). EGCG dalam teh hijau bersifat antioksidan yang kekuatannya 100 kali lebih efektif dibandingkan dengan vitamin C dan 25 kali lebih tinggi dari vitamin E. Kandungan EGCG dalam 1 g teh hijau antara 30–50 mg. Teh hijau mengandung polifenol hingga 30–42%, sedangkan pada teh hitam tidak sebanyak teh hijau, yaitu sekitar 10%.

3.12.3 Kopi

Kopi adalah minuman hasil seduhan biji kopi yang telah disangrai dan dihaluskan menjadi bubuk. Kopi diperkenalkan di Nusantara pada masa pendudukan Belanda, karena Indonesia memiliki iklim yang sesuai untuk produksi kopi, terutama di Jawa, Sumatra dan juga di Sulawesi. Indonesia adalah salah satu negara produsen dan eksportir kopi paling besar di dunia. Produsen dan eksportir kopi terbesar di dunia adalah Brasil, diikuti Vietnam, Kolumbia, Indonesia dan Honduras. Kebanyakan hasil produksinya adalah varietas robusta yang bermutu lebih rendah. Indonesia juga terkenal karena

memiliki sejumlah kopi khusus seperti ‘kopi luwak’ (dikenal sebagai kopi yang paling mahal di dunia) dan ‘kopi Mandailing’. Kopi adalah penghasil devisa terbesar keempat untuk Indonesia setelah minyak sawit, karet dan kakao.

Pemrosesan kopi sebelum dapat diminum melalui proses panjang yaitu dari pemanenan biji kopi yang telah matang baik dengan cara mesin maupun dengan tangan, kemudian dilakukan pemrosesan biji kopi dan pengeringan sebelum menjadi kopi gelondong. Proses selanjutnya yaitu penyangraian dengan tingkat derajat yang bervariasi. Setelah penyangraian, biji kopi digiling atau dihaluskan menjadi bubuk kopi sebelum kopi dapat diminum (Departemen Perindustrian 2009).

Dari sekian banyak jenis biji kopi yang dijual di pasaran, hanya terdapat dua jenis varietas utama, yaitu kopi arabika (*Coffea arabica*) dan robusta (*Coffea robusta*). Masing-masing jenis kopi ini memiliki keunikannya masing-masing dan pasarnya sendiri. Kopi arabika merupakan tipe kopi tradisional dengan cita rasa terbaik. Sebagian besar kopi yang ada dibuat dengan menggunakan biji kopi jenis ini. Kopi ini berasal dari Etiopia dan sekarang telah dibudidayakan di berbagai belahan dunia, mulai dari Amerika Latin, Afrika Tengah, Afrika Timur, India, dan Indonesia. Secara umum, kopi ini tumbuh di negara beriklim tropis atau subtropis. Kopi arabika tumbuh pada ketinggian 600–2000 m di atas permukaan laut. Tanaman ini dapat tumbuh hingga 3 meter bila kondisi lingkungannya baik. Suhu tumbuh optimalnya adalah 18–26°C. Biji kopi yang dihasilkan berukuran cukup kecil dan berwarna hijau hingga merah gelap.

Kopi robusta pertama kali ditemukan di Kongo pada tahun 1898. Kopi robusta dapat dikatakan sebagai kopi kelas dua, karena rasanya yang lebih pahit, sedikit asam, dan mengandung kafeina dalam kadar yang jauh lebih banyak. Selain itu, cakupan daerah tumbuh kopi robusta lebih luas daripada kopi arabika yang harus ditumbuhkan pada ketinggian tertentu. Kopi robusta dapat ditumbuhkan dengan ketinggian 800 m di atas permukaan laut. Kopi jenis ini lebih resisten terhadap serangan hama dan penyakit. Hal ini menjadikan kopi robusta lebih murah. Kopi robusta banyak ditumbuhkan di Afrika Barat, Afrika Tengah, Asia Tenggara, dan Amerika Selatan.

Selain memproduksi kopi biasa, Indonesia juga memproduksi beberapa kopi spesial. Yang paling terkenal di antara kopi spesial ini adalah kopi luwak, kopi Toraja, kopi Aceh dan kopi Mandailing. Kopi luwak merupakan jenis kopi paling terkenal karena dikenal sebagai kopi termahal di dunia. Kopi ini diekstraksi dari biji kopi yang telah melalui sistem pencernaan musang luwak Asia (hewan yang mirip kucing). Karena proses fermentasi khusus di dalam perut hewan tersebut (dan juga karena fakta luwak bisa memilih buah kopi yang paling *juicy*) dan memiliki rasa yang lebih kaya. Proses produksinya yang memerlukan banyak tenaga kerja dan kelangkaannya di pasar internasional menyebabkan harganya menjadi mahal.

Berdasarkan SNI 01-2907 2008 tentang kopi, biji kopi digolongkan berdasarkan jenisnya, cara pengolahannya, nilai cacatnya, ukurannya, jumlah keping dan daerah asalnya. Syarat mutu terdiri atas syarat mutu umum dan syarat mutu khusus yang meliputi berdasar ukuran biji, berdasar jumlah keping dan berdasarkan sistem nilai cacat.

Kopi mengandung komposisi antara lain karbohidrat, minyak, protein, asam non volatin, trigonelin dan kafein. Dengan kandungan senyawa kompleks di dalamnya, kopi memiliki aneka rasa dan aroma yang menarik. Kandungan kafein dalam kopi yang terbilang cukup tinggi adalah ciri khas dan identitas kopi, yang mampu memberikan berbagai efek bagi peminumnya. Beberapa manfaat dan pengaruh positif mengonsumsi kopi antara lain; mengurangi risiko penyakit Alzheimer, mengurangi risiko penyakit batu empedu, mengurangi risiko penyakit Parkinson, meningkatkan daya ingat dan kecerdasan, mengurangi pusing, terutama migrain, mengurangi risiko terkena diabetes mellitus tipe 2 hingga 50%, menurunkan risiko timbulnya sirosis hati, serangan kanker mulut, kanker tenggorokan, kanker payudara dan menurunkan risiko terkena penyakit encok bagi laki-laki berumur lebih dari 40 tahun. Kopi dilaporkan juga memiliki efek negatif, yaitu menimbulkan kecemasan dan mengganggu pola tidur, meningkatkan asam lambung, pelemahan tulang terutama bagi wanita pasca menopause, bereaksi dengan beberapa obat, dan meningkatkan kadar gula dan tekanan darah (Anonim 2020).

Saat ini kopi dipasarkan dalam berbagai jenis diversifikasi kopi, seperti

kopi bubuk, kopi instan, kopi mix, kopi rendah kafein, kopi matang (*roasted coffee*), serta turunan produk lainnya. Dalam kedai kopi modern, telah berkembang variasi kopi yang kebanyakan dipengaruhi dari mancanegara. Kopi modern yang dibuat merupakan campuran dari beberapa bahan selain kopi itu sendiri, seperti susu, foam, moka, dan cokelat. Beberapa jenis kopi yang banyak dijual di kedai kopi modern, yaitu *ekspreso*, *cappuccino*, *americano*, *macchiato*, *frappe*, *frappuccino*, *marocchino*, *mochaccino*, *caffè latte*, *flat white*, *long black*, dan *granite* (Adiakurnia 2017).

3.13 Rempah-Rempah dan Tanaman Penyegar

Rempah-rempah Indonesia merupakan salah satu hasil yang paling berharga. Banyak sekali negara yang datang ke Indonesia untuk berburu rempah-rempah.

3.13.1 Lada

Lada merupakan salah satu jenis rempah yang bernilai ekonomi tinggi karena rasa pedas dan aroma yang khas, yang ditimbulkan dari senyawa alkaloid piperine dan minyak volatil. Ada dua jenis lada, yaitu lada hitam dan lada putih, yang dihasilkan dari tanaman yang sama yaitu tanaman lada (*Piper nigrum*). Perbedaan kedua jenis lada tersebut karena perbedaan penanganan pasca panen. Lada putih diolah dari buah lada yang hampir masak, kemudian mengalami proses perendaman, pengupasan dan penjemuran sehingga dihasilkan lada yang berwarna putih. Lada hitam diolah dari buah lada yang masih berwarna hijau, kemudian mengalami proses pemeraman dan penjemuran sampai kering. Adanya proses penjemuran tersebut menghasilkan lada yang berwarna kehitaman dan tekstur keriput (Zachariah dan Parthasarathy 2008).

Pada lada hitam terkandung minyak atsiri, komponen fenolik, tanin, dan *flavornoid*. Lada hitam banyak digunakan dalam industri pangan dan untuk keperluan rumah tangga, ataupun dalam bidang non pangan, misalnya dalam industri kosmetika dan pengobatan tradisional. Pada lada putih terdapat senyawa alkaloid, misalnya piperin, metilprolin dan kavisin, serta minyak

atsiri. Lada putih lebih banyak digunakan untuk keperluan rumah tangga dan untuk obat tradisional.

Lada hitam memiliki nilai gizi yang hampir sama dengan lada putih, yaitu karbohidrat (66,5%), protein (10%), lemak (10,2%) dan mineral 4,6%. Mineral yang ada pada lada terutama kalium (1,2 g), kalsium (0,4 g), fosfor (160 mg) dan natrium (10 mg). Polisakarida pada lada terutama terdiri atas glukosa (88%), diikuti galaktosa, arabinosa, asam galakturonat dan rhamnosa. Pada lada juga terdapat vitamin A 19 IU, serta thiamin, riboflavin dan niasin dalam jumlah sedikit (Zachariah dan Parthasarathy 2008).

Ada dua komponen utama pada lada, yaitu minyak atsiri dan komponen *pungency* (pemberi rasa pedas) berupa oleoresin. Minyak atsiri pada lada hitam lebih tinggi dibandingkan lada putih. Lada hitam mengandung 2–2,6% minyak atsiri dan 6–13% oleoresin. Komponen oleoresin pada lada hitam berupa piperine. Minyak atsiri berperan terhadap aroma, sedangkan oleoresin berperan terhadap rasa lada secara keseluruhan.

Selain lada hitam dan lada putih, buah lada dapat diproses menjadi produk lain berupa produk olahan dari lada hijau dan beberapa produk lain. Produk dari lada hijau berupa lada hijau beku, lada hijau dalam larutan garam, lada hijau kering dan saus dari lada hijau. Selain dalam bentuk utuh (*whole black pepper*), lada hitam diolah dalam bentuk bubuk lada hitam, minyak atsiri, oleoresin, atau produk mikrokapsul. Hasil olahan lada putih adalah dalam bentuk utuh (*whole white pepper*) dan bubuk lada putih. Produk lain dari lada misalnya berupa minyak lada, oleoresin dan saus.

Salah satu hasil olahan lada adalah minyak atsiri. Minyak atsiri lada dapat diekstrak menggunakan metode penyulingan menggunakan *steam* secara langsung atau penyulingan menggunakan uap air dengan cara dikukus. Penyulingan dengan kapasitas besar dapat dilakukan menggunakan *steam*, namun perlu biaya investasi tinggi karena memerlukan dua unit peralatan yaitu ketel penyulingan (volume 2500 liter) dan mesin pembangkit uap. Penyulingan menggunakan uap air dapat dilakukan pada ketel dengan volume 1000 liter, serta tidak memerlukan mesin pembangkit uap.

Sebelum proses ekstraksi, lada dihancurkan sampai ukuran partikel kurang

lebih 0,7 mm agar proses ekstraksi optimal. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah kerapatan bahan yang tepat sehingga uap air dapat masuk ke bahan dan mengekstrak minyak keluar dari bahan. Apabila bahan terlalu padat, maka uap tidak dapat masuk ke dalam bahan dengan baik, sehingga proses ekstraksi tidak berlangsung sempurna. Ekstraksi minyak atsiri lada memerlukan waktu 4–5 jam. Proses ekstraksi menggunakan metode penyulingan ini memiliki kelemahan yaitu efisiensi rendah dan hilangnya komponen yang tidak tahan panas. Untuk mengatasi kelemahan ini dapat digunakan metode *supercritical fluid extraction* (SFE) menggunakan pelarut karbondioksida superkritis untuk mengatasi kelemahan menggunakan metode ekstraksi konvensional.

3.13.2 Pala

Pala merupakan jenis rempah-rempah bernilai ekonomis tinggi, dan hampir setiap bagian tanaman pala bisa digunakan untuk industri pangan dan farmasi. Pala memiliki bentuk bulat dengan warna kulit kuning dan dagingnya berwarna putih. Bagian buah pala adalah 77,8% daging buah, 5,1% tempurung, 4% fuli, dan 13,1% biji (Nurdjannah 2007). Daging pala yang berwarna putih apabila dikeringkan menjadi berwarna cokelat gelap, dan memiliki aroma yang khas. Fuli merupakan selubung biji yang menutupi tempurung biji pala, memiliki bentuk seperti jala dan berwarna merah terang. Dari bagian biji pala tersebut, bagian terpenting yang bernilai tinggi adalah biji dan fuli yang diolah menjadi minyak atsiri dan oleoresin.

Ada beberapa jenis pala yang ada di Indonesia. Jenis pala terbanyak dan mutu tertinggi adalah *Myristica fragrans*, yang berasal dari Pulau Banda. Jenis kedua adalah *Myristica argenta* War, yang mutunya di bawah pala Banda. *Myristica argenta* berasal dari Papua, oleh karena itu juga disebut Papuanoot. Selain itu, dari Papua, yang terdapat di hutan, juga ada jenis pala lain yaitu *Myristica scheffert*. Ada dua jenis pala lain, yaitu *Myristica speciosa* dan *Myristica succeanea*, namun kurang memiliki nilai ekonomi (Nurdjannah 2007).

Komposisi utama biji pala adalah air (14,3%), lemak (36,4%), protein

(7,5%), karbohidrat (28,5%), serat (11,6%), abu (1,7%) dan minyak atsiri (6-16%). Karbohidrat pada pala terdiri atas pati (14,6–24,2%), pentosan (2,25%), pektin (0,6%) dan furfural (1,5%). Mineral utama pada pala adalah kalsium 0,12%, fosfor 0,24%, zat besi 4,6 mg/100 g.

Biji pala bermutu baik mengandung ekstrak eter tidak mudah menguap minimal 25%, abu maksimal 5% dan serat kasar maksimal 10%. Fuli bermutu baik memiliki syarat kandungan eter tidak mudah menguap 20–30% dan kadar abu maksimal 0,5%. Standar pala dalam SNI 01-0007-1993 mengelompokkan pada ke dalam lima kelompok mutu (**Tabel 3.13**).

Tabel 3.13 Mutu biji pala (SNI 01-0007-1993)

| Kategori | Deskripsi |
|---------------|--|
| Mutu utuh I | Terdiri atas biji pala utuh dan pecahan dalam ukuran besar, minimal 1/3 dari utuhnya, berwarna kuning atau kuning kemerahan hingga merah. Apabila ada kontaminasi jamur pada mutu ini maksimal 5%. |
| Mutu utuh II | Ukuran biji dan pecahan sama dengan mutu utuh I, akan tetapi warnanya gelap/buram, dan apabila ada kontaminasi jamur maksimal 5%. |
| Mutu pecah I | Biji pala yang pecah-pecah, ukuran minimal 1/12 dari biji utuh, memiliki warna kuning, atau kuning kemerahan sampai merah, dan apabila ada kontaminasi jamur maksimal 5%. |
| Mutu pecah II | Ciri fisik sama dengan mutu pecah I, akan tetapi warnanya buram atau kuning dan atau kemerah-merahan. |
| Fuli hitam | Biji pala yang pecah dan berwarna gelap. |

Hasil olahan pala yang bernilai ekonomi tinggi berupa minyak atsiri dan rempah-rempah. Untuk mendapatkan minyak atsiri dalam jumlah banyak, buah pala dipanen pada umur yang masih muda, kurang lebih 5 bulan sehingga minyak atsiri yang didapatkan jumlahnya banyak. Untuk mendapatkan rempah-rempah dari pala yang bermutu, biji pala dipanen pada umur yang tua.

Setelah panen, fuli dilepas dari biji pala kemudian dikeringkan hingga

setengah kering. Pada saat setengah kering, fuli dipipihkan, kemudian dikeringkan kembali sampai warnanya menjadi merah coklat dan kadar airnya 10–12%. Apabila pengeringan dilakukan menggunakan alat pengering, suhu yang digunakan maksimal 60°C. Pengeringan pada suhu yang terlalu tinggi mengakibatkan fuli menjadi rapuh dan sebagian minyak atsiri menguap (Nurdjannah 2007). Fuli yang telah kering disimpan dalam ruang gelap selama kurang lebih tiga bulan sehingga warnanya berubah menjadi kuning tua sampai oranye. Setelah penyimpanan, dilakukan sortasi untuk mengelompokkan fuli yang utuh dan tidak utuh.

Biji pala yang sudah dipisahkan dihamparkan setebal 5 cm di atas para-para, kemudian diangin-anginkan selama kurang lebih enam minggu sehingga kulit biji pala tidak keriput. Setelah itu dilanjutkan dengan proses pengeringan suhu rendah, hingga kadar air mencapai 8%. Alternatif lain yang dapat dilakukan adalah dengan pengasapan atau kombinasi pengasapan dengan penjemuran, dengan suhu pengasapan maksimal adalah 35–37°C. Biji pala yang telah kering dipisahkan dari tempurungnya dengan hati-hati agar biji tetap utuh, menggunakan pemukul atau mesin pencacah. Rendemen biji pala bersih adalah 70% dari biji utuhnya. Biji pala yang telah bersih kemudian disortasi untuk mengelompokkan berdasarkan mutunya.

Biji pala terdiri atas minyak (30–45%) dan bahan padat (45–60%). Minyak biji pala terdiri atas minyak atsiri (5–15%) dan lemak/*nutmeg butter* (24–40%), masing-masing dari berat bijinya. Minyak atsiri biji pala lebih memiliki peran penting sebagai *flavoran* pada industri pangan (Lela 2008). Komponen utama minyak atsiri pada pala adalah monoterpen hidrokarbon (beta pinene, alpha pinene, sabinene) sejumlah 61–88%, aromatic eter (elemicin, myristicin, safrole) 2–18% dan asam monoterpen 5–15%.

Penyulingan biji pala menghasilkan minyak atsiri, dengan rendemen kurang lebih 12%. Fuli pala juga dapat disuling menghasilkan minyak fuli, dengan rendemen 11%. Kedua minyak tersebut memiliki karakter mirip yaitu jernih, tidak berwarna hingga berwarna kuning pucat, namun minyak fuli memiliki aroma lebih tajam dibandingkan minyak atsiri biji pala. Penyulingan minyak atsiri pala dilakukan dengan cara destilasi atau penyulingan uap pada

tekanan rendah. Penyulingan opada tekanan tinggi menghasilkan rendemen rendah dan menurunkan mutu minyak atsiri (Sipahelut dan Telussa 2011).

Lemak biji pala/*nutmeg butter* dapat dipisahkan melalui pengepresan dan pemanasan, atau ekstraksi dengan menggunakan pelarut, seperti dietil eter. *Nutmeg butter* atau juga disebut *concrete* atau *expressed oil*, memiliki sifat cair semi padat, mencair pada suhu 45–51°C, berwarna oranye, aroma seperti pala, dan larut dalam pelarut alkohol (Lela 2008).

Hasil pengolahan buah pala lainnya berupa oleoresin, yang berbentuk cairan kental hasil ekstraksi rempah-rempah buah pala menggunakan pelarut organik. Ekstraksi oleoresin dilakukan pada biji atau fuli pala yang sudah dihaluskan menjadi bubuk. Jenis oleoresin yang dikenal adalah oleoresin fuli/mace oleoresin, di samping ada juga oleoresin pala yang mengandung minyak atsiri. Jenis pelarut memengaruhi komposisi oleoresin yang dihasilkan. Oleoresin memiliki kandungan lemak tinggi apabila ekstraksi dilakukan menggunakan pelarut non polar, sedangkan ekstraksi menggunakan pelarut polar, misalnya aseton dan etanol menghasilkan oleoresin yang memiliki kadar lemak rendah (Lela 2008).

Bagian terbesar dari pala adalah dagingnya, dengan komposisi kurang lebih 80%. Daging pala diolah menjadi aneka produk pangan, misalnya manisan, sirup dan selai, sehingga meningkatkan nilai ekonominya, dari yang semula hanya sebagai limbah.

3.13.3 Jahe

Jahe (*Zingiber officinale*) merupakan salah satu spesies dari famili Zingiberaceae yang banyak digunakan sebagai pelengkap pada aneka makanan dan minuman. Menurut (Zachariah 2008), jahe dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu jahe putih, jahe gajah, dan jahe merah. Jahe putih atau dikenal sebagai jahe emprit karena memiliki ukuran ruas yang kecil, rata sampai agak menggebung, dan selalu dipanen setelah umurnya tua. Jahe emprit memiliki rasa pedas karena kadar minyak atsirinya tinggi. Jahe emprit dapat digunakan langsung pada bidang pangan atau diekstrak minyak atsiri dan oleoresinnya. Jahe gajah atau disebut juga jahe badak memiliki ukuran rimpang lebih besar

serta ruas rimpangnya lebih menggebug dibandingkan jahe emprit dan jahe merah. Berbeda dengan jahe emprit yang selalu dipanen pada saat sudah tua, jahe gajah dapat dikonsumsi saat masih muda atau sudah tua. Jahe merah memiliki rimpang berwarna merah, dan memiliki ukuran lebih kecil daripada jahe emprit. Jahe merah memiliki kadar minyak atsiri tinggi, sama dengan jahe emprit dan selalu dipanen setelah umurnya tua.

Komposisi kimia jahe adalah kadar air 80,9%, karbohidrat 12,3%, protein 2,3%, lemak 0,9%, serat 2,4% dan mineral 1,2%. Mineral utama pada jahe adalah kalsium 20 mg/100 g, zat besi 2,7 mg/100 g dan fosfor 60 mg/100 g. Beberapa vitamin pada jahe adalah thiamine (0,06 mg/100 g, riboflavin (0,03 mg/100 g), niasin (0,6 mg/100 g) dan asam askorbat (6 mg/100 g).

Jahe biasanya dipanen pada umur 8–12 bulan. Pada umumnya, untuk dikonsumsi segar, jahe dipanen pada umur 8 bulan. Setelah panen, dilakukan sortasi untuk memisahkan dari sisa tanah dan bagian lain tanaman. Tahap berikutnya adalah pencucian dengan menggunakan air bersih, dan apabila diperlukan menggunakan semprotan bertekanan tinggi. Selesai pencucian, jahe ditiriskan menggunakan *tray* atau wadah yang berlubang-lubang untuk membuang sisa air cucian. Selanjutnya jahe ditempatkan dalam baskom/ember plastik. Untuk jahe yang didistribusikan dalam keadaan segar langsung dikemas menggunakan peti kayu berongga. Apabila jahe dijual kering atau dibuat simplisia, maka rimpang jahe diiris dengan ketebalan 1–4 mm. Selanjutnya dilakukan proses pengeringan, baik menggunakan sinar matahari atau alat pengering, sampai kadar air di bawah 8% (Zachariah 2008).

Beberapa bentuk olahan jahe yaitu jahe kering (simplisia), bubuk jahe, minyak jahe dan oleoresin. Pada pembuatan jahe kering, jahe yang telah bersih diblansir dengan uap selama 5 menit untuk mempertahankan warna dan tekstur jahe. Berikutnya dilakukan pengecilan ukuran dengan memotong rimpang jahe menjadi 7–8 mm, lalu dikeringkan di bawah sinar matahari atau alat pengering hingga kadar air 7–12%. Simplisia jahe yang telah kering kemudian dikemas menggunakan pengemas vakum. Untuk pembuatan bubuk jahe, dari jahe kering tersebut dilakukan penggilingan halus dan pengayakan 60 mesh. Bubuk jahe kemudian dikemas, lebih baik apabila menggunakan

kemasan vakum. Jahe kering mengandung 3,5–10% oleoresin dan 15–30% minyak volatil.

Oleoresin jahe didapatkan dengan cara ekstraksi jahe kering menggunakan pelarut. Oleoresin memiliki aroma, *flavor* dan *pungency* (rasa pedas) sama dengan jahe. Oleoresin jahe mengandung komponen gingerol, minyak atsiri, zingerone, dan resin. Oleoresin jahe digunakan sebagai pengganti jahe dalam industri pangan, juga pada bidang farmasi.

Ekstraksi minyak jahe dilakukan terhadap jahe bubuk selama 10–15 jam. Rendemen minyak jahe yang dihasilkan kurang lebih 3%, dan warna minyaknya adalah bening sampai kuning tua, aroma harum, namun tidak ada rasa pedas. Aroma harum pada minyak jahe disebabkan adanya zingiberin dan zingiberol.

3.13.4 Kayu Manis

Kayu manis, atau dalam Bahasa Inggrisnya *cinnamon*, adalah termasuk salah satu bumbu makanan tertua yang telah digunakan manusia. Di dunia, tercatat ada 54 jenis tanaman kayu manis (*Cinnamomum spp*), dan 12 jenis di antaranya ada di Indonesia. Jenis kayu manis yang banyak ditanam di Indonesia adalah *Cinnamomum burmannii*, *Cinnamomum zeylanicum*, dan *Cinnamomum cassia*. Kayu manis juga banyak tumbuh liar di hutan, seperti *Cinnamomum massoi* dan *Cinnamomum culilawan*.

Indonesia termasuk pemasok kayu manis terbesar dari jenis *Cinnamomum burmannii*, yang juga disebut *Indonesia cinnamon* atau kasiavera (*cassiavera*), yakni sebesar 66% di pasaran dunia. Pemasok besar lainnya adalah Tiongkok, Vietnam, dan India. Pasar utama dunia kayu manis Indonesia adalah Amerika, Kanada, dan Jerman. Negara Meksiko juga tercatat sebagai pengimpor besar kayu manis. Indonesia masih mengekspor kayu manis dalam bentuk bahan bakunya (kulit), bukan dalam bentuk bubuk.

Kayu manis mengandung minyak atsiri, *eugenol*, *safrrole*, *cinnamaldehyde*, *tanin*, kalsium oksalat, damar, zat penyamak, di mana *cinnamaldehyde* merupakan komponen yang terbesar (70%). Komposisi kimia kayu manis jenis *Cinnamomum burmannii*, mengandung kadar air 7,90%, minyak atsiri

2,40%, alkohol ekstrak 8,2–8,5%, abu 3,55%, serat kasar 20,30%, karbohidrat 59,55%, dan lemak 2,20% (Leela 2008).

Salah satu komponen pada kayu manis adalah oleoresin. Oleoresin dari ekstrak kayu manis memiliki kelebihan dibandingkan kayu manisnya, yaitu kestabilan *flavor* selama pengolahan menggunakan panas, lebih bersih dan ekonomis. Oleoresin dari kayu manis bisa diperoleh dengan proses ekstraksi menggunakan pelarut polar, misalnya methanol, etanol dan isopropil alkohol (Leela 2008).

Kayu manis, secara tradisional dijadikan sebagai obat untuk berbagai penyakit. Kayu manis yang dicampur madu, seperti untuk mengobati penyakit radang sendi, kulit, jantung, dan perut kembung. Rempah ini dilaporkan juga memiliki khasiat bagi kesehatan untuk penderita diabetes. Kayu manis memiliki manfaat penting bagi kesehatan jantung seperti mengurangi kolesterol total, kolesterol buruk (LDL), dan trigliserida, serta meningkatkan kolesterol baik (HDL). Kayu manis juga menjadi bahan penting dalam produksi makanan dan minuman. Di Meksiko, kulit kayu manis digunakan dalam produk makanan ringan berbahan coklat. Kulit kayu manis juga menjadi bahan penting dalam produksi makanan ringan seperti kue apel, donat, dan aneka makanan penutup, permen, produk minuman kopi, minuman teh, minuman coklat, hingga *liqueur*. Bubuk kayu manis menjadi bahan penting dalam masakan Persia, seperti sup, minuman, dan permen (Rismunandar dan Paimin 2001).

Kayu manis banyak diperdagangkan dalam bentuk bubuk. Dalam SNI 01-3714-1995 tentang Kayu manis bubuk, kayu manis bubuk adalah yang dibuat dari kulit batang, kulit dahan atau kulit ranting tanaman kayu manis (*Cinnammomum sp*) yang telah dikupas kulit luarnya, dikeringkan dan dihaluskan. Kriteria mutunya mencakup warna, bau, bobot jenis, indeks bias, putaran optik, dan kelarutan dalam etanol 70%.

Untuk meningkatkan nilai jualnya, saat ini kayu manis telah banyak diproduksi menjadi minyak yang dapat diperoleh dari penyulingan kulit, ranting dan daun. Di perdagangan kayu manis, produk yang diminta dari minyak kayu manis didasarkan pada jenis kayu manis dan asal bahan, yaitu *cinnamon leaf oil*, *cinnamon bark oil* dan *cassia oil*. *Cinnamon leaf oil* adalah

minyak yang diperoleh dari daun kayu manis jenis *Cinnamomum zeylanicum*, *cinnamon bark oil* adalah minyak yang diperoleh dari kulit. *Cinnamon cassia oil* adalah minyak yang diperoleh dari daun, ranting dan bubuk kulit manis jenis *Cinnamomum burmanii* atau *Cinnamomum cassia* (Rismunandar dan Paimin 2001).

Komponen utama minyak kulit kayu manis adalah sinamaldehid, eugenol, acetueugenol dan beberapa aldehid lain dalam jumlah yang kecil. Di samping itu juga mengandung *methyl-n-amylketone* yang juga sangat menentukan dalam *flavor* khusus dari minyak kayu manis. Komponen terbesar minyak atsiri dari kulit kayu manis adalah sinamal aldehid dan eugenol yang menentukan mutu minyaknya. Sebagian besar komponen aromatik minyak kayu manis bersifat larut dalam air, akibatnya pemisahan minyak dan air menjadi sangat sulit yang membuat rendah rendemennya. Kadar komponen kimia kulit kayu manis sangat tergantung pada daerah asalnya atau tempat penanamannya.

Minyak kayu manis banyak digunakan dalam industri makanan, minuman, farmasi, rokok, dan kosmetika sebagai pemberi rasa dan aroma. Minyak atsiri tersebut mempunyai daya bunuh terhadap mikroorganisme (antiseptis), membangkitkan selera atau menguatkan lambung juga memiliki efek untuk mengeluarkan angin. Selain itu minyaknya digunakan di industri obat kumur dan pasta, penyegar bau sabun, deterjen, *lotion*, parfum, dan *cream*. Dalam pengolahan bahan makanan dan minuman minyak kayu manis di gunakan sebagai pewangi atau peningkat cita rasa, di antaranya untuk minuman keras, minuman ringan (*softdrink*), agar-agar, kue, kembang gula, bumbu gulai, dan sup.

Minyak atsiri kayu manis banyak diminta oleh Amerika Serikat dan Eropa untuk keperluan industri, baik makanan maupun farmasi. Minyak atsiri kayu manis *Cinnamon cassia* banyak diproduksi di China, Vietnam dan Taiwan. Indonesia memproduksi minyak dari jenis *Cinnamomum zeylanicaum* dan *Cinnamomum burmanii* baik dari ranting maupun daun (Kristiningrum dan Lukiawan 2011).

3.13.5 Cengkeh

Cengkeh (*cloves*) merupakan tanaman asli Indonesia dan menjadi komoditi strategis Indonesia. Indonesia adalah negara produsen dan sekaligus konsumen cengkeh terbesar di dunia. Pada tahun 2010 Indonesia memproduksi cengkeh hingga 140.000 metrik ton. Cengkeh (*Syzygium aromaticum* syn. *Eugenia aromaticum*) adalah tangkai bunga kering beraroma dari keluarga pohon *Myrtaceae* (Nurdjannah 2004). Hampir semua provinsi di Indonesia memiliki tanaman cengkeh, terutama Jawa Timur, Sulawesi Selatan, Maluku, Sulawesi Tenggara dan Sulawesi Tengah.

Di Indonesia terdapat tiga varietas unggul yang dibudidayakan, yaitu: (a) Cengkeh siputih (memiliki helai daun cukup besar, berwarna hijau kekuningan, bercabang kurang rimbun, memiliki bunga yang besar dan berwarna kuning, tiap rumpun terdiri atas belasan bunga); (b) Cengkeh sikotok (memiliki helai daun kecil, berwarna hijau kehitaman, mengkilap, cabang yang cukup rimbun, memiliki Bunga yang tiap tumpunnya terdiri atas 20–50 bunga berwarna kuning kemerahan); (c) Cengkeh zanzibar (memiliki helai daun panjang, berwarna hijau gelap, bunga berwarna kemerahan). Keunggulan dari tanaman cengkeh ini adalah produksi yang sangat tinggi sehingga varietas ini merupakan varietas yang terbaik.

Tanaman cengkeh pada umumnya menghasilkan bunganya pada usia 4–7 tahun. Tanaman ini merupakan tanaman tropis yang sangat cocok untuk ditanam di Indonesia. Cengkeh menginginkan iklim yang panas dengan konsumsi sinar matahari 8 jam per hari, dengan tingkat hujan yang merata karena cengkeh tidak tahan terhadap iklim panas yang berkepanjangan. Curah hujan optimal yang sangat bagus untuk tanaman cengkeh yaitu berkisar 1500–4500 mm/tahun dengan suhu 22–30°C dan kelembaban udara berkisar 60–80% (Luthfi dan Kurniawati 2018).

Bagian utama dari tanaman cengkeh yang bernilai komersial adalah bunganya yang sebagian besar digunakan dalam industri rokok. Selain itu bunga cengkeh dimanfaatkan untuk industri kimia, industri makanan, minuman, kosmetik, obat-obatan (farmasi), dan pestisida nabati. Namun demikian, dengan adanya penemuan baru bagian tanaman lain dari cengkeh

yaitu daun dan tangkai bunganya telah pula dimanfaatkan sebagai sumber minyak cengkeh yang digunakan dalam industri farmasi, kosmetik dan lain-lain. Produk pangan yang menggunakan cengkeh di antaranya adalah bumbu kare (*curry powder*), saus dan makanan yang dipanggang (*baked foods*) (Nurdjannah 2004). Proses pengolahan bunga menjadi bunga cengkeh yang kering melalui beberapa tahap, yaitu pemanenan, perontokan (pemisahan gagang dan bunga), pemeraman, pengeringan dan sortasi. Pada umumnya bunga cengkeh kering disajikan dalam bentuk utuh, tetapi ada juga yang disajikan dalam bentuk bubuk dengan cara menggiling bunga kering. Tingkat kehalusan dari bubuk cengkeh yang dihasilkan bermacam-macam tergantung dari bahan baku, penggunaan dan selera konsumen di tiap negara.

Standar mutu cengkeh di Indonesia ini sudah ada dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-3392-1994 yang mengelompokkan cengkeh ke dalam Mutu I, Mutu II dan Mutu III berdasarkan ukuran, warna, bau, bahan asing, gagang cengkeh, cengkeh inferior, cengkeh rusak, kadar air, dan kadar minyak atsirinya (Kristiningrum dan Lukiawan 2011).

Pemanfaatan produk cengkeh lainnya adalah produk hasil ekstraksi dari bunga cengkeh seperti minyak cengkeh atau oleoresin. Minyak cengkeh dan oleoresin digunakan dalam jumlah sedikit karena keduanya mempunyai *flavour* yang sangat kuat (Leela dan Sapna 2008).

Dalam ekstraksi minyak cengkeh melalui penyulingan dapat menggunakan dari daun (*clove leaf oil*), dari tangkai (*clove stem oil*) dan dari bunga (*clove bud oil*). Minyak cengkeh (*clove bud oil*) merupakan hasil penyulingan serbuk bunga cengkeh kering. Minyak atsiri jenis ini memiliki pasaran yang luas di industri farmasi, penyedap masakan dan wewangian. Kandungan minyak cengkeh adalah eugenol (90%), eugenil asetat, methyl n-heptill alkohol, benzil alkohol, metil salisilat, methil n-amil karbinol dan terpena caryophyllene (Leela dan Sapna 2008). Minyak tangkai cengkeh (*clove stem oil*) adalah mintak atsiri hasil penyulingan tangkai kuntum cengkeh. Jenis minyak cengkeh terakhir adalah minyak daun cengkeh (*clove leaf oil*) adalah minyak atsiri hasil sulingan daun cengkeh kering (umumnya yang sudah gugur) (Nurdjannah 2004).

Oleoresin cengkeh biasa dibuat dari bunga cengkeh dengan proses ekstraksi menggunakan pelarut organik. Ekstraksi dengan benzene menghasilkan oleoresin dengan rendemen 18–22% sedangkan dengan alkohol rendemennya sekitar 22–31%.

Oleoresin cengkeh biasanya digunakan dalam industri makanan dan minuman sebagai pengganti bunga cengkeh kering. Oleoresin mempunyai kelebihan dibandingkan dengan minyak cengkeh atau bunga cengkeh, karena di samping mengandung semua komponen *flavour* dari cengkeh, juga memudahkan dalam transportasinya karena tidak kamba dan tidak mengganggu penampakan dari produk makanan atau minumannya.

3.14 Ringkasan

1. Proses pengolahan pangan di industri pangan menggunakan bahan baku dalam bentuk bahan segar, bahan intermediet dan bahan tambahan pangan. Bahan yang digunakan dalam formulasi dapat berinteraksi satu sama lain, atau berinteraksi secara kimia atau fisik dengan kondisi pengolahan (suhu, tekanan, oksigen, kelembaban, dan sebagainya), yang dapat memengaruhi karakteristik produk pangan yang dihasilkan. Interaksi yang terjadi sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan.
2. Bahan baku pangan sangat banyak jenisnya, yang secara umum dapat dikelompokkan sebagai bahan baku nabati (seperti sereal, umbi-umbian kacang-kacangan, sayur-sayuran, buah-buahan, rumput laut), dan bahan baku hewani (seperti daging, ikan, telur). Di samping itu terdapat kelompok bahan pangan hasil perkebunan sebagai bahan penyegar (cokelat, teh, dan kopi) dan rempah-rempah dan bahan penyegar (seperti lada, jahe, pala, kayu manis dan cengkeh). Karakteristik masing-masing bahan bersifat unik yang sangat dipengaruhi oleh komposisi kimianya. Karakteristik bahan pangan sangat penting diperhatikan dalam proses pengolahan pangan, karena sangat memengaruhi dalam proses pengolahan, mutu produk yang dihasilkan (fisik, kimia dan sensori) dan stabilitasnya selama penyimpanan.

3. Komposisi pangan merupakan susunan komponen atau substansi pada suatu bahan pangan. Tabel komposisi pangan memberikan informasi mengenai jenis komponen dan jumlah masing-masing komponen pada suatu bahan pangan. Jenis komponen yang tercantum dalam tabel komposisi pangan meliputi protein, lemak, karbohidrat (dalam bentuk pati, gula, dan serat), vitamin dan mineral. Berdasarkan tabel komposisi pangan, maka dapat diperkirakan kandungan gizi suatu produk pangan hasil formulasi.

3.15 Pustaka

- Abdelghafor RE, Mustafa AI, Ibrahim AMH, Krishnan PG. 2011. Quality of bread from composite flour of sorghum and hard white winter wheat. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 3: 9–15.
- AAbdelseed BH, Abdalla AH, El-Gasim A, Yagoub A, Ahmed IAM, Babiker EE. 2011. Some nutritional attributes of selected newly developed lines of sorghum (*sorghum bicolor*) after fermentation. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 13: 399–409.
- Adiakurnia MI. 2017. Dari Latte sampai Espresso, Ini Cara Bedakan 5 Jenis Kopi Modern. Retrieved June 20, 2020, <https://travel.kompas.com/read/2017/08/21/200300227/darilatte-sampai-espresso-ini-cara-bedakan-5-jenis-kopi-modern?page=all>.
- Aini N. 2013. *Teknologi Fermentasi Pada Tepung Jagung* (1st ed.). Yogyakarta: CV Graha Ilmu.
- Anderson AAHA, Aman P. 2008. Functional barley products. Di dalam: Hamaker, B.R. (Editor), *Technology of Functional Cereal Foods*. Hal. 548. Cambridge: Wood-head Publishing Limited.
- Anonim. 2007. *Mengenal Teh (Proses Pengolahan, Jenis dan Kandungannya)*. <https://haryadhaagustian.wordpress.com/2009/05/24/mengenalteh-pembuatan-dankandungannya-bagian-pertama/>
- Anonim. 2020. *Macam-Macam Olahan Kopi*. Retrieved, <https://hamparankopi.blogspot.com/2018/10/macam-macam-olahan-kopi.html>No Title
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. Standar Nasional Indonesia.

- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian. 2012. *Petunjuk Teknis Budidaya Tanaman Jahe*. Medan: BPTP Sumatra Utara.
- Barry L. 2008. Seaweed, potential as a marine vegetable and other opportunities. Australia: Rural Industries Research and Development, (08).
- Belitz HD, W Grosch, P Schieberle. 2009. *Food Chemistry*. 4th revised and extended edition. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Brownlee IA, Fairclough AC, Hall AC, Paxman JR. 2011. The potential health benefits of seaweed and seaweed extracts. *Seaweed: Ecology, Nutrient Composition and Medicinal Uses*. Hal. 119–135.
- Charley, H, Weaver C. (1998). *Foods A Scientific Approach* (K. M. Davis, Ed.). New Jersey: Prentice-Hall.
- Coffee and Cocoa Training Center Indonesia. 2020. Beberapa standar pemeringkatan mutu biji kopi. <https://www.cctcid.com/2018/08/29/beberapastandardpemeringkatan-mutu-biji-kopi-2/>
- Departemen Perindustrian. 2009. *Roadmap Industri Pengolahan Kopi*. Jakarta: Direktorat Jenderal Industri Agro dan Kimia, Departemen Perindustrian RI.
- Feiner G. 2006. *Meat Products Handbook: Practical Science and Technology*. Woodhead Publishing, Cambridge, England.
- Gabaza M, Shumoy H, Muchuweti M, Vandamme P, Raes K. 2018. Iron and zinc bioaccessibility of fermented maize, sorghum and millets from five locations in Zimbabwe. *Food Research International*. 103: 361-370.
- Hamaker BR. 2008. *Technology of Functional Cereal Products*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Hansen HB, Rasmussen CV, Knudsen KEB, Hansen A. 2003. Effect of genotype and harvest year on content and composition of dietary fibre in rye (*Secale cereale* L.) grain. *Journal Science, Food and Agriculture*. 83, 76-85.
- Hariyadi P, Aini N. 2015. *Dasar-dasar Penanganan Pasca Panen Buah dan Sayur*. Bandung: Alfabeta.
- Jadhav SJ, Kadam SS. 1998. Potato. Di dalam: Salunkhe, D.K., Kadam, S.S. (Editor), *Handbook of Vegetable Science and Technology*. Hal. 721. New York: Marcel Dekker.

- Kadam S, Chavan JK. 1998. Other legumes. Di dalam: Salunkhe, D.K., Kadam, S.S. (Editor), *Handbook of Vegetable Science and Technology*. Hal. 721. Madison: Marcel Dekker.
- Kauffmann RG. 2012. *Meat Composition*. Di dalam: Hui, Y.H. (Editor). *Meat and Meat Processing*. CRC Press, Taylor and Francis Group. Boca Raton, Florida.
- Kent NL, Evers AD. 1994. *Technology of Cereals*. Oxford, UK: Pergamon.
- Kim YHB, Ma D, Setyabrata D, Farouk MM, Lonergan SM, Huff-Lonergan E, Hunt MC. 2018. Understanding postmortem biochemical processes and post-harvest aging factors to develop novel smart-aging strategies. *Meat Science*, Vol. 144, Hal. 74–90.
- Kotecha PM, Kadam SS. 1998. Sweet Potato. Di dalam: Salunkhe, D.K., Kadam, S.S. (Editor), *Handbook of Vegetable Science and Technology*. Hal. 721. New York: Marcel Dekker.
- Kristiningrum E, Lukiawan R. 2011. Kajian standar sektor rempah-rempah terkait dengan penolakan produk dalam mendukung peningkatan ekspor Indonesia. *Jurnal Standardisasi*. 13(1): 26–35.
- Kushwaha UKS. 2016. Black rice: Research, history and development. Di dalam: *Black Rice: Research, History and Development*.
- Laville E, Sayd T, Morzel M, Blinet S, Chambon C, Lepetit J, Hocquette JF. 2009. Proteome changes during meat aging in tough and tender beef suggest the importance of apoptosis and protein solubility for beef aging and tenderization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(22): 10755–10764.
- Lawrie RA, Ledward DA. 2006. *Lawrie's Meat Science* (7th ed.). Cambridge: CRC Press.
- Leela NK. 2008. Cinnamon and Casia. Di dalam: Parthasarathy VA, Chempakam B, Zachariah TJ. (Editor). *Chemistry of Spices*. Hal. 124–145). Cambridge: CABI.
- Leela NK, Sapna VP. 2008. Clove. Di dalam: Parthasarathy, V.A Chempakam, B. Zachariah, T. J. (Editor), *Chemistry of Spices*. Hal.146–164. Cambridge: CABI.

- Lela NK. 2008. Nutmeg and Mace. Di dalam: Parthasarathy, V.A., Chempakam, B., Zachariah, T.J. (Editor), *Chemistry of Spices*. Hal. 165–189. Cambridge: CABI.
- Li C, Lu Q, Liu Z, Yan H. 2018. Effects of the addition of gluten with different disulfide bonds and sulfhydryl concentrations on Chinese white noodle quality. *Czech Journal of Food Science*. 36(3): 246–254.
- Luthfi M, Kurniawati A. 2018. Pengelolaan panen bunga cengkih (*Syzygium aromaticum* L.) di Kebun Brangguh Banaran, Blitar, Jawa Timur. *Buletin Agrohortikultura*. 6(2): 188–197.
- McHugh DJ. 2003. Seaweeds Uses as Human Foods. Di dalam: *A Guide to the Seaweed Industri*.
- Moorthy SN. 2004. Tropical sources of starch. Di dalam: Eliasson, A.C. (Editor), *Starch in Food*. Hal. 598. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Murano PS. 2003. *Understanding Food Science and Technology*. Peter Marshall Inc.
- Nurdjannah N. 2004. Diversifikasi penggunaan cengkeh. *Perspektif*. 3(2): 61–70.
- Nurdjannah N. 2007. Teknologi Pengolahan Pala. Di dalam: *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian.
- Nuriana A, Aini N, Karseno K. 2019. Formulasi Breakfast Meal Flakes dari Tepung Suweg dan Stabilized Rice Bran Menggunakan Metode Respon Permukaan. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*. 8(2): 52–59.
- Oduor S, Akoth CO, Mwanjallah AM, Kagwiria JO, Mutiso FM. 2010. Effects of malting and fermentation treatments on group B-vitamins of red sorghum, white sorghum and pearl millets in Kenya. *Journal of Applied Biosciences*. 34: 2128–2134.
- Oehlenschläger J. 2010. Introduction—Importance of Analysis in Seafood and Sea-food Products, Variability and Basic Concepts. Di dalam: Nollet LML, Toldra F. (Editor), *Handbook of Seafood and Seafood Product Analysis*. Hal. 910. London: CRC Press.

- Oehenschläger J, Rehbein H. 2009. *Basic Facts and Figures*. Di dalam: Rehbein, H., Oehenschläger, J. (Editor), *Fishery Products Quality, Safety and Authenticity*. Hal. 471. Oxford: WileyBlackwell.
- Omolola AO, Kapila PF, Mchau GA. 2017. Mini review effect of selected processing and modification methods on quality of cassava and its starch. *Asian Journal of Agricultural Research*. 11(3): 48–56.
- Paliyath G, Murr DP. 2008. Common fruits, vegetables, flowers, and their quality characteristics. Di dalam: G Paliyath, DP Murr, AK Handa, S Lurie (Editor), *Postharvest Biology and Technology of Fruits, Vegetables and Flowers*. Hal. 482. Iowa: Wiley-Blackwell.
- Rees D, Hammond L. 2002. Biology of plant commodities. Di dalam: Golob P, Farrell G, Orchard JE. (Editor), *Crop Post-Harvest: Science and Technology Principles and Practice*. Hal. 547. Berlin: Blackwell Science Ltd.
- Rehault-Godbert S, Guyot N, Nys Y. 2019. The golden egg: nutritional value, bioactivities, and emerging benefit for human health. *Nutrients*. 11:684.
- Rismunandar R, Paimin FB. 2001. *Kayu Manis: Budi Daya dan Pengolahan*. PT Penebar Swadaya.
- Rohdiana D. 2015. Teh: Proses, Karakteristik dan Karakter Fungsionalnya. *Food Review Indonesia*. 34–37.
- Shao Y, Xu F, Sun X, Bao J, Beta T. 2014. Identification and quantification of phenolic acids and anthocyanins as antioxidants in bran, embryo and endosperma of white, red and black rice kernels (*Oryza sativa* L.). *Journal of Cereal Science*. 59(2): 211-218.
- Simpson MG. 2006. *Plant Systematics*. Canada: Elsevier Applied Science.
- Sipahelut SG, Telussa I. 2011. Karakteristik minyak atsiri dari daging buah pala melalui beberapa teknologi proses. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*. 4(2): 126–134.
- Smith JL, Summers G, Wong R. 2010. *Nutrient and Heavy Metal Content of Edible Seaweeds in New Zealand*. 0671.
- Sun Q, Han Z, Wang L, Xiong L. 2014. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat-moisture treatment. *Food Chemistry*. 145: 756–764.

- Suparmi, Sahri A. 2009. Mengenal potensi rumput laut: kajian pemanfaatan sumber daya rumput laut dari aspek industri dan kesehatan. *Sultan Agung Jurnal*. 44(118): 95–116.
- Taylor JRN, Emmambux MN. 2008. Products containing other speciality grains: sorghum, the millets and pseudocereals. Di dalam: Hamaker, B.R. (Editor), *Technology of Functional Cereal Foods*. Hal. 548. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Thitipramote N, Pradmeeteekul P, Nimkamnerd J, Chaiwut P, Pintathong P, Thitilerdecha N. 2016. Bioactive compounds and antioxidant activities of red (brown red jasmine) and black (kam leum pua) native pigmented rice. *International Food Research Journal*: 23(1): 410–414.
- Titchenal CA, Dobbs J. 2004. Nutritional value of vegetables. Di dalam: Hui, Y.H., Ghazala, S., Graham, D.M., Murrell, K.D., Nip, W. (Editor), *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*. Hal. 723. Marcel Dekker.
- UNIDO. 2004. *Small-scale Root Crops and Tubers Small-scale Root Crops and Tubers*. Vienna: United Nations Industrial Development Organization.
- Wahyudi T. 1992. *Teknologi Pengolahan Kakao. Kumpulan Bahan Pelatihan Teknik Budidaya dan Pengolahan kakao*. (Buku II). Jember: Pusat Penelitian Perkebunan Jember.
- Walstra P, Geurts TJ, Noomen A, Jellema A, van Boekel MAJS. 1999. *Dairy Technology Principles of Milk Properties and Processes*. New York: Marcel Dekker Inc.
- Wankhede DB, Satwadhar PN, Sawate AR. 1998. Cassava. Di dalam: Salunkhe, D.K., Kadam, S.S. (Editor), *Handbook of Vegetable Science and Technology*. Hal. 721. New York: Marcel Dekker Inc.
- Zachariah TJ. 2008. Ginger. Di dalam: Parthasarathy, V.A., Chempakam, B., Zachariah, T.J. (Editor), *Chemistry of Spices*. Hal. 70-96. Cambridge: CABI.
- Zachariah TJ, Parthasarathy VA. 2008. Black pepper. Di dalam: Parthasarathy, V.A., Chempakam, B., Zachariah, T.J. (Editor), *Chemistry of Spices*. Hal. 21–40. Cambridge: CABI.

Latihan

Petunjuk: Untuk memahami materi pada Bab 3 ini, kerjakan soal berikut. Pilih satu jawaban yang benar.

1. Pernyataan yang benar mengenai komposisi bahan pangan adalah sebagai berikut:
 - a. Hanya terdiri atas karbohidrat, protein, dan lemak.
 - b. Satu kelompok bahan pangan yang sama memiliki komponen yang hampir sama dengan jumlah bervariasi.
 - c. Bahan pangan yang diproses memiliki komposisi bahan pangan sama dengan bahan bakunya.
 - d. Bervariasi dalam jenis dan jumlah komponennya.
2. Pernyataan yang salah mengenai kelompok sereal dan umbi-umbian adalah sebagai berikut:
 - a. Sereal dan umbi-umbian merupakan sumber karbohidrat.
 - b. Umbi-umbian memiliki kadar protein lebih rendah daripada sereal.
 - c. Sereal memiliki kadar air lebih tinggi daripada umbi-umbian.
 - d. Bahan baku yang potensial untuk diolah menjadi tepung dan pati.
3. Umbi-umbian yang memiliki kadar asam sianida tinggi adalah:
 - a. Kimpul
 - b. Gadung
 - c. Ubi kayu
 - d. Talas
4. Di antara jenis kacang-kacangan berikut, yang memiliki kadar lemak terendah adalah:
 - a. Kacang tanah
 - b. Kedelai
 - c. Kacang hijau
 - d. Almond

5. Pembentukan tekstur daging menjadi lunak dan kenyal serta timbulnya *flavor* enak terjadi pada fase:
 - a. *Pre-rigor*
 - b. *Post-rigor*
 - c. *Rigor-mortis*
 - d. Setelah penyembelihan
6. Unit kontraktile dari serat daging disebut :
 - a. Sarkomer
 - b. Aktin
 - c. Miosin
 - d. Miofibril
7. Berdasarkan strukturnya, bagian telur yang memiliki nilai gizi protein tinggi adalah:
 - a. Cangkang
 - b. Putih telur
 - c. Kuning telur
 - d. Khalaza
8. Telur yang bermutu baik ditandai dengan kondisi berikut ini, kecuali:
 - a. Masih kecilnya rongga udara
 - b. Masih utuhnya cangkang
 - c. Membesarnya rongga udara
 - d. Bobot telur normal
9. Komponen pada telur yang berfungsi sebagai pengemulsi adalah:
 - a. Putih telur
 - b. Lesitin
 - c. *Ovomucin*
 - d. *Lysozyme*

10. Protein utama pada susu yang jumlahnya sekitar 80% dari total protein pada susu adalah:
 - a. *Whey protein*
 - b. *Lactalbumin*
 - c. Kasein
 - d. *Lactoglobulin*
11. Jenis rumput laut cokelat yang sering dikonsumsi adalah
 - a. *Porphyra*
 - b. *Laminaria*
 - c. *Palmaria palmata*
 - d. *Eucheuma spinosum*
12. Berikut merupakan *seafood* yang termasuk *shellfish*, kecuali
 - a. Tiram
 - b. Udang
 - c. Lobster
 - d. Ikan tuna
13. Berikut ini merupakan senyawa penyusun dinding sel buah/sayur adalah
 - a. Selulosa
 - b. Hemiselulosa
 - c. Protopektin
 - d. Semua benar
14. Senyawa polifenol didalam daun teh yang memiliki sifat antioksidan tertinggi adalah:
 - a. *Epicatechin*
 - b. *Epigallocatechin gallate*
 - c. *Epicatechin gallate*
 - d. *Epigallocatechin* (EGC)

15. Komponen di dalam lada yang berperan dalam memberi rasa pedas (*pungency*) adalah :
- Oleoresin
 - Minyak atsiri
 - Fuli
 - Gingeron

Tugas Mandiri (*Challenge Questions*)

- Identifikasi bahan sumber protein (nabati dan hewani) yang ada, serta jelaskan perbedaan pada masing-masing bahan tersebut!
- Jelaskan satu fenomena yang dapat menjelaskan pengaruh karakteristik bahan pangan terhadap karakteristik pangan olahan selama proses pengolahan dan penyimpanan.
- Sebutkan produk-produk olahan dari lada, dan jelaskan cara memproduksi masing-masing olahan tersebut!

Bab

4

Bahan Tambahan Pangan

Ambar Rukmini dan Nuri Andarwulan

4.1 Pendahuluan

Kebutuhan pangan olahan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas manusia yang memerlukan pangan yang lebih praktis. Kebutuhan pangan ini dapat dipenuhi, baik dari segi kuantitas dan kualitas, dengan berkembangnya industri pangan secara pesat yang dapat memproduksi pangan secara masal (*mass production*), yang diikuti dengan inovasi pangan untuk memenuhi kebutuhan dan selera konsumen. Untuk memproduksi pangan dalam skala besar, industri pangan menggunakan bahan pangan, baik dalam bentuk bahan baku segar, bahan setengah jadi (ingridien), dan bahan tambahan pangan (BTP).

Dalam proses pengolahan pangan, BTP merupakan bagian dari formulasi yang ditambahkan untuk tujuan tertentu agar dihasilkan produk pangan yang lebih seragam (tekstur, penampakan, rasa, aroma, dan warna), serta dapat disimpan lebih lama. BTP juga digunakan untuk mempertahankan mutu, meningkatkan nilai gizi, memperbaiki sifat fungsional, memfasilitasi proses pengolahan, serta meningkatkan penerimaan konsumen. BTP dapat digunakan secara langsung pada bahan segar, atau ditambahkan ke dalam pangan selama proses pengolahan, pengemasan atau penyimpanan. Namun demikian, BTP dilarang digunakan untuk tujuan menyembunyikan kerusakan atau pembusukan pada pangan atau untuk menipu konsumen. Penggunaan

BTP juga tidak dianjurkan jika efek serupa dapat diperoleh secara lebih ekonomis tanpa menambahkan bahan apapun, tetapi dengan menerapkan praktik produksi pangan yang baik (*good manufacturing practices*).

Beberapa bahan telah digunakan selama berabad-abad, contohnya penggunaan cuka dalam pembuatan acar, atau penggunaan sulfur dioksida pada pembuatan anggur. Saat ini, bahan tersebut dikelompokkan sebagai BTP. Berkembangnya industri pangan dan munculnya berbagai jenis pangan olahan pada pertengahan abad ke-20, menyebabkan semakin banyak BTP yang dikembangkan dan digunakan, baik yang bersifat alami maupun sintetis/buatan. Banyak sekali BTP yang digunakan secara komersial, di antaranya yang umum adalah kelompok antioksidan atau antimikrobia (Pandey dan Upadhyay 2012).

BTP diizinkan untuk digunakan dalam proses pengolahan pangan apabila telah dibuktikan secara ilmiah aman untuk dikonsumsi dan ditetapkan berdasarkan peraturan pemerintah. Setiap negara memiliki peraturan penggunaan BTP, termasuk peraturan untuk pencantuman keterangan BTP pada label kemasan pangan sebagai informasi bagi konsumen. Bahan baru yang berpotensi digunakan sebagai BTP harus dikaji dahulu keamanannya sebelum diizinkan untuk digunakan. Di tingkat internasional, kajian keamanan BTP dilakukan oleh *Joint Expert Committee on Food Additive* (JECFA) yang merupakan salah satu komisi di *Codex Alimentarius Commission* (CAC).

Bab 4 ini membahas tentang peranan BTP dalam proses pengolahan pangan, jenis, fungsi dan pengelompokan BTP. Proses pengkajian keamanan BTP oleh Codex, dan penetapannya dalam peraturan BTP di Indonesia juga dibahas.

4.2 Mengenal Bahan Tambahan Pangan

Menurut Permenkes RI Nomor 33 Tahun 2012 dan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (PerBPOM) Nomor 11 Tahun 2019 tentang Bahan Tambahan Pangan, BTP yang digunakan dalam pangan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: (1) BTP tidak dimaksudkan untuk dikonsumsi secara langsung dan/atau tidak diperlakukan sebagai bahan

baku pangan; (2) BTP dapat mempunyai atau tidak mempunyai nilai gizi, yang sengaja ditambahkan ke dalam pangan untuk tujuan teknologis pada pembuatan, pengolahan, perlakuan, pengepakan, pengemasan, penyimpanan dan/atau pengangkutan pangan untuk menghasilkan atau diharapkan menghasilkan suatu komponen atau memengaruhi sifat pangan tersebut, baik secara langsung atau tidak langsung; dan (3) BTP tidak termasuk cemaran atau bahan yang ditambahkan ke dalam pangan untuk mempertahankan atau meningkatkan nilai gizi. BTP dapat digunakan secara tunggal atau campuran, dengan batas maksimal penggunaan sesuai ketentuan.

Penggunaan BTP (kelompok, jenis, dan kode *International Number System* atau INS) di Indonesia diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 33 Tahun 2012 (**Tabel 4.1**). BTP digolongkan menjadi 27 kelompok berdasarkan fungsinya. Untuk selanjutnya batas maksimal untuk setiap BTP ditetapkan dalam PerBPOM Nomor 11 Tahun 2019 yang mengatur penggunaan BTP berdasarkan kelompok, jenis dan kategori pangan. **Tabel 4.2** menyajikan contoh isi PerBPOM RI untuk pengawet (benzoat dan garamnya). Subbab berikut menjelaskan secara garis besar contoh dan penggunaan BTP untuk masing-masing kelompok.

4.2.1 Antibuih (*antifoaming agent*)

Antibuih merupakan BTP yang ditambahkan ke dalam pangan untuk mencegah atau mengurangi pembentukan buih yang terbentuk selama proses pengolahan, misalnya akibat proses pemanasan. Pembentukan buih di permukaan dapat menimbulkan masalah, seperti terjadinya luapan bahan yang menimbulkan genangan di sekitar peralatan. Hal ini dapat menimbulkan masalah keamanan kerja bagi karyawan pabrik. Pembentukan buih juga dapat mengurangi kecepatan proses, karena kapasitas wadah pemasakan menurun oleh adanya buih. Antibuih banyak digunakan di industri pangan, khususnya produk cair, seperti di industri minyak goreng atau yang menggunakan minyak goreng, dan industri minuman. Contoh antibuih yang banyak digunakan adalah kalsium alginat atau mono dan digliserida asam lemak.

Tabel 4.1 Bahan tambahan pangan yang diizinkan untuk digunakan dalam proses pengolahan pangan (cuplikan Permenkes Nomor 33 Tahun 2012)

| Kelompok BTP | Contoh |
|--|---|
| Antibuih (<i>antifoaming agent</i>) | Kalsium alginat (INS 404); Mono dan digliserida asam lemak (INS 471) |
| Antikempal (<i>anticaking agent</i>) | Kalsium karbonat (170 (i)), Natrium karbonat (INS 500(i)) |
| Antioksidan (<i>antioxidant</i>) | Asam askorbat (INS 300); Propil galat (INS 310) |
| Bahan pengkarbonasi (<i>carbonating agent</i>) | Karbon dioksida (INS 290) |
| Garam pengemulsi (<i>emulsifying salt</i>) | Natrium dihidrogen sitrat (INS 331(i)); Natrium tripolifostat (INS 451(ii)) |
| Gas untuk kemasan (<i>packaging gas</i>) | Karbon dioksida (INS 325); Nitrogen (INS 941) |
| Humektan (<i>humectant</i>) | Kalium laktat (INS 326); Gliserol (INS 422) |
| Pelapis (<i>glazing agent</i>) | Malam (INS 901); Lilin kandelila (INS 902) |
| Pemanis (<i>sweetener</i>) | Manitol (INS 421); Glikosida steviol (INS 960); Asesulfam-K (INS 950); |
| Pembawa (<i>carrier</i>) | Trietil sitrat (INS 1505); Propilen glikol (INS 1520) |
| Pembentuk gel (<i>gelling agent</i>) | Natrium alginat (INS 401); Gelatin (INS 428) |
| Pembuih (<i>foaming agent</i>) | Gom xanthan (INS 415); Etil metil selulosa (INS 465) |
| Pengatur keasaman (<i>acidity regulator</i>) | Asam asetat (INS 260); Natrium laktat (INS 325) |
| Pengawet (<i>preservative</i>) | Natrium sorbat (INS 201); Natrium benzoat (INS 211) |
| Pengembang (<i>raising agent</i>) | Natrium karbonat (INS 500(i)); Glukono delta lakton (INS 575) |
| Pengemulsi (<i>emulsifier</i>) | Lesitin (INS 322(i)); Polisorbitat 20 (INS 432) |
| Pengental (<i>thickener</i>) | Karagen (INS 407); Pektin (INS 440); Dipati fosfat (INS 1412) |
| Pengeras (<i>firming agent</i>) | Kalsium klorida (INS 509); Kalsium glukonat (INS 578) |
| Penguat rasa (<i>flavour enhancer</i>) | Mononatrium L-glutamat (INS 621); Asam 5'-inosinat (INS 630) |
| Peningkat volume (<i>bulking agent</i>) | Natrium laktat (INS 325); Propilen glikol alginat (INS 405); |

Tabel 4.1 Bahan tambahan pangan yang diizinkan untuk digunakan dalam proses pengolahan pangan (cuplikan Permenkes Nomor 33 Tahun 2012) (lanjutan)

| Kelompok BTP | Contoh |
|---|--|
| Penstabil (<i>stabilizer</i>) | Kalsium asetat (INS 263); Kalsium fosfat (INS 341) |
| Peretensi warna (<i>color retention agent</i>) | Magnesium karbonat (INS 504(i)); Magnesium hidroksida (INS 528) |
| Perisa (<i>flavoring</i>) | Perisa alami; Perisa identik alami; Perisa artifisial |
| Perlakuan tepung (<i>flour treatment agent</i>) | Kalsium oksida (INS 529); α -Amilase (INS 1100) |
| Pewarna (<i>colour</i>) | Kurkumin CI. No. 75300 (INS 100(i)); Klorofil CI. No. 75810 (INS 140); Tartrazin CI. No. 19140 (INS 102) |
| Propelan (<i>propellant</i>) | Dinitrogen monooksida (INS 942); Propana (INS 944) |
| Sekuestran (<i>sequestrant</i>) | Isopropil sitrat (INS 384); Kalium glukonat (INS 577) |

Tabel 4.2 Contoh batas maksimal penggunaan bahan tambahan pangan pengawet (benzoat dan garamnya) berdasarkan kategori pangan

| No. Kategori Pangan | Kategori Pangan | Batas Maksimal (mg/kg) |
|---------------------|--|------------------------|
| 01.7 | Makanan pencuci mulut berbahan dasar susu (es susu, puding, buah dan yoghurt berperisa) | 200 |
| 02.2.1.2 | Margarin dan produk sejenis (misalnya campuran mentega-margarin) | 1000 |
| 02.2.2 | Emulsi yang mengandung lemak kurang dari 80% (mis: minarine) | 1000 |
| 02.3 | Emulsi lemak selain kategori 02.2.2 | 1000 |
| 02.4 | Makanan penutup atau pencuci mulut berbasis lemak | 1000 |
| 04.1.2.5 | Jem, jeli (oles) dan marmalade | 200 |
| 04.1.2.6 | Produk oles berbasis buah (misalnya <i>chutney</i>) yang tidak termasuk produk pada kategori 04.1.2.5 | 1000 |
| 04.1.2.8 | Bahan baku berbasis buah-buahan, meliputi bubur buah, <i>puree</i> , toping buah dan santan kelapa | 1000 |

Tabel 4.2 tersebut merupakan cuplikan PerBPOM RI Nomor 11 Tahun 2019 tentang Bahan Tambah Pangan untuk kelompok pengawet jenis benzoat dan garamnya.

4.2.2 Antikempal (*anticaking agent*)

Antikempal merupakan BTP yang digunakan untuk mencegah mengempalnya produk pangan yang berbentuk serbuk, seperti kopi, kakao bubuk, bubuk sup (sup instan), susu bubuk dan krim, keju parut, *icing sugar*, *baking powder*, adonan kue, ataupun garam meja. Pengempalan menyebabkan produk *powder* tidak bersifat mengalir (*flowable*), sehingga dapat menjadi masalah pada saat tahap pergerakan bahan atau selama pengemasan. Di antara antikempal yang banyak digunakan adalah kalsium karbonat, trikalsium fosfat, selulosa mikrokristalin, selulosa bubuk, asam miristat, palmitat dan stearat dan garamnya (kalsium, kalium, dan natrium (Ca, K, Na), magnesium stearat, garam dari asam oleat dengan kalsium, kalium dan natrium (Ca, K, Na), natrium karbonat, magnesium karbonat, magnesium oksida, talk, natrium ferro sianida, kalium ferro sianida, kalsium ferro sianida, silikon dioksida halus (*amorphous*), kalsium silikat, magnesium silikat, natrium aluminosilikat, dan kalium aluminium silikat.

4.2.3 Antioksidan (*antioxidant*)

Antioksidan merupakan BTP yang digunakan untuk mencegah atau menghambat kerusakan pangan akibat reaksi oksidasi, sehingga dapat memperpanjang umur simpannya. Oleh karena itu, antioksidan biasanya ditambahkan ke dalam proses pengolahan pangan yang di dalam formulasinya mengandung bahan yang mudah teroksidasi. Contoh bahan yang mudah teroksidasi adalah lemak tidak jenuh dan vitamin C. Berbagai jenis antioksidan dan bekerja dengan mekanisme berbeda, tetapi hasil akhirnya adalah menunda atau meminimalkan terjadinya oksidasi.

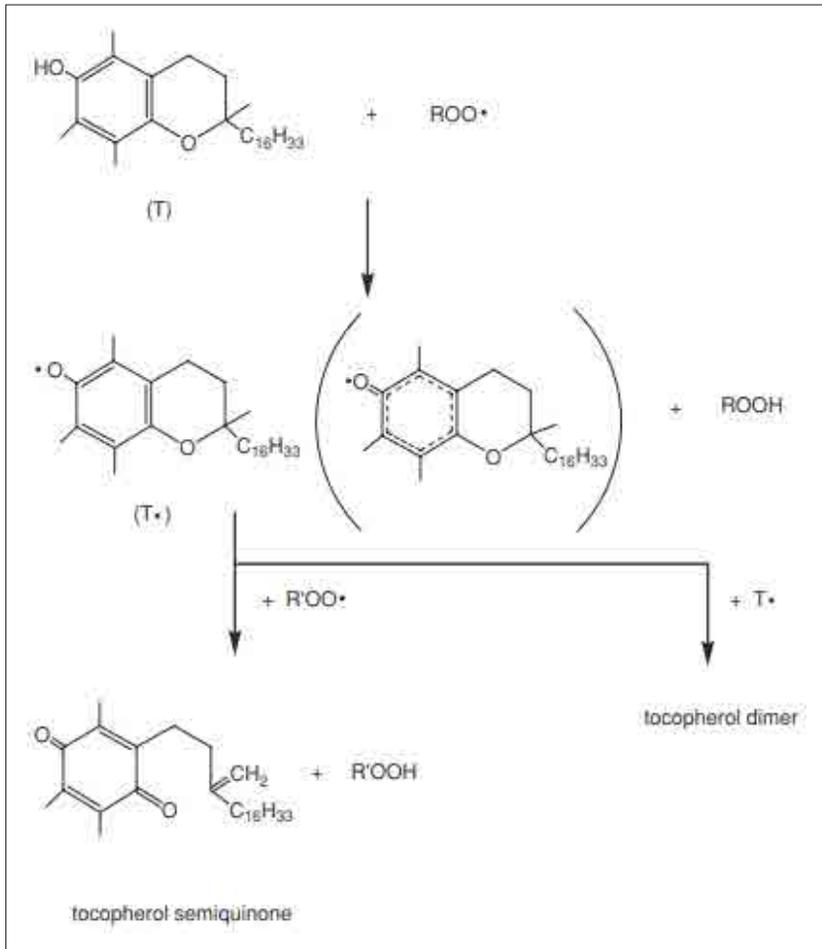
Pada produk pangan yang mengandung lemak, antioksidan digunakan untuk menghambat atau mencegah terjadinya reaksi oksidasi lemak yang dapat memicu ketengikan produk pangan yang mengandung lemak tinggi, seperti minyak goreng atau produk yang dilakukan proses penggorengan

(*snack*, mi instan, dsb) (pembahasan mekanisme oksidasi lemak dibahas di Bab 6). Untuk pangan yang mengandung lemak, maka antioksidan yang efektif adalah yang bersifat larut lemak, seperti *tertiary butylhydroquinone* (TBHQ), *butylated hydroxyanisole* (BHA), *butylated hydroxytoluene* (BHT), tokoferol, dan propil galat. Antioksidan juga dapat ditambahkan pada produk non-lemak untuk mencegah reaksi oksidasi, contohnya pada produk jus. Jenis antioksidan yang sesuai untuk digunakan dalam produk berbasis air adalah yang larut air, seperti asam askorbat dan garamnya (natrium askorbat, kalsium askorbat, kalium askorbat), askorbil palmitat, askorbil stearat, asam eritorbat, dan natrium eritorbat.

Berikut ini diberikan satu contoh bagaimana α -tokoferol berperan sebagai antioksidan dalam menghambat reaksi oksidasi lemak. Tokoferol merupakan vitamin E yang bersifat antioksidatif dengan menetralkan radikal bebas (seperti peroksida) dengan mendonorkan satu elektron, sehingga membentuk molekul yang stabil dan reaksi oksidasi dapat terhenti. Tokoferol sendiri menjadi bersifat radikal, namun kurang reaktif dibandingkan dengan radikal bebas yang dinetralkannya, dan dapat segera dinetralkan oleh radikal tokoferol lainnya dan/atau bereaksi dengan radikal bebas, sehingga dapat mengakhiri kondisi radikalnya (**Gambar 4.1**).

4.2.4 Bahan Pengarbonasi (*carbonating agent*)

Bahan pengarbonasi merupakan BTP untuk membentuk karbonasi di dalam pangan. Bahan pengarbonasi yang diizinkan adalah karbon dioksida (CO_2). Bahan tersebut digunakan dalam berbagai minuman ringan bersoda (*soft drink*).



Gambar 4.1 Reaksi α -tokoferol dengan radikal peroksi lipid (R, R = *alkyl group*) (Choe dan Min 2009)

4.2.5 Garam Pengemulsi (*emulsifying salt*)

Garam pengemulsi merupakan BTP yang digunakan untuk membantu menjaga kestabilan emulsi minyak dan air. Pada umumnya merupakan senyawa organik yang memiliki dua gugus; gugus polar di satu sisi dan non-polar di sisi lainnya, sehingga dapat menjembatani bercampurnya minyak dengan air. Garam pengemulsi sering digunakan untuk mendispersikan protein dalam

keju, sehingga mencegah pemisahan lemaknya. Selain itu, garam pengemulsi dapat digunakan sebagai penstabil adonan (misalnya *cake*). Mekanismenya adalah dengan membantu aerasi pada saat pengocokan telur sehingga mampu meningkatkan stabilitas adonan dan membuat tekstur *cake* menjadi lebih lembut. Garam pengemulsi yang diizinkan untuk digunakan antara lain adalah natrium atau kalium dihidrogen sitrat, natrium tripolifosfat (STPP) atau garam kaliumnya, gelatin, lesitin, gula ester dari asam lemak (di pasaran dikenal dengan SP), mono dan digliserida (di pasaran dikenal dengan TBM atau ovalet), serta garam pengemulsi lain yang disebutkan dalam PerBPOM Nomor 11 Tahun 2019.

4.2.6 Gas untuk Kemasan (*packaging gas*)

Gas untuk kemasan merupakan BTP berupa gas, yang dimasukkan ke dalam kemasan pangan sebelum, saat atau setelah kemasan diisi dengan pangan untuk mempertahankan mutu dan melindunginya dari kerusakan. Jenis gas yang diizinkan digunakan adalah karbon dioksida (CO₂) dan nitrogen (N₂). Penggunaan gas ini dapat ditemui pada produk *snack* (misalnya *potato chips*). Di samping untuk menahan tekanan akibat penumpukan, penggunaan gas *inert* juga dapat mengusir oksigen di dalam kemasan sehingga dapat memperlambat laju oksidasi lemak.

4.2.7 Humektan (*humectant*)

Humektan merupakan BTP yang digunakan untuk mempertahankan kelembaban pangan. Zat yang berperan sebagai humektan menarik dan mempertahankan kelembaban udara sekitarnya dengan cara menyerap dan mengikat air. Contoh humektan yang diizinkan adalah natrium laktat, kalium laktat, natrium hidrogen malat, natrium malat, gliserol, sorbitol, dan triasetin. Contoh penggunaan humektan adalah gula alkohol (seperti sorbitol) dalam pembuatan dodol yang ditambahkan untuk menurunkan aktivitas air (a_w) dodol di bawah a_w pertumbuhan mikroba, sehingga dodol tidak mudah ditumbuhi kapang. Gugus hidroksil pada gula alkohol mampu mengikat air lebih banyak dibandingkan sukrosa atau dekstrosa.

4.2.8 Pelapis (*glazing agent*)

Pelapis merupakan BTP alami maupun sintetis yang digunakan untuk melapisi permukaan pangan, sehingga mencegah kehilangan air dan memberikan efek perlindungan dan/atau penampakan mengkilap. BTP ini digunakan untuk melapisi buah segar agar tidak cepat mengalami dehidrasi. Jenis yang diizinkan untuk digunakan adalah malam, lilin kandelila, lilin karnauba, lilin mikrokristalin, syelak, dan pululan.

4.2.9 Pemanis (*sweetener*)

Pemanis merupakan BTP berupa pemanis alami maupun sintetis yang memberikan rasa manis pada produk pangan. Pemanis alami (*natural sweetener*) yaitu pemanis yang dapat ditemukan dalam bahan alam, meskipun prosesnya secara sintetik ataupun fermentasi, contohnya sorbitol, manitol, isomalt/isomaltitol, thaumatokocin, glikosida steviol, maltitol, laktitol, silitol, dan eritritol. Pemanis buatan (*artificial sweetener*) adalah pemanis yang diproses secara kimiawi, dan senyawa tersebut tidak terdapat di alam, contohnya asesulfam-K, aspartam, siklamat, sakarin, sukralosa, dan neotam. Pemanis buatan tidak dapat digunakan pada produk pangan yang khusus diperuntukkan bagi bayi, anak usia di bawah tiga tahun, ibu hamil dan/atau ibu menyusui.

Asesulfam-K memiliki tingkat kemanisan 130–200 kali lebih manis dibanding sukrosa. Zat tersebut tidak dimetabolisme oleh tubuh sehingga tidak menghasilkan kalori. Kelemahan zat tersebut adalah jika digunakan dalam jumlah besar, memiliki *after taste* pahit. Pemanis ini tahan panas; sering digunakan pada awetan buah, produk susu dan berbagai jenis minuman.

Aspartam ditemukan secara alami dalam makanan kaya protein, yang memiliki tingkat kemanisan dua kali lebih manis dibanding sukrosa. Disintesa dalam bentuk *aspartylphenylalanine-1-methyl ester* atau merupakan metil ester dari dipeptida dua macam asam amino, yaitu asam aspartat dan fenilalanin. Saat dicerna dalam tubuh, aspartam akan terurai menjadi asam aspartat, fenilalanin, dan methanol sehingga tidak cocok bagi penderita fenilketonuria. Aspartam dijual dengan nama dagang Equal, Nutrasweet, atau Canderel. Pemanis ini dapat digunakan untuk semua jenis makanan, minuman, dan obat-obatan.

Siklamat merupakan pemanis bebas kalori, dengan kemanisan 30–50 kali lebih manis dibanding gula. Siklamat stabil pada suhu tinggi, memiliki rasa yang menyenangkan, dapat digunakan dalam kombinasi dengan pemanis lain, dan ekonomis sehingga sangat menguntungkan bagi produsen pangan olahan. Namun, beberapa negara seperti Amerika Serikat dan Kanada melarang penggunaannya karena dapat menyebabkan kanker kandung kemih pada hewan coba.

Sakarín adalah pemanis sintesis rendah kalori yang paling awal digunakan memiliki kemanisan 300–500 kali lebih manis dibanding gula sehingga paling banyak digunakan.

Sukralosa merupakan pemanis sintesis yang memiliki kemanisan 600 kali lebih manis dibanding sukrosa. Pemanis ini tidak dicerna di dalam tubuh dan tidak berpengaruh pada kadar gula darah dan asupan kalori, sehingga aman bagi penderita diabetes. Tidak seperti aspartam, sukralosa tahan terhadap suhu tinggi. Penggunaannya dalam proses memasak (bahkan pada pemanggangan) tidak akan mengubah bentuk zatnya sehingga aman dikonsumsi. Pemanis ini juga tidak meninggalkan rasa pahit di lidah, walaupun memiliki tingkat kemanisan sangat tinggi. Di pasaran dikenal dengan nama Splenda yang dapat ditemui pada berbagai produk makanan dan minuman, seperti permen karet, gelatin, dan makanan beku.

Neotam memiliki kemanisan 8.000 kali lebih tinggi dibanding sukrosa. Neotam banyak digunakan pada makanan dengan kalori rendah.

4.2.10 Pembawa (*carrier*)

Pembawa adalah BTP yang digunakan untuk memfasilitasi penanganan, aplikasi atau penggunaan BTP lain atau zat gizi di dalam pangan dengan cara melarutkan, mengencerkan, mendispersikan atau memodifikasi secara fisik BTP lain atau zat gizi tanpa mengubah fungsinya dan tidak mempunyai efek teknologi pada pangan. Jenis pembawa yang diizinkan adalah sukrosa asetat isobutirat, trietil sitrat, propilen glikol, dan polietilen glikol.

4.2.11 Pembentuk Gel (*gelling agent*)

Pembentuk gel merupakan BTP yang berfungsi untuk membentuk gel atau untuk mengentalkan dan menstabilkan berbagai produk pangan, seperti jeli, makanan penutup, dan permen. Jenis yang diizinkan untuk digunakan dalam produk pangan adalah asam alginat beserta garamnya (natrium, kalium, kalsium), agar-agar, karagenan, rumput laut *eucheuma* olahan, gelatin, dan pektin.

4.2.12 Pembuih (*foaming agent*)

Pembuih adalah BTP yang digunakan untuk memfasilitasi pembentukan buih atau pembuat gelembung. Sifatnya seperti surfaktan, dalam jumlah sedikit, akan menurunkan tegangan permukaan cairan (mengurangi kerja yang dibutuhkan untuk membuat buih) atau meningkatkan stabilitas koloid dengan menghambat penyatuan gelembung. Sebagai BTP, pembuih berguna untuk membentuk atau memelihara homogenitas dispersi fase gas dalam pangan berbentuk cair atau padat. Pembuih teradsorpsi ke daerah antar-fase dan mengikat gelembung gas sehingga diperoleh buih yang stabil. BTP ini dapat dijumpai pada produk minuman berbasis susu yang berperisa, yoghurt, *cheese tea* atau *whip* krim. Jenis yang diizinkan penggunaannya adalah gom xanthan, selulosa mikrokristalin, etil metil selulosa, ekstrak quillaia tipe 1, dan ekstrak quillaia tipe 2.

Gom xanthan adalah polisakarida hasil fermentasi aerob dari karbohidrat oleh bakteri *Xanthomonas campestris*. Gom xanthan bersifat pseudoplastik, tidak sensitif terhadap pH, suhu, dan konsentrasi elektrolit, memiliki viskositas tinggi pada konsentrasi rendah, serta mudah larut dalam air panas atau air dingin. Gom xanthan mampu menciptakan tekstur lembut pada es krim. Selain sebagai bahan pembuih, gom xanthan juga dapat digunakan sebagai pengental atau pengental produk pangan.

Selulosa mikrokristalin merupakan selulosa murni yang diisolasi dari α -selulosa bahan tanaman berserat dengan asam mineral. Selulosa mikrokristalin dapat mengontrol pembentukan kristal es, sehingga dihasilkan es dengan tekstur

yang lembut tanpa gangguan dari kristal es tersebut. Selulosa mikrokristalin juga dapat berfungsi sebagai antiekspansi, pengemulsi, pengental, peningkat volume, penstabil, dan pengganti lemak pada produk daging, susu, atau *confectionary*.

4.2.13 Pengatur Keasaman (*acidity regulator*)

Pengatur keasaman adalah BTP yang digunakan untuk mengasamkan, menetralkan dan/atau mempertahankan derajat keasaman (pH) pangan, baik untuk menurunkan maupun menaikkan pH. Pengatur keasaman dapat bertindak sebagai bahan pengawet, penegas rasa dan warna, atau menutupi *after taste* yang tidak disukai. Unsur yang menyebabkan rasa asam adalah ion H^+ atau H_3O^+ . Pengatur keasaman dapat dikelompokkan sebagai pengasam, pembasa, dan pendapar/penetral.

Pengatur keasaman antara lain digunakan pada produk jus, saus, minuman berbasis air berperisa, termasuk minuman elektrolit atau minuman berpartikel, telur yang diawetkan (dibasakan, diasinkan, atau dikalengkan), salad, margarin, cuka makan, sup, dan kaldu. Di antara jenis pengatur keasaman yang diizinkan adalah asam asetat dan turunannya, asam sitrat dan garamnya, asam tartrat, asam adipat dan garamnya, garam karbonat, glukono delta lakton, kalsium glukonat, dsb.

4.2.14 Pengawet (*preservative*)

Pengawet adalah BTP yang digunakan untuk memperpanjang umur simpan produk pangan dengan mencegah atau menghambat fermentasi, pengasaman, penguraian, dan kerusakan pangan akibat aktivitas mikroorganisme. Jenis yang diizinkan untuk digunakan dalam pangan adalah asam sorbat dan garamnya, asam benzoat dan garamnya, etil para-hidroksibenzoat, metil para-hidroksibenzoat, sulfit dan garamnya, nisin, natamisin, garam nitrit/nitrat, asam propionat dan garamnya, dan lisozim hidroklorida.

Asam benzoat dan garam benzoat digunakan untuk memperpanjang umur simpan dan melindungi produk pangan dari jamur dan bakteri. Pada umumnya dijumpai dalam produk bakeri, minuman ringan, bir, margarin, dan makanan asam. Nitrit dan nitrat berfungsi untuk melindungi produk

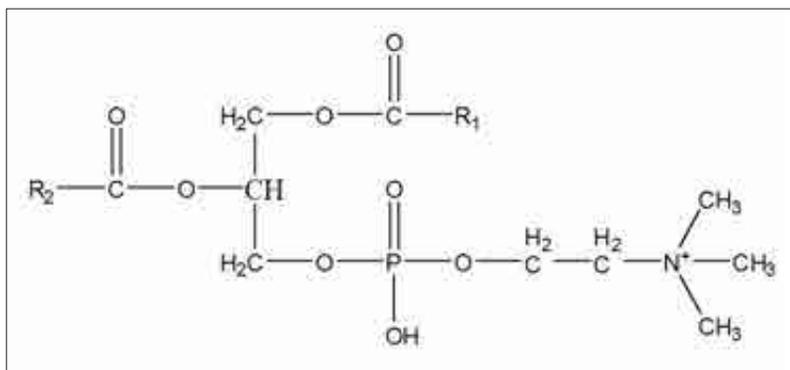
pangan dari kerusakan akibat jamur dan bakteri, juga untuk mempertahankan warna daging dan buah-buahan kering, dan daging olahan (sosis, *hot dog*, *bacon*, *ham*, *luncheon meats*, dan ikan asap). Sulfit dapat memperpanjang umur simpan dan melindungi produk pangan dari serangan jamur dan bakteri. Sulfit banyak digunakan dalam buah-buahan kering, kelapa parut, dan buah-buahan pengisi *pie*.

4.2.15 Pengembang (*raising agent*)

Pengembang adalah BTP berupa senyawa tunggal atau campuran untuk melepaskan gas sehingga meningkatkan volume adonan. Jenis yang diizinkan untuk digunakan dalam pangan adalah diamonium hidrogen fosfat, natrium karbonat, natrium hidrogen karbonat, kalium hidrogen karbonat, amonium karbonat, amonium hidrogen karbonat, natrium aluminium fosfat, glukono delta lakton, dekstrin, dan pati asetat.

4.2.16 Pengemulsi (*emulsifier*)

Emulsi adalah campuran dari dua cairan yang biasanya tidak bisa bergabung, seperti minyak/lemak dan air, sehingga mudah terpisah. Sistem pangan banyak merupakan bentuk emulsi, sehingga agar tidak mudah terpisah diperlukan bahan yang dapat mempersatukannya. Bahan ini disebut sebagai pengemulsi atau emulsifier, yaitu zat yang dapat mempertahankan sistem dispersi lemak dalam air dan sebaliknya. Pengemulsi merupakan BTP yang digunakan untuk membantu terbentuknya campuran yang homogen dari dua atau lebih fase yang tidak tercampur. Mekanisme pengemulsi adalah melalui kemampuannya mengikat gugus polar (hidrofilik) dan gugus non-polar (hidrofobik). Contoh pengemulsi adalah lesitin (fosfatidilkolin) yang memiliki gugus bipolar, yaitu ester fosfat yang bersifat polar (hidrofilik) dan dua rantai asam lemak yang bersifat non-polar (hidrofobik) (**Gambar 4.2**). Jenis pengemulsi lain yang diizinkan sangat banyak, di antaranya kalsium karbonat, lesitin, natrium laktat, kalsium laktat, garam sitrat, garam fosfat, garam aginat, agar-agar, gom gelatin, polisorbit, pektin, dsb.



Gambar 4.2 Lesitin (fosfatidilkolin)

4.2.17 Pengental (*thickener*)

Pengental adalah BTP yang digunakan untuk menstabilkan, memekatkan, atau meningkatkan viskositas pangan yang dicampur dengan air sehingga membentuk kekentalan tertentu tanpa merubah sifat lainnya secara substansial. Pengental dapat membantu pembentukan dan pematapan sistem dispersi yang homogen pada produk makanan dan minuman. Peningkatan kekentalan produk akan menghalangi bergabungnya zat yang terdispersi menjadi globula yang lebih besar. Oleh karena itu, BTP ini juga dapat berfungsi sebagai penstabil (*stabilizer*) dan pengemulsi (*emulsifier*).

Pengentalan bahan pangan cair dapat digunakan hidrokoloid, gom dan bahan polimer sintesis, seperti karagenan, agar, pektin, gum arab, dan karboksi metil selulosa (CMC). CMC merupakan turunan selulosa yang sering digunakan dalam industri pangan untuk memperoleh tekstur yang baik. Penggunaan CMC pada pembuatan es krim akan memperbaiki tekstur dan kristal laktosa yang terbentuk menjadi lebih halus. Sebagai pengental, CMC mampu mengikat air sehingga molekul air terperangkap dalam struktur gel yang dibentuk oleh CMC, sehingga gel yang terbentuk juga menjadi lebih stabil. Sebagai pengemulsi, CMC sangat baik dalam memperbaiki tekstur produk berkadar gula tinggi, misalnya es krim.

4.2.18 Pengeras (*firming agent*)

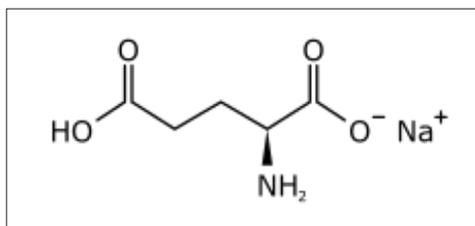
Pengeras merupakan BTP yang digunakan untuk memperkeras atau mempertahankan jaringan buah dan sayuran, atau berinteraksi dengan bahan pembentuk gel untuk memperkuat gel. Jenis yang diizinkan adalah kalsium laktat, trikalsium sitrat, kalium klorida, kalsium klorida, kalsium sulfat, dan kalsium glukonat. BTP ini sering digunakan pada pembuatan keripik, piket, atau buah dalam kaleng.

Bahan pangan dapat tetap keras teksturnya karena ion kalsium bervalensi dua yang ditambahkan sebagai bahan pengeras membentuk ikatan silang dengan gugus karboksil dari pektin yang terdapat di dalam dinding sel, sehingga terbentuk jaringan molekul kalsium pektat yang tidak larut air. Hal tersebut menyebabkan jaringan sel menjadi keras dan lebih tahan terhadap pengaruh mekanis.

4.2.19 Penguat Rasa (*flavour enhancer*)

Penguat rasa merupakan BTP yang berfungsi untuk memperkuat atau memodifikasi rasa dan/atau aroma yang telah ada dalam bahan pangan tersebut tanpa memberikan rasa dan/atau aroma baru. Penguat rasa dapat diekstraksi dari sumber-sumber alami (melalui distilasi, ekstraksi menggunakan pelarut, maserasi, atau metode lainnya) atau dibuat secara sintetis. Jenis penguat rasa yang diizinkan untuk digunakan dalam pangan adalah asam L-glutamat dan garamnya, asam guanilat dan garamnya, asam inosinat dan garamnya, dan garam-garam dari 5'-ribonukleotida.

Glutamat merupakan penguat rasa yang paling banyak digunakan, terutama monosodium glutamat (MSG) (**Gambar 4.3.**). Zat tersebut terdapat dalam bentuk D-, L-, dan sebagai campuran rasemat. Bentuk L- merupakan isomer yang terdapat secara alami dan memiliki sifat sebagai pembangkit cita rasa. Zat tersebut menstimulasi sel reseptor rasa, sehingga lebih peka dan dapat menikmati rasa dengan lebih baik, rasa gurih yang sering disebut sebagai umami. Sementara isomer D- tidak menunjukkan potensi tersebut.



Gambar 4.3 Monosodium glutamat (MSG)

4.2.20 Peningkat Volume (*bulking agent*)

Peningkat volume merupakan BTP yang digunakan untuk meningkatkan volume pangan tanpa memengaruhi nilai gizinya. Peningkat volume sering digunakan pada susu dan hasil olahannya, lemak dan minyak nabati, produk bakeri, produk olahan daging, ikan dan produk perikanan, suplemen pangan, dsb. BTP ini juga dapat berfungsi sebagai humektan, pengatur keasaman, pengemulsi, pengental, penstabil, dan/atau pembentuk gel. Jenis peningkat volume yang diizinkan adalah natrium laktat, alginat, agar-agar, karagenan, gum, dan jenis lain yang disebutkan dalam PerBPOM Nomor 11 tahun 2019.

4.2.21 Penstabil (*stabilizer*)

Penstabil merupakan BTP yang digunakan untuk menstabilkan sistem dispersi yang homogen dari dua atau lebih komponen pada pangan. Penstabil dapat meningkatkan viskositas bahan pangan yang diolah, sehingga akan menghalangi bergabungnya beberapa butiran zat terdispersi menjadi butiran yang lebih besar (mencegah flokulasi). Zat tersebut juga mampu mengikat air bebas dalam jumlah banyak, sehingga tekstur produk yang dihasilkan menjadi lebih lembut. Jenis penstabil yang diizinkan adalah kalsium karbonat, kalsium asetat, asam fumarat, lesitin, alginat, agar-agar, karagenan, rumput laut *eucheuma* olahan, gom, gliserol, gelatin, pektin, dan jenis lain yang disebutkan dalam PerBPOM Nomor 11 tahun 2019.

4.2.22 Peretensi Warna (*colour retention agent*)

Peretensi warna merupakan BTP yang berfungsi untuk mempertahankan, menstabilkan, atau memperkuat intensitas warna pangan tanpa menimbulkan warna baru. Jenis yang diizinkan adalah magnesium karbonat, magnesium hidroksida, dan ferro glukonat. Peretensi warna bekerja dengan cara menyerap atau mengikat oksigen sebelum dapat merusak makanan (antioksidan). Misalnya, asam askorbat (vitamin C) sering ditambahkan ke buah berwarna cerah seperti buah persik saat pengalengan.

4.2.23 Perisa (*flavouring*)

Perisa merupakan BTP berupa preparat konsentrat dengan atau tanpa ajudan perisa (*flavouring adjunct*) yang digunakan untuk memberi rasa dengan pengecualian rasa asin, manis, dan asam. Perisa dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu perisa alami, perisa identik alami, dan perisa sintetis. Perisa alami adalah senyawa perisa yang diperoleh melalui proses fisik, mikrobiologis atau enzimatik dari bahan tumbuhan atau hewan, yang diperoleh secara langsung atau setelah melalui proses pengolahan. Perisa identik alami adalah perisa yang didapatkan secara sintetis atau diisolasi melalui proses kimia dari bahan baku alami dan secara kimia identik dengan senyawa yang ada dalam produk alami. Perisa sintetis adalah perisa yang dibuat dari bahan kimia dan tidak terdapat di alam. Contohnya adalah etilvanillin yang mempunyai aroma vanilla.

Berdasarkan jenisnya, perisa dapat dibedakan berdasarkan bahan baku aromatik alami, preparat perisa, perisa asap, dan perisa hasil proses panas. Bahan baku aromatik alami (*natural aromatic raw material*) merupakan bahan baku yang berasal dari tumbuhan atau hewan yang cocok untuk digunakan dalam penyiapan, pembuatan dan pengolahan perisa alami. Bahan baku tersebut termasuk bahan pangan, rempah-rempah, herbal, dan sumber tumbuhan lainnya yang tepat untuk penggunaan yang dimaksud. Contoh perisa jenis ini adalah bubuk bawang, bubuk cabe, irisan daun jeruk, potongan daun salam, dan irisan jahe.

Preparat perisa (*flavouring preparate*), yaitu bahan yang disiapkan atau diproses untuk memberikan rasa yang diperoleh melalui proses fisik, mikrobiologis, atau enzimatis dari bahan pangan tumbuhan maupun hewan yang diperoleh secara langsung atau setelah melalui proses pengolahan. Bahan tersebut sesuai untuk konsumsi manusia pada kadar penggunaannya, tetapi tidak ditujukan untuk dikonsumsi langsung. Contoh jenis ini adalah minyak jeruk, ekstrak teh, oleoresin paprika, keju bubuk, ekstrak ragi.

Perisa asap (*smoke flavouring*), yaitu preparat perisa yang diperoleh dari kayu keras termasuk serbuk gergaji, tempurung dan tanaman berkayu yang tidak mengalami perlakuan dan tidak terkontaminasi melalui proses pembakaran yang terkontrol atau distilasi kering atau perlakuan dengan uap yang sangat panas, dan selanjutnya dikondensasikan serta difraksinasi untuk mendapatkan rasa yang diinginkan.

Perisa hasil proses panas (*processed flavouring*), yaitu preparat perisa dari bahan atau campuran bahan yang diizinkan digunakan dalam pangan, atau yang secara alami terdapat dalam pangan atau diizinkan digunakan dalam pembuatan perisa hasil proses panas, pada kondisi yang setara dengan suhu dan waktu tidak lebih dari 180°C (356°F) selama 15 menit serta pH tidak lebih dari 8,0; antara lain perisa yang dihasilkan dari gula pereduksi dan asam amino.

4.2.24 Perlakuan Tepung (*flour treatment agent*)

Perlakuan tepung adalah BTP yang ditambahkan pada tepung untuk memperbaiki warna, mutu adonan dan/atau pemanggangan, termasuk bahan pengembang adonan, pemucat dan pematang tepung. Jenis perlakuan tepung yang diizinkan adalah L-amonium laktat, natrium stearoil-2-laktilat, amonium klorida, kalsium sulfat, dan kalsium oksida.

4.2.25 Pewarna (*colouring*)

Pewarna merupakan BTP yang digunakan untuk memberi atau memperbaiki warna pangan; dapat berupa pewarna alami maupun pewarna sintesis. Pewarna alami (*natural food colouring*), yaitu pewarna yang dibuat

melalui proses ekstraksi, isolasi, atau derivatisasi (sintesis parsial) dari tumbuhan, hewan, mineral atau sumber alami lain, termasuk pewarna identik alami. Pewarna sintetis (*synthetic food colouring*), yaitu pewarna yang diperoleh secara sintesis kimiawi. Contoh pewarna alami dan sintetis yang digunakan disajikan pada **Tabel 4.3**. Setiap pewarna biasanya diberikan kode *color index* (CI).

Tabel 4.3 Contoh pewarna alami dan sintetis yang diizinkan sebagai bahan tambahan pangan

| Pewarna Alami | Pewarna Sintetis |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Kurkumin (CI. No. 75300) • Riboflavin, riboflavin sintetis (Riboflavin 5'-natrium fosfat dan Riboflavin dari <i>Bacillus subtilis</i>), • Karmin dan ekstrak cochineal (CI. No. 75470) • Klorofil (CI. No. 75810) • Klorofil dan klorofilin tembaga kompleks (CI. No. 75810) • Karamel I, karamel II kaustik sulfit proses, karamel III amonia proses, karamel IV amonia sulfit proses • Karbon tanaman (CI. 77266) • Beta-karoten (sayuran) (CI. No. 75130) • Ekstrak anato (CI. No. 75120) • Karotenoid (beta-karoten (sintetik) (CI. No. 40800) • Beta-karoten dari <i>Blakeslea trispora</i>, ekstrak likopen dari tomat, beta-apo-8'-karotenal (CI. No. 40820) • Etil ester dari beta-apo-8' asam karotenoat (CI. No. 40825) • Merah bit, antosianin, titanium dioksida (CI. No. 77891) | <ul style="list-style-type: none"> • Tartrazin (CI. No. 19140) • Kuning kuinolin (CI. No. 47005) • Kuning FCF (CI. No. 15985) • Karmoisin (CI. No. 14720) • Ponceau 4R (CI. No. 16255) • Eritrosin (CI. No. 45430) • Eritrosin (CI. No. 45430) • Indigotin (CI. No. 73015) • Biru berlian FCF (CI No. 42090) • Hijau FCF (CI. No. 42053) • Coklat HT (CI. No. 20285) |

4.2.26 Propelan (*propellant*)

Propelan merupakan BTP berupa gas yang berfungsi untuk mendorong pangan keluar dari kemasan. Jenis yang diizinkan adalah nitrogen, dinitrogen monooksida, butana, dan propana.

4.2.27 Sekuestran (*sequestrant*)

Sekuestran merupakan BTP yang dapat meningkatkan stabilitas dan kualitas pangan. Sekuestran membentuk kompleks dengan ion logam polivalen yang terdapat di dalam pangan, terutama tembaga, besi, dan nikel; yang berfungsi sebagai katalis dalam oksidasi. Dengan demikian, sekuestran juga berperan sebagai pengawet. Jenis yang diizinkan adalah kalsium dinatrium etilen diamin tetra asetat (CaNa_2EDTA), isopropil sitrat, natrium glukonat, dan kalium glukonat.

4.3 Kajian Keamanan Bahan Tambahan Pangan

Sebagaimana dijelaskan di atas, jenis dan batas penggunaan BTP diatur oleh pemerintah, PerBPOM-RI Nomor 11 Tahun 2019 tentang Bahan Tambahan Pangan yang merupakan aturan teknis dari Undang-Undang No 18 tahun 2012 tentang Pangan dan Permenkes Nomor 33 Tahun 2012 tentang Bahan Tambahan Pangan. Acuan peraturan di tingkat internasional adalah *General Standard for Food Additives* atau GSFA (Codex Stan 192-1995). Mengapa penggunaan BTP pada pangan diatur secara ketat oleh pemerintah? Bagaimana jenis dan batas penggunaan BTP seperti dijabarkan di atas ditetapkan? Berikut ini dibahas bagaimana proses penetapan suatu BTP dinyatakan boleh digunakan dalam proses pengolahan pangan.

BTP pada dasarnya merupakan zat non-gizi yang ditambahkan untuk meningkatkan karakteristik tertentu pada pangan sehingga memenuhi keinginan konsumen. BTP tidak mempunyai fungsi gizi bagi tubuh sehingga pemerintah mempunyai kewajiban untuk menjamin keamanan BTP saat dikonsumsi. Kajian keamanan sebelum BTP diizinkan penggunaannya oleh pemerintah merupakan suatu tahap ilmiah yang harus dilakukan oleh produsen BTP. *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA) yang merupakan satu komite di Codex telah memberikan pedoman pelaksanaan tahapan kajian keamanan BTP mengikuti tiga prinsip analisis risiko sebagai kerangka kerja yang sistematis, terstruktur dan ilmiah. Tiga prinsip analisis risiko terdiri atas kajian risiko, manajemen risiko dan komunikasi risiko (FAO/WHO 2009). Analisis risiko untuk BTP dapat digunakan untuk

memperkirakan risiko BTP terhadap kesehatan melalui kajian risiko, mengelola risiko BTP terhadap kesehatan dengan misalnya menetapkan batas penggunaan BTP dalam produk pangan dan mengomunikasikan risiko kepada para pemangku kepentingan termasuk industri pangan dan konsumen.

4.3.1 Kajian Risiko (*Risk Assessment*)

Kajian risiko merupakan tahap awal analisis risiko oleh asesor (para pakar) dan menjadi referensi ilmiah bagi manajer risiko (pemerintah) untuk menetapkan keputusan atau kebijakan dalam menyelesaikan permasalahan keamanan pangan yang juga memperhatikan faktor lainnya. Kajian risiko dilakukan melalui empat tahap, yaitu identifikasi bahaya (dalam hal ini adalah zat/senyawa BTP), karakterisasi bahaya, kajian paparan dan karakterisasi risiko. Dua tahap pertama kajian risiko merupakan tahap pengembangan untuk penerapan nilai *Acceptable Daily Intake* (ADI). Tahap selanjutnya adalah kajian paparan konsumsi produk pangan yang mengandung BTP yang kemudian akan dibandingkan dengan nilai ADI untuk karakterisasi risiko. Dari kajian paparan diperoleh nilai *Estimated Daily Intake* (EDI). Pada tahap karakterisasi risiko, jika nilai EDI lebih rendah dibandingkan nilai ADI, maka senyawa BTP yang dikaji mempunyai tingkat risiko keamanan pangan yang rendah.

Identifikasi Bahaya

Seperti dijelaskan oleh Paracelsus (Bapak Toksikologi Dunia) pada hampir 500 tahun yang lalu, “Semua zat adalah racun; tidak ada yang bukan racun. Dosis yang tepat membedakan racun dan obat”. Hal ini berarti bahwa setiap zat kimia kemungkinan menghasilkan beberapa bentuk efek berbahaya, jika dikonsumsi dalam jumlah yang cukup. Definisi bahaya Codex adalah “agen biologis, kimia atau fisik dengan potensi untuk menyebabkan efek kesehatan yang merugikan”. Kemungkinan atau risiko bahaya yang sebenarnya terjadi pada manusia tergantung pada jumlah bahan kimia yang masuk ke dalam tubuh, yaitu paparan. Pada tahap identifikasi bahaya, senyawa BTP termasuk agen kimia. Identitas BTP sebagai senyawa kimia harus secara jelas diketahui nama kimia, sifat fisikokimia, metode analisis dan stabilitasnya selama penyimpanan dan pengolahan pangan.

Karakterisasi Bahaya

BTP diatur penggunaannya untuk menjamin keamanan pangan bagi konsumennya, karena jika dikonsumsi melebihi batas keamanannya (*safety margin*) maka dapat meningkatkan risiko bahaya terhadap kesehatan. Batas (*margin*) keamanan suatu BTP dinyatakan sebagai nilai Asupan Harian yang Dapat Diterima atau ADI, yaitu jumlah maksimal bahan tambahan pangan dalam mg/kg berat badan yang dapat dikonsumsi setiap hari selama hidup tanpa menimbulkan efek merugikan terhadap kesehatan. Kajian keamanan BTP dilakukan melalui penelitian laboratorium dan pada umumnya menggunakan hewan percobaan, yaitu tikus/mencit. Penelitian dengan hewan percobaan dilakukan untuk menguji toksisitas BTP dengan pengamatan efek negatif terhadap kesehatan. **Tabel 4.4** menyajikan contoh jenis uji toksisitas berikut pengamatan efek negatif terhadap kesehatan. Dosis BTP yang diberikan kepada hewan coba merupakan dosis yang lazim digunakan pada percobaan ilmiah dan dapat diterapkan pada penggunaannya untuk pangan yang dikonsumsi.

Tabel 4.4 Contoh jenis uji toksisitas dan pengamatan efek negatif terhadap kesehatan

| Jenis Toksisitas | Pengamatan Efek Negatif (<i>Adverse Effect</i>) |
|-------------------------------------|---|
| Perubahan Fungsional | Misal: Penurunan berat badan, <i>laxation</i> |
| Perubahan Morfologi (selain kanker) | Misal: pembesaran organ tubuh bagian dalam, kelainan patologis |
| Mutagenisitas | Perubahan pada DNA, gen dan kromosom dengan potensi menyebabkan kanker atau kelainan janin |
| Karsinogenisitas | Kanker |
| Imunotoksisitas | Sensitifitas (kepekaan) yang meningkat (menuju hipersensitifitas atau alergi) Penurunan sistim kekebalan (menuju kerawanan terhadap infeksi) |
| Neurotoksisitas | Perubahan perilaku, tuli dan lainnya |
| Toksisitas Bagian Reproduksi | Gangguan kesuburan Embriotoksisitas (aborsi spontan) Teratogenisitas (kelainan bentuk janin) Efek perkembangan lainnya |

Sumber: ILSI Europe 2000

Kajian Paparan

Kajian paparan adalah penilaian kualitatif dan/atau kuantitatif dari kemungkinan asupan bahaya biologis, kimia dan fisik melalui makanan serta keterpaparan dari sumber lain (FAO/WHO 2011). Penilaian paparan ditetapkan dalam kerangka kerja dengan pendekatan yang sesuai untuk mencapai tujuan penilaian paparan. Pendekatan untuk perhitungan tingkat paparan dapat dilakukan dengan pendekatan deterministik (*point estimates*) atau probabilistik (*distribution*) (FAO/WHO 2009). Pendekatan yang dipilih akan menentukan metode kerja penilaian paparan berdasarkan data yang tersedia dan ketersediaan sumber daya. Pendekatan deterministik untuk kajian paparan menghasilkan nilai tunggal yang menggambarkan beberapa parameter paparan seperti paparan rerata populasi.

Pendekatan deterministik dapat dipilih melalui berbagai metode seperti (1) metode skrining, (2) metode paparan yang berdasarkan perkiraan konsumsi kasar (tingkat konsumsi pangan), dan (3) metode paparan lebih lanjut berdasarkan data konsumsi pangan aktual dan data konsentrasi bahan kimia yang dihitung tingkat paparannya seperti studi diet total studi selektif untuk makanan individu (FAO/WHO 2009). Pendekatan deterministik untuk kajian paparan menghasilkan nilai tunggal yang menggambarkan beberapa parameter paparan seperti paparan rerata populasi.

Menurut FAO/WHO (2009), pendekatan deterministik dengan metode skrining dirancang untuk mencerminkan rincian asumsi tingkat paparan berdasarkan kajian skenario terburuk dari senyawa terhadap risiko kesehatan. Jenis metode skrining dapat menggunakan metode *data poundage*, *budget method* dan model *diets*. *Budget method* digunakan untuk menilai rerata paparan makanan sehari-hari secara teoritis terhadap bahan tambahan pangan yang dibandingkan dengan nilai ADI.

Budget method bergantung pada asumsi mengenai (1) tingkat konsumsi makanan dan minuman, (2) konsentrasi/kadar bahan tambahan pangan pada makanan dan minuman, dan (3) proporsi makanan dan minuman yang mungkin mengandung bahan tambahan pangan. Perhitungan tingkat paparan dengan metode ini diasumsikan sebagai tingkat maksimal paparan

bahan tambahan pangan tertinggi yang dilaporkan dalam masing-masing kategori makanan dan minuman untuk memberikan perkiraan data yang lebih realistis.

Budget method memiliki keuntungan dalam hal perhitungan dapat dilakukan secara sangat sederhana dan cepat. Kerugian dari metode ini hasilnya bergantung dari data konsumsi pangan yang diasumsikan mengandung bahan tambahan pangan. Oleh karena itu, penetapan data konsumsi pangan menjadi hal penting untuk ditetapkan dengan memperhatikan kelayakan jumlah pangan yang dikonsumsi. Metode ini dapat digunakan dalam perhitungan paparan bahan tambahan pangan untuk dibandingkan dengan nilai referensi toksikologi yang relevan.

Kajian paparan menggabungkan data konsumsi pangan dan kadar BTP dalam pangan untuk memperkirakan paparan. Paparan BTP dapat dihitung dengan mengalikan jumlah BTP yang terdapat dalam produk pangan dan jumlah konsumsi pangan tersebut. Hasil perhitungan paparan adalah nilai EDI yang merupakan jumlah BTP yang dikonsumsi setiap hari dinyatakan sebagai mg BTP/kg BB/hari.

Karakterisasi Risiko

Karakterisasi risiko paparan BTP diolah dengan menghitung persentase nilai paparan (EDI) terhadap ADI untuk mengetahui apakah paparan BTP yang bersumber dari produk pangan tersebut melampaui ADI atau tidak. Persentase risiko melebihi nilai 100% maka dinyatakan tidak aman.

4.3.2 Acceptable Daily Intake (ADI)

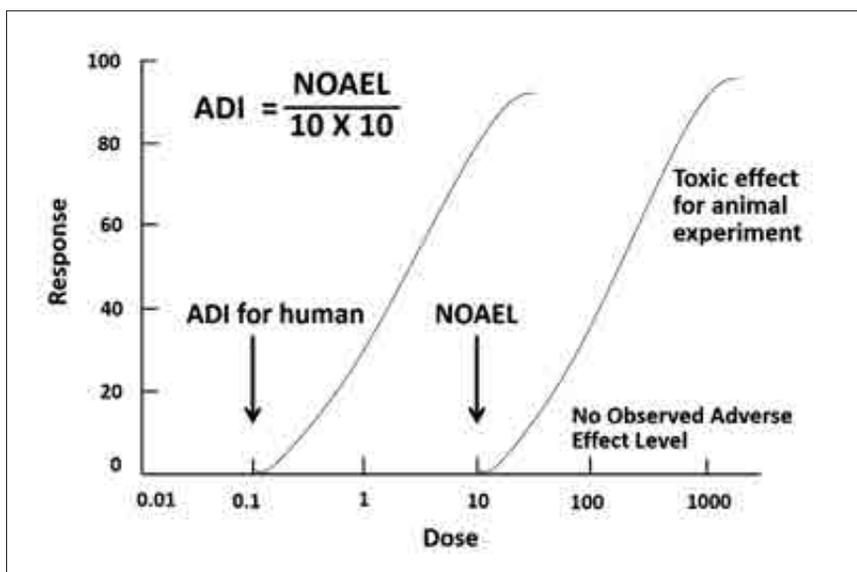
Senyawa BTP merupakan agen kimia yang dapat diketahui jenis dan kadarnya dengan analisis kimia, sedangkan risiko terhadap BTP merupakan suatu fungsi peluang yaitu jumlah konsumsi pangan yang mengandung BTP, kadar BTP pada pangan dan berat badan pengonsumsinya. Risiko ini telah disebut di atas sebagai paparan. Orang yang tidak mengonsumsi pangan yang mengandung BTP tertentu disebut tidak mempunyai risiko dan semakin tinggi asupan BTP, maka risikonya semakin meningkat. Karakterisasi risiko

pada dasarnya bertujuan untuk mendapatkan batas (*margin*) keamanan (*safety margin*) atau ADI suatu BTP dari semua sumber/produk pangan yang dikonsumsi setiap hari sepanjang hayat tanpa menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan dinyatakan sebagai mg BTP/kg BB/hari. Bagaimanakah cara untuk mendapatkan batas (*margin*) keamanan atau ADI suatu BTP?

Kajian keamanan BTP yang umumnya dengan hewan coba tikus/mencit adalah rekomendasi JECFA, karena tikus/mencit merupakan hewan coba yang paling sensitif memberikan respons terhadap perlakuan. Penggunaan hewan yang sensitif merupakan faktor keamanan tingkat pertama untuk penggunaan BTP. Artinya, pada penelitian yang sama menggunakan hewan coba yang lebih besar dari tikus atau mencit dan hasilnya tidak memberikan respons perlakuan, maka data yang digunakan untuk perhitungan toksisitas adalah data penelitian dengan tikus/mencit. Beberapa tingkat dosis BTP sebagai perlakuan diberikan secara oral (dicampur dalam ransum atau air minumannya) dan diberikan secara *ad libitum*. Misalnya dosis senyawa BTP yang diberikan adalah 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 mg/kg BB/hari. Kurva hubungan antara dosis perlakuan dengan respons pengamatannya disebut sebagai *dose response curve* seperti disajikan pada **Gambar 4.4**. Pada periode pengamatannya diketahui bahwa mulai dosis 2,0 mg/kg BB menunjukkan efek toksikologi yang diamati, dan dosis ini disebut sebagai *lowest observed adverse effect level* (LOAEL). Jika tidak ada penelitian lain yang menggunakan dosis antara 1,5–2,0 mg/kg BB maka dosis maksimal pada perlakuan yang tidak menunjukkan efek toksikologi yaitu 1,5 mg/kg BB. Nilai ini disebut sebagai nilai *no observed adverse effect level* (NOAEL). Nilai NOAEL ditentukan oleh kesepakatan JECFA dari hasil penelitian yang telah dipublikasi secara ilmiah.

Nilai ADI dihitung berdasarkan nilai NOAEL dibagi dengan nilai faktor keamanan (*safety factor*). Nilai faktor keamanan untuk BTP pada umumnya yang disepakati oleh JECFA adalah 100. Nilai ini merupakan perkalian 10 sebagai faktor keamanan ekstrapolasi dari hewan coba tikus/mencit ke manusia dengan 10 sebagai faktor keamanan keragaman sensitifitas antar manusia pada populasinya. Dengan demikian, nilai ADI adalah NOAEL/100. Faktor keamanan 100 ini didasarkan pada pengalaman dan logika ahli toksikologi dan karenanya tidak dapat dibandingkan dengan nilai fisik seperti titik

didih senyawa murni. Informasi lebih lanjut mengenai tingkat efek yang tidak diobservasi dan penggunaan faktor keamanan dapat ditemukan di “*Principles for the Safety Assessment of Food Additives and contaminants in Food*” (Environmental Health Criteria No 70, WHO, Geneva 1987, hal. 77–79).



Gambar 4.4 Kurva respons dosis (*dose response curve*)

Nilai ADI untuk BTP dari hasil perhitungan mengikuti **Gambar 4.4**, dapat dinyatakan sebagai jumlah mg BTP/kg BB/hari. Pada peraturan Codex (Codex Stan 192-1995) dan PerBPOM No 11 tahun 2019, terdapat nilai ADI BTP yang dinyatakan sebagai kisaran jumlah atau numerik (misal 0–5 mg/kg BB/hari) dan ada yang dinyatakan sebagai ‘tidak dinyatakan’ (*not specified*). Untuk nilai ADI dalam kisaran atau numerik berarti kesepakatan JECFA menyatakan bahwa selain penelitian yang mendapatkan nilai NOAEL, ditemukan pula penelitian yang mendapatkan hasil semua perlakuan memberikan efek/respons kecuali kontrol. JECFA kemudian bersepakat untuk memberikan nilai NOAEL juga dalam nilai kisaran. Untuk nilai ADI suatu BTP yang ‘tidak dinyatakan’ berarti dari penelitian terhadap BTP tersebut menemukan hasil bahwa pada semua dosis yang diujikan tidak memberikan efek/respons.

Senyawa BTP dapat diperdagangkan dalam bentuk beberapa formula kimia. Misalnya BTP kelompok senyawa benzoat diperdagangkan sebagai senyawa asam benzoat, sodium benzoat, kalium benzoat dan kalsium benzoat. Senyawa BTP kelompok benzoat tersebut mempunyai satu nilai ADI kelompok (*group* ADI), yaitu 0–5 mg/kg BB. Nilai ADI tersebut diperhitungkan dari dosis senyawa aktifnya yaitu asam benzoat. Beberapa senyawa BTP yang juga diperdagangkan dalam bentuk beberapa formula, nilai ADI adalah untuk bentuk senyawa aktifnya. Senyawa aktifnya inilah yang digunakan atau menjadi dasar perhitungan konsentrasi penggunaannya mengikuti batas maksimal peraturannya. Beberapa contoh Nilai ADI kelompok untuk beberapa senyawa BTP disajikan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Contoh nilai ADI untuk senyawa bahan tambahan pangan dalam kelompok

| Pengawet | Struktur Kimia | No. INS | ADI (mg/kg BB) |
|----------------------|---------------------|---------|----------------|
| Benzoat dan garamnya | | | 0–5 |
| a. Asam benzoat | $C_7H_6O_2$ | 210 | |
| b. Sodium benzoat | $C_7H_5NaO_2$ | 211 | |
| c. Potassium benzoat | $C_7H_5KO_2$ | 212 | |
| d. Kalsium benzoat | $C_{14}H_{10}CaO_4$ | 213 | |
| Nitrat dan garamnya | | | 0–3,7 |
| a. Sodium nitrat | $NaNO_3$ | 251 | |
| b. Potassium nitrat | KNO_3 | 252 | |

BTP juga ada yang nilai ADI-nya tidak ditetapkan (*ADI not specified/ADI not limited/ADI acceptable*), yaitu untuk BTP yang mempunyai toksisitas yang sangat rendah berdasarkan data (kimia, biokimia, toksikologi dan data lainnya). Jumlah asupan BTP tersebut jika digunakan dalam takaran yang diperlukan untuk mencapai efek yang diinginkan serta pertimbangan lain, menurut pendapat JECFA tidak menimbulkan bahaya terhadap kesehatan.

4.3.3 Batas Maksimal Penggunaan BTP

Suatu BTP yang telah dikaji keamanannya melalui tahap kajian risiko (telah diperoleh data nilai ADI, tingkat paparan beserta risiko paparannya) ditetapkan batas maksimal penggunaannya pada pangan. Jika kajian risiko dilakukan oleh asesor kajian risiko yang dasarnya adalah ilmiah, maka penetapan batas maksimal penggunaan BTP dapat ditetapkan bersama antara asesor kajian risiko dan manajer risiko. Jenis pangan yang dapat menggunakan BTP tersebut diidentifikasi berdasarkan literatur, praktek di industri pangan dan peraturan yang tersedia (Codex dan peraturan negara lainnya). Acuan jenis pangan yang diizinkan menggunakan BTP tersebut menggunakan Kategori Pangan (Codex Stan 192-1995, di Indonesia menggunakan Peraturan BPOM No. 21 tahun 2016 tentang Kategori Pangan). Batas maksimal penggunaan BTP tersebut pada pangan ditetapkan berdasarkan asumsi konsumsi (data survei konsumsi pangan) dan perhitungan paparannya. Nilai ADI yang digunakan untuk acuan keamanan apabila merupakan nilai kisaran, dapat menggunakan nilai maksimalnya. Namun jika suatu negara telah mempunyai kajian keamanan BTP tersebut dan hasilnya menunjukkan tingkat risiko paparan yang membahayakan kesehatan, negara tersebut dapat menggunakan nilai ADI 0 mg/kg BB atau tidak mengizinkan penggunaannya.

Codex telah mengatur penggunaan BTP sebagai acuan semua negara (Codex Stan 192-1995). *Codex Standard* dapat diakses melalui *website* GSFA. Informasi penting dari GSFA untuk penggunaan BTP pada pangan disajikan pada tiga jenis tabel yaitu *Table One*, *Table Two*, dan *Table Three*. *Table One* menyajikan informasi untuk setiap senyawa BTP dapat digunakan pada jenis pangan sesuai kategori pangan yang diizinkan berikut informasi batas penggunaannya (**Tabel 4.6**).

Tabel 4.6 Contoh *Table One* untuk bahan tambahan *ascorbyl esters* (Codex Stan 192-1995)

| Food Cat No | Food Category | Max Level | Notes | Years Adopted |
|--------------------|--|------------------|--|----------------------|
| 09.2.1 | <i>Frozen fish, fish fillets, and fish products, including mollusks, crustaceans, and echinoderms</i> | 1000 mg/kg | 10, 392, XS36, XS92, XS95, XS190, XS191, XS312 & XS315 | 2017 |
| 09.2.2 | <i>Frozen battered fish, fish fillets, and fish products, including mollusks, crustaceans, and echinoderms</i> | 1000 mg/kg | 10 | 2001 |
| 10.4 | <i>Egg-based desserts (e.g. custard)</i> | 500 mg/kg | 2 & 10 | 2001 |
| 11.4 | <i>Other sugars and syrups (e.g. xylose, maple syrup, sugar toppings)</i> | 200 mg/kg | 10 | 2003 |
| 12.2 | <i>Herbs, spices, seasonings and condiments (e.g. seasoning for instant noodles)</i> | 500 mg/kg | 10 | 2001 |
| 12.4 | <i>Mustards</i> | 500 mg/kg | 10 | 2003 |
| 12.5 | <i>Soups and broths</i> | 200 mg/kg | 10 | 2001 |
| 12.6.1 | <i>Emulsified sauces and dips (e.g. mayonnaise, salad dressing, onion dip)</i> | 500 mg/kg | 10 & 15 | 2001 |
| 12.6.2 | <i>Non-emulsified sauces (e.g. ketchup, cheese sauce, cream sauce, brown gravy)</i> | 500 mg/kg | 10 | 2005 |
| 12.6.3 | <i>Mixes for sauces and gravies</i> | 200 mg/kg | 10 | 2001 |
| 12.6.4 | <i>Clear sauces (e.g. fish sauce)</i> | 200 mg/kg | 10 & XS302 | 2018 |
| 12.7 | <i>Salads (e.g. macaroni salad, potato salad) and sandwich spreads excluding cocoa- and nut-based spreads of food categories 04.2.2.5 and 05.1.3</i> | 200 mg/kg | 10 | 2001 |

Diadopsi dari: http://www.fao.org/gsfonline/docs/CXS_192e.pdf

Table Two menyajikan informasi jenis pangan sesuai kategori pangannya dengan jenis BTP yang diizinkan berikut batas maksimal penggunaannya (**Tabel 4.7**). *Table Three* menyajikan penggunaan BTP secara umum pada pangan dengan batas maksimal penggunaannya mengikuti Cara Pengolahan Pangan yang Baik (CPPB) (**Tabel 4.8**). BTP yang aturan penggunaannya mengikuti CPPB pada *Table Three*, di Amerika dikenal sebagai BTP kelompok *Generally Recognized as Safe* (GRAS). BTP kelompok ini sesuai peraturan di Amerika telah dikeluarkan dari kelompok BTP atau telah menjadi bahan tambahan yang pengawasannya longgar dan tidak mengikuti pengawasan BTP. Peraturan BPOM No. 11 tahun 2019 tentang BTP mengikuti format *Table One* pada GSFA.

Tabel 4.7 Contoh *Table Two* (Codex Stan 192-1995)

| <i>Additive</i> | INS | <i>Year Adopted</i> | <i>Max Level</i> | <i>Notes</i> |
|---|--------------------|---------------------|------------------|--------------|
| <i>Ponceau 4R (Cochineal Red A)</i> | 124 | 2008 | 150 mg/kg | 52 & 161 |
| <i>Propylene Glycol Alginate</i> | 405 | 2017 | 1300 mg/kg | XS243 |
| <i>Propylene Glycol Esters of Fatty Acids</i> | 477 | 2001 | 5000 mg/kg | |
| <i>Quinoline Yellow</i> | 104 | 2017 | 10 mg/kg | 52 |
| <i>Riboflavins</i> | 10(i), (ii), (iii) | 2008 | 300 mg/kg | 52 |
| <i>Sacharins</i> | 954(i)-(iv) | 2019 | 80 mg/kg | 477 & 406 |
| <i>Sorbates</i> | 200, 202, 203 | 2012 | 1000 mg/kg | 42 & 220 |
| <i>Sorbitan Esters of Fatty Acids</i> | 491-495 | 2017 | 500 mg/kg | |
| <i>Stearoyl lactylates</i> | 481(i), 482(i) | 2017 | 1000 mg/kg | |
| <i>Steviol glycosides</i> | 960a, 960b(i) | 2017 | 200 mg/kg | 26 & XS243 |
| <i>Sucralose (Trichlorogalactosucrose)</i> | 955 | 2019 | 300 mg/kg | 478 & 404 |
| <i>Sucroglycerides</i> | 474 | 2017 | 5000 mg/kg | 348 |
| <i>Sucrose Esters of Fatty Acids</i> | 473 | 2017 | 5000 mg/kg | 348 |
| <i>Sunset Yellow FCF</i> | 110 | 2008 | 300 mg/kg | 52 |
| <i>Tartrazine</i> | 102 | 2017 | 300 mg/kg | 52 |
| <i>Tocopherols</i> | 307a, b, c | 2017 | 200 mg/kg | 15 |
| <i>Zeaxanthin, Synthetic</i> | 161h(i) | 2017 | 100 mg/kg | 52 & 400 |

Diadopsi dari: (http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192e.pdf)

Tabel 4.8 Contoh *Table Three: Additives Permitted for Use in Food in General, Unless Otherwise Specified, in Accordance with GMP (Codex Stan 192-1995)*

| INS No | Additive | Functional Class | Year Adopted | Specified allowance in the following commodity standards |
|---------------|--|---|---------------------|--|
| 200 | <i>Acetic acid, glacial</i> | <i>Acidity regulator, Preservative</i> | 1999 | CS 70-1981, CS 94-1981, CS 119-1981, CS 302-2011, CS 249-2006 |
| 472a | <i>Acetic and fatty esters of glycerol</i> | <i>Emulsifier, sequestrants, stabilizer</i> | 1999 | |
| 1422 | <i>Acetylated distarch adipate</i> | <i>Emulsifier, stabilizer, thickener</i> | 1999 | CS 70-1981, CS 94-1981, CS 119-1981, CS 249-2006 |
| 1414 | <i>Acetylated distarch phosphate</i> | <i>Emulsifier, stabilizer, thickener</i> | 1999 | CS 70-1981, CS 94-1981, CS 119-1981, CS 249-2006 |
| 1451 | <i>Acetylated oxidized starch</i> | <i>Emulsifier, stabilizer, thickener</i> | 2005 | CS 249-2006 |
| 1401 | <i>Acid-treated starch</i> | <i>Emulsifier, stabilizer, thickener</i> | 1999 | CS 105-1981, CS 70-1981, CS 94-1981, CS 119-1981, CS 249-2006 |
| 406 | <i>Agar</i> | <i>Bulking agent, carrier, emulsifier, gelling agent, glazing agent, humectant, stabilizer, thickener</i> | 1999 | CS 96-1981, CS 97-1981, CS 70-1981 (for use in packing media only), CS 119-1981 (for use in packing media only), CS 249-2006 |

Diadopsi dari: (http://www.fao.org/gsaonline/docs/CXS_192e.pdf)

4.4 Ringkasan

1. Bahan Tambahan Pangan (BTP) adalah bahan yang ditambahkan ke dalam pangan untuk memengaruhi sifat atau bentuk pangan, sehingga dapat memenuhi kebutuhan dan selera konsumennya.
2. Terdapat 27 golongan BTP, yaitu antibuih, antikempal, antioksidan, bahan pengkarbonasi, garam pengemulsi, gas untuk kemasan, humektan, pelapis, pemanis, pembawa, pembentuk gel, pembuih, pengatur keasaman, pengawet, pengembang, pengemulsi, pengental, penguat rasa, peningkat volume, penstabil, peretensi warna, perisa, perlakuan tepung, pewarna, propelan, dan sekuestran. Secara keseluruhan, terdapat lebih dari banyak jenis BTP yang diizinkan untuk digunakan dalam produk pangan.
3. Peraturan tentang BTP di Indonesia adalah Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan, Peraturan Menteri Kesehatan No. 33 Tahun 2012 dan Peraturan BPOM Nomor 11 Tahun 2019. Peraturan di tingkat internasional adalah *General Standard for Food Additives* (Codex Stan 192-1995)
4. *Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives* (JECFA) telah memberikan pedoman pelaksanaan kajian keamanan BTP mengikuti tiga prinsip analisis risiko yang terdiri atas kajian risiko, manajemen risiko dan komunikasi risiko.
5. Kajian keamanan BTP yang dilakukan oleh asesor kajian risiko mengikuti sistematisa identifikasi bahaya, karakterisasi bahaya, kajian paparan dan karakterisasi risiko.
6. Hasil karakterisasi bahaya untuk BTP adalah nilai *No Observed Effect Level* (NOAEL) yang digunakan untuk menghitung nilai *Acceptable Daily Intake* (ADI).
7. NOAEL adalah dosis terendah suatu BTP pada penelitian yang memberikan respons negatif terhadap kesehatan hewan coba.

8. *Acceptable daily intake* (ADI) adalah asupan BTP dari semua pangan yang menggunakan BTP tersebut sebagai bahan penyusunnya yang dapat diterima setiap hari sepanjang hayat tanpa menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan manusia dan dinyatakan sebagai mg BTP/kg BB.
9. Nilai ADI diperoleh dari perhitungan nilai NOAEL dibagi dengan faktor keamanan (*safety factor*). Nilai faktor keamanan untuk BTP pada umumnya adalah 100 dan merupakan perkalian 10 sebagai faktor keamanan ekstrapolasi dari hewan coba tikus/mencit ke manusia dengan 10 sebagai faktor keamanan keragaman sensitifitas antar manusia pada populasinya.
10. Nilai ADI suatu BTP adalah kesepakatan JECFA dan dinyatakan sebagai kisaran nilai, nilai pasti (*fixed*) atau numerik dan tidak dinyatakan (*not specified*) tergantung hasil uji toksisitasnya. Nilai grup ADI dari beberapa senyawa dalam kelompok dan fungsi yang sama dihitung untuk senyawa aktifnya.
11. Kajian paparan menggabungkan data konsumsi pangan dan kadar BTP dalam pangan untuk memperkirakan paparan. Paparan BTP dapat dihitung dengan mengalikan jumlah BTP yang terdapat dalam produk pangan dan jumlah konsumsi pangan tersebut. Hasil perhitungan paparan adalah *Estimated Daily Intake* (EDI) yang merupakan jumlah BTP yang dikonsumsi setiap hari dinyatakan sebagai mg BTP/kg BB/hari.
12. Batas Maksimal Penggunaan BTP pada pangan ditetapkan setelah kajian paparan dilakukan. Peraturan mengenai batas maksimal penggunaan BTP secara internasional mengacu pada Codex Stan 192-1995 dan di Indonesia mengacu Peraturan BPOM No 11 tahun 2019 tentang Bahan Tambahan Pangan.

4.5 Pustaka

- [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan RI. 2012. *Pedoman Penggunaan Bahan Tambahan Pangan pada Pangan Industri Rumah Tangga dan Pangan Siap Saji sebagai Pangan Jajanan Anak Sekolah*. Jakarta: BPOM RI.
- [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan RI. 2016. Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 21 tentang Kategori Pangan. Jakarta: BPOM RI.
- [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2019. Peraturan Kepala Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia Nomor 11 tentang Bahan Tambahan Pangan. Jakarta: BPOM RI.
- [CAC] Codex Alimentarius Commission. 2005. *General Standard for Food Additives, Codex Standard. 192-1995 (rev. 6-2005)*. Rome: CAC.
- Choe E, Min DB. 2009. Mechanisms of Antioxidants in the Oxidation of Foods Eunok Choe and David B. Min. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*. 8: 345–358.
- [FAO/WHO] The Joint Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization. 2009. *Principles and Methods for the Risk assessment of Chemicals in Food*. Joint FAO/WHO Environmental Health Criteria 240. International Programme on Chemical Safety. Germany: FAO/WHO
- [GSFA] General Standard for Food Additives. <http://www.fao.org/gsfaonline/index.html;jsessionid=5B3A2F516B68C7E3A36AB0055C0B0F69>.
- [Kemenkes] Kementerian Kesehatan. 2012. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 33 tentang Bahan Tambahan Pangan. Jakarta: Kemenkes RI.
- Pandey RM, Upadhyay SK. 2012. *Food Additive*. <https://www.intechopen.com/books/food-additive/food-additive>. [Diakses tanggal 8 Agustus 2020].

Latihan

Petunjuk: Untuk memahami materi pada Bab 4 ini, kerjakan soal berikut. Pilih satu jawaban yang benar.

1. BTP merupakan bahan yang:
 - a. Dapat dikonsumsi sebagai makanan
 - b. Dapat merupakan bahan baku pangan
 - c. Dapat mempunyai nilai gizi
 - d. Semua jawaban di atas salah
2. Agar-agar merupakan jenis BTP yang digunakan untuk:
 - a. Pembentuk gel
 - b. Pengemulsi
 - c. Penstabil
 - d. Semua jawaban di atas benar
3. Pemanis buatan tidak boleh digunakan pada produk pangan yang khusus diperuntukkan bagi:
 - a. Bayi
 - b. Anak usia di bawah tiga tahun
 - c. Ibu hamil dan/atau ibu menyusui
 - d. Semua jawaban di atas benar
4. BTP yang digunakan, tidak boleh untuk tujuan:
 - a. menyembunyikan penggunaan bahan yang tidak memenuhi persyaratan
 - b. menyembunyikan cara kerja yang bertentangan dengan cara produksi pangan yang baik
 - c. menyembunyikan kerusakan Pangan
 - d. Semua jawaban di atas benar

5. Amonium karbonat merupakan jenis BTP yang digunakan untuk:
 - a. Pengatur keasaman
 - b. Pengembang
 - c. Penstabil
 - d. Semua jawaban di atas benar
6. NOAEL (*no observed adverse effect level*):
 - a. Digunakan untuk menghitung nilai EDI (*estimated daily intake*)
 - b. Digunakan untuk menghitung nilai ADI (*acceptable daily intake*)
 - c. Merupakan dosis konsumsi maksimal yang tidak menyebabkan efek negatif terhadap hewan percobaan
 - d. Jawaban (A) dan (C) benar
7. Dengan berkunjung ke GSEFA (*General Standard for Food Additives*)-*Online*, anda dapat:
 - a. mengetahui *Table One* yang menunjukkan ML dari suatu BTP yang digunakan pada berbagai produk pangan
 - b. mengetahui *Table Two* yang menunjukkan ML berbagai BTP untuk suatu jenis produk pangan
 - c. mengetahui *Table Three* yang menunjukkan Daftar BTP yang penggunaannya diatur menurut GMP (*Good Manufacturing Practices*)
 - d. Semua jawaban di atas benar
8. Pemilihan BTP dan level penggunaannya untuk menghasilkan karakteristik produk tertentu dipengaruhi oleh :
 - a. Karakteristik, keamanan, regulasi, avaiabilitas dan harga BTP
 - b. Formulasi
 - c. Interaksi antar BTP atau interaksi antar BTP dan komponen pangan lain
 - d. Semua jawaban di atas benar

9. Penggunaan BTP dalam produk pangan harus diatur. Mengapa?
 - a. Karena semua BTP dapat menyebabkan kanker pada manusia.
 - b. Karena sebagian BTP dapat berpengaruh tidak diinginkan bagi kesehatan, sehingga perlu dikaji risikonya.
 - c. Pengkajian risiko menghasilkan perkiraan batas konsumsi BTP yang aman bagi kesehatan.
 - d. Jawaban (B) dan (C) benar
10. Analisis risiko (*risk analysis*) terhadap bahan tambahan pangan dilakukan dengan tujuan:
 - a. Memperkirakan risiko BTP terhadap kesehatan melalui *Risk Assessment*
 - b. Mengelola risiko BTP terhadap kesehatan dengan misalnya menetapkan batas penggunaan BTP dalam produk pangan
 - c. Mengkomunikasikan risiko kepada para pemangku kepentingan termasuk industri pangan dan konsumen
 - d. Jawaban (A), (B) dan (C) benar

Tugas Mandiri (*Challenge Questions*)

1. Berkunjung ke GSEFA-Online, pelajari kelas fungsi BTP, indeksasi BTP dan cermati peraturan di *Table One*, *Table Two* dan *Table Three*.
2. Cermati PerBPOM RI Nomor 11 Tahun 2019. Berikan tiga contoh BTP untuk kategori pangan tertentu yang batas maksimalnya dinyatakan sebagai CPPB.
3. Misalkan Anda bekerja di bagian R&D di industri keju, dan ingin mengembangkan produk baru. Bila Anda akan menggunakan BTP, jenis BTP apa yang diizinkan digunakan untuk produk keju dan berapa batas maksimal penggunaannya.

Bab

5

Biokimia Pangan, Gizi dan Kesehatan

Ardiansyah, Eni Harmayani, dan Lily Arsanti Lestari

5.1 Pendahuluan

Pangan yang kita konsumsi sehari-hari pada hakikatnya berfungsi untuk mempertahankan kelangsungan kehidupan. Keberlangsungan manusia sangat tergantung kepada sumber energi yang digunakan untuk pertumbuhan, perkembangan dan penggantian jaringan atau organ serta sel tubuh yang telah rusak. Komponen bahan pangan tersusun dari berbagai macam senyawa organik dan anorganik yang kemudian dapat dikelompokkan menjadi senyawa/komponen sederhana sampai kompleks.

Pangan baru dapat digunakan oleh tubuh setelah melewati serangkaian proses pencernaan dan penyerapan menjadi molekul yang lebih kecil. Sebelumnya molekul tersebut dibawa atau ditransportasikan ke seluruh jaringan dan organ yang memerlukannya. Sesungguhnya bahan pangan atau makanan yang dikonsumsi adalah apa yang dapat dicerna, ditransportasikan, dan diserap oleh tubuh kita.

Pangan yang masuk ke dalam tubuh merupakan sumber energi yang esensial, selain sumber zat gizi dan sumber fitokimia lainnya. Pangan sebagai sumber energi digunakan oleh sel untuk menghasilkan energi dalam bentuk *adenosine triphosphate* (ATP) yang digunakan untuk melaksanakan berbagai aktivitas, misalnya transpor aktif, kontraksi, sintesis, dan sekresi.

Fungsi sistem pencernaan adalah mengubah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga dapat diserap dan ditransportasikan ke seluruh sel tubuh melalui pembuluh darah.

Tubuh manusia membutuhkan zat gizi sebagai sumber energi yang digunakan untuk beraktivitas, pertumbuhan, perkembangan dan pergantian sel yang rusak. Zat gizi dikelompokkan menjadi dua kelompok besar, yaitu zat gizi makro (*macronutrient*) dan zat gizi mikro (*micronutrient*). Kelompok zat gizi makro adalah karbohidrat, lemak dan protein, sedangkan kelompok zat gizi mikro adalah vitamin dan mineral. Dalam Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (PerBPOM) Nomor 13 Tahun 2016 disebutkan bahwa zat gizi adalah zat atau senyawa yang terdapat dalam pangan yang terdiri atas karbohidrat, protein, lemak, vitamin, mineral, serat, air dan komponen lainnya. Zat gizi dapat memberikan pengaruh untuk untuk: (1) memberikan energi; (2) diperlukan untuk pertumbuhan, perkembangan dan pemeliharaan kesehatan; dan (3) bila kekurangan atau kelebihan dapat menyebabkan perubahan karakteristik biokimia dan fisiologis tubuh.

Selain zat gizi, ada kelompok senyawa lain yang juga memberikan pengaruh pada tubuh manusia yang disebut senyawa fitokimia. Senyawa fitokimia dari bahan pangan memegang peranan penting dalam memberikan efek kesehatan. Pengertian fitokimia adalah suatu bahan dari tanaman (*phytos* artinya tanaman), yang dapat memberikan fungsi fisiologis untuk pencegahan penyakit. Bahan yang dimaksud adalah senyawa kimia (*chemical* artinya kimia) berupa komponen bioaktif yang dapat digunakan untuk pencegahan atau mengurangi risiko penyakit. Dalam dua dasawarsa terakhir komponen bioaktif yang berasal dari tanaman, hewan, maupun mikroorganisme banyak diteliti oleh para peneliti ilmu dan teknologi pangan dan memiliki potensi untuk digunakan sebagai ingredien fungsional dan nutrasetikal.

Tujuan kita mengonsumsi pangan adalah untuk memberi makan kepada tubuh kita agar kita dapat melakukan aktivitas sehari-hari dari energi yang diperoleh dari pangan. Memberi makan dapat diartikan juga sebagai cara untuk memberikan sumber pangan kepada berjuta-juta sel atau organ/jaringan yang ada di dalam tubuh kita. Pangan yang kita konsumsi melewati banyak perubahan bentuk atau struktur sehingga dihasilkan bentuk yang

paling sederhana sehingga dapat diserap ke dalam darah dan selanjutnya akan ditransportasikan ke seluruh sel yang memerlukan. Proses perubahan pangan menjadi komponen sederhana disebut sebagai proses pencernaan yang terjadi di dalam alat pencernaan.

Bab 5 ini menjelaskan aspek biokimia pangan mulai dari struktur biokimia, jenis zat gizi makro dan mikro, proses pencernaan, absorpsi dan transportasi pangan di dalam tubuh, metabolisme zat gizi makro (karbohidrat, lipida, dan asam amino) dan peran pangan terhadap kesehatan. Setelah mempelajari Bab ini, pembaca dapat mengenali dan memahami secara mendalam metabolisme yang terjadi di dalam tubuh dan pengaruh kesehatan yang diperoleh setelah mengonsumsi pangan.

5.2 Struktur Biokimia

Secara sederhana sel dapat digambarkan seperti setetes air yang dikelilingi oleh membran plasma. Tetesan air tersebut mengandung banyak material yang terlarut seperti glukosa, asam amino, ion positif, ion negatif, protein globular dan biomaterial yang tersuspensi sebagai organel sel. Sel merupakan dasar kehidupan manusia di mana komponen utama sel terdiri atas air, lemak, karbohidrat, protein, dan asam nukleat. Semua sel mengandung komponen sel yang sama, terdiri atas membran *permeable* yang disebut membran sitoplasma. Membran ini memisahkan isi sel dari bagian luar sel dan kandungan sel yang disebut dengan sitoplasma. Di dalam sitoplasma terdapat protein, lipid, asam nukleat, dan karbohidrat, molekul organik kecil yang merupakan prekursor bermacam senyawa ionik dan ribosom.

Membran sel terdiri atas lapisan senyawa lipida (fosfolipid) dan molekul protein sehingga sering disebut dengan lapisan lipoprotein. Fosfolipid terdiri atas bagian kepala yang bersifat hidrofilik (suka air) dan bagian ekor yang bersifat hidrofobik (tidak suka air). Setiap unit fosfolipid berpasangan dengan pasangan fosfolipid lainnya dan posisinya berlawanan sehingga terbentuk dua lapisan (*bilayer*) fosfolipid. Molekul protein yang menempel di permukaan lapisan lipid disebut protein ekstrinsik (perifer), sedangkan molekul protein

yang menembus lapisan lipid disebut protein instrinsik (integral). Protein ekstrinsik ada yang berikatan dengan karbohidrat membentuk glikoprotein dan ada pula yang tidak berikatan.

Struktur internal sel prokariot sangat sederhana dibandingkan dengan sel eukariot. Ukuran sel prokariotik jauh lebih kecil dibandingkan sel eukariot. *Deoxyribonucleic acid* (DNA) sel eukariot dilindungi membran inti, sementara DNA prokariot tidak dilindungi dengan membran. Pada sel eukariot terdapat organel sel yang mempunyai struktur bermembran tertutup seperti mitokondria dan kloroplast. Mitokondria merupakan tempat respirasi sel, sedangkan kloroplast merupakan tempat fotosintesis, organel membran yang tertutup hanya dapat kita jumpai pada sel eukariot saja.

Sel eukariot dan prokariot mempunyai ribosom yang merupakan organel sel yang tidak memiliki membran, inti dari genom sel eukariot adalah tempat sintesis *ribonucleic acid* (RNA). RNA yang telah disintesis keluar ke inti sel, kemudian ditranslasi di luar inti sel. Pada prokariot mRNA ditranslasi selagi mRNA (*messenger RNA*) ditranskripsi (sintesa RNA dari DNA).

Enzim adalah protein yang dapat menurunkan energi aktivasi reaksi kimia. Enzim mengurangi energi aktivasi melalui berbagai mekanisme. Sebagai contoh, enzim dapat membawa molekul bersama-sama dengan orientasi yang sesuai untuk bereaksi atau dapat menyediakan lingkungan mikro yang kondusif terhadap reaksi. Enzim dapat juga bertindak sebagai katalis biologis, yaitu enzim dapat mempercepat reaksi tanpa turut mengalami perubahan.

Dengan tidak adanya enzim dalam suatu reaksi kimia, suatu energi aktivasi tidak dapat diatasi pada suhu sel yang normal. Hal ini dapat menyebabkan reaksi kimia berjalan sangat lambat sehingga sel dapat mati sebelum reaksi kimia menghasilkan energi dan molekul yang dibutuhkan. Setiap sel membuat dan menghasilkan banyak jenis enzim yang masing-masing dapat mengatalisasi reaksi yang berlainan dan sangat spesifik. Oleh karena itu, enzim memiliki bentuk yang spesifik yang secara khusus mengikat satu atau kelompok molekul tertentu. Dalam mempelajari enzim, kita perlu mengetahui tentang substrat. Substrat adalah reaktan yang diolah pada reaksi yang dikatalisasi oleh enzim (enzimatik).

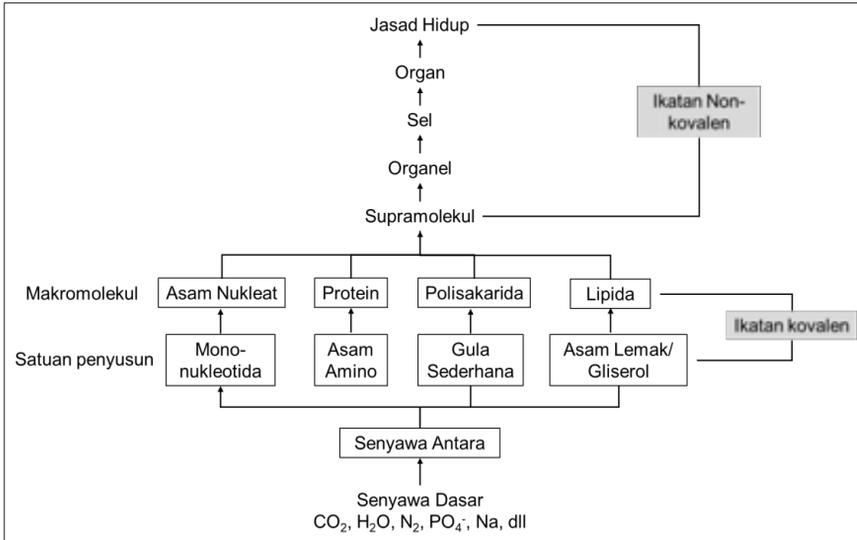
Setiap enzim mempunyai konformasi yang sangat tepat dan berlainan sebagai hasil dari beberapa tingkatan struktur struktur protein. Oleh karena itu, struktur enzim memiliki kesamaan dengan macam struktur protein. Terdapat empat macam struktur enzim yaitu: (1) struktur primer adalah rangkaian asam amino pada rantai polipeptida yang menyusun enzim; (2) struktur sekunder terbentuk dari ikatan kimia yang lemah seperti pada ikatan hidrogen yang terbentuk di antara atom atom di sepanjang tulang punggung (*backbone*) rantai polipeptida. Contoh struktur enzim sekunder adalah alfa heliks dan lembaran berlipat-beta; (3) struktur tersier melibatkan interaksi jarak jauh di antara rantai sisi asam amino. Struktur enzim tersier membentuk globular protein yang sangat akurat; (4) struktur kuartener enzim berhubungan dengan interaksi antara dua atau lebih subunit polipeptida yang berbeda pada sebuah protein fungsional. Dalam mempelajari struktur enzim, dikenal adanya situs aktif. Pengertian sisi aktif adalah daerah spesifik di enzim tempat substrat atau banyak substrat berikatan dan tempat reaksi enzimatik berlangsung.

Sel makhluk hidup disusun secara bertahap melalui reaksi anabolisme dari senyawa sederhana menjadi komponen kompleks baik baik fungsi maupun stuktur, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.1**. Reaksi anabolisme merupakan proses pembentukan atau penyusunan atau sintesis senyawa organik sederhana seperti CO_2 , H_2O , N, PO_4 , Na dan lain-lain menjadi senyawa makromolekul yang lebih kompleks seperti mononukleotida, asam amino, gula sederhana dan asam lemak/glisserol. Selanjutnya senyawa tersebut sebagai monomer membentuk polimer akan membentuk komponen makromolekul seperti asam nukleat, protein, polisakarida atau karbohidrat dan lemak/lipida.

5.3 Zat Gizi Makro dan Mikro, serta Peranannya dalam Tubuh

Dalam melaksanakan fungsinya di dalam tubuh, komponen bahan makanan atau zat gizi saling terkait antara satu komponen dengan komponen lainnya, sehingga terjadi saling ketergantungan. Adanya gangguan atau hambatan pada metabolisme zat gizi memberikan dampak pada gangguan atau hambatan metabolisme zat gizi lainnya. Zat gizi dikelompokkan

berdasarkan jumlah yang diperlukan oleh tubuh dibagi menjadi dua, yaitu zat gizi makro (karbohidrat, protein, lipida, dan air) dan zat gizi mikro (vitamin dan mineral).



Gambar 5.1 Organisasi molekul makhluk hidup (Modifikasi Devlin 2006)

5.3.1 Karbohidrat

Karbohidrat memegang peranan penting sumber energi utama bagi manusia. Melalui proses fotosintesis, klorofil yang ada pada tanaman dengan adanya sinar matahari mampu membentuk karbohidrat dari karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O). Secara kimiawi, karbohidrat adalah derivat aldehida atau keton dari alkohol polihedrik (lebih dari satu gugus hidroksil) atau sebagai senyawa yang menghasilkan derivat ini pada proses hidrolisis. Selain sebagai sumber utama energi karbohidrat juga memiliki peran dalam membentuk struktural dan fungsi metabolik.

Setiap satu gram karbohidrat yang dikonsumsi menghasilkan energi sebesar 4 kkal dan energi hasil proses oksidasi (pembakaran) karbohidrat ini kemudian dimanfaatkan oleh tubuh untuk menjalankan berbagai fungsinya seperti bernafas, kontraksi jantung dan otot serta juga untuk menjalankan berbagai aktivitas fisik seperti berolah-raga atau bekerja.

Dalam tumbuhan, glukosa disintesis dari proses fotosintesis disimpan sebagai pati atau diubah menjadi selulosa yang merupakan kerangka tumbuhan. Hewan dapat mensintesis sebagian karbohidrat dari lemak protein tetapi jumlah terbesar karbohidrat dalam jaringan tubuh hewan juga berasal dari tumbuhan. Pada hewan dan manusia, karbohidrat disimpan dalam bentuk glikogen, terutama di hati (2–8%) dan otot (0,5–1%). Kandungan glikogen di dalam hati terutama berguna bagi untuk mempertahankan kadar glukosa darah pada keadaan normal (70–90 mg/mL darah), sedangkan glikogen otot dapat bertindak sebagai penyedia energi untuk keperluan interaksi.

Di dalam ilmu gizi, secara sederhana karbohidrat dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu karbohidrat sederhana dan karbohidrat kompleks dan berdasarkan responsnya terhadap glukosa darah di dalam tubuh, karbohidrat juga dapat dibedakan berdasarkan nilai tetapan indeks glisemik (*glycemic index*).

Contoh karbohidrat sederhana adalah kelompok monosakarida seperti glukosa, fruktosa dan galaktosa atau kelompok disakarida seperti sukrosa dan laktosa. Jenis karbohidrat sederhana ini dapat ditemui terkandung di dalam produk pangan seperti madu, buah-buahan dan susu. Sementara contoh dari kelompok karbohidrat kompleks adalah pati, glikogen, selulosa dan serat. Karbohidrat kelompok ini dapat ditemukan pada beras (nasi), kentang, jagung, singkong, ubi, pasta, dan sebagainya.

5.3.2 Protein

Protein adalah bagian penting dari semua sel hidup dan merupakan bagian terbesar penyusun tubuh. Seperlima bagian tubuh adalah protein, setengahnya ada di dalam otot, seperlima ada di dalam tulang dan tulang rawan, sepersepuluh di dalam kulit, dan selebihnya di dalam jaringan lain dan cairan tubuh. Semua enzim, hormon, *carrier* untuk proses transportasi komponen gizi dan komponen bioaktif, matriks intraseluler dan sebagainya adalah protein. Di samping itu asam amino sebagai senyawa paling sederhana yang membentuk protein bertindak sebagai prekursor sebagian besar koenzim, hormon, asam nukleat dan molekul yang esensial untuk kehidupan. Protein mempunyai fungsi yang tidak dapat digantikan oleh zat gizi lain, yaitu sebagai

komponen untuk membangun dan memelihara sel dan jaringan tubuh. Protein juga sebagai sumber energi di mana setiap satu gram protein dapat menghasilkan 4 kkal.

Protein terdiri atas rantai panjang asam amino, yang terikat satu sama lain dalam ikatan peptida. Asam amino terdiri atas unsur karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen; beberapa asam amino di samping itu mengandung unsur fosfor, besi, sulfur, iodium, dan kobalt. Unsur nitrogen adalah unsur utama protein, karena terdapat di dalam semua protein yang tidak terdapat di dalam karbohidrat dan lemak. Unsur nitrogen merupakan 16% dari berat protein.

Molekul protein lebih kompleks daripada karbohidrat dan lemak dalam hal berat molekul dan keanekaragaman unit asam amino sebagai penyusunnya. Berat molekul protein bisa mencapai empat puluh juta; dibandingkan dengan berat molekul glukosa yang besarnya 180 g/mol. Ada dua puluh jenis asam amino yang diketahui sampai sekarang yang terdiri atas sembilan asam amino esensial dan sebelas asam amino nonesensial.

Tubuh kita dapat memproduksi beberapa asam amino. Protein yang kita peroleh dari daging dan produk hewani lainnya mengandung semua asam amino yang kita butuhkan. Protein dari daging dan produk hewani yang lain juga disebut sebagai protein lengkap. Berbeda dengan protein nabati yang tidak mengandung asam amino esensial yang lengkap, maka dibutuhkan sumber pangan nabati yang beragam untuk dapat melengkapinya.

Beberapa sumber protein yang sangat baik antara lain ikan, kerang, daging unggas, daging merah (sapi, babi, domba), telur, kacang-kacangan, selai kacang, biji-bijian produk dari kedelai (tahu, tempe, susu kedelai, dan lain-lain), susu dan produk olahan susu.

5.3.3 Lemak

Lemak merupakan bagian penting dari membran makhluk hidup. Semua sel dikelilingi oleh membran yang berfungsi sebagai pelindung antara sel dengan lingkungan sekitarnya. Selain sebagai komponen utama pada membran sel, lemak juga terdapat di dalam sel, membuat matrik sebagai

tempat berlangsungnya reaksi kimia. Semua sel di dalam tubuh kecuali sel darah merah dapat menggunakan asam lemak langsung sebagai energi. Lemak bersifat *mobile* yang dapat dikonversi menjadi asam lemak dan dimetabolisme. Sebaliknya asam lemak yang baru dicerna dapat disintesis ulang menjadi lemak dan disimpan sebagai cadangan makanan. Lemak juga berfungsi sebagai pelarut vitamin larut lemak. Nilai energi yang dihasilkan dari mengonsumsi satu gram lipida adalah 9 kkal.

Lemak yang kita peroleh sebagai sumber energi utamanya adalah dari lipid netral, yaitu trigliserida (ester antara gliserol dengan tiga asam lemak). Secara sederhana, hasil dari pemecahan trigliserida adalah asam lemak dan gliserol, selain itu ada juga yang masih berupa monogliserida. Gliserol sebagai hasil hidrolisis trigliserida menjadi sumber energi. Gliserol ini selanjutnya masuk ke dalam jalur metabolisme karbohidrat yaitu glikolisis. Pada tahap awal, gliserol mendapatkan satu gugus fosfat dari ATP membentuk gliserol 3-fosfat. Selanjutnya senyawa ini masuk ke dalam rantai respirasi membentuk dihidroksi aseton fosfat yang merupakan suatu produk antara.

Untuk memperoleh energi, asam lemak dapat dioksidasi dalam proses yang dinamakan oksidasi beta. Sebelum dikatabolisir dalam oksidasi beta, asam lemak harus diaktifkan terlebih dahulu menjadi asil-KoA. Dengan adanya ATP dan Koenzim A, asam lemak diaktifkan dengan dikatalisir oleh enzim asil-KoA sintetase.

Sintesis asam lemak terjadi di dalam sitoplasma. *Acyl carrier* protein digunakan selama sintesis sebagai titik pengikatan. Semua sintesis terjadi di dalam kompleks enzim-*fatty acid synthase*. *Nicotinamide adenine dinucleotide phosphate* (NADPH) digunakan untuk sintesis. Asam lemak akan disimpan jika tidak diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Tempat penyimpanan utama asam lemak adalah jaringan adiposa dan asam lemak yang akan dioksidasi untuk memenuhi kebutuhan energi.

5.3.4 Vitamin Larut Lemak

Vitamin yang larut dalam lemak atau lipida merupakan molekul non-polar hidrofobik dan sebagai *derivate isoprene*. Semua vitamin yang larut dalam lemak diperlukan dalam sistem pencernaan seperti halnya pada lemak

bahan pangan. Secara umum vitamin larut dalam lemak memerlukan kondisi yang sama dengan kondisi yang diperlukan untuk berlangsungnya penyerapan lemak di dalam tubuh. Setelah diserap di dalam usus halus, vitamin A, D, dan K kemudian ditransportasikan dan disimpan di dalam hati, sedangkan vitamin E disimpan di dalam jaringan adiposa. Vitamin tersebut kemudian diangkut dalam darah oleh lipoprotein atau protein lainnya sebagai pengikat spesifik.

Vitamin A adalah vitamin larut lemak yang pertama ditemukan. Secara luas, vitamin A merupakan nama generik yang menyatakan semua retinoid dan prekursor/provitamin A karotenoid yang mempunyai aktivitas biologi sebagai retinol. Vitamin A berfungsi untuk menjaga untuk pengelihan kita. Defisiensi vitamin A dapat mengakibatkan timbulnya gejala penyakit rabun senja atau istilah medisnya seroftalmia. Sumber vitamin A adalah hati, kuning telur, dan mentega. Sumber lainnya yaitu sayuran berwarna hijau tua dan buah-buahan yang berwarna kuning-jingga, seperti daun singkong, daun kacang, kangkung, bayam, kacang panjang, buncis, wortel, tomat, jagung kuning, pepaya, mangga, nangka masak, dan jeruk.

Vitamin D mencegah dan menyembuhkan riketsia, yaitu penyakit di mana tulang tidak mampu melakukan klasifikasi. Vitamin D dapat dibentuk tubuh dengan bantuan sinar matahari. Karena dapat disintesis di dalam tubuh, vitamin D dapat dikatakan bukan vitamin, tapi suatu prohormon. Apabila tubuh tidak mendapat cukup sinar matahari, maka vitamin D perlu dipenuhi melalui makanan. Bahan makanan yang kaya dengan vitamin D adalah susu. Defisit vitamin D memberikan penyakit rakhitis atau disebut pula penyakit Inggris karena mula-mula banyak terdapat dan dipelajari di negara Inggris.

Vitamin E banyak terkandung pada berbagai biji-bijian khususnya biji yang sudah berkecambah. Kekurangan vitamin E pada manusia menyebabkan hemolisis eritrosit, yang dapat diperbaiki dengan pemberian tambahan vitamin E. Vitamin E merupakan vitamin yang bagus untuk kulit dan untuk kesuburan.

Sumber utama vitamin K adalah hati, sayuran daun berwarna hijau, kacang buncis, kacang polong, kol dan brokoli. Semakin hijau daun-daunan, maka semakin tinggi kandungan vitamin K-nya. Bahan makanan lain yang mengandung vitamin K dalam jumlah lebih kecil adalah susu, daging, telur,

serealia, buah-buahan, dan sayuran lain. Kekurangan vitamin K menyebabkan darah tidak dapat menggumpal, sehingga dapat terjadi pendarahan apabila terdapat luka atau dilakukan operasi.

5.3.5 Vitamin Larut Air

Struktur vitamin larut air sangat bervariasi dengan sifat polar sehingga mudah larut di dalam air. Vitamin kelompok ini umumnya dapat disintesis dari tanaman kecuali vitamin B12. Vitamin yang larut dalam air bersifat tidak stabil selama penyimpanan, sehingga harus disuplai dalam diet makanan secara terus-menerus. Semua vitamin larut air, kecuali vitamin C berfungsi sebagai koenzim atau kofaktor dalam reaksi enzimatik.

Vitamin C pada umumnya terdapat di dalam buah terutama yang asam, seperti jeruk, nenas, rambutan, pepaya, gandaria, dan tomat. Vitamin C juga banyak terdapat di dalam sayuran daun-daunan dan jenis kol. Defisiensi vitamin C dapat menyebabkan terjadinya gejala penyakit skorbut atau sariawan. Kerusakan terutama terjadi pada jaringan rongga mulut, pembuluh darah kapiler dan jaringan tulang.

Sumber utama vitamin B adalah beras dan serealia. Vitamin B terdapat pada bagian selaput beras, sehingga pencucian beras yang berlebihan dapat menyebabkan vitamin B larut ke dalam air pencucian. Defisiensi vitamin B dapat menyebabkan penyakit beri-beri.

5.3.6 Mineral

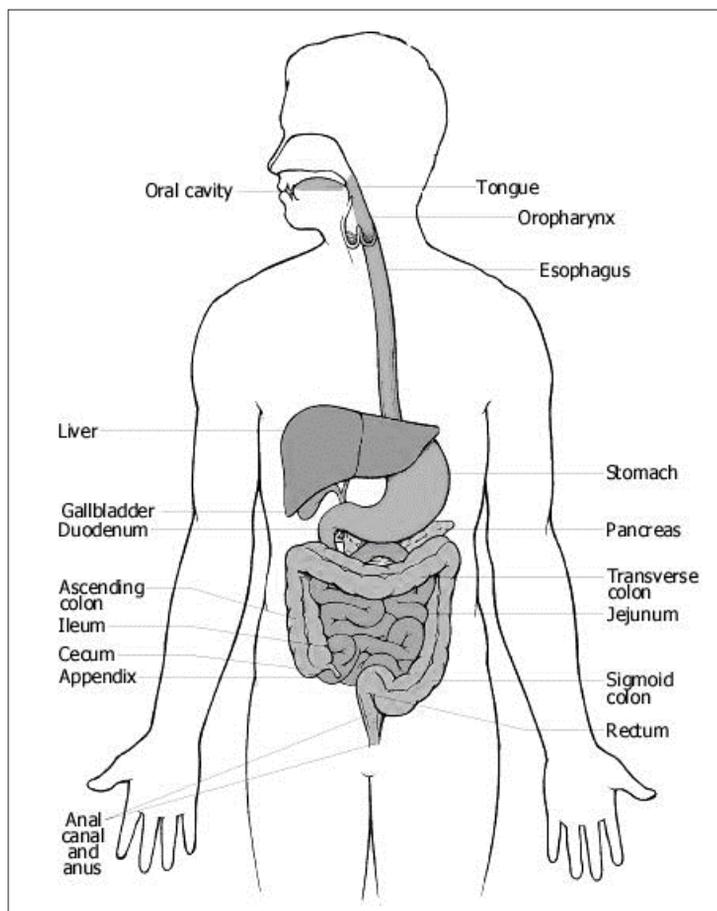
Mineral merupakan bagian dari tubuh dan memegang peran penting dalam pemeliharaan fungsi tubuh, baik pada tingkat sel, jaringan, organ maupun fungsi tubuh secara keseluruhan. Kalsium, fosfor, dan magnesium adalah bagian dari tulang, besi dari hemoglobin dalam sel darah merah dan iodium dari hormon tiroksin. Di samping itu mineral berperan dalam berbagai tahap metabolisme, terutama sebagai kofaktor dalam aktivitas enzim. Keseimbangan ion mineral di dalam cairan tubuh diperlukan untuk sebagai pengatur kerja enzim, pemeliharaan keseimbangan asam-basa, membantu transfer ikatan penting melalui membran sel dan pemeliharaan kepekaan otot dan saraf terhadap rangsangan lingkungan.

Mineral digolongkan ke dalam mineral makro dan mineral mikro. Mineral makro adalah mineral yang dibutuhkan tubuh dalam jumlah lebih dari 100 mg sehari antara lain natrium, klorida, kalium, kalsium, fosfor, magnesium dan sulfur. Mineral makro berperan dalam keseimbangan cairan tubuh, untuk transmisi saraf dan kontraksi otot, memberi bentuk (struktur) kepada tulang, dan memegang peranan khusus di dalam tubuh. Mineral mikro dibutuhkan kurang dari 100 mg sehari antara lain besi, seng, iodium, selenium, *flour*, molibdenum, dan kobal. Jumlah mineral mikro dalam tubuh kurang dari 15 mg, sehingga memerlukan asupan dari pangan yang dikonsumsi.

5.4 Pencernaan, Absorpsi dan Transportasi Pangan dalam Tubuh

Organ pencernaan manusia dengan panjang sekitar sembilan meter berbentuk tabung menggulung yang terdapat di dalam tubuh kita. Makanan yang dikonsumsi akan melewati organ ini mulai saat masuk melewati mulut dan keluar berupa residu (sisa) makanan yang tidak tercerna dikeluarkan dalam feses. Secara fisiologis, sebelum komponen makanan tersebut diserap oleh dinding usus halus yang kemudian dibawa oleh darah ke seluruh sel yang memerlukannya.

Proses pencernaan adalah proses perubahan molekul kompleks (pangan) menjadi molekul sederhana (zat gizi atau bagiannya) yang dilakukan secara mekanis dan kimia terjadi di dalam alat pencernaan (**Gambar 5.2**). Proses pencernaan secara mekanis terjadi dengan cara mengunyah makanan. Proses pengunyahan akan berdampak pada meningkatnya luas permukaan, sehingga enzim pencernaan akan kontak selama pergerakan peristalsis lambung. Gerak peristaltis ini selain berfungsi untuk menggerakkan makanan ke saluran pencernaan bagian bawah, juga berfungsi untuk menghancurkan lebih lanjut makanan yang telah dikunyah di dalam mulut.



Gambar 5.2 Saluran pencernaan makanan (Mañas *et al.* 2003)

Proses pencernaan secara kimia disebabkan karena ada aktivitas enzim yang akan bereaksi dengan komponen gizi atau komponen lainnya yang terdapat pada makanan. Aktivitas enzim bersifat sangat spesifik sehingga mengakibatkan perubahan pada makanan. Secara garis besar lokasi organ dan perubahan selama pencernaan disajikan pada **Tabel 5.1**. Sistem pencernaan terdiri atas mulut, tenggorokan, kerongkongan, lambung, usus halus, usus besar, rektum, dan anus. Sistem pencernaan juga melibatkan organ yang terdapat di luar saluran pencernaan seperti pankreas, hati (*liver*), dan kantung empedu.

Tabel 5.1 Fungsi organ dalam proses pencernaan dan penyerapan makanan

| Organ | Fungsi |
|-----------------------|--|
| Saliva | Elaborasi cairan dan enzim pencernaan |
| Lambung | Elaborasi HCl dan enzim pencernaan |
| Penkreas | Elaborasi NaHCO_3 dan enzim pencernaan |
| Hati (<i>liver</i>) | Elaborasi asam empedu |
| Kantung empedu | Penyimpanan empedu |
| Usus halus | Tahapan akhir proses pencernaan dan penyerapan zat gizi dan elektrolit |
| Usus besar | Penyerapan elektrolit |

Sumber: Hopfer (2006)

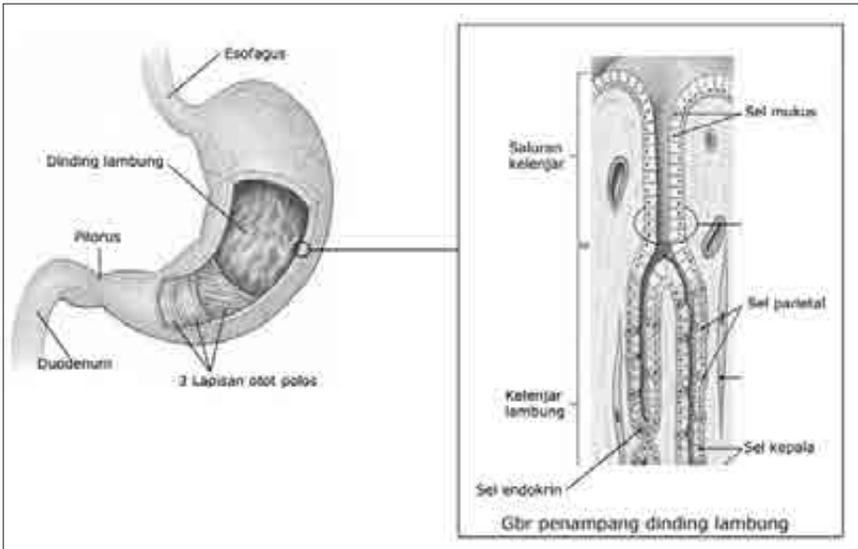
Mulut merupakan saluran masuk pertama pada sistem saluran pencernaan. Bagian dalam dari mulut dilapisi oleh selaput lendir. Makanan dipotong-potong oleh gigi depan dan dikunyah oleh gigi belakang menjadi bagian kecil yang lebih mudah dicerna. Ludah dari kelenjar ludah akan membungkus bagian dari makanan tersebut dengan enzim pencernaan dan mulai mencernanya. Saliva (air liur), sekresi yang berkaitan dengan mulut yang diproduksi oleh tiga kelenjar saliva utama yaitu parotis, submandibula dan sublingual yang terletak di rongga mulut yang dikeluarkan melalui duktus di dalam mulut.

Setelah melalui rongga mulut, makanan yang berbentuk bolus akan masuk ke dalam faring. Faring adalah saluran yang memanjang dari bagian belakang rongga mulut sampai ke permukaan kerongkongan. Pada pangkal faring terdapat katup pernapasan yang disebut epiglottis. Epiglottis berfungsi untuk menutup ujung saluran pernapasan agar makanan tidak masuk ke saluran pernapasan. Setelah melalui faring, bolus menuju ke esofagus; suatu organ berbentuk tabung lurus, berotot lurik dan berdinding tebal. Otot kerongkongan berkontraksi sehingga menimbulkan gerakan meremas yang mendorong bolus ke dalam lambung.

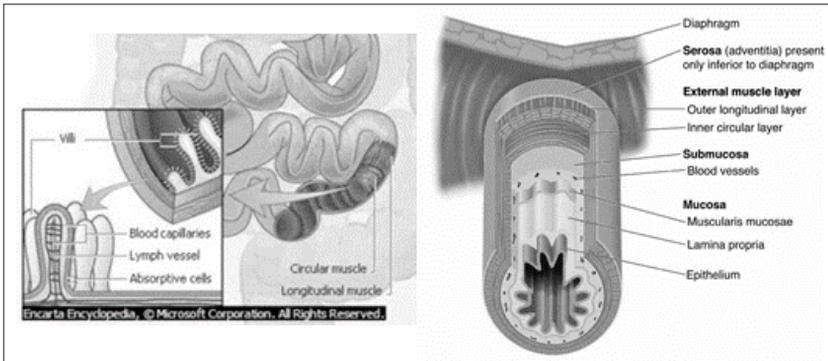
Selanjutnya makanan masuk ke dalam organ lambung. Lambung adalah ruang berbentuk kantung yang berbentuk huruf J yang terletak antara esofagus dan korpus (**Gambar 5.3**). Di dalam lambung, makanan dicerna

secara kimia. Dinding lambung berkontraksi, menyebabkan gerak peristaltik. Gerak peristaltik dinding lambung mengakibatkan makanan di dalam lambung teraduk-aduk. Di bagian dinding lambung sebelah dalam terdapat kelenjar yang menghasilkan getah lambung. Getah lambung mengandung asam lambung, serta enzim lain. Asam lambung berfungsi sebagai pembunuh mikroorganisme dan mengaktifkan enzim pepsinogen menjadi pepsin. Pepsin merupakan enzim yang dapat mengubah protein menjadi molekul yang lebih kecil.

Usus halus terletak di antara lambung dan usus besar. Usus halus berdiameter sekitar 2,5 cm dan memiliki panjang sekitar 6 meter. Usus halus merupakan tabung kompleks, berlipat-lipat yang membentang dari pilorus sampai katup ileosekal (**Gambar 5.4**). Usus ini mengisi bagian tengah dan bawah rongga abdomen. Dinding usus halus kaya akan pembuluh darah yang mengangkut zat yang diserap ke hati melalui vena porta. Dinding usus melepaskan lendir (yang melumasi isi usus) dan air (yang membantu melarutkan pecahan makanan yang dicerna). Dinding usus juga melepaskan sejumlah kecil enzim yang mencerna protein, gula dan lemak. Di usus halus terdapat susunan yang sangat rapat dari kelenjar mukus campuran, yang disebut kelenjar *brunner*. Kelenjar ini menyekresi mukus yang alkalis dalam jumlah besar. Fungsi dari mukus yang disekresikan oleh kelenjar *brunner* adalah untuk melindungi dinding duodenum dari pencernaan oleh getah lambung yang sangat asam, yang keluar dari lambung.



Gambar 5.3 Anatomi lambung (Hopfer 2006)

Gambar 5.4 Anatomi usus halus (Mañas *et al.* 2003)

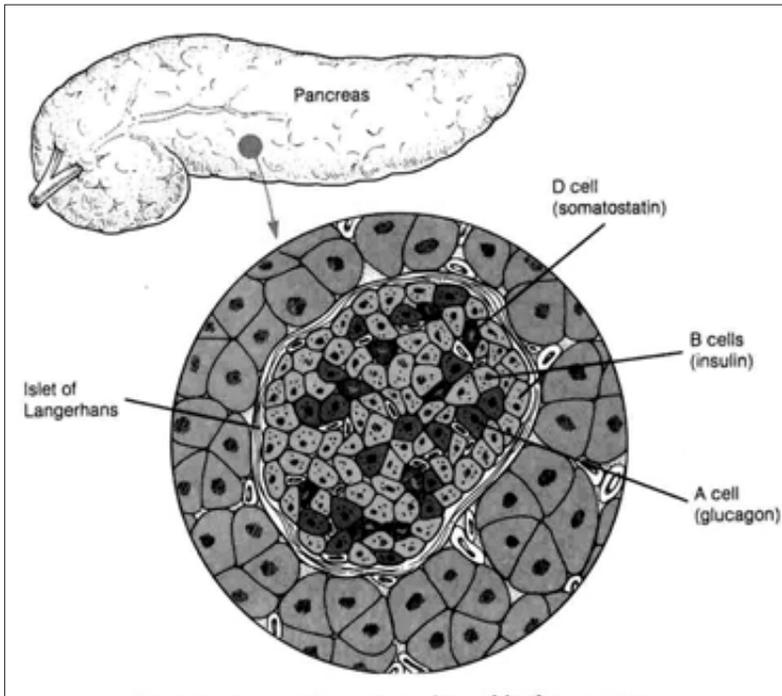
Usus besar merupakan tabung muskular berongga dengan panjang sekitar 1,5 m yang terbentang dari sekum sampai kanalisani. Diameter usus besar lebih besar daripada usus kecil. Rata-rata sekitar 6,5 cm, tetapi makin dekat anus diameternya semakin kecil. Lapisan usus besar dari dalam ke luar adalah selaput lendir, lapisan otot yang memanjang, dan jaringan ikat. Ukurannya lebih besar daripada usus halus, mukosanya lebih halus daripada usus halus dan tidak memiliki vili. Isi usus yg disalurkan ke kolon terdiri atas residu makanan

yang tidak dapat dicerna (misalnya serat makanan), komponen empedu yang tidak dapat diserap dan sisa cairan. Bahan ini membentuk sebagian besar feces dan membantu mempertahankan pengeluaran tinja secara teratur karena berperan menentukan volume isi usus besar.

Pankreas tersusun dari bagian eksokrin dan endokrin. Bagian endokrin terdiri atas pulau Langerhans dan bagian eksokrin terdiri atas kelenjar asiner (**Gambar 5.5**). Sel asiner pankreas merupakan sel serosa, dan memiliki sifat mensintesis protein. Setelah disintesis dalam bagian basal sel, maka proenzim selanjutnya meninggalkan retikulum endoplasma kasar dan masuk apparatus Golgi. Proenzim tersebut dikumpulkan dalam vesikel sekresi yang disebut sebagai granula prozimogen. Granula sekresi yang matang (granula zimogen), melekat pada membran dan terkumpul pada bagian apical (ujung) sel. Bagian eksokrin pankreas manusia mensekresikan, air, ion karbonat, enzim (karboksipeptidase, ribonuklease, deoksiribonuklease, lipase, dan amilase) dan proenzim (tripsinogen dan kimotripsinogen).

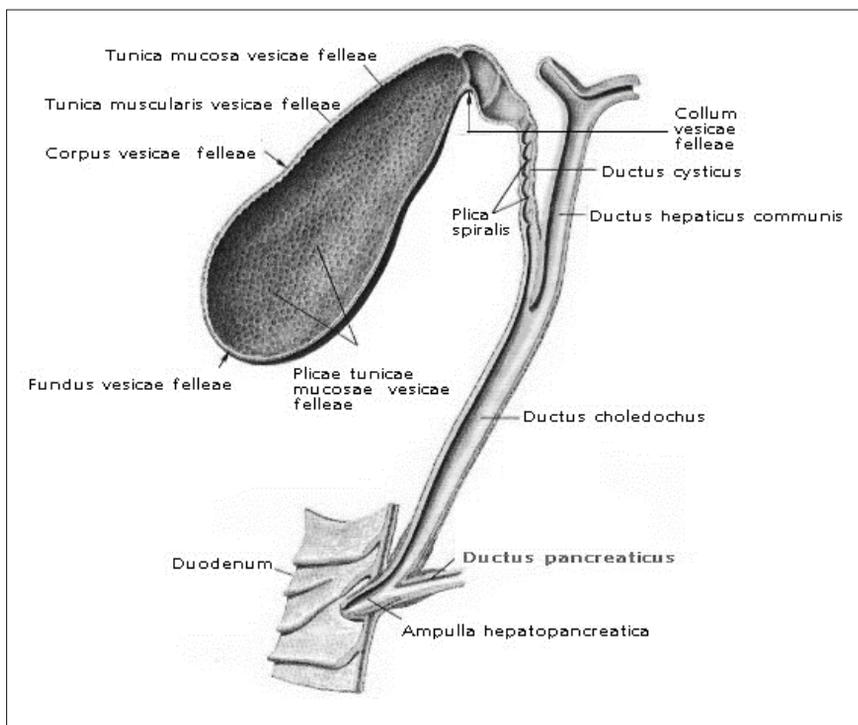
Hati atau *liver* merupakan kelenjar terbesar di dalam tubuh, terletak dalam rongga perut sebelah kanan, tepatnya di bawah diafragma. Berdasarkan fungsinya, hati juga termasuk sebagai alat ekskresi. Hal ini dikarenakan hati membantu fungsi ginjal dengan cara memecah beberapa senyawa yang bersifat racun dan menghasilkan amonia, urea dan asam urat dengan memanfaatkan nitrogen dari asam amino. Proses ini disebut dengan proses detoksifikasi.

Hati memiliki fungsi sebagai berikut: (1) metabolisme karbohidrat yaitu berperan penting dalam mempertahankan kadar glukosa di dalam darah. Setelah makan, saat glukosa darah meningkat, glukosa diubah menjadi glikogen sebagai cadangan dan memengaruhi hormon insulin. Selanjutnya, pada saat kadar glukosa turun, hormon glukagon merangsang perubahan glikogen kembali menjadi glukosa dan menjaga kadar glukosa dalam kisaran normal; (2) metabolisme lemak yaitu memecah cadangan lemak yang dapat digunakan jaringan; (3) metabolisme protein yang terdiri atas tiga proses yaitu deaminasi asam amino, transaminasi dan sintesis protein darah; (4) pemecahan eritrosit dan pertahanan tubuh; (5) produksi panas, hati menggunakan banyak energi, memiliki laju metabolik dan menghasilkan panas; (6) detoksikasi dan inaktivasi; dan (7) sekresi empedu.



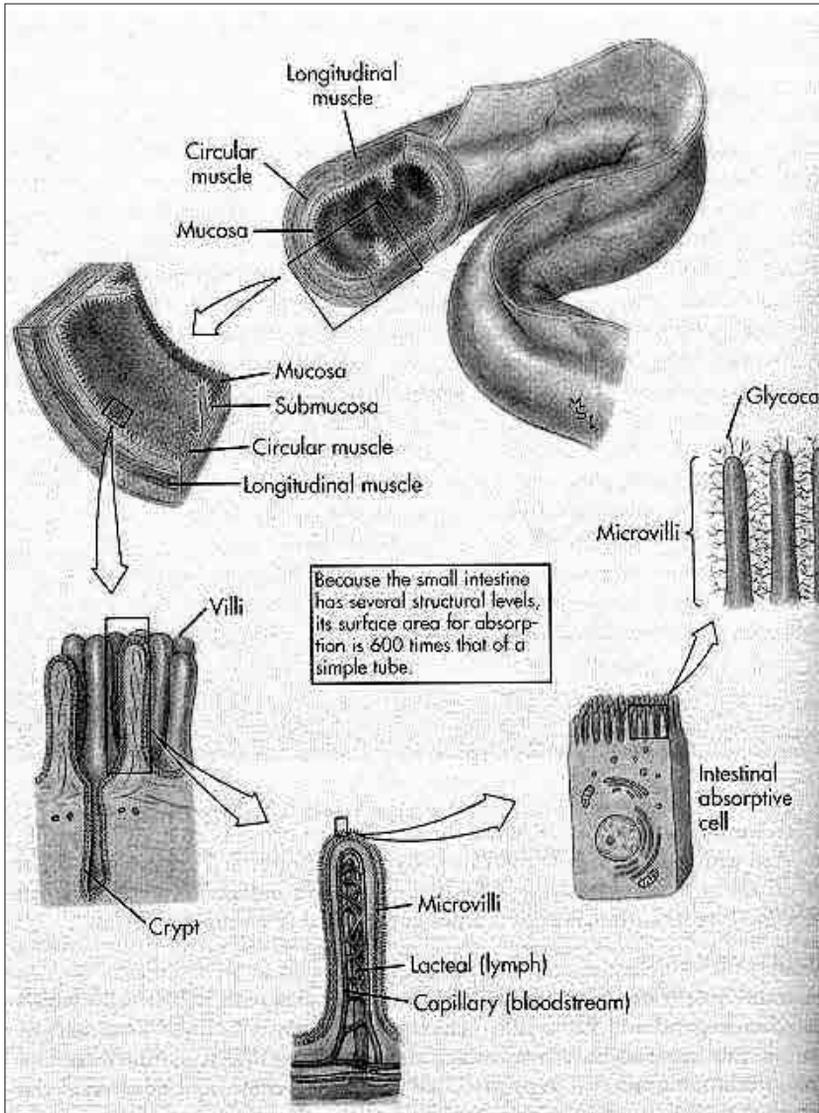
Gambar 5.5 Struktur anatomi pankreas (Mañas *et al.* 2003)

Sebagai tambahan dari beberapa fungsi hati dalam metabolisme, hati juga memproduksi cairan empedu. Cairan empedu memiliki peran penting dalam proses pencernaan makanan khususnya lipida. Kantung empedu berbentuk buah pir dan melekat pada permukaan posterior hati oleh jaringan ikat menyimpan sejumlah cairan empedu yang diproduksi oleh hati di antara waktu makan (**Gambar 5.6**). Selama proses pencernaan kantung empedu mensuplai cairan empedu secara cepat ke dalam usus kecil melalui saluran empedu. Adanya cairan empedu dalam usus akan membantu proses pencernaan dan penyerapan lipida serta vitamin larut lemak. Cairan empedu juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan alkali yang akan membantu menetralkan *chyme* yang berasal dari lambung. Cairan empedu juga adalah sebagai wahana ekskresi yang berfungsi untuk menghilangkan bahan kimia berbahaya, toksin, pigmen empedu dan bahan berbahaya anorganik (Cu, Zn dan Hg) serta merupakan jalur penting untuk dapat mengeliminasi kolesterol dari tubuh.



Gambar 5.6 Struktur anatomi kantung empedu (Mañas *et al.* 2003)

Proses penyerapan (absorpsi) dalam metabolisme adalah proses di mana hasil pencernaan ditransportasikan melalui dinding usus dan kemudian dialirkan oleh darah atau limfa. Sebagian besar zat gizi dan komponen aktif ditransportasikan menuju aliran darah, lalu sebagian kecil lainnya pertamanya masuk ke sistem limfatik, baru kemudian menuju aliran darah. Sebagai contoh senyawa sederhana seperti glukosa dan obat-obatan langsung dapat diserap di dalam mulut. Sebagian besar alkohol yang tidak memerlukan proses pencernaan, baru kemudian diserap di lambung. Zat gizi beberapa mineral seperti Fe dan Ca diserap pada bagian atas usus halus. Zat gizi makro seperti karbohidrat, protein dan lipida setelah melalui proses pencernaan kemudian diserap di sepanjang usus halus yang didesain sedemikian rupa sebagai organ utama dalam proses absorpsi (**Gambar 5.7**).



Gambar 5.7 Permukaan usus halus pada proses penyerapan (Hopfer 2006)

Pada permukaan usus halus khususnya pada *duodenum* dan *jenunum* mempunyai lipatan sehingga dapat meningkatkan luas permukaan dalam proses penyerapan makanan. Pada permukaan lipatan ini dan permukaan lainnya terdapat beberapa tonjolan kecil lainnya yang dikenal dengan nama

villi. Setiap *villus* juga memiliki tonjolan yang lebih kecil lagi yang dinamakan dengan *microvilli* sehingga dapat meningkatkan luas permukaan pada usus berkali-kali lebih tinggi (sampai mencapai 300 kali) (**Gambar 5.7**). Permukaan setiap *villus* terbuat dari satu lapisan sel. Beberapa *villi* mensekresikan *micus* untuk melindungi dinding usus dan bermanfaat dalam proses pencernaan dan penyerapan. *Villi* juga dapat memproduksi hormon yang berperan dalam proses penyerapan. *Villi* juga berfungsi memproduksi beberapa senyawa imun yang berfungsi untuk menghambat dan mencegah masuknya senyawa racun atau toksik yang terbawa pada saat konsumsi makanan.

Komponen sederhana dari zat gizi makro hasil proses pencernaan seperti glukosa, asam amino, asam lemak, gliserol dan alkohol dengan cepat ditransportasikan ke dalam darah. Zat gizi mikro seperti vitamin dan mineral yang diambil, ditentukan oleh tubuh apakah memerlukan zat gizi tersebut atau tidak. Misalnya mineral, jumlah mineral yang diserap di dalam diet makanan biasanya berbanding terbalik dengan jumlah mineral yang ada di dalam tubuh. Artinya makin kecil jumlah yang diserap bila jumlah mineral di dalam tubuh konsentrasinya tinggi.

Komponen zat gizi dan komponen bioaktif yang diserap melalui beberapa mekanisme antara lain yaitu: (1) difusi pasif; (2) difusi fasilitas (*facilitated diffusion*), dan (3) transpor aktif. Difusi pasif yaitu proses di mana komponen berpindah dari lokasi dengan konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah. Proses ini berlangsung bila nilai konsentrasi dalam usus lebih tinggi dari konsentrasi dalam darah yang terjadi bila jumlah konsumsi suatu komponen bahan makanan dalam jumlah tinggi. Sebagai catatan bahwa hanya sedikit jumlah komponen yang diserap dengan mekanisme difusi pasif.

Sebaliknya sebagian besar komponen bahan makanan diserap melalui mekanisme difusi fasilitas dan transpor aktif. Kedua proses ini memerlukan senyawa pembawa protein (protein *carrier*) yang mengambil/membawa komponen pada sisi luar (usus) atau sisi mukosa pada suatu sel penyerap dan kemudian mentransportasikannya melewati sel dan atau melepaskannya pada sisi dalam (serosal), yang kemudian selanjutnya mentransportasikannya ke dalam darah. Proses transport aktif memerlukan energi untuk mengangkut

pertukaran natrium (Na). Kemudian pembawa protein digunakan oleh komponen tertentu misalnya mangan (Mn) atau *retinol binding protein* (RBP) untuk mentransportasikan vitamin A.

Setelah komponen melewati sel penyerapan pada *microvilli*, sebagian besar komponen bahan makanan dilepaskan langsung ke dalam darah dan dibawa ke dalam vena porta untuk dibawa langsung menuju hati. Dari hati, komponen tersebut didistribusikan ke sel yang memerlukan, ginjal sebagai organ yang berfungsi untuk proses filterisasi yang kemudian dapat diserap kembali atau disekresikan atau komponen tersebut dapat disimpan di dalam hati, ginjal, dan tulang.

5.5 Metabolisme Karbohidrat, Lipida, dan Asam Amino

5.5.1 Metabolisme Karbohidrat Tercerna

Karbohidrat memiliki peranan yang penting pada tubuh manusia, yaitu sebagai sumber energi, membantu mengendalikan kadar gula darah dan metabolisme insulin, terlibat dalam metabolisme kolesterol dan trigliserida. Karbohidrat dapat dibagi menjadi beberapa jenis yaitu karbohidrat sederhana dan karbohidrat kompleks.

Karbohidrat sederhana merupakan karbohidrat yang dapat secara mudah dimetabolisme sebagai sumber energi dan menyebabkan peningkatan kadar gula darah dan sekresi insulin dari pankreas secara cepat. Contoh karbohidrat sederhana yaitu fruktosa, laktosa, maltose, sukrosa, glukosa, galaktosa, dan ribosa, sedangkan contoh makanan tinggi karbohidrat sederhana yaitu permen, minuman berkarbonasi, sirup jagung, jus buah, madu, dan gula pasir.

Karbohidrat kompleks berupa oligosakarida atau polisakarida (contohnya selobiosa, amilosa, selulosa, dan dekstrin) membutuhkan waktu lebih lama untuk dicerna. Amilosa dan amilopektin yang merupakan penyusun pati merupakan karbohidrat kompleks yang biasanya banyak terdapat pada sereal dan umbi-umbian seperti gandum, beras, kentang, ubi jalar, dsbnya. Berbagai jenis buah, sayur, dan sereal banyak mengandung karbohidrat kompleks.

Serat pangan merupakan karbohidrat kompleks yang tidak dapat dicerna di saluran cerna bagian atas dan selanjutnya akan difermentasi di kolon. Serat tidak larut dapat menyerap air di saluran cerna sehingga menyebabkan feses menjadi lunak dan *bulky*. Manfaat serat tidak larut yang lain adalah dalam regulasi pergerakan usus dan menurunkan risiko diverticulosis. Sementara itu, serat larut dapat membantu menurunkan kadar kolesterol total dan kolesterol LDL serta kadar gula darah postprandial (Holesh *et al.* 2020).

Karbohidrat yang paling banyak terdapat pada bahan makanan yaitu pati, sukrosa, dan laktosa. Glukosa dan fruktosa dalam bentuk bebas terdapat dalam jumlah kecil, demikian juga glikogen dan polisakarida yang tidak dapat dicerna. Pencernaan karbohidrat terjadi pertama kali di mulut oleh enzim α -amilase yang memecah pati dan glikogen dengan cara memutus ikatan α -1,4 antara residu glukosa secara acak menjadi α -dekstrin. Enzim α -amilase pada saliva dan pankreas tidak dapat menghidrolisis ikatan α -1,6, ikatan α -1,4 pada terminal dan ikatan α -1,4 di sebelah percabangan. Selanjutnya karbohidrat dicerna di saluran cerna oleh enzim α -amilase pankreas yang serupa dengan amilase pada saliva dan memecah polimer glukosa menghasilkan maltosa, maltotriosa, dan oligosakarida; enzim oligo 1,6 glukosidase (α dekstrinase = isomaltase) yang melepaskan residu glukosa dari cabang oligosakarida; enzim sukrase yang mengonversi sukrosa menjadi fruktosa dan glukosa; enzim laktase yang mengonversi laktosa menjadi glukosa dan galaktosa; serta enzim maltase yang mengonversi maltose menjadi dua molekul glukosa (Waly 2013).

Karbohidrat dari diet dicerna menjadi heksosa melalui serangkaian aksi dari enzim amilase dan isoamilase di saluran cerna serta disakarida di *brush border* enterosit, selanjutnya akan diserap di sirkulasi portal sebagai heksosa (>90% sebagai glukosa ketika diet yang diasup mengikuti rekomendasi 50–55% dari energi total). Glukosa merupakan sumber utama energi yang tersedia untuk hampir semua sel tubuh. Glukosa juga berperan dalam berbagai proses biosintesis (protein, asam lemak, glikosilasi, dsb), meskipun hanya merupakan bagian yang kecil dari keseluruhan metabolisme. Kadar gula darah puasa dipertahankan pada konsentrasi 0,8–1,2 g/L (4,4–6,7 mmol/L). Glukosa dapat berdifusi bebas dalam cairan ekstraseluler (volume total sekitar 0,2 kali berat badan) dengan jumlah total glukosa sekitar 14 g pada individu pria dengan berat badan 70 kg. Selain itu, ada sekitar 70–

120 g karbohidrat disimpan sebagai glikogen di hati dan 200–1000 g dalam otot rangka. Penggunaan karbohidrat dalam otot rangka hanya terbatas pada otot rangka tersebut karena otot rangka tidak dapat melepaskan glukosa ke dalam sirkulasi akibat kurangnya enzim glukosa-6-fosfatase (Tappy 2008).

Metabolisme glukosa dan makronutrien lainnya diatur oleh hormon. Insulin merupakan hormon anabolik utama, sekresinya relatif rendah di antara waktu makan, dan sekresi basal ini pada dasarnya mengatur produksi glukosa hepatic. Produksi glukosa basal (puasa) merupakan penentu utama kondisi glikemia saat puasa (**Tabel 5.2**). Sekresi insulin akan meningkat setelah konsumsi makanan yang mengandung karbohidrat, sekresi berlebihan akan menyebabkan hiperinsulinemia yang dapat memengaruhi pemanfaatan dan penyimpanan glukosa.

Tabel 5.2 Efek hormon terhadap metabolisme glukosa dalam tubuh

| Metabolisme Glukosa | Insulin | Glukagon | Kortisol | Adrenalin | Hormon Pertumbuhan |
|--|---------|----------|----------|-----------|--------------------|
| Glikogenolisis | ↓↓ | ↑↑ | | ↑↑ | |
| Gluconeogenesis | ↓ | ↑ | ↑↑ | ↑ | ↑ |
| Uptake glukosa otot / jaringan adiposa | ↑↑ | | ↓ | ↓ | ↓ |
| Penyimpanan glikogen | ↑ | ↓ | ↑ | ↓ | ↓ |
| Oksidasi glukosa | ↑ | | ↓ | ↓ | ↓ |

Berdasarkan sensitivitasnya terhadap insulin, organ dan jaringan dapat dikelompokkan ke dalam sensitif-insulin dan insensitif-insulin. Pada sensitif-insulin, jaringan seperti otot rangka dan jaringan adiposa, insulin secara akut meningkatkan pengambilan glukosa dengan menstimulasi translokasi transporter glukosa spesifik, yaitu *glucose transporter type 4* (GLUT4) ke membram plasma; jaringan yang sensitif insulin ini menggunakan glukosa setelah konsumsi karbohidrat dan lemak di antara waktu makan. Pada insensitif-insulin, serapan glukosa tidak tergantung pada konsentrasi insulin, transport dan oksidasi glukosa terjadi secara konstan sepanjang hari akibat adanya transporter glukosa dengan nilai K_m yang rendah (GLUT1, GLUT3) dan heksokinase. Jaringan pada otak bersifat tidak sensitif terhadap insulin dan menggunakan sekitar 1 mg/kg/menit glukosa (sekitar 1,5 g/kg/hari) sepanjang hari.

Sekelompok hormon katabolik, misalnya glukagon, adrenalin, kortisol, dan hormon pertumbuhan, bersifat berlawanan terhadap aksi insulin. Sekresi hormon ini akan meningkat di antara waktu makan, selama waktu makan atau agregasi. Secara keseluruhan, hormon ini akan mengurangi penyerapan glukosa dalam jaringan yang sensitif insulin dan merangsang produksi glukosa hati. Dengan lebih dari satu hormon tunggal, metabolisme glukosa diatur oleh keseimbangan antara insulin dan hormon katabolik (Tappy 2008).

Pada kondisi pasca absorbs, sekresi glukagon, kortisol, adrenalin, dan hormon pertumbuhan relatif tinggi, sedangkan sekresi insulin rendah. Konsentrasi insulin portal lebih tinggi daripada sistemik dan insulin membatasi stimulasi produksi glukosa oleh hormon katabolik yang memungkinkan kecocokan antara produksi glukosa dan pemanfaatan glukosa pada jaringan yang tidak sensitif insulin. Setelah konsumsi makanan yang mengandung karbohidrat, sekresi insulin meningkat dan sebaliknya hormon katabolik menurun sehingga akan menghasilkan penghambatan produksi glukosa hepatik dan stimulasi pemanfaatan glukosa pada jaringan yang sensitif insulin. Konsentrasi glukosa dan insulin portal yang tinggi juga dapat meningkatkan penyerapan glukosa hepatik dan penyimpanan glikogen hepatik (Grimble 2002).

5.5.2 Metabolisme Karbohidrat Tidak Tercerna

Beberapa jenis karbohidrat tidak dapat dicerna oleh saluran cerna bagian atas sehingga akan lolos mencapai kolon. Jenis karbohidrat ini merupakan serat pangan, contohnya selulosa yang terdiri atas polimer glukosa dengan ikatan β -1,4. Serat pangan merupakan bagian dari tanaman atau karbohidrat analog yang resisten terhadap pencernaan dan absorpsi pada usus halus dapat difermentasi secara lengkap atau parsial pada usus besar (AACC 2001). Serat pangan dapat ditemukan pada buah, sayuran, sereal, umbi, dan kacang-kacangan. Rekomendasi jumlah serat pangan yang harus dikonsumsi setiap harinya adalah 20–35 g. Serat pangan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Serat Larut Air

Serat larut air (*soluble fiber*) dapat larut dalam air hangat dan membentuk gel dengan cara menyerap air. Contoh serat larut adalah pektin, gum, musilase, glukukan, dan alga. Serat larut mudah difermentasikan dan memengaruhi metabolisme karbohidrat dan lipida. Serat larut air dan beberapa serat tidak larut difermentasikan oleh mikroflora usus besar yang menghasilkan asam lemak rantai pendek (*short chain fatty acid/SCFA*). Senyawa SCFA terdiri atas asetat, propionat, dan butirat. Pada otot dan hepar, SCFA dapat meningkatkan oksidasi asam lemak melalui peningkatan aktivasi jalur *adenosine monophosphate-activated protein kinase* (AMPK) juga dapat menurunkan ekspresi enzim glukoneogenik *glucose 6-phosphatase* (G6Pase) dan *phosphoenolpyruvate carboxykinase* (PEPCK), sehingga menekan reaksi glukoneogenesis. Pada kolon, SCFA dapat meningkatkan ekspresi peptida YY (PYY) dan *glucagon-like peptide-1* (GLP-1). Hormon PYY dapat meningkatkan *uptake* glukosa dalam otot dan jaringan adiposa, sedangkan GLP-1 dapat meningkatkan insulin dan menurunkan glukagon pada pankreas. Selain itu, senyawa SCFA juga mampu menurunkan produksi glukosa hepatic melalui peningkatan aktivitas AMPK (Den Besten *et al.* 2013).

Serat Tidak Larut Air

Serat pangan tidak larut (*insoluble fiber*) bersifat tidak larut di dalam air panas atau air dingin. Contoh serat pangan tidak larut adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Serat ini dapat memperbesar volume feces dan mengurangi waktu transit feces di saluran cerna. Serat tidak larut dapat meningkatkan sensitivitas insulin sehingga *uptake* glukosa darah meningkat. Mekanisme ini diawali dengan peningkatan sekresi *glucose-dependent insulintropic polypeptide* (GIP) setelah mengkonsumsi serat tidak larut (Kyrrou *et al.* 2018). GIP adalah hormon yang dikeluarkan oleh saluran pencernaan (*incretin*) sebagai respons terhadap konsumsi zat gizi. GIP bekerja pada sel- β untuk merangsang pelepasan insulin dan bertanggungjawab sampai 60% pada sekresi insulin saat kondisi setelah makan (*postprandial*). Selanjutnya, dengan meningkatnya GIP dapat menekan nafsu makan dan asupan makanan (Flint *et al.* 1998).

Pati resisten adalah total pati atau produk degradasi pati yang tidak dapat dicerna dan diabsorpsi di usus halus karena resisten terhadap enzim pencernaan. Menurut definisi AACC (2001), pati resisten dimasukkan ke dalam golongan serat pangan. Pati resisten banyak terdapat di umbi-umbian dibandingkan dengan sereal. Pati resisten mengalami fermentasi oleh mikroflora pada dinding kolon, menghasilkan SCFA sama halnya dengan serat larut air. Pati resisten memiliki 4 tipe yaitu RS tipe 1, 2, 3, dan 4. Pati resisten tipe 2 dapat menurunkan glukosa *postprandial*. Makanan yang mengandung pati resisten dimetabolisme dalam 5–7 jam setelah asupan makanan. Digesti yang memakan waktu lebih dari 5–7 jam menurunkan glikemia *postprandial*, menurunkan insulinemia, dan meningkatkan periode kenyang (Sajilata *et al.* 2006). Mekanisme penurunan absorpsi glukosa dengan adanya serat yaitu melalui peningkatan viskositas sehingga menimbulkan rasa kenyang yang lebih lama, pengosongan lambung yang lebih lama, serta menurunkan kecepatan absorpsi glukosa dan lemak di usus halus, sehingga dapat mengontrol kadar glukosa darah yang lebih baik (Behall *et al.* 2006).

5.5.3 Metabolisme Lipida

Lipida merupakan komponen diet yang penting dan berada dalam bahan makanan berupa minyak, mentega, hati, otak, dan kuning telur. Lipida dalam diet dikonsumsi dalam bentuk trigliserida, kolesterol, fosfolipid, dan asam lemak bebas. Lipida memiliki fungsi biologis sebagai berikut: (1) Merupakan sumber energi utama untuk tubuh, satu gram lemak menghasilkan 9,3 kkal; (2) Oksidasi simpanan lemak dalam tubuh dapat menyediakan energi yang cukup untuk bertahan hidup selama beberapa hari ketika seseorang mengalami kekurangan makan, sementara oksidasi glikogen hanya cukup untuk memenuhi kebutuhan tubuh selama 24 jam puasa; (3) Berfungsi sebagai komponen struktural membran (fosfolipid dan glikolipid); (4) Menyediakan asam lemak dan vitamin larut lemak (A, D, E, dan K) yang cukup; dan (5) Sebagai sumber hormon dan prostaglandin.

Individu laki-laki dewasa biasanya mengkonsumsi 60–150 g lemak per hari. Komponen trigliserida merupakan komponen terbesar lemak dalam makanan yaitu >90%, sisanya merupakan fosfolipid, kolesterol, ester kolesterol,

dan asam lemak bebas. Sebanyak 1–2 g kolesterol dan 7–22 g fosfatidil kolin (lesitin) disekresikan di lumen usus kecil sebagai konstituen empedu. Di rongga mulut belum terjadi pencernaan lemak, lemak baru mulai dicerna di lambung. Di lambung, lipase gastrik mendegradasi trigliserida menjadi SCFA. Di intestin, pencernaan lipida terjadi utamanya oleh cairan pankreatik dan usus. Lipase pankreatik merupakan enzim utama hidrolisis trigliserida dan spesifik untuk ester pada posisi α dan lebih memilih asam lemak rantai panjang. Proses pencernaan ini menghasilkan β -monoasilgliserol (2 monoasilgliserol) dan asam lemak bebas. Produk akhir pencernaan trigliserida adalah 72% β -monoasilgliserol, 6% α -monoasilgliserol, dan 22% dihidrolisis secara lengkap menjadi asam lemak bebas dan gliserol. Monoasilgliserol ini menjadi substrat untuk lipase pankreatik sehingga akan terjadi peningkatan gliserol dan asam lemak bebas (Waly 2013).

Sementara itu, *cholesterol ester hydrolase* (esterase) merupakan enzim yang terdapat pada cairan pankreatik. Enzim ini secara spesifik mengkatalisis hidrolisis ester kolesterol, yang selanjutnya diabsorpsi dalam bentuk bebas di usus. Produk akhir dari proses pencernaan kolesterol ester adalah asam lemak bebas dan kolesterol bebas. Enzim yang lain adalah fosfolipase A yang terdapat pada sekresi pankreatik. Enzim ini dapat memutus asam lemak pada karbon C nomor 2 dari fosfolipid, sehingga meningkatkan lisofosfatida dan asam lemak bebas. Fosfolipase juga ada di cairan usus yaitu Fosfolipase A (Lisofosfolipase) yang bereaksi pada lisofosfatida dengan memutus asam lemak dari posisi α , menyisakan gliseril fosforil yang dapat diekskresikan di feses atau didegradasi lebih lanjut oleh Fosfolipase C yang memisahkan fosforil dari gliserol atau Fosfolipase D yang memisahkan gliserol fosfat dari basis bebasnya. Produk akhir dari pencernaan fosfolipid adalah lisofosfatida (utamanya), asam lemak bebas, gliserol fosfat, dan basis nitrogen (Waly 2013).

Jaringan tubuh yang memetabolisme trigliserida adalah usus halus, jaringan adiposa, hati, dan otot. Sumber lemak disimpan dalam bentuk trigliserida pada jaringan adiposa yang akan dihidrolisis dan dilepaskan sebagai asam lemak bebas untuk keperluan sumber energi bagi sel yang membutuhkan. Penyerapan lipida terjadi melalui cara sebagai berikut: asam lemak rantai pendek (kurang dari 10 atom karbon) dan rantai medium

(10–12 atom C) bersama dengan gliserol bebas yang dilepaskan di lumen usus akan diserap ke dalam sel usus melalui proses difusi dan diteruskan ke hati melalui sirkulasi portal. Komponen β -monoasilgliserol, asam lemak rantai panjang, kolesterol, dan lisofosfatida diserap melalui membran plasma dari sel usus (jejunum dan ileum) bersama-sama dengan garam empedu membentuk kompleks yang larut (*micelles*).

Di dalam sel usus, garam empedu dipisahkan dan dibawa ke hati via sirkulasi portal dan kemudian disekresikan dengan empedu di dalam usus. Di dalam sel usus, asam lemak rantai panjang diaktivasi oleh enzim tiokinase asil Ko-A sintetase membentuk asil Ko-A. Asil Ko-A mengesterifikasi β -monoasilgliserol pada posisi 1 dan 3 membentuk trigliserida. Asil Ko-A juga mengesterifikasi kolesterol membentuk kolesterol ester serta lisofosfatida membentuk fosfolipid. Trigliserida juga terbentuk di sel usus dari asam lemak aktif (asil Ko-A) dan gliserol aktif. Gliserol bebas dapat berasal dari α -monoasilgliserol melalui aksi lipase usus pada *brush border*. Selanjutnya gliserol dilepaskan di dalam sel usus dan dapat diaktivasi oleh enzim gliserol kinase. Hasil re-sintesa trigliserida atau globula lipid bersama dengan ester kolesterol dan vitamin larut lemak di mana Ko-A berasal dari fosfolipida, kolesterol, apolipoprotein selanjutnya membentuk kilomikron yang dilepaskan oleh eksositosis ke dalam getah bening. Kilomikron diangkut oleh sistem limfatik ke saluran toraks (*thoracic duct*) dan kemudian ke sirkulasi sistemik. Enzim lipoprotein lipase menghidrolisis trigliserida dari kilomikron menjadi gliserol dan asam lemak bebas. Gliserol akan mengalir terutama ke hati atau jaringan lain yang memiliki enzim gliserokinase aktif. Asam lemak bebas memasuki jaringan adiposa untuk disimpan dan sebagian masuk/mengalir di peredaran darah yang terikat dengan albumin ke jaringan lain untuk dioksidasi dan menghasilkan energi (Waly 2013).

Lipida dalam darah dapat berupa trigliserida dan kolesterol. Trigliserida dalam darah berada dalam bentuk partikel lipoprotein yang berfungsi sebagai pengangkut lemak dalam darah. Terdapat empat jenis lipoprotein yaitu kilomikron, *very low density lipoprotein* (VLDL), *low density lipoprotein* (LDL), dan *high density lipoprotein* (HDL). Kilomikron merupakan jenis lipoprotein dengan kandungan lipida yang lebih banyak daripada kandungan

protein. Kilomikron berfungsi sebagai pengangkut trigliserida makanan ke jaringan perifer dan kolesterol makanan ke jaringan hati. VLDL merupakan lipoprotein kedua terbesar setelah kilomikron dengan kandungan protein yang sedikit, namun memiliki konsentrasi lipida yang besar. VLDL diubah menjadi *intermediate density lipoprotein* (IDL) dengan mengeluarkan trigliserida. Lipoprotein ini berfungsi untuk mengangkut trigliserida. LDL merupakan lipoprotein kecil dengan kandungan protein besar. LDL adalah hasil pengeluaran trigliserida dari VLDL yang berfungsi untuk mengangkut kolesterol. HDL yang merupakan lipoprotein yang paling kecil dengan kandungan protein yang paling banyak dan kolesterol lemak paling sedikit. Lipoprotein ini berfungsi sebagai pengikat kolesterol agar tidak mengendap pada dinding pembuluh darah.

Trigliserida berfungsi sebagai lemak yang paling efisien untuk menyimpan energi dan dapat digunakan pada proses yang membutuhkan energi dalam tubuh seperti proses metabolisme. Trigliserida dapat dikonversi menjadi kolesterol, fosfolipid, dan bentuk lipida lain jika dibutuhkan. Simpanan trigliserida dalam kadar yang normal cukup untuk memenuhi kebutuhan energi dalam tubuh. Kadar trigliserida yang menunjukkan angka di atas normal dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan, termasuk terjadinya risiko penyakit jantung. Klasifikasi kadar trigliserida dalam darah menurut *Adult Treatment Panel III* (NIH 2001) disajikan pada **Tabel 5.3**.

Tabel 5.3 Klasifikasi kadar trigliserida dalam darah menurut *Adult Treatment Panel III*

| Kadar Trigliserida (mg/dL) | Klasifikasi |
|----------------------------|------------------------|
| < 150 | Normal |
| 150–199 | Batas normal tertinggi |
| 200–499 | Tinggi |
| ≥ 500 | Sangat tinggi |

Trigliserida setelah dihidrolisis akan diserap oleh usus dan kemudian masuk ke dalam plasma dalam dua bentuk yaitu sebagai kilomikron yang berasal dari penyerapan usus dan VLDL yang dibentuk oleh hati dengan bantuan insulin. Trigliserida yang diangkut dari usus dalam bentuk

kilomikron merupakan trigliserida yang berasal dari makanan. Kilomikron yang merupakan lipoprotein terbesar memiliki tugas untuk mengangkut semua lipid dari makanan ke dalam sirkulasi. Trigliserida baik dalam bentuk kilomikron atau VLDL mengalami hidrolisis oleh enzim yang berperan dalam hidrolisis trigliserida sehingga terbentuk asam lemak bebas dan kilomikron *remnant*. Enzim yang berperan dalam hidrolisis trigliserida yaitu *hormone sensitive lipase* (HSL) dan *lipoprotein lipase* (LPL). HSL memiliki peran dalam mengatur pelepasan asam lemak bebas dari jaringan adiposa pada kondisi normal. Sementara itu, LPL memiliki peran dalam menghidrolisis trigliserida yang berasal dari makanan menjadi kilomikron *remnant* di hati serta pembersihan trigliserida di sirkulasi (Schofield *et al.* 2016).

Asam lemak bebas sebagai hasil dari hidrolisis trigliserida dapat disimpan menjadi trigliserida kembali di jaringan adiposa. Simpanan asam lemak bebas dalam jumlah berlebihan, memicu hati untuk melakukan pengambilan asam lemak bebas tersebut sebagai bahan dalam pembentukan trigliserida dan sebagai cadangan energi. Hasil hidrolisis trigliserida berupa kilomikron *remnant* akan masuk menuju hati yang akan diproduksi sebagai VLDL. VLDL kemudian mengalami lipolisis oleh LPL menjadi VLDL *remnant* yang sebagian akan menuju ke hati dan sebagian diubah menjadi LDL.

Kolesterol dapat diperoleh dari asupan makanan dan sintesis di tubuh, terutama sel hati dan usus. Prekursor pembentuk kolesterol adalah asetil-KoA yang terbentuk dari glukosa, asam lemak dan asam amino. Asetil-KoA bergabung dengan Asetil-KoA lainnya membentuk hidroksimetilglutaril-KoA (HMG-KoA). HMG-KoA mengalami reduksi menghasilkan mevalonat yang kemudian menghasilkan unit isopren yang dapat bergabung membentuk skualen. Skualen mengalami siklisasi menghasilkan sistem cincin steroid dan menghasilkan kolesterol (Smith *et al.* 2005). Kolesterol dikemas dalam kilomikron di usus dan dalam VLDL di hati yang kemudian dibawa melalui darah dalam partikel lipoprotein yang juga mengangkut trigliserida. Trigliserida pada lipoprotein dalam darah mengalami hidrolisis oleh *lipoprotein lipase* (LPL), kilomikron berubah menjadi asam lemak dan VLDL berubah menjadi IDL. Sebagian IDL diserap oleh hati dan sisanya kemudian menjadi LDL karena melepaskan lebih banyak trigliserida dan protein (Smith *et al.*

2005). Sebagian LDL kembali ke hati dan sebagian lainnya ke jaringan lain. LDL dibersihkan dari sirkulasi oleh adanya reseptor LDL pada jaringan. LDL adalah lipoprotein yang berperan dalam pengangkutan fraksi lemak terutama kolesterol dari hati menuju sel perifer. Partikel LDL memiliki inti yang bersifat hidrofobik dan terdiri atas 50% kolesterol (bebas dan esternya), 25% protein, 20% fosfolipid, dan 5% trigliserida (Rajman *et al.* 1999). Batasan kadar LDL dalam darah yaitu <100 mg/dL, dan apabila meningkat dapat meningkatkan risiko timbulnya penyakit jantung koroner (NIH 2001). Penurunan risiko kardiovaskular dapat dikaitkan dengan besarnya penurunan kadar LDL.

HDL *nascent* mampu menyerap kolesterol dari dalam sel dengan bantuan transporter ABCA1, sementara untuk HDL yang sudah dewasa mampu menyerap kolesterol dengan bantuan transporter ABCG1. Hal ini yang menyebabkan partikel HDL ketika beredar di dalam darah semakin bertambah besar ukurannya karena mampu menyerap kolesterol dan fosfolipid lebih banyak baik dari sel maupun dari lipoprotein lainnya. Kolesterol bebas agar mampu tersekuestrasi ke dalam HDL harus dikonversi dulu menjadi kolesterol ester yang lebih hidrofobik. Perubahan kolesterol bebas menjadi kolesterol ester tersebut memerlukan peran *lecithin cholesterol acyltransferase* (LCAT). Apabila kolesterol ester sudah tersekuestrasi ke dalam HDL *nascent*, maka HDL akan berubah menjadi bulat dan dianggap sebagai HDL matang. Oleh sebab itu, LCAT dianggap sebagai enzim yang berperan dalam pematangan HDL. Kolesterol ester yang dibawa oleh HDL ini dikembalikan menuju organ hati melalui dua jalur, yakni secara langsung dengan bantuan *scavenger receptor class B type I* (SRBI) yang ada pada hati, dan melalui lipoprotein lain yakni VLDL (Farbstein dan Levy 2012).

5.5.4 Metabolisme Asam Amino

Protein tidak dicerna di mulut karena tidak adanya enzim proteolitik (peptidase dan protease). Protein dicerna di tiga organ yaitu lambung, pankreas, dan usus (Waly 2013). Hasil pencernaan protein adalah asam amino yang selanjutnya akan diserap dan dimetabolismekan oleh tubuh. Metabolisme asam amino melalui jalur transaminasi, deaminasi oksidatif, deaminasi non-oksidatif, dan transdeaminasi.

Transaminasi

Reaksi transaminasi dikatalisa oleh enzim transaminase dan bersifat reversibel yang mentransfer gugus amino dari suatu asam amino menjadi asam α -keto. Semua asam amino terlibat dalam reaksi transaminase kecuali treonin dan lisin. Vitamin B6 diperlukan dalam reaksi ini sebagai ko-enzim. Kebanyakan transaminase membutuhkan α -keto glutarat dan glutamat. Transaminase merupakan enzim sitosolik dan mitokondria. Beberapa enzim transaminase yang penting adalah sebagai berikut:

Aspartat transaminase

Enzim aspartat transaminase (AST) ini mengkatalisis transfer gugus amino ke α -keto glutarat. Enzim ini umumnya ditemukan di sel hati dan otot jantung. Kadarnya di serum bervariasi antara 5–40 IU/L. Meningkatnya kadar enzim AST di plasma mengindikasikan terjadinya kerusakan sel hati pada kasus hepatitis oleh virus dan kerusakan sel jantung pada serangan jantung (*myocardial infarction*).

Alanin transaminase

Enzim alanin transaminase (ALT) ini mengkatalisis transfer gugus asam amino ke asam piruvat. Alanin yang terbentuk dapat mentransfer gugus amino ke asam α -keto glutarat untuk membentuk glutamat yang memiliki dehidrogenase aktif spesifik. Enzim ini umumnya ditemukan di sel hati. Kadar enzim ALT di serum darah bervariasi antara 5–45 IU/L. Peningkatan kadar enzim ini mengindikasikan kerusakan seluler pada hati akibat penyakit hepatitis. Arti penting reaksi transaminasi yaitu: (1) Sintesis asam amino non esensial yang baru; (2) Degradasi sebagian besar asam amino kecuali lisin dan treonin; (3) Pembentukan komponen pada siklus Krebs; dan (4) Enzim transaminase digunakan untuk diagnosis dan prognosis suatu penyakit.

Deaminasi oksidatif

Reaksi ini dikatalisis oleh asam amino oksidase, terjadi di hati dan ginjal, serta merupakan reaksi pelepasan hidrogen (oksidasi) dan NH_3 (deaminasi). Terdapat D- dan L- asam amino oksidase yang mengoksidasi D- dan L-

asam amino menjadi asam α -keto yang sesuai dan gugus amino dilepaskan sebagai amonia (NH_4^+). D- asam amino oksidase menggunakan *flavin adenine dinucleotide* (FAD) sebagai koenzim yang keberadaannya di mamalia dalam jumlah terbatas namun aktivitasnya tinggi, sementara L-asam amino oksidase menggunakan *flavin adenine mononucleotide* (FMN) sebagai koenzim yang secara alami ada di mamalia namun aktivitasnya rendah.

Deaminasi Non-oksidatif

Gugus α -amino dari serin dan treonin (asam amino yang mengandung gugus hidroksil) dapat secara langsung dikonversi menjadi NH_3 tanpa melepaskan hidrogen. Reaksi ini dikatalisis oleh serin dan treonin dehidratase yang membutuhkan piridoksal fosfat sebagai koenzim.

Transdeaminasi

Transdeaminasi merupakan reaksi transaminasi yang diikuti dengan deaminasi oksidatif. Konversi gugus α -amino menjadi amonia membutuhkan aksi glutamat transaminase dan glutamat dehydrogenase. Reaksi, baik di mitokondria maupun sitoplasma, terjadi terutama di hati dan ginjal. ATP dan *guanosine triphosphate* (GTP) adalah penghambat alosterik sementara ADP dan GDP mengaktifkan enzim. Reaksi ini merupakan reaksi *reversibel* yang dapat berfungsi dalam: (1) katabolisme asam amino karena mentransmisikan nitrogen dari glutamat ke urea dalam siklus urea; dan (2) anabolisme asam amino karena mengkatalisis aminasi ketoglutarat dengan amonia bebas untuk membentuk glutamat (Waly 2013).

Katabolisme asam amino utamanya terjadi di usus halus sehingga memodulasi masuknya asam amino dari diet ke dalam sirkulasi portal dan pola asam amino di plasma. Selanjutnya, ada banyak riset terkait fungsi pengaturan L- dan D-asam amino dalam gizi dan fungsi fisiologis, serta mekanisme seluler dan molekuler yang mendasarinya. Meskipun setiap asam amino memiliki jalur katabolik yang unik, katabolisme sebagian besar asam amino menunjukkan sejumlah karakteristik umum pada organisme. Metabolit penting dari metabolisme asam amino yaitu amonia, CO_2 , asam lemak rantai panjang dan rantai pendek, glukosa, H_2S , badan keton, oksida nitrat (NO),

urea, asam urat, poliamina, dan zat nitrogen lainnya dengan kepentingan biologis yang sangat besar. Oksidasi lengkap karbon asam amino terjadi hanya jika karbon mereka dikonversi menjadi asetil-KoA, yang kemudian dioksidasi menjadi CO_2 dan H_2O melalui siklus Krebs dan sistem transportasi elektron mitokondria. Pada basis molar, oksidasi asam amino kurang efisien untuk produksi ATP, dibandingkan dengan lemak dan glukosa. Dengan demikian, efisiensi transfer energi dari L-asam amino ke ATP berkisar dari 29% untuk metionin hingga 59% untuk isoleusin. Namun, glutamin adalah bahan bakar utama yang disukai untuk sel-sel yang membelah dengan cepat, termasuk enterosit, limfosit, makrofag, dan sel tumor (Wu 2009).

5.6 Pangan dan Kesehatan

Pangan merupakan kebutuhan dasar yang berperan penting bagi kehidupan manusia. Secara umum pangan mempunyai fungsi untuk kehidupan dan gaya hidup (*life and lifestyle*). Fungsi pangan untuk kehidupan terutama sebagai sumber zat gizi dan zat-zat lain untuk kesehatan dan kebugaran, sedangkan pangan juga merupakan bagian dari gaya hidup terutama untuk mendapatkan kelezatan, kenikmatan, dan kebahagiaan.

Kesadaran masyarakat akan hubungan antara pola konsumsi pangan dengan kesehatan dan kebugaran semakin meningkat dewasa ini seiring berkembangnya ilmu pengetahuan serta kemudahan mendapatkan informasi. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa komponen dalam pangan dapat memberikan fungsi tertentu pada kesehatan dan kebugaran tubuh. Kesadaran dan pemahaman ini meningkatkan minat masyarakat untuk memperoleh informasi apakah konsumsi suatu jenis makanan dapat membantu meningkatkan kesehatan atau mengurangi risiko penyakit tertentu. Pangan, kesehatan dan kebugaran saling berhubungan satu sama lain. Selain pola makan, gaya hidup juga berpengaruh terhadap kesehatan dan kebugaran.

Sejarah menunjukkan bahwa pemahaman manusia terhadap fungsi pangan berkembang sejalan dengan berkembangnya ilmu pengetahuan. Pada zaman prasejarah, pangan dipahami untuk menghasilkan tenaga untuk mempertahankan kelangsungan hidup (*survival*). Dengan berkembangnya teknologi pengolahan, manusia memahami peran pangan dalam menghasilkan

cita rasa dan aroma. Lebih lanjut, pangan dipahami mengandung komponen yang disebut zat gizi yang dibutuhkan bagi tumbuh kembang dan pemeliharaan kesehatan manusia. Zat gizi berperan untuk pertumbuhan, perkembangan, penghasil energi dan perbaikan, serta pemeliharaan sel tubuh. Kekurangan salah satu zat gizi dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan atau kesehatan.

Dalam perkembangan berikutnya diketahui bahwa pangan mengandung komponen di luar zat gizi yang disebut dengan senyawa bioaktif yang mempunyai kemampuan fisiologis untuk meningkatkan kesehatan. Pangan yang mengandung senyawa bioaktif dan memiliki kemampuan secara fisiologis meningkatkan kesehatan disebut pangan fungsional. Pangan fungsional didefinisikan sebagai pangan (segar/atau olahan) yang mengandung komponen yang bermanfaat untuk meningkatkan fungsi fisiologis tertentu, dan/atau mengurangi risiko sakit yang dibuktikan berdasarkan kajian ilmiah, harus menunjukkan manfaat dengan jumlah yang biasa dikonsumsi sebagai bagian dari pola makan sehari-hari. Dewasa ini berkembang konsep nutrigenomik yaitu ilmu yang mempelajari hubungan antara faktor genetik dengan nutrisi yang memiliki komposisi spesifik dan yang mampu menginduksi ekspresi gen dalam tubuh. Nutrigenomik mempelajari hubungan molekuler antara nutrisi dan respons gen sehingga dapat dipahami bagaimana pangan memengaruhi jalur metabolisme, kontrol homeostasis, serta regulasi gen. Dengan pengetahuan tersebut pangan dapat berfungsi untuk optimalisasi kesehatan melalui peran senyawa bioaktifnya dalam berinteraksi dengan suatu gen tertentu.

Dari uraian tersebut, secara umum fungsi pangan dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu fungsi primer, sekunder dan tersier. Fungsi primer pangan adalah sebagai sumber zat gizi, baik zat gizi makro seperti karbohidrat, lipida, protein maupun zat gizi mikro yaitu vitamin, dan mineral. Zat gizi tersebut berperan untuk pertumbuhan dan perkembangan, penghasil energi dan perbaikan serta pemeliharaan sel-sel tubuh. Fungsi sekunder pangan adalah sebagai penghasil cita rasa atau sebagai pemberi kepuasan sensori, misalnya, untuk memberikan kenikmatan dan kelezatan. Beberapa ingridien dalam pangan berkontribusi pada cita rasa, aroma dan tekstur. Selain itu perubahan komponen dalam pangan juga dapat berperan untuk membedakan makanan

yang masih segar atau yang telah busuk. Fungsi tersier pangan adalah sebagai regulasi biologis. Fungsi regulasi biologis dapat dikelompokkan menjadi enam jenis, yaitu sistem sirkulasi (*circulatory system regulation*), sistem saraf (*nervous system regulation*), diferensiasi sel (*cell differentiation regulation*), sistem imun (*immune system regulation*), sekresi internal (*Internal secretion regulation*) dan sekresi eksternal (*external secretion regulation*) (Sugahara 2018). Fungsi ketiga ini merupakan area berkembangnya pangan fungsional dan nutrigenomik, yaitu fungsi pangan untuk optimalisasi kesehatan dan mencegah penyakit yang terkait dengan gaya hidup dan penyakit degeneratif.

5.6.5 Fungsi Zat Gizi Bagi Tubuh

Zat gizi sangat esensial bagi tubuh, karena tubuh manusia tersusun dan bertenaga dari apa yang dimakan dan diminum. Pangan adalah sumber dari semua energi yang diperlukan tubuh. Komponen struktural yang menyusun tubuh manusia seperti otot, organ, dan tulang juga tersusun dari nutrien yang terkandung dalam pangan. Zat gizi adalah substansi yang terdapat dalam makanan yang berperan dalam aktivitas biologis dan esensial bagi tubuh manusia. Hal ini mengapa konsumsi pangan yang mengandung zat gizi yang menyediakan energi serta komponen penyusun tubuh sangat esensial untuk kelangsungan hidup manusia.

Zat gizi dalam pangan dikategorikan sebagai protein, lemak, karbohidrat, vitamin dan mineral. Secara umum, zat gizi ini berperan untuk fungsi vital berikut ini: (1) menyusun semua bagian tubuh; (2) menghasilkan panas dan energi; dan (3) memelihara tubuh agar berkerja dengan baik.

Protein adalah konstituen utama tubuh, menyusun otot, organ internal, kulit, darah, dan sebagainya. Tanpa protein, tubuh manusia tidak dapat mempunyai kerangka penyusun yang baik dan tidak dapat berada pada kondisi yang sehat. Terdapat 20 jenis asam amino penyusun protein, sembilan di antaranya tidak disintesis dalam tubuh, dan disebut asam amino esensial. Kesembilan asam amino esensial ini perlu disuplai dari makanan sehari-hari. Yang termasuk makanan berprotein tinggi antara lain daging, ikan, telur, susu, keju, kedelai, dan produk olahannya.

Lemak dan karbohidrat merupakan sumber energi dan tenaga bagi tubuh. Lemak merupakan sumber energi yang efisien karena mengandung kalori yang tinggi. Satu gram lemak mengandung 9 kkal energi. Lemak terdapat cukup banyak pada daging yang berlemak, minyak goreng, mentega, produk yang digoreng, dan lain-lain. Karbohidrat dapat dipecah oleh tubuh menjadi komponen yang lebih sederhana yaitu gula. Gula adalah karbohidrat yang dapat digunakan sebagai sumber energi untuk bagi tubuh dan disimpan dalam hati dan otot sebagai glikogen. Gula juga merupakan sumber energi untuk otak. Selain gula yang merupakan sumber energi, terdapat komponen lain dalam kategori karbohidrat yang disebut dengan serat pangan. Serat pangan merupakan komponen karbohidrat yang tidak dapat dicerna oleh enzim digesti dalam saluran gastrointestinal tubuh. Serat pangan dapat digunakan untuk meningkatkan bakteri baik dalam saluran pencernaan, memelihara keseimbangan mikrobiota dalam usus dan sangat bermanfaat bagi kesehatan tubuh. Sumber karbohidrat dalam pangan antara lain nasi, roti, kentang, singkong, jagung, sorghum, sagu, dan lain-lain. Sumber serat pangan antara lain buah-buahan, sayur-sayuran, umbi-umbian, sereal, dan sebagainya.

Vitamin dan mineral digunakan untuk membantu memecah protein, lemak dan gula dan merupakan nutrien yang esensial untuk memelihara tubuh agar sehat dan bugar. Vitamin merupakan istilah umum untuk komponen organik yang tidak dapat disintesis oleh tubuh, kekurangan vitamin dapat menyebabkan penyakit dan gangguan kesehatan. Vitamin dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu vitamin yang larut air dan vitamin yang larut lemak. Vitamin yang larut air yaitu vitamin B dan C, sedangkan vitamin yang larut dalam lemak adalah vitamin A, D, E dan K. Vitamin dapat diperoleh dalam buah-buahan dan sayuran, telur, daging, ikan. Mineral adalah komponen anorganik yang menyusun tubuh manusia, kecuali oksigen, hidrogen, karbon, dan nitrogen. Terdapat 16 jenis mineral yang diperlukan tubuh, termasuk kalsium, zat besi, magnesium, kalium dan sodium. Mineral dapat ditemukan pada berbagai macam sayuran, buah-buahan, rumput laut, ikan, susu, daging, dan produk olahannya.

5.6.6 Pangan Fungsional dan Senyawa Bioaktif Dalam Pangan

Anda adalah apa yang anda makan. *You are what you eat*. Demikian pepatah lama atau ungkapan yang sudah cukup populer. Ungkapan ini bukan hanya sekedar istilah tetapi menunjukkan bahwa hubungan antara makanan dan kesehatan telah dipahami sejak dahulu kala. Apa yang kita makan mewakili tubuh kita. Meningkatnya penyakit degeneratif dan kesadaran masyarakat akan pentingnya mengatur konsumsi pangan sehari-hari untuk meningkatkan kualitas hidup mendorong berkembangnya kebutuhan akan pangan yang dapat memberikan efek menyehatkan.

Definisi Pangan Fungsional

Pada tahun 1984, Jepang memperkenalkan kebijakan baru yang diberi nama *Food for Specified Health Use* (FOSHU) yang merupakan cikal bakal lahirnya konsep pangan fungsional. Jika konsep konvensional menyatakan pangan berfungsi untuk memenuhi zat gizi, maka dalam konsep baru ini konsumsi pangan dilihat sebagai suatu tindakan preventif untuk mencegah penyakit dan memperoleh kesehatan serta kebugaran di masa depan. Pangan fungsional didefinisikan sebagai pangan, baik alami maupun yang telah diformulasi, yang mengandung komponen bioaktif yang dapat meningkatkan kinerja fisiologis atau mencegah penyakit serta gangguan kesehatan. Konsep pangan fungsional kemudian diterima masyarakat dan menjadi peluang industri pangan di berbagai negara karena tingginya biaya pengobatan berbagai penyakit degeneratif, sehingga usaha preventif dengan menjaga diri (*self-care*) melalui makanan yang dikonsumsi menjadi suatu pilihan. Hal ini berdampak pada berkembangnya produk pangan fungsional dewasa ini. Nilai perdagangan dan pangsa pangan fungsional di kawasan Asia, Amerika dan Eropa meningkat dari tahun ke tahun. Produk kesehatan alami dan pangan fungsional menjadi bagian penting dari industri pangan dunia.

Berikut definisi pangan fungsional dari berbagai asosiasi dan institusi di berbagai negara. Di Jepang dikenal dengan FOSHU, yaitu produk pangan yang diperkaya dengan konstituen khusus yang mempunyai efek fisiologis

yang menguntungkan. Di Eropa, produk pangan hanya dapat dikategorikan fungsional jika bersama-sama dengan zat gizi dasarnya mempunyai dampak yang menguntungkan pada satu atau lebih fungsi manusia sehingga memperbaiki kondisi fisik dan kondisi secara umum dan/atau menurunkan risiko penyakit degeneratif. Di Amerika Serikat, hanya dikenal suplemen diet dan pangan kesehatan. Dengan peninjauan berdasarkan bukti-bukti ilmiah, industri pangan dapat menerbitkan klaim kandungan gizi kesehatan dan klaim struktur/fungsi.

The Institute of Medicine's Food and Nutrition mendefinisikan pangan fungsional sebagai makanan atau bahan makanan yang dapat memberikan manfaat kesehatan diluar zat gizi yang terkandung. Perhimpunan Penggiat Pangan Fungsional dan Nutrasetikal Indonesia (P3FNI) mendefinisikan pangan fungsional sebagai pangan (segar/olahan) yang mengandung komponen yang bermanfaat untuk meningkatkan fungsi fisiologis tertentu, dan/atau mengurangi risiko sakit yang dibuktikan berdasarkan kajian ilmiah, harus menunjukkan manfaat dengan jumlah yang biasa dikonsumsi sebagai bagian dari pola makan sehari-hari. *The National Academy of Sciences Food and Nutrition Board* menyatakan bahwa pangan fungsional adalah setiap makanan yang dimodifikasi atau ingredien pangan yang memberikan manfaat kesehatan di luar zat gizi konvensional yang terkandung. *Institute of Food Technologists* (IFT) mendefinisikan pangan fungsional sebagai substansi yang memberikan nutrisi esensial di luar jumlah yang dibutuhkan untuk pemeliharaan, pertumbuhan, dan perkembangan dan/atau komponen bioaktif yang memberikan manfaat kesehatan atau efek fisiologis yang diinginkan. *American Dietetic Association* (ADA) menyatakan bahwa pangan fungsional adalah makanan utuh, difortifikasi, diperkaya atau ditingkatkan yang harus dikonsumsi secara reguler pada jumlah yang efektif untuk menghasilkan manfaat kesehatan. *Food with Functional Claim* (FFC) mendefinisikan pangan fungsional sebagai pangan alami atau olahan yang mengandung komponen biologis aktif yang diketahui maupun yang tidak diketahui, yang dalam jumlah tertentu tidak yang toksik memberikan manfaat kesehatan yang terbukti secara klinis dan terdokumentasi untuk mencegah, manajemen atau mengobati penyakit kronis.

Kriteria pangan fungsional menurut FOSHU adalah: (1) berupa makanan bukan kapsul atau pil atau serbuk berdasarkan keberadaan komponen pangan secara alami; (2) dikonsumsi sebagai bagian dari diet normal sehari-hari; dan (3) mempunyai fungsi tertentu pada manusia, misalnya, meningkatkan fungsi imun, mencegah penyakit tertentu, membantu menyembuhkan dari penyakit tertentu, mengendalikan keluhan fisik dan psikis, memperlambat proses penuaan (Varela *et al.* 2002). Berdasarkan Fufoshe-Europe, pangan fungsional mempunyai kriteria: (1) berupa makanan sehari-hari sebagai bagian dari diet normal; (2) tersusun dari komponen yang terdapat secara alami; kadangkala dalam konsentrasi lebih tinggi atau terdapat pada pangan yang secara normal tidak mengandungnya; (3) secara saintifik menunjukkan efek positif pada fungsi target di luar zat gizi dasar; (4) meningkatkan kualitas hidup dan/atau mengurangi risiko penyakit; dan (5) diiklankan dengan klaim yang telah disetujui oleh yang berwenang (Varela *et al.* 2002).

Beberapa metode untuk mendapatkan pangan fungsional meliputi penambahan, pengurangan atau modifikasi proses pengolahan pangan yang memungkinkan industri pangan mengembangkan produk baru bernilai tambah untuk pasar. Beberapa komponen penting yang sering ditambahkan dalam pangan fungsional adalah probiotik, prebiotik, sinbiotik, vitamin, mineral, asam lemak, serat pangan, atau komponen bioaktif lain.

Di Jepang klasifikasi pangan dengan klaim kesehatan dikategorikan menjadi tiga kelompok yaitu: (1) *Food with Nutrient Function Claim* (FNFC); (2) *Food with Specified Health Use* (FOSHU); dan (3) *Food with Functional Claim* (FFC). *Foods with Nutrient Function Claims* merupakan pangan yang dicirikan oleh adanya kandungan vitamin dan mineral serta n-3 lipida. Klaim kesehatan untuk pangan dengan kategori FOSHU harus dibuktikan dan ditinjau dan disetujui oleh pemerintah.

Saat ini secara umum terdapat delapan klaim kesehatan pada makanan yang tergolong FOSHU yaitu pangan untuk modifikasi kondisi gastrointestinal, pangan terkait dengan kadar kolesterol darah, kadar gula darah, tekanan darah, kesehatan gigi, absorpsi mineral, osteogenesis, dan kadar lemak.

Pada FFC, klaim dikeluarkan oleh industri/perusahaan dan tidak

memerlukan persetujuan pemerintah, tetapi perusahaan tersebut bertanggung jawab terhadap bukti dari klaim yang dibuat. Berikut ini contoh pangan segar atau olahan yang termasuk FFC di Jepang dengan kandungan komponen bioaktif atau ingredien fungsionalnya: jeruk unshu (*β -cryptoxanthin*; 3 mg/hari); kecambah kedelai segar (*Isoflavone (aglycon)*; 25–36 mg/hari), beras (GABA; 12,4 mg/ hari); ikan amberjack (DHA/EPA; 860 mg/hari); apel (*procyanidin*; 110 mg/hari); tomat (*γ (gamma)-aminobutyric acid*, GABA; 12,3 mg/hari); teh hijau (*O-methylate catechin*; 34 mg/hari); *barley* (*β -glucan*; 3 g/hari); jus tomat (*lycopene*; 15 mg/hari, GABA; 12,3 mg/hari). Contoh klaim kesehatan pada FFC misalnya pada jus tomat: “Makanan ini mengandung likopen, yang dilaporkan meningkatkan kadar kolesterol HDL”. Contoh lain, pada beras dengan klaim: Pangan ini mengandung GABA, yang dilaporkan dapat menjaga tekanan darah pada kondisi normal pada penderita hipertensi dengan pemberian susu fermentasi (Inoue *et al.* 2003). Komponen fungsional yang banyak ditambahkan pada produk pangan adalah mikronutrien seperti selenium (Se), Vitamin A, C, E, antioksidan, probiotik, dan prebiotik.

Indonesia dengan keanekaragaman hayati yang tinggi berpotensi untuk dapat mengembangkan pangan fungsional. Aneka buah dan sayuran mengandung vitamin, mineral dan komponen bioaktif khususnya antioksidan dan serat pangan yang dapat berfungsi sebagai imunomodulator (Mousavi *et al.* 2019). Selain buah-buahan dan sayuran, Indonesia juga kaya berbagai umbi-umbian yang berpotensi sebagai sumber prebiotik (Harmayani *et al.* 2014), serta makanan hasil fermentasi sebagai sumber probiotik.

Pangan fungsional juga berkembang di Indonesia saat ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 55% responden dari generasi milenial menyatakan bahwa sadar akan adanya pangan fungsional. Namun pengetahuan terkait pangan fungsional masih sangat terbatas. Alasan penting bagi responden untuk membeli pangan fungsional adalah manfaat kesehatan, ketersediaan, terjangkau, enak, mudah dikonsumsi dan label yang jelas (Amaliah *et al.* 2019). Hasil penelitian menunjukkan bagaimana persepsi generasi milenial terhadap pangan fungsional, sehingga dapat digunakan sebagai informasi untuk mengembangkan pangan fungsional yang potensinya cukup besar di Indonesia.

Gaya Hidup Sehat

Tuntutan akan pangan dan gaya hidup sehat telah menjadi kecenderungan masyarakat dewasa ini. Menurut *Global Wellness Institute*, industri kesehatan dan kebugaran (*wellness*) global mencapai \$ 4,2 triliun dan tumbuh 12,8% antara 2015 hingga 2017. Penelitian mutakhir saat ini banyak memberikan perhatian pada pemahaman hubungan antara diet, gizi, dan kesehatan mental. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem imun, *oxidative biology*, plastisitas otak dan *microbiome-gut-brain axis* merupakan target kunci intervensi gizi. Busur kehidupan dimulai dari sebelum konsepsi. Kesehatan ayah dan ibu sebelum dan saat konsepsi diketahui memengaruhi kehidupan dan menjadi faktor penentu baik kesehatan maupun penyakit yang disebabkan karena gaya hidup (*life-style diseases*). Dua tahun pertama kehidupan merupakan saat yang kritis pembentukan kesehatan fisik dan mental. Sistem pengasuhan orang tua, gizi dan kualitas udara dan lingkungan adalah beberapa faktor yang membentuk pola kesehatan dan kebugaran serta kesehatan mental masa datang. Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan kuat antara kesehatan ibu sebelum dan saat mengandung, kesehatan pada masa anak-anak dengan konsekuensi kesehatan di masa yang akan datang yang dapat berlangsung dari generasi ke generasi.

Dengan adanya fondasi yang mendasari perkembangan manusia dan kesehatan mental pada masa awal kehidupannya, apakah masih ada harapan terjadinya perubahan saat dewasa? Sejumlah hasil penelitian terkait modalitas kebugaran seperti meditasi, berdoa, yoga, dan menari menunjukkan adanya perubahan positif pada otak bagi mereka yang secara teratur melakukan kegiatan tersebut. Hasil penelitian tersebut mengarah pada konsep bahwa otak dapat terus tumbuh dan membangun jalur neural baru dan terkoneksi dengan baik pada masa dewasa. Bukti ini berbeda dengan pandangan sebelumnya bahwa perkembangan otak berhenti pada masa dewasa (Guerra *et al.* 2018).

Pentingnya kebugaran dan kesehatan mental saat ini menjadi perhatian berbagai organisasi nasional dan internasional. Pada tahun 2013, *the World Health Assembly* menyetujui “*Comprehensive Mental Health Action Plan for*

2013–2020”. Rencana aksi tersebut merupakan komitmen dari semua negara anggota WHO untuk melakukan program peningkatan kesehatan mental yang dapat mendukung target pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs).

Untuk mendapatkan kebugaran, pada dasarnya kita perlu terlibat dalam kegiatan yang memberikan pengalaman secara sensoris, emosional dan intelektual yang menyenangkan. Otak akan berfungsi secara optimal pada level stres yang sedang dan dapat mengatasinya sendiri keluar dari zona aman untuk meningkatkan neuroplastisitas. Tidak kalah penting adalah mendapatkan cukup istirahat dan makanan yang baik dan bergizi yang diperlukan untuk periode pemulihan (Choy 2018). Secara umum, kombinasi antara pola makan yang baik dengan gaya hidup sehat dan proaktif, seperti, olahraga, selalu berpikir positif, berdoa, meditasi, kegiatan sosial, *traveling*, bermain musik, menari, relaksasi dan tidur yang cukup dapat akan meningkatkan kesehatan dan kebugaran.

Di Indonesia, Gerakan Masyarakat Hidup Sehat (GERMAS) telah dicanangkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (promkes.kemkes.go.id) untuk mengatasi setidaknya tiga masalah kesehatan penting yaitu penyakit infeksi, bertambahnya kasus penyakit tidak menular dan kemunculan kembali jenis penyakit yang seharusnya telah berhasil diatasi yang biasa disebut dengan istilah *triple burden*. Berikut tujuh langkah GERMAS yang dapat menjadi panduan menjalani pola hidup lebih sehat. Tujuh langkah GERMAS adalah (1) Melakukan aktivitas fisik; (2) Makan buah dan sayur; (3) Tidak merokok; (4) Tidak mengonsumsi minuman beralkohol; (5) Melakukan cek kesehatan berkala; (6) Menjaga kebersihan lingkungan; dan (7) Menggunakan jamban.

Secara umum tujuan GERMAS adalah menjalani hidup yang lebih sehat. Gaya hidup sehat memberi banyak manfaat, mulai dari peningkatan kualitas kesehatan hingga peningkatan produktivitas seseorang. Selain gaya hidup sehat, hal yang perlu diperhatikan adalah lingkungan dan pola hidup bersih dan sehat apalagi dengan adanya pandemi penyakit akibat corona virus (Covid-19) yang terjadi saat ini. Pandemi Covid-19 telah mengubah kehidupan banyak keluarga di seluruh dunia. Anjuran WHO terkait dengan

Pandemi Covid-19 adalah (1) makan makanan yang sehat dan bergizi; (2) membatasi konsumsi minuman beralkohol dan minuman manis; (3) tidak merokok; (4) berolah raga; dan (5) menjaga kesehatan mental.

Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa pangan dan gaya hidup sehat memegang peran penting dalam kehidupan manusia. Pangan mempunyai dimensi yang sangat luas bagi kehidupan. Pemahaman terhadap fungsi pangan bagi kesehatan semakin berkembang dengan berkembangnya ilmu pengetahuan yang membuka peluang untuk mengoptimalkan kesehatan masyarakat dan pengembangan industri pangan.

5.7 Ringkasan

1. Biokimia merupakan ilmu yang mempelajari tentang reaksi kimia yang terlibat di dalam suatu sel yang sangat penting dalam kehidupan manusia, di mana sel tersebut dapat berkembang dengan baik dengan bantuan reaksi kimia seperti tambahan karbohidrat, lemak, asam nukleat, protein dan air.
2. Tubuh manusia memerlukan komponen zat gizi sebagai sumber energi yang digunakan untuk beraktivitas, pertumbuhan, perkembangan dan pergantian sel yang rusak. Zat gizi ini dibagi dalam dua kelompok besar, yaitu zat gizi makro dan mikro. Kelompok zat gizi makro adalah karbohidrat, lemak dan protein. Zat gizi mikro adalah vitamin (larut lemak dan larut air) serta elektrolit.
3. Selain zat gizi, ada kelompok senyawa lain yang juga memberikan pengaruh pada tubuh manusia, senyawa tersebut adalah fitokimia. Fitokimia dari suatu bahan pangan memegang peranan penting dalam memberikan efek kesehatan.
4. Saluran pencernaan makanan merupakan saluran yang menerima makanan dari luar dan mempersiapkannya untuk diserap oleh tubuh dengan jalan proses pencernaan dengan enzim mulai dari mulut hingga eksresi. Fungsi utama sistem pencernaan adalah mentransfer zat gizi, air, dan elektrolit dari makanan yang kita konsumsi masuk tubuh. Makanan yang diserap merupakan sumber energi untuk beraktivitas.

5. Metabolisme karbohidrat, lipida, dan asam amino dalam tubuh sangat penting untuk dipelajari terkait implikasinya di bidang kesehatan. Asupan karbohidrat sederhana dapat meningkatkan kadar glukosa dalam darah secara cepat, sebaliknya karbohidrat kompleks dapat mengontrol kadar glukosa darah. Metabolisme karbohidrat dipengaruhi oleh insulin.
6. Lipida merupakan komponen diet yang penting karena memiliki berbagai fungsi biologis. Lipida ada dalam bentuk trigliserida, kolesterol, fosfolipid, dan asam lemak bebas. Trigliserida merupakan komponen lipida yang utama, setelah dihidrolisis akan diserap oleh usus dan kemudian masuk ke dalam plasma dalam dua bentuk yaitu sebagai kilomikron dan VLDL. Kolesterol dapat diperoleh dari asupan makanan dan sintesis di tubuh, terutama sel hati dan usus. Prekursor pembentuk kolesterol adalah asetil-KoA yang terbentuk dari glukosa, asam lemak, dan asam amino. Kadar trigliserida dan kolesterol non-HDL dalam darah yang tinggi dapat meningkatkan risiko penyakit jantung koroner.
7. Protein dicerna di tiga organ yaitu lambung, pankreas, dan usus. Hasil pencernaan protein adalah asam amino yang selanjutnya akan diserap dan dimetabolismekan oleh tubuh. Metabolisme asam amino melalui jalur transaminasi, deaminasi oksidatif, deaminasi non-oksidatif, dan transdeaminasi. Enzim transaminase yang penting yaitu Aspartat transaminase (AST) dan Alanin transaminase (ALT) yang dapat digunakan untuk prognosis dan diagnosis adanya kerusakan sel hati dan jantung yang merupakan penanda adanya penyakit hepatitis dan serangan jantung.
8. Fungsi pangan dalam tubuh dikelompokkan menjadi tiga yaitu fungsi primer, sekunder dan tersier. Fungsi primer pangan adalah sebagai sumber zat gizi, baik zat gizi makro maupun gizi mikro. Fungsi sekunder pangan adalah sebagai penghasil cita rasa atau sebagai pemberi kepuasan sensori, misalnya, untuk memberikan kenikmatan dan lezatan. Fungsi tersier pangan adalah pangan sebagai regulasi biologis.

9. Pangan fungsional sebagai makanan (segar/olahan) yang dapat memberikan manfaat kesehatan di luar zat gizi yang terkandung yang disebut dengan senyawa bioaktif. Klaim suatu pangan memiliki sifat fungsional harus dibuktikan secara ilmiah.

5.8 Pustaka

- Amaliah I, David W, Ardiansyah. 2019. Perception of millennial generation toward functional food in Indonesia. *Journal of Functional Food and Nutraceutical*. 1(1): 31–40.
- [AACCC] American Association of Cereal Chemists. 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46(3): 112–129.
- Behall KM, Daniel J. Scholfield DJ, Hallfrisch JG, Helena GM, Elmståh L. 2006. Consumption of both resistant starch and β -glucan improves postprandial plasma glucose and insulin in women. *Diabetes Care*. 29(5): 976–981.
- Bodeker G, Hoare B. 2008. The Gut-Brain Axis. Di dalam Mental Wellness: Path-ways, Evidence and Horizons. Bodeker, G. (Editor). *Global Wellness Institute*. Hal 30-32.
- den Besten G, van Eunen K, Groen AK, Venema K, Dirk-Jan Reijngoud DJ, Bakke BM. 2013. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. *Journal of Lipid Research*. 54(9): 2325–2340.
- Devlin TM. 2006. Eukaryotic Cell Structure. Di dalam: *Textbook of Biochemistry With Clinical Correlation*, 1st ed.; Editor Devlin, T.M. Eds.; A John Willey & Son Inc.: Hoboken, NJ, USA, 1–22.
- Farbstein D, Levy AP. 2012. HDL dysfunction in diabetes: causes and possible treatments. *Expert Review of Cardiovascular Therapy*. 10(3): 353–361.
- Flint A, Raben A, Astrup A, Holst JJ. 1998. Glucagon-like peptide 1 promotes satiety and suppresses energy intake in humans. *Journal of Clinical Investigation*. 101(3): 515–520.

- Grimble RF. 2002. Inflammatory status and insulin resistance. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 5: 551.
- Guerra A, Bologna M, Paparella G, Suppa A, Colella D, Lazzaro VD, Brown P, Berardelli A. 2018. Effects of transcranial alternating current stimulation on repetitive finger movements in healthy humans. *Neural Plasticity*. <https://www.hindawi.com/journals/np/2018/4593095/>.
- Harmayani E, Aprilia V, Marson Y. 2014. Characterization of glucomannan from *Amorphophalus oncophyllus* and its prebiotic activity *in vivo*. *Carbohydrate Polymer*. 112: 475–479.
- Holesh JE, Aslam S, Martin A. 2020. Physiology, Carbohydrates. StatPearls, NCBI Bookshelf. Diakses dari <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459280/> pada 26 Juli 2020.
- Hopfer U. 2006. Digestion and Absorption of Basic Nutritional Constituents. Di dalam: *Textbook of Biochemistry With Clinical Correlation*, 1st ed.; Editor Devlin, T.M. Eds.; A John Willey & Son Inc.: Hoboken, NJ, USA, 1038–1070.
- Inoue K, Shirai T, Ochiai H, Kasao M, Hayakawa K, Kimura M, Sansawa, H. 2003. Blood-pressure-lowering effect of a novel fermented milk containing γ -aminobutyric acid (GABA) in mild hypertensives. *European Journal of Clinical Nutrition*. 57: 490–495.
- Kyrou I, Adesanya O, Hedley N, Wayte S, Grammatopoulos D, Thomas CL, Weedall A, Sivaraman S, Pelluri L, Barber TM, Menon V, Randeve HS, Tedla M, Weickert MO. 2018. Improved thyroid hypoechogenicity following bariatric- induced weight loss in euthyroid adults with severe Obesity-a pilot study. *Frontiers in Endocrinology*. 9: 1–5.
- Mañas M, de Victoria EM, Gil A, Yago M, Mathers. 2003. *The Gastrointestinal Tract*. In *Nutrition and Metabolism*, 1st ed.; Editor Gibney, M.J.; Macdonald, I.A.; Roche, H.M. (Eds). Hal. 190–223. Blackwell Publishing: Oxford, United Kingdom,
- Mousavi S, Bereswill S, Heimesaat MM. 2019. Immunomodulatory and antimicrobial effects of vitamin C. *European Journal of Microbiology and Immunology*. 9(3): 73–79.

- [NIH] National Institutes of Health. 2001. National Cholesterol Education Program Expert Panel on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III). NIH Publication No. 01-3670. Hal. 1-40. Diakses dari <https://www.nhlbi.nih.gov/files/docs/guidelines/atp3xsum.pdf> pada 25 Juli 2020.
- Rajman I, Patrick I, Eacho I, Chowienczyk PJ, Ritter JM. 1999. LDL particle size: an important drug target? *British Journal of Clinical Pharmacology*. 48(2): 125–133.
- Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR. 2006. Resistant starch - A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 5(1): 1–17.
- Schofield JD, Liu Y, Balakrishna PR, Malik RA, Soran H. 2016. Diabetes dyslipidemia. *Diabetes Therapy*. 7(2): 203–219.
- Smith CM, Marks AD, Lieberman MA. 2005. *Basic Medical Biochemistry: A Clinical Approach*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Tappy L. 2008. Basic in Clinical Nutrition: Carbohydrate Metabolism. *e-SPEN, the European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism*. 3: 192–195.
- Varela SL, Marcos A, Gross MG. 2002. Functional foods and the immune system: A review. *European Journal of Clinical Nutrition*. 3(s3): S29–33.
- Waly MI. 2013. *Metabolic Aspects of Macronutrients*. Nova Science Publisher, Inc., New York, USA, 1–103.
- Wu G. 2009. Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*. 37: 1–17.

Latihan

Petunjuk: Untuk memahami materi pada Bab 5 ini, kerjakan soal berikut. Pilih satu jawaban yang benar.

1. Tujuan utama manusia mengonsumsi makanan/minuman:
 - a. Sumber protein
 - b. Sumber energi dalam bentuk ATP
 - c. Sumber vitamin
 - d. Sumber mineral
2. Senyawa penyusun utama membran sel adalah:
 - a. Asam lemak
 - b. Lipoprotein
 - c. Fosfolipid
 - d. Asam amino
3. Berikut pernyataan yang tepat tentang struktur tersier asam amino adalah:
 - a. Rangkaian asam amino
 - b. Rangkaian polipeptida
 - c. Rantai polipeptida
 - d. Globular protein yang sangat akurat
4. Kelompok zat gizi makro penghasil energi paling besar adalah:
 - a. Lemak dengan 4 kkal
 - b. Protein dengan 9 kkal
 - c. Lemak dengan 9 kkal
 - d. Karbohidrat dengan 9 kkal

5. Vitamin yang tidak stabil selama penyimpanan adalah:
 - a. Vitamin A
 - b. Vitamin C
 - c. Vitamin E
 - d. Vitamin K
6. Proses penyerapan zat gizi atau komponen bioaktif terjadi pada organ:
 - a. Kantung empedu
 - b. Usus halus
 - c. Pankreas
 - d. Usus besar
7. Enzim yang memecah karbohidrat di rongga mulut yaitu:
 - a. α amilase
 - b. α dekstrinase
 - c. Laktase
 - d. Isomaltase
8. Komponen terbesar lemak dalam bahan makanan yaitu
 - a. Fosfolipid
 - b. Kolesterol dan esternya
 - c. Trigliserida
 - d. Asam lemak bebas
9. Enzim yang berperan dalam metabolisme asam amino dan merupakan penanda adanya serangan jantung yaitu
 - a. Aspartat transaminase
 - b. Alanin transaminase
 - c. Treonin dehidratase
 - d. Asam amino oksidase

10. Berikut ini komponen pangan di luar zat gizi yang memiliki sifat fungsional bagi kesehatan
 - a. β -cryptoxanthin
 - b. Isoflavone (*aglycon*)
 - c. GABA
 - d. Benar semua

Tugas Mandiri (*Challenge Questions*)

1. Berikan perbedaan istilah *basic nutrition* versus *beyond nutrition* dan berikan contohnya.
2. Berikan contoh penelitian terbaru pada bidang biokimia pangan dan kesehatan.
3. Jelaskan implikasi tingginya asupan karbohidrat sederhana dan lemak dalam diet terhadap status kesehatan.
4. Cari di literatur mengenai penelitian untuk memberikan bukti ilmiah suatu pangan tertentu memiliki sifat fungsional sehingga dapat dikelompokkan sebagai pangan fungsional.

Bab

6

Kimia dan Analisis Komponen Pangan

Umar Santoso dan Didah Nur Faridah

6.1 Pendahuluan

Seperti telah diuraikan pada Bab 3, baik pangan segar maupun olahan mengandung komponen kimia makro (air, karbohidrat lemak, dan protein) dan mikro (vitamin, mineral, komponen bioaktif, komponen *flavor*, pigmen, komponen toksik, dan komponen organik lainnya) dengan jumlah dan jenis yang beragam satu sama lain. Fungsi dan peran dari komponen pangan tersebut dalam tubuh manusia telah dibahas dalam Bab 5.

Uraian dalam Bab 6 menjelaskan lebih mendalam mengenai komponen tersebut dari aspek kimianya, yaitu struktur molekul, sifat fisikokimia, reaksi kimia yang melibatkannya, serta perubahan kimia yang terjadi sebagai akibat interaksi kimia antar komponen atau lingkungan, baik selama pengolahan maupun penyimpanan. Prinsip analisis kimia komponen pangan juga diulas secara garis besar.

6.2 Air

Air merupakan komponen utama dalam pangan. Dalam sistem pangan, air dapat berupa komponen intraseluler atau ekstraseluler. Fungsi atau peran air dalam pangan di antaranya adalah sebagai pelarut yang dapat melarutkan komponen polar dan ionik, dan parameter kesegaran, keawetan dan kestabilan

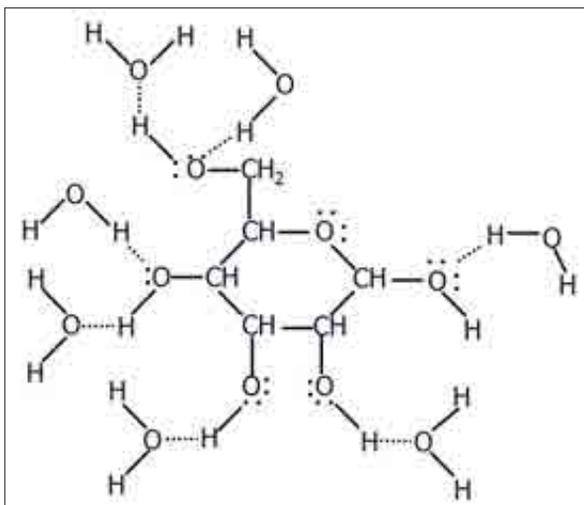
produk pangan. Air juga berperan dalam reaksi kimia, aktivasi enzim, pertumbuhan mikroba, sebagai medium pindah panas dan penentu tingkat risiko dalam keamanan pangan.

Air merupakan senyawa sederhana yang disusun oleh atom hidrogen (H) dan oksigen (O) yang berikatan satu sama lain membentuk molekul H_2O melalui ikatan kovalen. Ikatan yang terdapat pada molekul air ini dapat digambarkan dalam model atom Bohr. Setiap atom H dalam molekul air berikatan dengan atom O. Atom H dan O dalam molekul air berada dalam kondisi stabil karena setiap atom H menyumbangkan satu elektron yang digunakan bersama dengan atom O. Ikatan kovalen yang terbentuk di antara atom tersebut sangat kuat, sehingga hanya dapat dipecahkan dengan energi yang besar. Hal ini yang menyebabkan molekul air termasuk sebagai senyawa alam dengan kestabilan struktur kimia yang tinggi.

Senyawa air bersifat polar yang disebabkan oleh ikatan kovalen O-H. Melalui ikatan tersebut, terjadi perbedaan muatan antara atom H dan O. Atom H cenderung bermuatan positif, sedangkan atom O cenderung bermuatan negatif. Dengan adanya kedua muatan tersebut, maka molekul air dapat berikatan satu sama lain atau dapat mengikat molekul lain yang bersifat polar melalui ikatan hidrogen (**Gambar 6.1b**). Ikatan hidrogen merupakan gaya tarik yang terjadi antar-molekul, yaitu atom H yang terikat dengan atom lain yang bersifat elektronegatif (N, O, atau F) atau daya tarik listrik di antara atom H dengan unsur yang bersifat elektronegatif dan sangat polar. Dalam molekul air, atom H dari molekul air dapat berikatan dengan atom O dari molekul air yang lainnya sehingga terbentuk ikatan hidrogen. Ikatan ini sangat lemah dan hanya terdapat dalam air yang bentuknya padat atau cair.

Dengan struktur molekul air yang bersifat polar dan memiliki ikatan hidrogen antar molekul air, maka molekul air memiliki karakteristik yang sangat unik. Karakteristik tersebut di antaranya adalah sifat fisik air, seperti titik leleh, titik didih, dan panas penguapan. Air mempunyai titik didih, titik leleh dan panas penguapan paling tinggi jika dibandingkan dengan senyawa organik lainnya baik polar maupun non polar (seperti golongan alkohol, heksana, aseton, dan kloroform). Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan

suhu dan energi lebih tinggi untuk memecah ikatan hidrogen antar molekul air. Air juga memiliki titik beku yang cukup tinggi dibandingkan dengan senyawa tersebut.



Gambar 6.1 Pembentukan ikatan hidrogen dalam struktur molekul air (Kusnandar 2020)

Karakteristik molekul air yang lain adalah dapat membentuk ion H^+ dan OH^- . Nilai pH air adalah netral ($pH=7,0$) dikarenakan air memiliki jumlah ion H^+ dan OH^- yang sama dalam bentuk murni. Bila jumlah ion H^+ lebih banyak, maka nilai pH larutan $<7,0$ yang disebut kondisi asam. Bila jumlah ion OH^- lebih banyak, maka nilai pH $>7,0$ yang disebut kondisi basa. Dalam pangan biasanya air mempunyai nilai pH tidak sampai 7, karena terdapat komponen terlarut dalam air tersebut.

Molekul air dapat berada dalam berbagai fase, yaitu fase cair, padat, dan gas yang dapat diilustrasikan dalam bentuk diagram fase (lihat **Gambar 2.3, Bab 2**). Perubahan fase air dipengaruhi oleh tekanan udara. Air memiliki titik beku $0^{\circ}C$ dan titik didih $100^{\circ}C$ pada kondisi standar (1 atm). Pada kondisi tidak standar misalnya tekanan udara kurang dari 1 atm ($P < 1$ atm), maka titik didihnya di bawah $100^{\circ}C$; dan titik beku di atas $0^{\circ}C$. Aplikasi ini

dapat digunakan untuk menguapkan air dari bahan pangan dengan proses oven vakum. Kondisi yang lain adalah jika tekanan udara lebih dari 1 atm ($P > 1$ atm), maka titik didih air di atas 100°C dan titik beku di bawah 0°C .

Ketika terjadi perubahan fase air, maka molekul air dan ikatan hidrogen juga mengalami perubahan. Ketika air dipanaskan, ikatan hidrogen terputus, bila suhu pemanasan semakin tinggi, maka tekanan uap air bisa melebihi tekanan atmosfer, sehingga molekul air mulai terlepas dan berubah menjadi fase gas. Molekul air berada dalam bentuk bebas atau tidak terikat oleh ikatan hidrogen ketika dalam fase gas. Dalam bentuk struktur es, ikatan hidrogen antar molekul air lebih rapat sehingga es bersifat tidak mengalir. Aplikasi perubahan fase ini salah satu contohnya adalah pengeringan dengan menggunakan pengering beku (*freeze dryer*). Prinsip pengering beku adalah proses sublimasi, yaitu fase air langsung diubah menjadi uap. Suhu produk diturunkan sehingga air membeku (fase padat), kemudian tekanan diturunkan sehingga dapat menyebabkan sublimasi es menjadi uap.

Keberadaan air dalam bahan pangan dapat berada dalam keadaan bebas, terperangkap dalam matriks/jaringan pangan, ataupun terikat secara kimia dalam komponen kimia lain. Air yang terperangkap dalam matriks pangan menyebabkan air mempunyai derajat keterikatan yang berbeda, sehingga air dalam matriks pangan mempunyai sifat yang berbeda dengan air murni. Perbedaan dalam derajat keterikatan air dengan komponen lain tersebut dapat berpengaruh terhadap reaksi kimia yang terjadi dalam pangan dan dalam pertumbuhan mikroba. Derajat keterikatan air terdiri atas: (1) Air yang terikat secara fisik yang terdiri atas air kapiler yaitu air terikat dalam rongga jaringan kapiler yang halus dari bahan pangan, air terlarut yaitu air seakan-akan larut dalam bahan padat (contoh air gula, air garam), air adsorpsi yaitu air terikat pada permukaan dengan sifat daya ikatnya lemah dan mudah terlepas; (2) Air yang terikat secara kimia yang terdiri atas air konstitusi yaitu air yang terikat pada senyawa lain (bagian dari senyawa lain, seperti pada protein, dan karbohidrat). Bila terurai maka air akan dibebaskan (mengalami hidrolisis). Air kristal merupakan contoh air terikat pada senyawa kimia lain, contohnya $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; dan (3) Air bebas (*mobile or free water*) yaitu air yang mempunyai sifat air normal dan mudah terlepas.

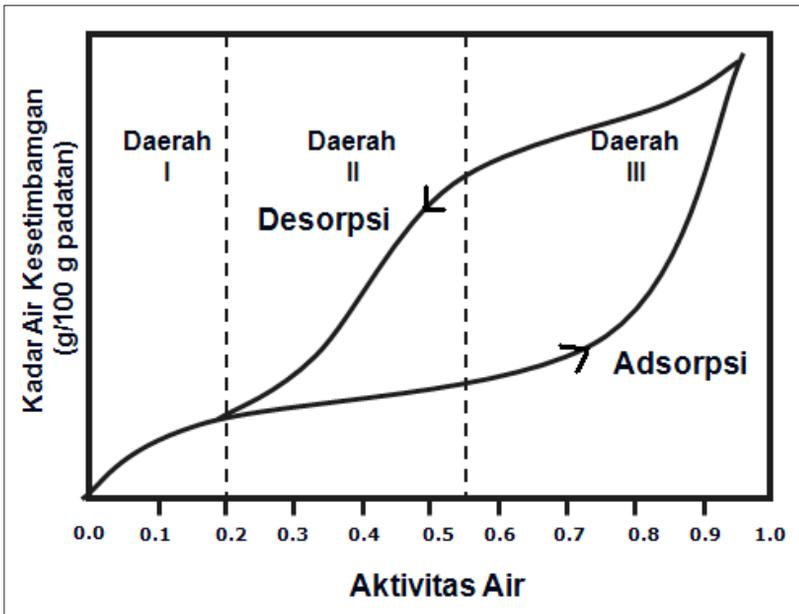
Air tidak terdistribusi secara merata (homogen) dalam bahan pangan sehingga derajat keterikatannya berbeda-beda. Air dalam pangan terdiri atas empat tipe, yaitu (1) Air tipe 1, yaitu air terikat yang sebenarnya (*bound water*) melalui ikatan kimia, misalnya air yang terikat melalui ikatan hidrogen pada karbohidrat, protein dan garam. Air tipe ini tidak dapat membeku, dan sebagian dapat dihilangkan dengan pengeringan; (2) Air tipe 2, yaitu molekul air yang membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air lain yang terdapat pada mikrokapiler. Karakteristiknya berbeda dari air murni dan lebih sukar dihilangkan dibandingkan air bebas. Apabila dihilangkan, maka kadar air bahan mencapai 3–7%; (3) Air tipe 3, yaitu air yang secara fisik terikat dalam jaringan matriks bahan, seperti membran, kapiler, serat, dan lain-lain. Bersifat sebagai air bebas dan mudah diuapkan dan dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroba dan media bagi reaksi kimiawi. Apabila dihilangkan, kadar air bahan mencapai 12–25%; (4) Air tipe 4, yaitu air yang tidak terikat dalam jaringan suatu bahan. Air ini bersifat air murni (air biasa) dengan keaktifan penuh.

Kandungan air dalam bahan pangan umumnya dinyatakan sebagai kadar air (dalam persen pada kisaran 0–100%). Kadar air tidak menggambarkan aktivitas biologis dan peran air dalam reaksi kimia. Peranan air yang terkait biologis dan reaksi kimia dijelaskan dengan aktivitas air atau disingkat a_w . Nilai a_w berkisar 0–1 (tidak memiliki satuan). Air murni memiliki nilai $a_w = 1$, sedangkan $a_w = 0$ apabila tidak mengandung air sama sekali (*absolutely dry*). Seluruh bahan pangan mengandung air, sehingga tidak mencapai $a_w = 0$. Nilai a_w menunjukkan derajat keterikatan air dalam sistem pangan. Semakin rendah nilai a_w , maka air dalam sistem pangan semakin terikat, baik terikat secara kimia maupun secara fisik.

Aktivitas air merupakan indeks yang lebih baik dari kadar air untuk pertumbuhan mikroba, karena mikroba hanya dapat menggunakan air bebas untuk pertumbuhannya (baca penjelasan mengenai peran a_w dalam pertumbuhan mikroba pada Bab 7). Karena memengaruhi pertumbuhan mikroba, maka a_w juga digunakan sebagai kriteria untuk menjelaskan tingkat keamanan pangan dan tingkat kemudahan pangan untuk mengalami

kerusakan mikrobiologis. Nilai a_w juga dapat menjelaskan laju reaksi kimia dalam sistem pangan, seperti reaksi hidrolisis dan oksidasi lemak, reaksi Maillard, dan reaksi enzimatis.

Nilai a_w menunjukkan korelasi dengan kadar air. Peningkatan a_w selalu diikuti oleh peningkatan kadar air. Hubungan antara kadar air dan a_w digambarkan dengan isoterm sorpsi air (ISA) atau *moisture sorption isotherm* (MSI) yang dapat diperoleh secara eksperimental dan spesifik untuk setiap produk pangan. Kurva ISA umumnya berbentuk sigmoidal (**Gambar 6.2**). Untuk produk pangan yang sangat higroskopis (seperti permen), kurva ISA berbentuk sigmoid pada a_w tinggi, karena bahan terus menyerap air dan larut (tidak mencapai kondisi kesetimbangan). Kurva ISA dapat membantu menjelaskan laju pertumbuhan mikroba dan reaksi kimia yang terjadi.



Gambar 6.2 Model kurva isoterm sorpsi air (model kurva diadopsi dari Fennema (1996))

6.3 Karbohidrat

Karbohidrat merupakan senyawa organik yang terdiri atas gugus fungsi karbonil (-COH) dan banyak memiliki gugus hidroksil (-OH). Komponen ini menyumbang sebagian besar energi dalam tubuh dan jumlahnya melimpah di bumi dibandingkan dengan senyawa organik lainnya. Karbohidrat memiliki fungsi utama sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi. Karbohidrat memiliki rumus molekul $C_x(H_2O)_y$ yang tersusun oleh atom karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dan diproduksi oleh tanaman melalui proses fotosintesis. Dua unsur terakhir pada karbohidrat tersusun atas perbandingan 2:1. Senyawa organik yang terdiri atas unsur C, H, dan O tidak semuanya berbentuk sebagai karbohidrat, misalnya asam asetat ($C_2H_4O_2$) dan asam laktat ($C_3H_6O_3$), walaupun memiliki perbandingan jumlah atom H dan O seperti dalam rumus karbohidrat. Terdapat pula senyawa organik yang tidak menunjukkan perbandingan jumlah atom H dan O, seperti karbohidrat, namun mempunyai sifat seperti karbohidrat, yaitu ramnosa ($C_6H_{10}O_5$) dan deoksiribosa.

Secara alami, karbohidrat tersedia dalam jaringan hewan dan tumbuhan dalam bentuk senyawa yang berbeda. Pada tumbuhan, karbohidrat berperan sebagai senyawa penyusun struktur tanaman seperti selulosa, kitin, dan lain-lain. Karbohidrat juga berfungsi sebagai cadangan makanan pada tumbuhan yang selanjutnya dihidrolisis agar menghasilkan gula bagi sel tumbuhan jika diperlukan, yaitu pati. Sumber karbohidrat di alam dapat ditemukan dalam tumbuhan sejenis sereal, umbi-umbian, biji-bijian, sayur-sayuran, buah-buahan, dan sebagainya. Sementara, dalam organisme hewan termasuk dalam kehidupan manusia karbohidrat berperan sebagai cadangan energi dalam bentuk glikogen. Glikogen banyak disimpan terutama pada sel hati dan otot. Glikogen tidak dapat dijadikan sebagai sumber energi dalam jangka waktu yang lama. Ketersediaan glikogen dalam tubuh dapat diperbaharui dengan cara mengonsumsi makanan. Karbohidrat juga dapat berfungsi sebagai asupan serat untuk tubuh. Karbohidrat memberikan energi sebesar 4 kkal/g.

Karbohidrat merupakan salah satu komponen penting dalam bahan pangan pada proses pengolahan pangan. Hal ini karena karbohidrat mempunyai sifat fungsional yang dapat berperan sebagai pembentuk tekstur, bahan pengisi, pengental, penstabil, pembentuk gel, pengganti lemak, dan sebagai pemanis.

Klasifikasi karbohidrat pada umumnya didasarkan atas dua kelompok besar yaitu karbohidrat sederhana dan karbohidrat kompleks. Berdasarkan jenis gugus fungsionalnya, karbohidrat dikelompokkan menjadi aldose, ketosa, *glycitol*/alditol, asam glukonat/aldonat, dan asam uronat.

6.3.1 Karbohidrat Sederhana

Kelompok gula atau karbohidrat sederhana merupakan karbohidrat yang disusun oleh monomer dalam jumlah yang sedikit (satu hingga dua monomer). Kelompok ini dibagi menjadi dua sub-kelompok yaitu monosakarida dan disakarida.

Struktur Kimia

Monosakarida merupakan kelompok karbohidrat paling sederhana. Struktur molekul monosakarida yaitu $C_nH_{2n}O_n$. Molekul ini hanya disusun oleh satu monomer sehingga tidak memiliki ikatan glikosidik. Namun, molekul monosakarida dapat bergabung dengan molekul lain sehingga dapat membentuk struktur yang lebih besar dan kompleks, seperti oligosakarida dan polisakarida. Karakteristik monosakarida sebagai bahan pangan adalah bersifat manis, mudah larut dalam air dan sedikit larut dalam alkohol, serta tidak larut dalam dietileter.

Monosakarida dikelompokkan berdasarkan jumlah atom karbon penyusunnya dan berdasarkan gugus fungsional utamanya. Kelompok monosakarida berdasarkan jumlah atom C penyusunnya terdiri atas triosa (3C), tetrosa (4C), pentosa (5C), heksosa (6C), dan seterusnya. Monosakarida bebas umumnya memiliki enam atom karbon (galaktosa, glukosa, fruktosa), sedangkan monosakarida dengan jumlah atom $C < 6$ umumnya terikat dengan senyawa lain.

Gugus fungsional utama penyusun senyawa monosakarida yaitu aldehid dan keton. Monosakarida yang mempunyai gugus fungsional aldehid disebut gula aldosa, sedangkan yang mempunyai gugus fungsional keton disebut gula ketosa. Selain itu, monosakarida merupakan senyawa polihidroksil karena memiliki banyak gugus hidroksil dalam strukturnya. Karbohidrat yang memiliki banyak gugus hidroksil dan mempunyai gugus aldehid, dikenal sebagai polihidroksi aldehida. Karbohidrat yang mengandung banyak gugus hidroksil dan mempunyai gugus keton dikenal sebagai polihidroksi keton. Gugus polihidroksi, aldehida, dan keton dalam molekul monosakarida ini bersifat reaktif dan berperan dalam berbagai reaksi kimia. Molekul lainnya adalah molekul monosakarida yang hanya mengandung gugus hidroksil, yaitu gula alkohol (polyol) antara lain sorbitol, manitol, xylitol. Gula alkohol ini dapat diperoleh dari hasil reaksi reduksi gula aldosa. Gula alkohol memiliki rasa yang manis seperti gula pada umumnya, namun menghasilkan kalori yang lebih rendah. Gula alkohol tersebut memiliki tingkat kemanisan dan nilai kalori yang berbeda-beda.

Struktur kimia molekul monosakarida digambarkan secara garis besar melalui dua proyeksi yaitu dalam model linier yang disebut proyeksi Fischer, dan model siklik yang disebut proyeksi Haworth. Proyeksi Fischer dapat dilihat pada struktur gula aldosa karena memiliki gugus fungsional aldehid yang terletak pada C1, dan gugus fungsional keton pada gula ketosa terletak pada C2. Karakteristik utama proyeksi Fischer terletak pada posisi atom C yang asimetrik (memiliki pusat kiral) dan mengikat gugus lain melalui ikatan kovalen. Proyeksi Haworth terbentuk akibat gugus hidroksil pada C_{n-1} yang bereaksi dengan gugus karbonil atau keton. Selanjutnya reaksi ini dapat digambarkan dengan pembentukan jembatan oksigen sehingga menghasilkan struktur siklik hemisetal.

Kelompok karbohidrat lain selain monosakarida adalah disakarida. Disakarida merupakan kelompok gula sederhana yang tersusun oleh dua molekul monosakarida melalui ikatan glikosidik. Pembentukan ikatan glikosidik ini terjadi antara gugus hidroksil C1 pada suatu monosakarida dengan gugus hidroksil pada atom karbon C2, C3, C4, atau C6 dari molekul

monosakarida yang lain. Setiap pembentukan ikatan glikosidik melepaskan satu molekul H_2O . Kelompok disakarida yang mudah diperoleh di alam, yaitu sukrosa, laktosa, dan maltosa.

Sifat Fisikokimia

Fungsi karbohidrat sederhana yang terdiri atas monosakarida dan disakarida dalam pengolahan pangan pada umumnya sama, yaitu untuk memberikan rasa manis, warna kecokelatan atau *flavour* khas yang terbentuk melalui reaksi karamelisasi atau Maillard, dan dapat meningkatkan stabilitas produk selama penyimpanan dengan menurunkan a_w produk. Akan tetapi keduanya memiliki sifat fisikokimia yang berbeda di antaranya adalah kemanisan, kelarutan, dan sifat higroskopis.

Pada umumnya karbohidrat sederhana memiliki karakteristik yaitu memberikan rasa manis di mulut, berbeda dengan karakteristik oligosakarida maupun polisakarida. Sukrosa merupakan salah satu gula sederhana yang sering digunakan dalam pengolahan pangan. Sukrosa bersifat lebih manis dibandingkan gula sederhana lain, seperti glukosa, laktosa, galaktosa, maltosa, dan gula invert. Sukrosa dijadikan sebagai patokan tingkat kemanisan relatif gula, dengan nilai kemanisan 1. Tingkat kemanisan gula atau pemanis selain sukrosa dapat dinyatakan lebih rendah bila mempunyai nilai < 1 dan bila suatu gula mempunyai nilai kemanisan > 1 , maka gula tersebut mempunyai kemanisan lebih tinggi daripada sukrosa.

Sifat fisikokimia yang lain adalah tingkat kelarutan. Karbohidrat sederhana memiliki tingkat kelarutan yang tinggi dalam air karena mengandung gugus hidroksil yang banyak dapat berikatan dengan air melalui ikatan hidrogen. Sifat kelarutan gula sederhana dalam air dipengaruhi oleh suhu dan jenis gula. Sifat lainnya adalah sifat higroskopis yang dimiliki oleh karbohidrat atau gula sederhana. Sifat ini pada umumnya menyatakan tentang kemampuan gula dalam mengikat uap air melalui ikatan hidrogen. Sifat higroskopis setiap gula sederhana berbeda-beda, tergantung suhu dan kelembaban relatif lingkungan.

Reaksi Kimia

Gula sederhana bersifat reaktif dalam berbagai reaksi kimia karena strukturnya yang mengandung gugus hidroksil yang banyak, aldehid, atau keton. Beberapa reaksi kimia yang terkait yaitu reaksi hidrolisis, polimerisasi, kecokelatan non-enzimatis (Maillard), karamelisasi, oksidasi, reduksi, dan isomerisasi. Reaksi hidrolisis merupakan reaksi pemutusan ikatan glikosidik yang terjadi pada dua anhidroglukosa menjadi monosakarida bebas. Reaksi ini hanya terjadi pada disakarida yang mempunyai satu ikatan glikosidik. Setiap pemutusan satu ikatan glikosidik membutuhkan satu molekul air.

Reaksi polimerisasi merupakan kebalikan dari reaksi hidrolisis. Reaksi ini terjadi karena adanya penggabungan dua atau lebih monosakarida yang membentuk struktur polisakarida melalui ikatan glikosidik. Reaksi ini terjadi pada gugus hidroksil pada C1 suatu molekul monosakarida dengan gugus hidroksil lainnya pada C2, C3, C4, atau C6 dari molekul lain melalui ikatan glikosidik. Setiap pembentukan ikatan glikosidik akan melepaskan satu molekul air (H_2O). Reaksi ini juga dapat disebut reaksi polimerisasi kondensasi.

Reaksi lainnya adalah reaksi non-enzimatis yang ditandai dengan warna kecokelatan dan pada umumnya disebut dengan reaksi Maillard, yaitu reaksi antara gula pereduksi dengan gugus amin bebas dari asam amino. Gula pereduksi merupakan golongan gula yang mampu mereduksi senyawa penerima elektron dan terdiri atas monosakarida (glukosa, fruktosa, galaktosa) serta disakarida (laktosa, maltosa), kecuali sukrosa dan polisakarida. Reaksi Maillard dalam proses pengolahan pangan berperan dalam pembentukan warna coklat, *flavor* dan aroma. Kecepatan reaksi Maillard dapat meningkat dengan proses pemanasan dan didukung dengan a_w yang sesuai yaitu 0,5 hingga 0,80. Proses pemanasan dalam pengolahan pangan yang menggunakan suhu tinggi seperti penggorengan, pemanggangan, dan pemasakan lainnya dapat memicu terjadinya reaksi Maillard. Selain itu, penyimpanan pangan pada suhu kamar, reaksi Maillard juga dapat terjadi walaupun dengan laju reaksi lebih lambat, misalnya pada susu bubuk yang disimpan lama.

Reaksi Mailard pada proses pengolahan pangan contohnya adalah terbentuknya warna cokelat pada biskuit setelah dipanggang, ayam goreng renyah (*crispy*), atau roti setelah dibakar. Pembentukan warna cokelat pada pangan akibat reaksi Maillard ini ada yang diinginkan atau tidak diinginkan, ditinjau dari mutu produk atau perubahan nilai gizi. Contoh reaksi Maillard yang diinginkan dalam pangan misalnya warna cokelat pada biskuit tertentu (tapi tidak sampai *overcooked*), sedangkan yang tidak diinginkan seperti warna cokelat yang terbentuk pada susu cair yang disterilisasi. Pembentukan warna cokelat pada pangan tersebut berbeda dengan pencokelatan pada kentang atau buah apel yang dipotong akibat adanya reaksi enzimatis.

Reaksi yang hampir sama dengan reaksi Mailard adalah reaksi karamelisasi. Persamaan kedua reaksi ini adalah karena keduanya menghasilkan warna cokelat. Reaksi karamelisasi menghasilkan *flavor* khas karamel yang melibatkan gula sederhana. Perbedaan yang lainnya adalah reaksi karamelisasi tidak membutuhkan gugus amin serta gula sederhana yang tidak harus jenisnya adalah gula pereduksi. Reaksi karamelisasi dapat terjadi ketika gula sederhana dipanaskan di atas titik lelehnya. Reaksi ini diakhiri dengan terbentuknya pigmen cokelat, pada umumnya banyak dimanfaatkan di industri pangan sebagai pewarna dan *flavor* karamel, terutama pada industri permen (*confectionary*).

Reaksi lainnya adalah reaksi oksidasi. Gula sederhana mampu mengalami reaksi oksidasi akibat adanya gugus fungsional aldehyd. Gugus ini dapat teroksidasi menjadi gugus karboksil. Bila reaksi oksidasi diinginkan, dapat dipercepat dengan penambahan biokatalis enzim *glucose oxidase*. Hasil dari reaksi oksidasi gula sederhana ini dalam bentuk asam dapat menyebabkan gula kehilangan rasa manis. Gula aldosa (gula sederhana dengan gugus aldehyd) mempunyai kemampuan oksidasi sehingga disebut gula pereduksi. Namun, gula ketosa dapat digolongkan sebagai gula pereduksi karena gula ketosa dapat mengalami isomerasi menjadi gula aldosa sehingga dapat mereduksi ion Cu^+ . Reaksi tersebut hanya dapat terjadi pada kondisi basa pada uji Fehling. Gula aldosa tidak hanya mempunyai kemampuan oksidasi, namun juga dapat mengalami reaksi reduksi yang menghasilkan gula alkohol. Contohnya, D-xilitol yang diproduksi dari hasil reduksi gula D-xilosa.

Reaksi terakhir adalah reaksi isomerisasi. Reaksi ini dapat terjadi ketika gula sederhana berada dalam kondisi pH yang tinggi atau dapat dikatalisis dengan enzim dan bersifat *reversibel*. Pada reaksi isomerisasi, gula aldosa diubah menjadi aldosa lain atau ketosa yang sesuai, dan ketosa dapat diubah menjadi aldosa yang sesuai. Sebagai contoh, D-glukosa dapat membentuk D-fruktosa dan D-manosa.

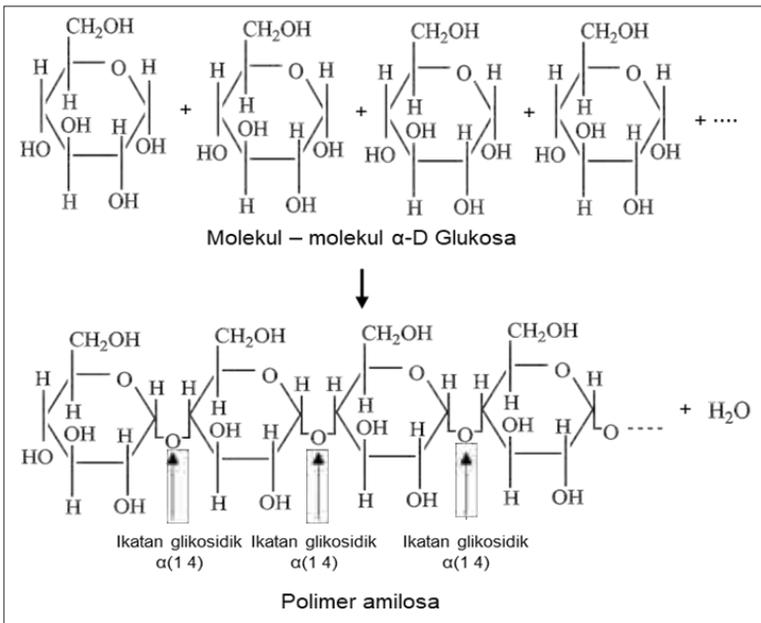
6.3.2 Karbohidrat Kompleks/Majemuk

Karbohidrat majemuk memiliki struktur kimia yang lebih kompleks dibandingkan dengan karbohidrat atau gula sederhana. Karbohidrat majemuk terdiri atas dua kelompok utama, yaitu oligosakarida yang terdiri atas beberapa monosakarida dan polisakarida yang tersusun oleh banyak monosakarida (lebih banyak dari oligosakarida). Kelompok polisakarida selain pati yang tidak dapat dicerna yaitu kelompok serat, seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, pektin, dan gum. Serat mempunyai sifat yang dapat larut (pektin dan gum) dan tidak larut dalam air (selulosa, hemiselulosa, dan lignin).

Struktur Kimia

Oligosakarida merupakan polimer yang tersusun atas dua hingga duapuluh unit gula yang tergabung dengan ikatan glikosidik (Fennema 1996), sedangkan menurut IUPAC polimer yang tersusun oleh tiga hingga sembilan unit gula. Oligosakarida memiliki karakteristik yang sangat mudah larut dalam air dan pelarut polar lainnya. Kelompok ini dapat diperoleh secara alami dalam buah-buahan dan sayuran, atau dapat diproduksi secara sintesis dengan cara hidrolisis. Contoh oligosakarida adalah rafinosa, stakiosa, dan verbaskosa. Golongan ini tidak dapat dicerna dalam tubuh manusia, namun dapat difermentasi oleh bakteri dalam usus besar yaitu kelompok bakteri asam laktat (BAL). BAL merupakan mikroba probiotik, yaitu mikroba yang dapat menekan pertumbuhan mikroba patogen. Oligosakarida disebut sebagai prebiotik, yaitu makanan bagi mikroba probiotik dalam usus besar. Fermentasi oligosakarida oleh mikroba penghasil α -galaktosidase dalam usus besar menghasilkan gas karbondioksida, hidrogen, dan metan. Penumpukan gas dalam usus besar dapat menyebabkan timbulnya flatulensi.

Karbohidrat kompleks/majemuk yang lain yaitu polisakarida. Polisakarida merupakan polimer hasil kondensasi monosakarida dalam jumlah besar yang terikat melalui ikatan glikosidik (**Gambar 6.3**). Polisakarida tersusun oleh satu jenis monosakarida (homopolisakarida) ataupun dua/lebih jenis monosakarida (heteropolisakarida). Kelompok homopolisakarida banyak ditemukan di alam. Satu rantai polisakarida tersusun oleh banyak ikatan glikosidik. Sebagai molekul penyusun polisakarida, monosakarida mempunyai struktur α maupun β . Bentuk konfigurasi α atau β pada ikatan glikosidik tergantung pada jenis monosakarida yang terikat. Karbohidrat kompleks mempunyai struktur dengan rantai yang lurus atau bercabang yang terbentuk melalui ikatan glikosidik pada gugus hidroksil molekul monosakarida. Jenis homopolisakarida yang mempunyai struktur linier antara lain amilosa, selulosa, xilan, inulin, dan kitin, sedangkan homopolisakarida yang mempunyai struktur bercabang yaitu amilopektin, dekstran, glikogen, dan pululan. Kelompok polisakarida yang lain yaitu polisakarida yang dapat dicerna, yaitu pati dan glikogen, sedangkan polisakarida yang tidak dapat dicerna, contohnya selulosa, hemiselulosa, kitin, dan pektin.



Gambar 6.3 Contoh reaksi polimerasi dalam pembentukan amilosa

Pati merupakan sumber energi utama bagi manusia dan ditemukan dengan mudah dalam tanaman. Pati juga merupakan komponen karbohidrat terbesar kedua setelah selulosa. Pati tersimpan dalam tanaman seperti pada buah, akar, umbi, dan batang. Beberapa tanaman sumber pati yang sering digunakan sebagai bahan baku dalam produk pangan antara lain beras, jagung, biji gandum, biji sorgum, umbi kentang, dan sagu.

Pati mempunyai sifat fungsional yang berperan dalam proses pengolahan pangan untuk memberikan karakteristik yang diinginkan. Peranan pati dalam pengolahan pangan antara lain sebagai pengental, penstabil, pembentuk gel, ataupun pembentuk film. Pati juga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan monosakarida atau produksi sirup glukosa. Pati dapat diperoleh melalui proses ekstraksi pada tanaman. Ekstrak pati terdapat dalam bentuk serbuk atau granula dengan karakteristik berwarna putih, tidak berbau dan tidak berasa. Struktur granula pati yang tersusun atas dua daerah utama yaitu daerah kristalin dan amorf. Daerah kristalin banyak mengandung amilopektin sedangkan pada daerah amorf banyak mengandung fraksi amilosa. Prinsip ekstraksi pati didasarkan pada sifat pati yang tidak larut air. Secara garis besar, pembuatan pati di industri terdiri atas proses pengendapan dalam air, pemisahan, dan pengeringan. Hasil ekstraksi pati secara komersial sering digunakan dalam industri baik pangan maupun non-pangan, contohnya maizena (pati jagung) dan tapioka (pati singkong).

Polisakarida utama penyusun granula pati yaitu amilosa dan amilopektin. Amilosa merupakan polimer dengan struktur linier dari molekul α -D-glukosa atau α -D-glukopiranososa yang saling terhubung melalui ikatan glikosidik $\alpha(1,4)$. Umumnya amilosa mempunyai struktur linier. Akan tetapi, amilosa mempunyai banyak gugus hidroksil yang dapat saling berinteraksi melalui ikatan hidrogen. Hal ini menyebabkan struktur amilosa tidak hanya berbentuk linier, namun berbentuk heliks. Struktur heliks amilosa dapat berikatan dengan iodin membentuk ikatan kompleks. Ikatan tersebut ditandai dengan terbentuknya warna biru. Amilosa juga dapat membentuk kompleks dengan lipid membentuk kompleks amilosa-lipid yang dikenal sebagai pati resisten tipe 5 (RS5).

Sama halnya dengan amilosa, amilopektin merupakan polimer dari molekul α -D-glukosa, namun memiliki struktur bercabang dengan dua jenis ikatan glikosidik, yaitu ikatan $\alpha(1, 4)$ dan $\alpha(1,6)$. Struktur linier dalam amilopektin terbentuk melalui ikatan $\alpha(1,4)$, sedangkan ikatan $\alpha(1,6)$ membentuk titik percabangan. Setiap reaksi polimerisasi pembentukan polisakarida membebaskan molekul air, sehingga disebut juga polimerisasi kondensasi. Interaksi amilopektin dengan iodin dapat membentuk warna cokelat kemerahan. Karena iodin tidak mampu membentuk kompleks yang kuat dengan amilopektin.

Sifat Fisikokimia

Rasio amilosa dan amilopektin dalam setiap bahan pangan berbeda-beda. Rasio penyusun granula pati tersebut untuk dijadikan sebagai acuan pemilihan pangan sumber pati dalam proses pengolahan pangan. Hal ini berkaitan dengan sifat fungsional pati untuk mendapatkan karakteristik pangan yang diinginkan. Struktur amilosa yang linier lebih mudah membentuk ikatan hidrogen dengan saling berikatan satu sama lain, dibandingkan dengan amilopektin. Sumber pati dengan komposisi amilopektin lebih tinggi daripada amilosa dapat membentuk ikatan hidrogen yang relatif lemah. Kondisi tersebut menyebabkan struktur gel yang terbentuk kurang kompak. Oleh karena itu, sumber pati dengan komposisi amilopektin lebih tinggi lebih sesuai diaplikasikan sebagai pengental.

Karakteristik gelatinisasi pada setiap sumber pati berbeda-beda. Faktor tersebut menjadi pertimbangan dalam pemilihan sumber pati yang dapat diaplikasikan dalam pengolahan pangan sesuai sifat fungsionalnya. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan pati sebagai bahan baku produk pangan antara lain karakteristik produk, proses pengolahan, dan penyimpanan produk. Karakteristik produk yang diinginkan berkaitan dengan peranan pati dalam sistem pengolahan. Beberapa peranan pati tersebut di antaranya sebagai pembentuk gel, penstabil, pengental, perekat, pengikat air, dan sebagainya. Karakteristik produk pangan lainnya seperti tekstur yang diharapkan, tingkat kejernihan produk akhir, hingga karakteristik sensori masih erat kaitannya dengan peranan pati dalam pengolahan pangan.

Kondisi proses pengolahan dan penyimpanan produk menjadi hal yang perlu dipertimbangkan pula dalam memilih pati untuk pengolahan pangan. Kondisi lingkungan di luar sistem pangan dapat memengaruhi perubahan karakteristik pati. Suhu pemasakan, proses pengadukan, homogenisasi, pendinginan, dan pembekuan pada pati juga perlu disesuaikan dalam memilih sumber pati, karena setiap pati mempunyai profil gelatinisasi yang berbeda. Jumlah pati yang ditambahkan dan peranan pati secara spesifik sebagai bahan baku utama atau tambahan juga dapat memengaruhi karakteristik produk akhir yang diinginkan. Sementara kondisi penyimpanan produk berkaitan dengan umur simpan dan pada suhu berapa sebaiknya produk akhir disimpan. Suhu selama proses penyimpanan dapat memengaruhi terjadinya kemungkinan fenomena yang tidak diharapkan pada produk yang mengandung pati, misalnya terjadinya retrogradasi dan sineresis.

Proses yang terjadi secara umum pada pati adalah proses gelatinisasi. Gelatinisasi pati merupakan serangkaian peristiwa pada pati dan air dipanaskan dalam sistem sehingga pati tidak dapat balik seperti bentuk semula. Peristiwa tersebut berkaitan dengan sifat dan struktur granula pati. Granula pati mempunyai bentuk dan ukuran yang beragam, tergantung sumbernya antara lain bulat, oval, poligonal, elips terpotong, dan sebagainya. Ukuran diameter granula pati juga beragam, yaitu 2–100 μm . Adanya perbedaan struktur granula pati dari berbagai sumber pati ini mengakibatkan sifat gelatinisasinya juga beragam.

Granula pati memiliki struktur semi-kristal. Hal ini sebagai akibat granula pati yang bersifat kompak karena terbentuknya ikatan hidrogen antar molekul amilosa dan amilopektin yang cukup kuat. Struktur semi-kristal granula pati ini mengakibatkan pati tidak larut dalam air dingin. Akan tetapi, granula pati dapat mengembang dalam air panas setelah melewati suhu tertentu. Ketika tahap pengembangan tidak melewati suhu gelatinisasi, proses pengembangan bersifat bolak-balik (*reversible*), dan akan bersifat tidak dapat balik (*irreversible*) jika telah mencapai suhu gelatinisasi.

Proses gelatinisasi pati terjadi dalam tiga tahap. Tahap I saat granula pati menyerap air dan mengembang secara lambat. Pada tahap ini air berimbibisi secara perlahan dan masih bersifat *reversible* (bolak-balik) ke dalam granula

pati, sehingga terjadi pemutusan ikatan hidrogen antar molekul. Tahap II pada saat granula pati menyerap air dengan cepat sehingga pengembangan granula juga semakin cepat. Tahap III yaitu pada saat kondisi air cukup diikuti suhu naik secara terus-menerus mengakibatkan granula pecah dan molekul amilosa keluar dari granula. Suhu gelatinisasi ditandai dengan pengembangan granula pati dalam air panas secara *irreversible*. Setelah melewati suhu awal gelatinisasi, struktur kristal pati mulai menghilang sehingga granula pati tampak bening atau translusen.

Setiap pati mempunyai kisaran suhu gelatinisasi yang berbeda-beda. Ketika suhu pemanasan mencapai di atas suhu gelatinisasi, maka granula pati semakin mengembang hingga tidak dapat menampung air atau mencapai titik viskositas maksimum. Selanjutnya seiring dengan semakin meningkatnya suhu pemanasan, viskositas pati menurun hingga amilosa dan amilopektin menyatu dengan fase cair dan membentuk pasta pati. Jika pemanasan dihentikan lalu dilanjutkan dengan proses pendinginan maka viskositas pati meningkat lagi. Apabila proses dilanjutkan hingga suhu yang lebih rendah lagi maka pasta pati mencapai tahap gelasi. Gelasi merupakan proses pembentukan pasta pati menjadi gel. Proses *pasting* pati ini dapat diamati dengan menggunakan instrumen *Rapid Visco Analyzer (RVA)* atau *Brabender amilograph*, yang memberikan informasi suhu awal *pasting*, viskositas maksimum, viskositas *breakdown*, viskositas *setback*, dan viskositas akhir selama proses pemanasan dan pendinginan suspensi pati.

Ketika viskositas pati mulai meningkat lagi setelah proses pendinginan, ikatan hidrogen yang telah terputus antara molekul amilosa dan amilopektin dapat terbentuk kembali. Proses ini disebut resosiasi. Melalui proses pendinginan atau pembekuan, ikatan hidrogen tersebut semakin kuat. Sebagai akibatnya molekul amilosa dan amilopektin cenderung untuk saling berikatan sesama molekul sehingga gel yang terbentuk semakin kompak. Keseluruhan proses pembentukan kembali ikatan hidrogen dari molekul penyusun granula pati dalam gel pati tersebut disebut fenomena retrogradasi. Sumber pati dengan kandungan amilosa yang lebih tinggi lebih mudah mengalami fenomena retrogradasi. Hal ini dikarenakan amilosa yang mempunyai struktur linier lebih mudah membentuk ikatan hidrogen. Pembentukan ikatan hidrogen

kembali ini semakin kuat jika suhu semakin rendah. Contoh fenomena retrogradasi yaitu pengerasan pada roti yang didinginkan. Fenomena tersebut disebut juga *bread staling*. Fenomena seperti ini umumnya tidak diinginkan karena menurunkan mutu produk pangan.

Selain fenomena retrogradasi, gel pati yang semakin kokoh pada suhu yang semakin rendah mengakibatkan air terpisah dari struktur gel sehingga membentuk dua fase, yaitu fase air dan fase gel. Fenomena terbentuknya dua fase ini disebut dengan sineresis. Contoh dalam produk pangan yaitu produk puding yang disimpan selama kurun waktu tertentu menunjukkan air mulai keluar dari gel yang awalnya mempunyai struktur kompak.

Setiap sumber pati mempunyai sifat gelatinisasi yang beragam. Karakteristik gelatinisasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, yaitu sumber pati, ukuran granula pati, suhu pengolahan, proses pengadukan, dan komponen terlarut seperti gula, lemak, protein, enzim, dan asam.

6.4 Asam Amino dan Protein

Protein berasal dari bahasa Yunani yaitu *proteios* yang berarti “pertama”. Makna kata pertama berkaitan dengan peranan penting protein dalam kehidupan. Protein merupakan penyusul sel dalam komponen tanaman dan hewan yang terdiri atas senyawa organik kompleks yang tersusun oleh asam amino melalui ikatan peptida. Unsur penyusun protein antara lain karbon (50–55%), hidrogen (6–7%), oksigen (20–23%), nitrogen (12–19%), dan sulfur (0,2–3%).

Kandungan protein baik jumlah dan jenisnya dalam bahan pangan sangat beragam. Tanaman yang mengandung protein tinggi seperti halnya kelompok kacang-kacangan dan sereal, sedangkan bahan pangan hewani yang mengandung protein tinggi seperti telur, daging, susu, dan ikan. Kandungan setiap jenis asam amino dalam bahan pangan juga beragam, seperti halnya kacang kedelai mengandung asam amino metionin yang rendah, namun kandungan asam amino lisinnya cukup tinggi. Kelompok sereal umumnya mengandung asam amino lisin dan treonin, dan sebagainya. Hal ini menunjukkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan asam amino esensial maka perlu untuk mengkonsumsi sumber protein yang beragam.

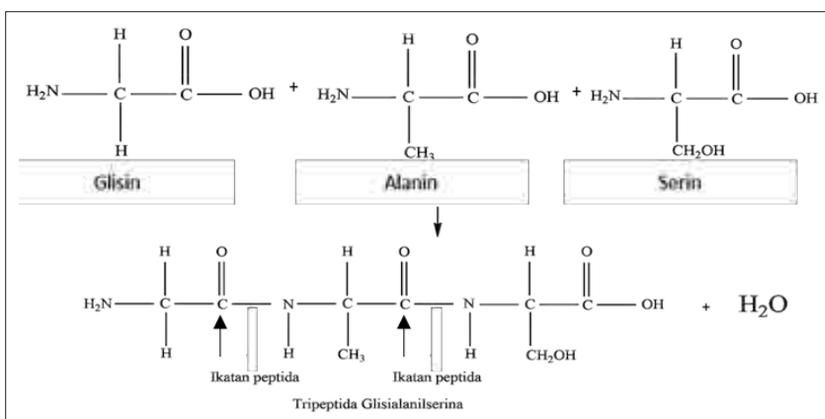
6.4.1 Struktur Kimia

Protein sebagai polimer yang disusun oleh asam amino dalam jumlah yang banyak dihubungkan satu sama lain melalui ikatan peptida. Jumlah asam amino yang terdapat di alam berjumlah 20 yang dibentuk oleh atom karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N). Struktur molekul asam amino dibentuk oleh dua gugus fungsional, yaitu gugus karboksil ($-\text{COOH}$) dan gugus amin ($-\text{NH}_2$). Molekul asam amino berbeda satu sama lain pada gugus R yang terikat pada atom karbon. Karena memiliki gugus karboksil yang bersifat asam dan gugus amin yang bersifat basa, maka asam amino memiliki sifat amfoter. Sifat amfoter dari asam amino ini banyak memengaruhi sifat fisikokimia dari asam amino dan peptida yang dibentuknya.

Protein disusun oleh asam amino melalui ikatan peptida, yaitu ikatan yang menghubungkan antara gugus karboksil dari satu asam amino dan gugus amin dari asam amino yang lainnya (**Gambar 6.4**). Jenis asam amino yang terikat pada struktur protein dapat memengaruhi sifat fisikokimia protein tersebut. Sifat fisikokimia tersebut di antaranya stabilitas terhadap pemanasan, kemampuan dalam membentuk gel, sifat kelarutan protein, dan sebagainya. Sebagian asam amino yang terikat dalam struktur protein bersifat reaktif sehingga antar asam amino dapat berikatan satu sama lain. Ikatan yang terbentuk antarmolekul asam amino tersebut di antaranya ikatan hidrogen, ikatan elektrostatik, ikatan sulfida, dan interaksi hidrofobik. Ikatan tersebut mengakibatkan molekul protein dapat membentuk berbagai struktur yaitu struktur primer, sekunder, tersier, dan kuarterner.

Struktur primer merupakan struktur dasar protein. Struktur ini menghubungkan antar asam amino penyusun protein yang terbentuk melalui ikatan peptida. Antar asam amino dalam struktur primer tersebut dapat membentuk ikatan hidrogen sehingga terbentuk struktur tidak lurus, namun berbentuk seperti gulungan. Struktur protein ini disebut struktur sekunder. Ikatan hidrogen tersebut umumnya dapat terbentuk pada protein dengan kandungan asam amino polar yang mempunyai gugus hidroksil, amida, dan fenol. Struktur sekunder protein ini disebut pula dengan α -helix. Selanjutnya, struktur sekunder protein dapat membentuk struktur lain. Adanya ikatan antar asam amino (ikatan hidrogen), interaksi elektrostatik, jembatan garam,

dan jembatan sulfida pada struktur protein mengakibatkan struktur sekunder protein menjadi tertutup. Struktur tertutup tersebut disebut dengan struktur tersier protein. Struktur tersier ini merupakan struktur protein secara umum yang terdapat di alam. Struktur protein yang lain yaitu struktur kuartener yang terbentuk ketika beberapa rantai molekul protein yang berbeda saling berinteraksi melalui ikatan hidrogen, interaksi hidrofobik, interaksi elektrostatik, dan jembatan sulfida. Beberapa contoh protein yang membentuk struktur kuartener antara lain kolagen, sutra, dan insulin.



Gambar 6.4 Reaksi polimerisasi pembentukan protein

6.4.2 Sifat Fungsional

Selain sebagai sumber asam amino, protein juga mempunyai sifat fungsional yang dapat menghasilkan karakteristik tertentu pada produk pangan, seperti sebagai pembentuk buih, pengemulsi, pengental, pengental, dan sebagainya. Pentingnya mengetahui kandungan protein dalam bahan pangan sangat bermanfaat untuk menentukan sumber protein yang sesuai untuk digunakan sehingga diperoleh karakteristik produk pangan yang diinginkan.

Terdapat tiga jenis kelompok protein utama di alam yaitu protein sederhana, protein turunan, dan protein konjugasi. Protein sederhana merupakan protein yang hanya mengandung residu asam amino yang terdiri atas protein globular dan fibrilar. Protein globular mempunyai struktur

molekul bulat, sedangkan protein fibrilar berbentuk serat dan tidak larut air. Beberapa contoh protein globular antara lain albumin, globulin, dan protamin, sedangkan contoh protein fibrilar seperti skleroprotein. Albumin dapat diperoleh dari putih telur, globulin seperti miosin dan aktin yang dapat diperoleh dari daging, sedangkan kelompok prolamin seperti zein, gliadin, dan hordein secara berurutan dapat diperoleh dari jagung, gandum, dan barley. Skleroprotein seperti kolagen diperoleh dari jaringan otot, elastin dapat ditemukan di tendon, dan keratin dapat ditemukan di rambut.

Selain berbagai contoh protein yang telah disebutkan, terdapat beberapa contoh lain protein dalam bahan pangan yang mempunyai kandungan fungsional dan peranan penting dalam memengaruhi karakteristik produk pangan, salah satunya adalah gluten. Gluten merupakan protein yang khas terdapat dalam tepung terigu. Dalam kelompok sereal, gluten terdapat dalam jumlah yang rendah. Komponen penyusun gluten yaitu gliadin dan glutenin. Kedua komponen ini mempunyai tingkat kelarutan yang berbeda, namun memiliki fungsi yang sama yaitu membentuk adonan mengembang dan elastis. Karakteristik adonan seperti ini yang diharapkan untuk memperoleh roti yang mengembang, elastis, empuk, dan lembut saat di mulut. Jenis protein lain yang juga berperan untuk menghasilkan produk roti atau kue dengan karakteristik produk yang lebih banyak diterima konsumen yaitu ovalbumin. Ovalbumin adalah protein dalam putih telur. Sifatnya yang khas sehingga dapat membentuk buih ketika dikocok. Terbentuknya buih dari jenis protein ini berfungsi untuk menghasilkan produk roti atau kue yang mengembang dan lembut saat dikonsumsi.

Protein lain dalam bahan pangan yaitu protein yang khas terdapat dalam daging yaitu aktin dan miosin. Kedua protein tersebut yang dapat membentuk serabut daging dan berfungsi sebagai penggerak tubuh. Dalam proses pengolahan pangan (olahan daging), protein ini berperan untuk membentuk emulsi adonan daging (misalnya adonan bakso), sehingga dapat dihasilkan bakso dengan karakteristik yang empuk, *juicy* khas daging dan menghasilkan rendemen yang tinggi.

Kelompok protein lainnya yaitu protein konjugasi. Protein ini berikatan dengan molekul lain baik molekul makro ataupun mikro seperti karbohidrat, lemak, golongan logam, dan fosfor. Protein konjugasi antara lain protein berikatan dengan lemak disebut lipoprotein, karbohidrat berikatan dengan protein disebut glikoprotein, protein berikatan dengan logam disebut metalprotein, dan fosfoprotein yang merupakan protein berikatan dengan fosfor. Jenis protein seperti lipoprotein dan fosfoprotein dapat ditemukan pada protein susu dan kuning telur. Selain protein sederhana dan konjugasi, ada pula kelompok protein turunan. Protein turunan merupakan hasil modifikasi sifat fungsional protein, baik secara kimia maupun enzimatik. Akibat modifikasi tersebut, karakteristik protein turunan dapat berubah seperti sifat kelarutan dan sifat koagulasinya.

Protein memiliki sifat fungsional yang dapat memengaruhi karakteristik produk pangan. Sifat fungsional protein ini mengakibatkan protein dalam proses pengolahan pangan dapat berperan sebagai pengemulsi, pembentuk gel, pembentuk buih, pengikat air, dan penyerap lemak. Peranan protein tersebut dapat terbentuk karena adanya interaksi protein dengan makromolekul lain seperti kelompok karbohidrat, lemak, ataupun dengan protein yang lain, interaksi dengan pelarut di sekitarnya, dan adanya ion. Terbentuknya sifat fungsional protein dalam produk pangan tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu faktor internal, eksternal, dan proses pengolahan. Faktor internal seperti komposisi protein, bentuk protein, dan homogenitas protein, sedangkan faktor eksternal yang memengaruhi di antaranya keberadaan air, lemak, gula, ion, pH lingkungan, suhu, dan oksidator/konduktor. Faktor eksternal yang terkait dengan proses pengolahan pangan di antaranya adalah pemanasan, penambahan garam, pendinginan, pembekuan, pengadukan, pengeringan, penambahan bahan kimia, dan sebagainya.

6.4.3 Reaksi Kimia

Bahan pangan mengandung berbagai komponen yang beragam. Hal ini sangat memungkinkan protein dapat berinteraksi dengan komponen lain dalam sistem pangan atau dengan komponen lain selama proses pengolahan pangan berlangsung atau pada saat penyimpanan produk pangan. Interaksi

protein dalam sistem pangan tersebut terjadi antara gugus fungsional protein dengan senyawa lain. Terjadinya interaksi ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti suhu, pH, aktivitas air, adanya ion dan radikal bebas. Hasil interaksi kimia ini, bisa diinginkan dan tidak diinginkan, karena berkaitan dengan karakteristik produk yang dihasilkan.

Salah satu reaksi kimia yang terjadi dalam sistem pangan yang mengandung protein selama proses pengolahan yaitu reaksi pencokelatan non-enzimatis, atau disebut pula sebagai reaksi Maillard. Reaksi ini terjadi ketika gugus amin dari asam amino bebas atau yang masih terikat pada protein berinteraksi dengan gula pereduksi dalam suatu sistem pangan. Reaksi ini menghasilkan senyawa melanoidin yang menghasilkan warna coklat pada produk pangan. Sebagai contoh, susu mempunyai komponen gula pereduksi yaitu laktosa. Ketika proses pemanasan laktosa dapat bereaksi dengan gugus amin dalam susu sehingga akan terbentuk warna kecokelatan. Pencokelatan pada produk susu ini tidak diinginkan karena merusak karakteristik sensori produk dan menurunkan nilai gizi protein. Sementara pencokelatan yang terjadi pada proses pengolahan roti merupakan aplikasi reaksi Maillard yang diinginkan. Terbentuknya warna coklat pada roti dapat memperbaiki karakteristik sensori produk roti.

Reaksi yang terjadi pada protein sehingga menghasilkan sifat fungsional tertentu dapat dipengaruhi oleh sifat kelarutannya dalam sistem pangan. Sifat ionisasi asam amino dalam suatu larutan dapat menentukan tingkat kelarutan protein, yaitu asam amino mempunyai sifat asam ataupun basa. Faktor yang memengaruhi sifat kelarutan protein di antaranya jenis dan komposisi asam amino dalam protein, jenis pelarut, suhu, konsentrasi, muatan ion, dan pH. Pengaruh pH terhadap kelarutan protein berkaitan dengan muatan asam amino penyusun protein. Asam amino dapat bersifat asam atau basa yang tergantung pada pH-nya. Perubahan pH dapat berpengaruh terhadap muatan protein. Antar molekul protein dapat berinteraksi dengan maksimum ketika protein berada pada titik isoelektrik. Titik isoelektrik adalah kondisi dengan muatan protein sama dengan nol. Di sisi lain, pada titik ini kelarutan protein menjadi rendah. Nilai pH pada titik ini dilambangkan sebagai pI.

Titik isoelektrik protein dalam bahan pangan perlu diketahui karena titik isoelektrik berperan dalam proses pengolahan pangan. Bahan pangan cair yang mengandung protein dapat menggumpal pada pH tertentu hingga mencapai titik isoelektriknya. Dalam pengolahan pangan titik isoelektrik dapat diaplikasikan untuk isolasi protein. Proses isolasi protein diawali dengan proses ekstraksi protein yang dilakukan pada pH tertentu yang memungkinkan dapat memperoleh ekstrak protein terbanyak. Selanjutnya dilakukan pengendapan untuk memisahkan komponen protein dengan non-protein. Protein dalam larutan dapat diendapkan dengan pengaturan pH sampai mencapai titik isoelektriknya. Protein yang mengendap tersebut merupakan hasil isolasi protein yang disebut sebagai isolat protein.

Dalam proses isolasi protein, tahap pengendapan protein dapat dilakukan pula dengan penambahan garam. Garam diketahui dapat memengaruhi kelarutan protein. Keberadaan garam dapat menurunkan atau meningkatkan kelarutan protein. Penambahan garam berpengaruh pada kekuatan ion dalam larutan. Dampak penambahan garam terhadap kelarutan protein dikenal dengan istilah *salting-in* dan *salting-out*. *Salting-in* untuk istilah peningkatan kelarutan protein sedangkan *salting out* merupakan istilah penurunan kelarutan protein akibat penambahan garam. Kelarutan protein dipengaruhi oleh kekuatan ionik garam yang terlarut. Pada fenomena *salting-in* dan *salting-out*, ketika kekuatan ion garam rendah maka gugus protein yang terionisasi dikelilingi ion lawannya sehingga interaksi antar protein menurun lalu kelarutan meningkat (*salting-in*). Sebaliknya, ketika kekuatan ion meningkat, molekul air yang diikat ion semakin banyak sehingga tidak cukup menghidrasi molekul protein. Hal ini mengakibatkan interaksi antar molekul protein semakin kuat lalu kelarutan menurun (*salting-out*). Selain kekuatan ion, polaritas pelarut juga dapat memengaruhi kelarutan protein. Pelarut non-polar yang dapat bercampur dengan air pada perbandingan tertentu apabila dicampurkan ke dalam larutan protein maka dapat menurunkan kelarutan protein. Dalam fenomena ini interaksi antar protein meningkat. Hal ini disebabkan oleh menurunnya konstanta dielektrik larutan.

Fenomena lain yang juga berkaitan dengan sifat fungsional protein yaitu denaturasi protein. Denaturasi protein didefinisikan sebagai suatu proses modifikasi struktur protein (struktur tersier, sekunder, dan kuarterner) tanpa

adanya pemutusan ikatan peptida dan perubahan susunan asam amino penyusunnya. Fenomena ini menyebabkan perubahan sifat fisikokimia protein. Protein dapat kehilangan sifat kelarutan dan aktivitas biologisnya. Denaturasi protein dapat terjadi akibat proses pemanasan. Setiap jenis protein mempunyai suhu denaturasi yang berbeda-beda. Umumnya denaturasi protein dapat terjadi pada suhu pemanasan 55–75°C. Bahan pangan yang mengalami denaturasi protein dapat menyebabkan perubahan karakteristiknya, seperti perubahan tekstur, terjadi pengerutan, ataupun kehilangan daya ikat air. Selain akibat proses pemanasan, denaturasi protein dapat terjadi akibat adanya penambahan asam, pengaruh pelarut organik, dan penambahan garam. Fenomena denaturasi protein ini diaplikasikan dalam proses pembuatan keju, tahu, atau ekstraksi protein tertentu.

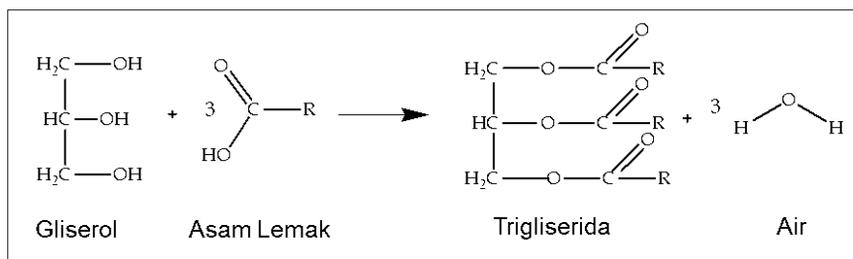
6.5 Lemak

Lemak merupakan salah satu makromolekul ester non-polar yang tidak dapat larut dalam air. Lemak adalah bagian kelompok lipid sederhana yang disusun oleh asam lemak dan gliserol sebagai komponen utamanya. Senyawa ini dapat diperoleh dari hewan atau tanaman, yang selanjutnya dapat disebut sebagai lemak hewani dan lemak nabati.

6.5.1 Struktur Kimia

Lemak disusun oleh tiga atom utama yaitu karbon, hidrogen, dan oksigen. Komponen utama penyusun lemak yaitu gliserol dan asam lemak. Gliserol merupakan senyawa organik polar yang mempunyai tiga atom karbon (C) dan tiga gugus hidroksil (-OH) yang terikat pada atom karbon. Asam lemak merupakan senyawa organik polar dengan gugus fungsional utama gugus karboksil (-COOH) dan mempunyai dua hingga 24 atom karbon. Lemak merupakan kelompok trigliserida (triasilgliserol). Dalam struktur kimia lemak, gliserol berikatan dengan tiga asam lemak melalui ikatan kovalen sehingga terbentuk ester gliserol. Ikatan ini terjadi antara gugus karboksil asam lemak dengan gugus hidroksil dari gliserol. Reaksi pembentukan lemak disebut

sebagai reaksi kondensasi. Hal ini dikarenakan pada setiap pembentukan ikatan kovalen antara dua senyawa tersebut akan melepaskan satu molekul air. Reaksi pembentukan lemak ditunjukkan pada **Gambar 6.5**.



Gambar 6.5 Reaksi pembentukan lemak sederhana

Fungsi gizi lemak di dalam tubuh berperan sebagai sumber energi, sedangkan fungsi lemak dalam proses pengolahan adalah pembentuk tekstur dan mutu sensori lainnya, sebagai media pindah panas, dan pelarut vitamin A, D, E, dan K. Selain itu, lemak juga dapat memengaruhi umur simpan produk. Selama proses pengolahan, penyimpanan, hingga distribusi produk pangan, lemak berkontribusi dalam perubahan karakteristik produk pangan, baik yang diinginkan ataupun yang tidak diinginkan. Berikut pemaparan terkait klasifikasi lemak, struktur kimia lemak, sifat fisikokimia lemak, dan lemak sebagai produk pangan dan peranannya dalam pengolahan pangan.

Lipida adalah komponen pangan yang tidak larut dalam air tetapi larut dalam pelarut organik. Lipida dapat diklasifikasikan menjadi tiga golongan, yaitu (1) lipida sederhana, yaitu lipida yang hanya tersusun dari gliserol dan asam lemak membentuk ester (meliputi monoasil gliseril, diasil gliserol, dan terbanyak triasil gliserol) (2) lipida majemuk (kompleks), yaitu lipida yang tersusun selain asam lemak dan gliserol juga mengandung gugus lain seperti fosfat (fosfolipid), protein (lipoprotein) dan lain-lain, dan (3) turunan lipida, yaitu komponen atau senyawa yang tidak termasuk golongan lipida sederhana dan majemuk, tetapi dapat larut dalam pelarut organik, misalnya karotenoid, sterol, vitamin A, D, E, K, dan pigmen.

6.5.2 Sifat Fisikokimia Lemak

Sifat fisikokimia lemak dapat digunakan untuk menentukan kualitas minyak atau lemak. Sifat fisikokimia lemak yang umumnya digunakan sebagai parameter penentu kualitas lemak yaitu bilangan peroksida, bilangan asam, bilangan para-anisidin, bilangan *Thio Barbituric Acid* (TBA), dan derajat ketengikan. Selain itu, sifat fisikokimia lemak lainnya yaitu sifat kelarutan, titik leleh, bilangan iod, *turbidity point*, dan lain-lain.

Bilangan Peroksida

Peroksida merupakan produk dari reaksi oksidasi asam lemak tidak jenuh dari lemak atau minyak atau asam lemak bebas. Asam lemak bebas tidak jenuh sangat mudah teroksidasi. Dalam mekanisme reaksi oksidasi, peroksida adalah hasil dari reaksi antara oksigen dengan radikal bebas yang terbentuk di tahap inisiasi (tahap awal oksidasi). Hal ini yang menjadi dasar bahwa bilangan peroksida dapat digunakan sebagai indikator oksidasi lemak. Bilangan peroksida dapat dianalisis dengan metode spektrofotometri ataupun titrimetri. Prinsip metode spektrofotometri untuk analisis bilangan peroksida yaitu pengukuran intensitas warna yang terbentuk akibat reaksi senyawa tertentu, misalnya ammonium feri tiosianat dengan senyawa peroksida yang terbentuk dalam sistem pangan yang dianalisis. Penentuan peroksida dengan metode titrimetri dapat dilakukan melalui pengukuran sejumlah iod yang dibebaskan dari KI melalui reaksi oksidasi oleh peroksida di dalam pelarut asam asetat/kloroform.

Bilangan Asam

Bilangan asam merupakan bilangan yang menunjukkan jumlah asam lemak bebas yang terkandung dalam lemak atau minyak yang biasanya dihubungkan dengan proses hidrolisis lemak atau minyak. Hidrolisis lemak atau minyak oleh air dengan katalis enzim atau panas pada ikatan ester trigliserida akan menghasilkan asam lemak bebas (ALB) dan gliserol.

Keberadaan asam lemak bebas dalam produk lemak/minyak biasanya dijadikan indikator awal terjadinya kerusakan lemak/minyak karena proses hidrolisis. Pembentukan asam lemak bebas akan mempercepat kerusakan oksidatif lemak atau minyak karena asam lemak bebas lebih mudah teroksidasi jika dibandingkan dalam bentuk esternya.

Bilangan Para-anisidin

Pembentukan peroksida sebagai senyawa antara pada proses oksidasi lemak akan meningkat sampai titik tertentu untuk kemudian menurun kembali. Penurunan ini terjadi karena peroksida yang terbentuk akan mengalami dekomposisi menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah, terutama dari golongan aldehid. Jumlah dienaldehid pada contoh minyak dan lemak dinyatakan dengan para-anisidin *value* (*p-value*). Reaksi antara senyawa dienaldehid dengan pereaksi para-anisidin pada pelarut asam asetat akan menghasilkan warna kuning yang absorbansinya dapat diukur pada $\lambda = 350$ nm. Bilangan para-anisidin ini digunakan untuk mengukur bilangan total oksidasi. Bilangan total oksidasi yaitu jumlah bilangan para-anisidin dengan dua kali bilangan peroksida. Bilangan total oksidasi lemak ini yang digunakan sebagai parameter tingkat kerusakan lemak akibat reaksi oksidasi.

Bilangan TBA

Bilangan *thiobarbituric acid* (TBA) juga merupakan salah satu indikator ketengikan dalam sampel pangan yang mengandung lemak. Dekomposisi lemak dalam reaksi oksidasi menghasilkan senyawa aldehida yaitu malonaldehid. Senyawa ini mengindikasikan bahwa terjadi oksidasi lanjut. Senyawa malonaldehid dapat bereaksi dengan TBA dan menghasilkan warna merah. Pengukuran bilangan TBA didasarkan dari intensitas warna merah yang terbentuk dapat menggunakan metode spektrofotometri pada panjang gelombang 530 nm. Nilai TBA yang dihasilkan setara dengan jumlah malonaldehid yang terbentuk dalam sampel. Semakin tinggi nilai TBA yang diperoleh menunjukkan tingkat oksidasi lemak semakin tinggi pula.

Derajat ketengikan

Derajat ketengikan suatu sampel pangan yang mengandung lemak menunjukkan tingkat kerusakan lemak dalam sistem pangan tersebut. Pengujian ketengikan ini digunakan untuk mengukur tingkat stabilitas oksidasi lemak. Analisis stabilitas oksidasi lemak dapat menggunakan Methrom Rancimat. Prinsip metode ini adalah mengukur waktu yang dibutuhkan lemak sebelum lemak mengalami kerusakan yang disebut sebagai waktu induksi. Senyawa volatil yang dihasilkan digunakan untuk mengukur kerusakan lemak dalam sampel.

6.5.3 Reaksi Kimia Lemak

Beberapa reaksi kimia yang dapat terjadi pada lemak antara lain reaksi penyabunan, reaksi hidrolisis, reaksi hidrogenasi, reaksi oksidasi, dan reaksi intra dan interesterifikasi. Adanya gugus fungsional ester dan ikatan rangkap dalam struktur lemak mengakibatkan terjadinya reaksi tersebut. Selain itu, reaksi tersebut dapat pula dipicu oleh faktor eksternal dari lingkungan.

Reaksi penyabunan terjadi ketika lemak yang mengandung alkali atau dapat secara sengaja ditambahkan alkali lalu dipanaskan. Hal ini mengakibatkan ester gliserol berubah menjadi garam asam lemak dan gliserol. Garam asam lemak berantai panjang yang terbentuk ini disebut sebagai sabun. Reaksi ini diaplikasikan pada proses pembuatan sabun secara komersial. Selain itu, reaksi ini juga diterapkan dalam tahap persiapan sampel analisis kolesterol dalam pangan.

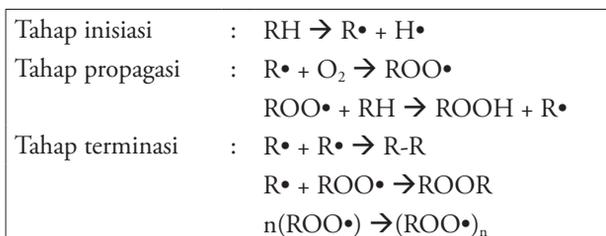
Reaksi hidrolisis lemak merupakan reaksi pembebasan asam lemak bebas yang terikat dengan gliserol dalam struktur lemak melalui pemutusan ikatan esternya. Reaksi ini dapat dipercepat dengan adanya pemanasan atau enzim lipase. Setiap pemutusan ikatan ester lemak dibutuhkan satu molekul air. Enzim lipase yang dapat memicu terjadinya reaksi hidrolisis secara alami terdapat dalam bahan pangan. Apabila bahan pangan yang mengandung air atau berada di lingkungan yang mengandung air tidak diberi perlakuan tertentu untuk menonaktifkan enzim lipase, maka enzim ini dapat menghidrolisis

lemak selama penyimpanan. Akumulasi asam lemak hasil hidrolisis lemak terutama asam lemak tidak jenuh dapat memicu ketengikan. Reaksi hidrolisis lemak dapat terjadi pada lemak jenuh dan tidak jenuh.

Reaksi hidrogenasi adalah reaksi penambahan hidrogen pada asam lemak tidak jenuh. Reaksi ini mengakibatkan asam lemak tidak jenuh berubah menjadi asam lemak jenuh. Reaksi ini dapat dipercepat dengan adanya katalisator metal dan proses pemanasan. Reaksi hidrogenasi diaplikasikan pada pembuatan margarin. Reaksi ini merupakan bagian dalam tahap pembuatan margarin yang disebut pula hidrogenasi parsial. Pada reaksi hidrogenasi ini terjadi isomerasi pada sebagian asam lemak tidak jenuh yaitu perubahan struktur *cis* menjadi *trans*.

Reaksi oksidasi lemak merupakan salah satu reaksi yang dapat menyebabkan kerusakan lemak. Adanya ikatan rangkap asam lemak dalam struktur lemak dapat lebih mudah teroksidasi oleh oksigen. Produk dari reaksi oksidasi ini berupa senyawa volatil termasuk bau tengik sehingga menurunkan kualitas produk pangan dan tidak layak dikonsumsi. Reaksi oksidasi dapat dipicu oleh beberapa faktor di antaranya oksigen, cahaya, ion metal polivalen, dan enzim lipoksigenase. Dalam tahap reaksi oksidasi lemak ini, dihasilkan peroksida yang menyebabkan terjadinya reaksi pembentukan radikal bebas baru. Oleh karena itu, reaksi oksidasi ini bersifat autooksidasi.

Mekanisme reaksi oksidasi asam lemak yaitu tahap inisiasi (pembentukan radikal bebas), propagasi (reaksi berantai radikal bebas), dan terminasi pembentukan produk non-radikal) (**Gambar 6.6**). Faktor yang memengaruhi terjadinya proses oksidasi lemak/minyak antara lain oksigen, energi dalam bentuk panas, sinar atau radiasi, dan logam yang merupakan prooksidan.



Gambar 6.6 Mekanisme reaksi autooksidasi lemak

Tahap inisiasi merupakan pembentukan radikal bebas yang bersifat reaktif ($R\bullet$ dan $H\bullet$). Tahap ini dapat terjadi ketika ada cahaya dan ion metal polivalen. Selanjutnya, tahap propagasi yaitu reaksi radikal bebas dengan oksigen sehingga terbentuk radikal alkil peroksil ($ROO\bullet$). Radikal peroksida akan mengambil atom hidrogen pada sisi ikatan rangkap asam lemak bebas lain sehingga terbentuk radikal bebas baru, alkil radikal ($R\bullet$) dan hidroperoksida ($ROOH$). Tahap terakhir yaitu terminasi, di mana pada tahap ini beberapa radikal peroksida ($ROO\bullet$) yang terbentuk saling berikatan satu sama lain sehingga menghasilkan $ROOR$. Senyawa-senyawa aldehid, keton dan senyawa lain volatil lain yang terbentuk adalah senyawa yang menyumbangkan aroma menyimpang pada lemak. Oleh karena itu, bilangan peroksida dapat dijadikan sebagai respons untuk mengetahui penyimpangan pada produk pangan yang mengandung lemak. Degradasi senyawa hidroperoksida ini dapat menghasilkan senyawa volatil yang mengakibatkan munculnya bau tengik pada produk pangan.

Proses oksidasi terjadi terutama pada lemak/minyak yang mempunyai asam lemak tidak jenuh, baik tidak jenuh tunggal (*monounsaturated*) maupun tidak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acids*). Reaksi oksidasi minyak/lemak sering disebut juga *autoksidasi* karena laju oksidasi meningkat sejalan dengan reaksi itu berlangsung dan tidak melibatkan enzim. Dalam pangan, autoksidasi ini mengakibatkan timbulnya *flavor* yang tidak dikehendaki (*off-flavor*) yang sering dikenal dengan istilah tengik atau *rancid*. Dibanding dengan proses ketengikan karena lipolisis (*hydrolitic rancidity*), umumnya ketengikan karena proses oksidasi (*oxidative rancidity*) ini lebih sering atau lebih dominan terjadi. Hal ini karena lipolisis menimbulkan *flavor* tengik hanya jika lemak/minyak yang bersangkutan tersusun atas asam lemak rantai pendek (kurang dari C_{12}).

Senyawa hidroperoksida merupakan produk utama yang terbentuk setelah inisiasi reaksi antara asam lemak tidak jenuh dengan oksigen. Selanjutnya peroksida tersebut mengalami dekomposisi yang menghasilkan produk non-radikal. Produk akhir proses autoksidasi ini berupa senyawa aldehid, keton dan senyawa lain berantai pendek yang dapat memberikan bau tengik (*rancid*).

Untuk mencegah, menunda atau memperlambat terjadinya proses oksidasi lemak/minyak atau bahan pangan berlemak, dalam pengolahan sering ditambahkan antioksidan. Antioksidan yang digunakan dalam pangan harus memenuhi syarat atau ketentuan berikut: (1) tidak memberikan efek yang secara fisiologi berbahaya; (2) tidak memberikan *flavor*, bau atau warna yang tidak dikehendaki pada pangan yang diawetkan; (3) efektif pada konsentrasi rendah; (4) larut dalam lemak/minyak; (5) bertahan selama pengolahan sehingga memberikan perlindungan pada pangan; (6) mudah tersedia; dan (7) cukup murah.

6.6 Vitamin

Vitamin adalah senyawa kimia organik yang dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah sangat sedikit. Vitamin diperlukan oleh suatu organisme sebagai zat gizi penting dalam kehidupan karena senyawa ini memainkan peran penting dalam proses metabolisme, pertumbuhan dan vitalitas. Vitamin dapat diperoleh dari berbagai sumber yang berasal dari bahan pangan, dalam bentuk suplemen, atau sengaja ditambahkan ke dalam bahan pangan.

Vitamin dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar berdasarkan sifat kelarutannya, yaitu vitamin larut lemak dan vitamin larut air. Vitamin larut lemak terdiri dari vitamin A, D, E dan K, sedangkan vitamin larut air terdiri atas vitamin B kompleks dan C.

6.6.1 Vitamin A

Vitamin A merupakan salah satu vitamin larut lemak yang memiliki nama lain antara lain all-trans retinol, axeroftol, β -retinol, dan lain-lain. Vitamin ini dalam bahan pangan terdapat beberapa bentuk yaitu retinol (vitamin A alkohol), retinal (vitamin A aldehida), asam retinoat (vitamin A asam) dan ester retinil (vitamin A ester, misalnya retinil palmitat dan retinil asetat). Bentuk retinol vitamin A terdiri dari vitamin A₁ (retinol), A₂ (3,4-dehidroteinol), dan A₃ (3-hidroksiretinol).

Vitamin A terdapat pada bahan pangan hewani maupun nabati. Akan tetapi pada pangan hewani, vitamin A berbentuk retinol sedangkan pada nabati berbentuk provitamin misalnya α -karoten, β -karoten, cryptoxanthin, dan lain-lain. Senyawa retinol merupakan $\frac{1}{2}$ dari senyawa β -karoten. Senyawa β -karoten dapat mengalami oksidasi karena beberapa faktor seperti karena adanya cahaya, panas, suhu tinggi dan akan membentuk fragmentasi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah. Sumber vitamin A ditemukan pada produk hewani seperti kuning telur, susu, hati sapi/ayam, minyak ikan, dan lain-lain serta ditemukan juga pada produk nabati dalam bentuk pro-vitamin A pada sayuran hijau (bayam, kangkung), serta sayuran kuning (labu, wortel) dan buah-buahan (mangga, apricot, pepaya). Selain itu, minyak sawit merah juga kaya pro-vitamin A. Vitamin A (retinol) dalam tubuh berperan sebagai senyawa yang bertanggung jawab dalam pertumbuhan dan perkembangan, fungsi normal dalam sistem visual, pemeliharaan integritas sel epitel, serta memiliki fungsi dalam kekebalan tubuh dan reproduksi.

6.6.2 Vitamin D

Vitamin D dalam bahan pangan terdiri atas dua bentuk utama, yaitu vitamin D₂ (ergokalsiferol) dan D₃ (kolekalsiferol). Bentuk vitamin D yang aktif adalah 1,25-dihidroksi kolekalsiferol (kalsitriol) dan berfungsi untuk mengatur proses absorpsi kalsium dan homestatis fosfor. Vitamin D dapat diperoleh dari sintesis dengan sinar matahari, susu terfortifikasi, margarin terfortifikasi, telur, ikan serta hati. Kalsitriol aktif berasal dari ergosterol yang diproduksi di tanaman serta dari 7-dehidrokolesterol yang diproduksi di kulit. Kemudian di kulit, 7-dehidrokolesterol dikonversi menjadi kolekalsiferol (D₃) setelah adanya proses iradiasi sinar UV. Senyawa ergokalsiferol (D₂) terbentuk atas iradiasi sinar UV oleh ergosterol.

6.6.3 Vitamin E

Vitamin E merupakan campuran beberapa senyawa yang diketahui sebagai tokoferol. Keaktifan vitamin E pada beberapa senyawa tokoferol berbeda-beda, yaitu terdiri atas α (alfa), β (beta), γ (gamma) dan δ (delta). Pada bahan pangan, vitamin E yang memiliki aktivitas tertinggi tersusun dari

α -tokoferol. Vitamin E memiliki fungsi sebagai antioksidan alami yang dapat menangkap radikal bebas serta dapat mencegah proses peroksidasi pada asam lemak tidak jenuh. Oleh karena itu vitamin ini memiliki sifat yang mudah teroksidasi, dan mudah rusak oleh sinar UV. Akan tetapi vitamin ini juga memiliki keunggulan karena tahan terhadap suhu tinggi serta asam dan basa. Sumber pangan yang mengandung vitamin E antara lain adalah minyak biji bunga matahari, minyak biji gandum, minyak kelapa, tauge, serta produk hewani yaitu telur, mentega, dan susu.

6.6.4 Vitamin K

Vitamin K pada bahan pangan terdiri atas tiga bentuk yaitu vitamin K_1 (filloquinon) dalam sayuran hijau, K_2 (menaquinon) diproduksi oleh bakteri pada usus serta K_3 (menadion) yang terbentuk secara sintesis. Struktur kimia vitamin K terdiri atas gugus kuinon, perbedaannya terletak pada rantai sampingnya. Vitamin K memiliki peran penting dalam pembentukan prothrombin untuk proses penggumpalan darah.

6.6.5 Vitamin B1 (Tiamin)

Vitamin B1 merupakan turunan dari pirimidin tersubstitusi serta tiazol yang terhubung oleh jembatan metilen ($-\text{CH}_2-$). Tiamin akan diubah dalam bentuk aktifnya yaitu thiamine pyrophosphate (TPP) di dalam otak dan hati oleh enzim thiamine diphosphotransferase. Vitamin B1 dalam bentuk TPP berperan sebagai koenzim untuk membentuk ATP (Adenosin Trifosfat) dari karbohidrat. Bahan pangan yang dapat dijadikan sebagai sumber vitamin B1 antara lain adalah hati, ikan, unggas, daging, sereal, pasta, kacang-kacangan, oat, gandum, dan lain-lain.

6.6.6 Vitamin B2 (Riboflavin)

Vitamin B2 merupakan *precursor* untuk koenzim flavin mononukleotida (FMN) dan flavin dinukleotida (FAD). Enzim yang membutuhkan FMN atau FAD sebagai kofaktor disebut flavoprotein yang terlibat dalam proses metabolisme. Reaksi redoks dapat terjadi pada vitamin riboflavin, dengan bentuk oksidasinya yaitu *flavoquine* berwarna kuning, dan bentuk tereduksinya

adalah *flavohydroquinone* yang tidak berwarna. Vitamin B2 merupakan salah satu vitamin yang sangat sensitif terhadap cahaya dan suhu tinggi, sehingga bentuknya berubah menjadi lumiflavin. Salah satu hal yang dapat dilakukan untuk mencegah terdegradasinya vitamin B2 dalam bahan pangan adalah dengan menyimpan dalam botol gelap (amber). Vitamin ini memiliki peran untuk membantu enzim dalam melepaskan energi dari karbohidrat, protein. Bahan pangan yang dapat dijadikan sebagai sumber vitamin B2 antara lain adalah yoghurt, keju, daging, susu, sereal, dan lain-lain.

6.6.7 Vitamin B3 (Niacin)

Vitamin B3 berasal dari dua sumber utama yaitu asam nikotinic dan nikotinamida. Bentuk koenzim dari niacin adalah *nikotinamid adenin dinukleotida* (NAD) dan *nikotinamid adenine dinukleotida fosfat* (NADP), yang keduanya ada dalam bentuk teroksidasi atau tereduksi. Fungsi NAD dan NADP adalah sebagai koenzim dalam beberapa reaksi dehidrogenasi, misalnya laktat dan malat dehidrogenase. Bahan pangan yang dapat dijadikan sebagai sumber vitamin B3 antara lain adalah daging, telur, ikan, susu, sereal, kacang-kacangan, dan lain-lain.

6.6.8 Vitamin B6 (Piridoxin)

Vitamin B6 merupakan istilah umum yang sering digunakan untuk senyawa 2-metil-3-hidroksi-5-hidroksimetilpiridin dan memiliki aktivitas sebagai vitamin piridoksin. Vitamin B6 terdiri atas tiga kelompok yaitu piridoksin, piridoksal, dan piridoksamin. Ketiga senyawa tersebut akan dikonversi menjadi bentuk aktif vitamin B6, pyridoxal fosfat yang berperan dalam kofaktor pada enzim dalam reaksi transaminase. Hal ini dibutuhkan untuk sintesis dan katabolisme asam amino serta glikogenolisis. Pyridoxal fosfat dikonversi dengan cara dikatalisis oleh ATP yang membutuhkan enzim *pyridoxal kinase*. Peran vitamin ini adalah untuk membantu formasi antibodi dan sel darah merah, serta berperan dalam metabolisme protein dan lemak. Bahan pangan yang dapat dijadikan sebagai sumber vitamin B6 antara lain adalah daging, unggas, kerang, kacang-kacangan, biji-bijian, sayuran berdaun hijau, buah-buahan, dan lain-lain.

6.6.9 Vitamin B9 (Folat)

Asam folat merupakan molekul terkonjugasi yang terdiri atas struktur cincin pteridin yang terhubung dengan para amino asam benzoate (PABA) membentuk asam pteroat. Asam folat merupakan bentuk gabungan lanjutan dari asam pterat dengan residu asam glutamat. Asam folat berada pada keadaan aktifnya dalam bentuk *Pteroyl-L-glutamic acid*. Vitamin ini dapat mengalami oksidasi dengan adanya panas dan mudah larut dalam proses *leaching*. Peran vitamin ini adalah untuk membantu formasi sel darah merah, metabolisme protein, dan perkembangan sel baru. Bahan pangan yang dapat dijadikan sebagai sumber vitamin B9 antara lain adalah hati, sayuran hijau, kacang-kacangan, biji-bijian, buah jeruk, melon, dan lain-lain.

6.6.10 Vitamin B12 (Kobalamin)

Vitamin B12 terdiri dari kompleks struktur cincin tetrapyrrol dengan ion kobalt berada di tengah. Vitamin ini disintesis oleh mikroba dan ditemukan pada hati yang terikat di protein sebagai *methylcobalamin* atau *5'-deoxyadenosylcobalamin*. Peran vitamin ini adalah untuk membantu menjaga sel darah, pembentukan sel darah merah. Bahan pangan yang dapat dijadikan sebagai sumber vitamin B12 antara lain adalah daging, ikan, kerang, unggas, susu, keju, telur, dan sereal terfortifikasi.

6.6.11 Vitamin B5 (Asam Pantotenat)

Asam pantotenat atau (2,4-dihydroxy-3,3-dimethyl-butyryl- β -alanine), adalah vitamin yang larut dalam air yang terdiri atas β -alanin dalam amida yang terikat dengan 2,4-dihidroksi-3,3- asam dimethyl-butyric (asam pantanoat). Bentuk asam pantotenat yang aktif adalah D-asam pantotenat, sedangkan bentuk L-asam pantotenat tidak memiliki keaktifan sebagai vitamin B5. Pantotenat diperlukan untuk sintesis koenzim A (KoA) dan merupakan komponen *acyl carrier protein* (ACP) yang berperan dalam sintesis asam lemak. Contoh bahan pangan yang dapat dijadikan sebagai sumber vitamin B5 adalah daging, biji-bijian, sereal, telur, susu, dan sayuran segar.

6.6.12 Vitamin B7 (Biotin)

Vitamin B7 (Biotin) merupakan senyawa biosiklik yang berfungsi sebagai koenzim dalam reaksi karboksilasi misalnya asetil-KoA karboksilase dan piruvat karboksilase. Biotin terdapat dalam bentuk senyawa D-biotin bebas dan biositin. Peran vitamin ini adalah sebagai koenzim dalam metabolisme energi, sintesis lemak, dan pembentukan glikogen. Vitamin B7 terdapat pada hampir semua bahan pangan.

6.6.13 Vitamin C (Asam Askorbat)

Bentuk aktif vitamin C adalah asam askorbat itu sendiri. Vitamin ini terbentuk dari glukosa melalui jalur asam uronik. Enzim yang bertanggung jawab atas konversi gulonolakton menjadi asam askorbat adalah enzim L-gulonolactona oksidase. Vitamin ini terdiri atas dua bentuk yaitu L-asam askorbat dan asam L-dehidroaskorbat. Asam askorbat sangat mudah teroksidasi secara *reversible* menjadi L-dehidroaskorbat yang sangat labil dan dapat berubah menjadi asam L-diketogulonat yang tidak memiliki keaktifan sebagai vitamin C. Faktor yang dapat memengaruhi oksidasi vitamin C antara lain adalah suhu, kadar oksigen, katalis logam seperti Cu dan Fe, cahaya, pH, dan lain-lain. Dengan demikian, dibutuhkan beberapa perlakuan untuk mencegah adanya oksidasi vitamin C antara lain kontrol suhu, kontrol pH agar tetap dalam keadaan asam, serta menggunakan kemasan bahan pangan yang sesuai.

Bahan pangan yang dapat dijadikan sebagai sumber vitamin C antara lain adalah buah jeruk, kubis, tomat, kentang, sayuran hijau, pepaya, paprika, dan lain-lain. Peran vitamin C yang paling dominan adalah sebagai senyawa antioksidan dan dapat dikembangkan sebagai antioksidan sintetis. Akan tetapi, karena sifatnya yang hidrofilik, aplikasi vitamin C sebagai antioksidan sintetis dibatasi penggunaan untuk produk yang tidak menggunakan lemak dan minyak. Untuk memperluas aplikasinya dalam industri, asam askorbat disintesis dengan lemak menjadi ester ascorbyl yang dapat larut dalam lemak sehingga berpotensi tinggi sebagai senyawa antioksidan dan surfaktan.

Keberadaan vitamin dalam bahan pangan jumlahnya sangat sedikit, sehingga perlu diupayakan untuk memaksimalkan keberadaan vitamin dengan meminimalisir proses selama pengolahan yang dapat menyebabkan kehilangan vitamin. Sebagai contoh proses pengolahan tersebut adalah adanya *leaching* (terlarut kedalam air atau pelarut) atau karena reaksi kimia seperti oksidasi atau dengan komponen pangan yang lain. Stabilitas berbagai jenis vitamin dapat dilihat pada (**Tabel 6.1**).

Tabel 6.1 Stabilitas vitamin

| Vitamin | Netral | Asam | Basa | Udara/ Oksigen | Cahaya | Panas | Kehilangan Akibat Pemasakan (%) |
|-----------------|--------|------|------|-------------------|--------|-------|--|
| A | S | U | S | U | U | U | 40 |
| Asam askorbat | U | S | U | U | U | U | 100 |
| Biotin | S | S | S | S | S | U | 60 |
| Karoten | S | U | S | U | U | U | 30 |
| Kolin | S | S | S | U | S | S | 5 |
| B12 | S | S | S | U | U | S | 10 |
| D | S | S | U | U | U | U | 40 |
| Folat | U | U | U | U | U | U | 100 |
| K | S | U | U | S | U | S | 5 |
| Niasin | S | S | S | S | S | S | 75 |
| Asam pantotenat | S | U | U | S | S | U | 50 |
| B6 | S | S | S | S | U | U | 40 |
| Riboflavin | S | S | U | S | U | U | 75 |
| Tiamin | U | S | U | U | S | U | 80 |
| Tokoferol | S | S | S | U | U | U | 55 |

Keterangan: S (*Stable*), U (*Unstable*)

Sumber: Harris (1971)

6.7 Mineral

Mineral merupakan komponen anorganik selain C, H, O, dan N yang jumlahnya sangat kecil dalam bahan pangan. Mineral bisa diperoleh dari susu, telur, biji-bijian, sereal dan buah-buahan. Bentuk mineral pada bahan pangan dapat berbentuk sebagai ion bebas, ligan, dan ion kompleks yang

akan berpengaruh pada stabilitas mineral dalam bahan pangan. Mineral yang ada pada bahan pangan terkadang tidak dapat digunakan secara optimal karena dalam bentuk yang terikat dengan komponen bahan pangan lain dan menyebabkan terganggunya penyerapan mineral misalnya asam oksalat pada bayam dan asam fitat pada kacang kedelai. Jenis mineral seperti merkuri, cadmium, aluminium, dan timah hitam dapat bersifat toksik pada tubuh. Keberadaan mineral ini pada bahan pangan dikaitkan dengan adanya kontaminasi selama penanganan, pengolahan, maupun penyimpanan bahan pangan.

6.7.1 Jenis Mineral

Mineral terdiri atas dua kelompok utama yaitu mineral makro dan mikro. Mineral makro terdiri atas Kalsium (Ca), Fosfor (P), Magnesium (Mg), Sodium (Na), Klor (Cl), Potasium (K), dan Sulfur (S) (Tabel 3). Mineral mikro terdiri dari Iodin (I), Zinc (Zn), Zat besi (Fe), Tembaga (Cu), Flor (F), Selenium (Se), Molibdenum (Mo), Mangan (Mn), dan Kobalt (Co).

6.7.2 Mineral dalam Proses Pengolahan Pangan

Mineral memiliki tingkat kestabilan yang tinggi terhadap proses pengolahan seperti pemanasan, serta tahan terhadap cahaya, agen pengoksidasi serta pH ekstrem. Akan tetapi, penggunaan air pada proses pengolahan pangan seperti perendaman, pencucian dan perebusan dapat mengurangi ketersediaan mineral karena mineral akan larut ke dalam air. Selain itu, proses pengolahan seperti pengupasan, penyosohan, pemurnian, penggilingan atau ekstraksi juga dapat menurunkan ketersediaan mineral secara signifikan. Selain itu, beberapa mineral kemungkinan akan teroksidasi menjadi mineral bervalensi dengan adanya oksigen. Fortifikasi merupakan cara yang dapat dilakukan untuk menanggulangi defisiensi mineral. Bahan pangan dapat difortifikasi dengan mineral seperti Fe, Ca, Mg, Cu, Zn, Se dan I.

Syarat sebuah senyawa dapat digunakan untuk fortifikasi pangan adalah aman, murah, tidak memengaruhi sensorik yang tidak dapat diterima, ketersediaannya banyak dan tidak menimbulkan interaksi antar komponen fortifikan lainnya yang dapat mengganggu metabolisme. Pemilihan fortifikan

tergantung pada matriks pangan dan bioavailabilitasnya (FAO/WHO 2006). Mineral yang sering dijadikan sebagai bahan untuk fortifikasi pangan adalah zat besi, misalnya pada tepung terigu. Zat besi yang digunakan sebagai fortifikan berbentuk *ferrous sulfate*. Perlu diketahui bahwa dalam beberapa kasus, konsentrasi mineral yang tinggi dapat menghambat penyerapan mineral lain misalnya kasus Ca dan Fe. Kadar Ca yang tinggi dapat menghambat penyerapan Fe dari bahan pangan, sehingga perlu ditambahkan asam askorbat yang dapat mengatasi efek penghambatan Ca dalam penyerapan Fe (FAO/WHO 2006).

6.7.3 Sifat Fisikokimia Mineral

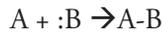
Mineral memiliki tingkat kelarutan yang berbeda yang dipengaruhi oleh struktur kimianya. Semakin bebas ion mineral maka akan semakin mudah larut dalam air. Elemen pada golongan IA dan VIIA merupakan golongan yang berbentuk ion bebas dalam air seperti misalnya Na^+ , K^+ , Cl^- dan F^- . Golongan tersebut memiliki afinitas yang rendah hampir pada semua ligan. Perubahan yang terjadi pada mineral selama pengolahan dan penyimpanan dapat dipahami menggunakan teori asam basa, karena stabilitasnya sangat dipengaruhi oleh pH lingkungan. Teori asam basa di antaranya adalah Bronsted-Lowry dan asam-basa Lewis.

Dalam teori Bronsted-Lowry, asam berfungsi sebagai donor proton, H^+ dan basa sebagai resipien (penerima) H^+ . Ketika suatu senyawa berperilaku sebagai asam dengan mendonorkan proton, maka harus ada basa yang menerima proton tersebut. Basa konjugat merupakan ion atau molekul yang dihasilkan ketika asam kehilangan molekulnya, sedangkan asam konjugat adalah ion yang dihasilkan ketika basa menerima proton. Reaksi ini bersifat reversibel.



Dalam teori asam-basa Lewis, asam merupakan senyawa yang dapat menerima pasangan elektron bebas, sedangkan basa merupakan senyawa yang dapat memberikan pasangan elektron bebas. Reaksi ini berbeda dengan reaksi redoks, karena pada reaksi ini terjadi ikatan yang terbentuk antara dua senyawa

akibat penggunaan sepasang elektron secara bersamaan agar stabil. Teori ini dapat menjelaskan mineral dari sisi kimia pangan karena menggambarkan ikatan antara mineral (logam kation) sebagai asam dengan komponen basa yaitu bahan pangan. Teori asam basa Lewis dapat dituliskan sebagai berikut:



Kekuatan ion (μ) ditentukan oleh konsentrasi molar larutan ion (m) dan muatan ion (Z), sebagai berikut:

$$\mu = \frac{1}{2} (m_1 Z_1^2 + m_2 Z_2^2 + m_3 Z_3^2 + \dots)$$

Pengkelatan merupakan suatu kompleks senyawa yang dihasilkan oleh ikatan antara ion logam dan ligan multidentat dan menghasilkan sebuah struktur cincin yang mengandung ion logam. Ligan pengkelat harus mempunyai dua gugus fungsional agar dapat memberikan sepasang elektron sehingga dapat mengikat dua senyawa. Faktor yang dapat memengaruhi stabilitas pengkelatan antara lain adalah jumlah cincin, ukuran cincin, kekuatan basa lewis, muatan ligan, dan resonansi cincin pengkelat. Contoh pengkelat antara lain adalah *ethylenediamine tetraacetate* (EDTA) yang dapat mengkelat logam bahan pangan.

6.8 Komponen *Flavor*

Flavor merupakan salah satu sifat sensoris pangan yang penting di samping penampilan (*appearance*) dan tekstur. Menurut persepsi biologis, *flavor* adalah sensasi yang dihasilkan oleh suatu bahan yang diletakkan dalam mulut, atau suatu atribut bahan yang sedang dirasakan (*perceived*). Atribut ini adalah gabungan karakteristik bahan yang menghasilkan sensasi *flavor*. Pada dasarnya *flavor* adalah sensasi yang dirasakan oleh indera perasa dan pembau, namun juga oleh reseptor rasa sakit, kesan tekstur dan suhu dalam rongga mulut. *Flavor* menunjukkan keseluruhan karakteristik dari bahan yang menghasilkan sensasi tersebut (deMan 1999). *Flavor* diterima (dirasakan) terutama oleh reseptor aroma dalam rongga hidung dan reseptor rasa dalam mulut. Namun demikian, penunjuk *flavor* seperti pedas, panas dan menyengat, juga diberikan terhadap sensasi yang diterima oleh reseptor rasa sakit, rabaan, dan suhu di rongga mulut, hidung, dan mata.

6.8.1 Sensasi dan Senyawa Pembentuk *Flavor*

Flavor timbul dari tiga macam sensasi, yaitu, rasa (*taste*), trigeminal, dan bau (odor, aroma). Adapun untuk rasa, di samping terdapat empat kelompok rasa dasar (asin, manis, asam dan pahit), sekarang ini dikenal sensasi umami (*savoury*) yang pertama kali dilaporkan oleh orang Jepang (Kikunae Ikeda).

Kelompok senyawa-senyawa yang menimbulkan sensasi rasa terlihat pada Tabel 6.2, di mana senyawa-senyawa tersebut memberikan rasa dasar. Adapun senyawa pembentuk umami adalah asam glutamat, asam aspartat dan kelompok nukleotida, yaitu inosine mono fosfat (IMP) dan guanosine mono fosfat (GMP). Monosodium glutamat (MSG) dan senyawa umami ini dikenal sebagai *taste enhancer*, *taste intensifier* atau bahan penyedap rasa.

Tabel 6.2 Kelompok senyawa non-volatil yang menimbulkan sensasi rasa

| Kelompok Senyawa | Karakteristik Sensori | Contoh |
|---------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Asam amino | Manis, asam, pahit | Sudah diketahui |
| Organik | Masam | Sitrat, malat, tartrat |
| Polifenolik | Sepat, pahit | Klorogenat, kafeat |
| Flavonoid | Sepat, pahit | Flavonoid, anthosianin |
| Fenolik | Rasa obat, rasa asap | Guaiakol |
| Pemanis | Manis, rasa mantab (<i>body</i>) | Sukrosa, glukosa, fruktosa |
| Pemanis intensitas tinggi | | Aspartam-K, sakarin, siklamat. |

Sensasi trigeminal meliputi sepat (*astringent*), pedas (*pungent*), dingin (*cool*), rasa berpasir (*sandy*). Sensasi rasa dan trigeminal terjadi dalam rongga mulut, substansi atau senyawa yang memberikan sensasi tersebut bersifat non-volatil, polar, dan dapat larut dalam air. Adapun sensasi aroma ditimbulkan oleh senyawa yang sifatnya volatil, kontak dengan reseptor di rongga hidung, dan molekul tersebut mencapai reseptor *olfactory* melalui lubang hidung atau lubang mulut, sehingga memberikan sensasi aroma.

Pada dasarnya indera perabaan yang memberikan rasa di mulut (*mouthfeel*) dapat dibagi tiga macam sensasi, yaitu tekanan (*pressure*) rasa bila gaya diberikan pada permukaan makanan, trigeminal-sensasi rasa sakit (*pain*), pedas, sepat dan lain-lain, serta *kinaesthesia* yaitu sensasi yang timbul karena umpan-balik dari otot pengunyah selama mengunyah.

Sensasi rasa manis ditimbulkan oleh gula dan senyawa lain, dan sebagai standar tingkat kemanisan adalah sukrosa. **Tabel 6.3** menunjukkan senyawa yang memberikan rasa manis dengan tingkat kemanisan yang berbeda-beda. Adapun standar rasa asin adalah garam dapur (NaCl), untuk rasa masam acuannya adalah asam sitrat, sedangkan rasa pahit adalah *quinine*.

Tabel 6.3 Kemanisan relatif senyawa yang memberikan sensasi rasa manis dengan standar sukrosa

| Senyawa Kimia | Tingkat Kemanisan | Senyawa Kimia | Tingkat Kemanisan |
|---------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| Sukrosa | 1 | Fruktosa | 1,1–1,5 |
| Laktosa | 0,27 | Siklambat | 30–80 |
| Maltosa | 0,5 | Glycyrrhizin | 50 |
| Sorbitol | 0,5 | Aspartil-fenilalanin | 100–200 |
| Galaktosa | 0,6 | Steviosida | 300 |
| Glukosa | 0,5-0,7 | Naringin dihidrokalkon | 300 |
| Mannitol | 0,7 | Sakarín | 500–700 |
| Gliserol | 0,8 | Neohesperidin dihidrokalkon | 1000–1500 |

Sumber : deMan (1999)

Sensasi umami telah umum diketahui merupakan sensasi yang mengintensifkan rasa enak, rasa kaldu, gurih, atau lezat dan sudah diakui sebagai rasa dasar kelima. Di samping sensasi umami tersebut, akhir-akhir ini dikenalkan sensasi baru yang disebut *kokumi*. *Kokumi* seperti halnya umami merupakan sensasi yang diaktifkan oleh asam amino atau peptida pendek. Kedua sensasi tersebut merupakan sensasi yang diduga berasal dari protein

atau asam amino yang terdapat pada bahan pangan. Kata untuk menyatakan sensasi *kokumi* adalah kemantapan rasa di mulut (*mouthfulness*), rasa enak yang lama, dan rasa yang menguatkan selera (*heartiness*).

Sensasi rasa *kokumi* kebanyakan berhubungan dengan adanya di- atau tripeptida yang mengandung glutamil seperti glutation yang ada dalam jaringan daging. Meskipun demikian, reseptor yang sensitif terhadap kalsium (Ca) diketahui berperan dalam sensasi *kokumi* tersebut. Konsep sensasi *kokumi* masih belum banyak diketahui dan publikasinya masih terbatas dibandingkan tentang umami dan penelitian tentang *kokumi* masih dalam perkembangan.

6.8.2 Senyawa Kimia yang Menimbulkan *Flavor*

Flavor dapat berasal dari senyawa yang secara alami ada dalam bahan pangan atau hasil pertanian, senyawa yang terbentuk selama pengolahan, atau penambahan bahan perisa (*flavoring*). Penambahan perisa pada pangan bertujuan untuk memberikan *flavor* khas pada produk, untuk memperkuat *flavor* yang sudah ada, atau untuk menutupi (*masking*) *flavor* yang tidak dikehendaki pada produk.

Flavor yang berbeda-beda adalah karena adanya interaksi senyawa kimia dengan reseptor rasa, trigeminal dan aroma. Rasa khas dari suatu makanan biasanya ditimbulkan oleh kelompok senyawa tertentu. Tetapi, bau (*odor*) biasanya ditimbulkan oleh kombinasi senyawa volatil yang mungkin masing-masing memberikan bau sendiri-sendiri. Perbedaan karakteristik aroma tertentu dapat diimbangi dengan proporsi yang bervariasi dari senyawa tersebut. Meskipun demikian, beberapa bahan mengandung sejumlah kecil (*trace*) senyawa volatil yang memiliki karakteristik khas dari bau tersebut. Senyawa ini disebut *character-impact compounds*. Perlu dicatat, bahwa senyawa kelompok tertentu dapat memberikan banyak *flavor* yang berbeda, khususnya jika konsentrasinya berbeda. Kelompok senyawa volatil yang memberikan sensasi aroma seperti terlihat pada **Tabel 6.4**.

Tabel 6.4 Kelompok senyawa volatil dan karakteristik sensorinya

| Kelompok Senyawa | Karakteristik sensori | Contoh senyawa |
|------------------|--------------------------|----------------------------|
| Aldehid | Aroma buah, green | Asetaldehid, heksanal |
| | Aroma teroksidasi, manis | Dekanal, vanilin |
| Alkohol | Pahit, bau obat | Linalool, menthol |
| | Aroma pinus, karamel | Terpena, melatol |
| Ester | Aroma buah | Etil asetat, etil butirrat |
| | sitrus | Geraniol asetat |
| Keton | Mentega, karamel | Diasetil, furanon |
| MRPs | Cokelat, bau terbakar | Pirazin, piridin, furan |
| | karamel, bau tanah | |
| Fenoliks | Bau obat, bau asap | Senyawa fenol, guaiakol |
| Terpenoid | Sitrus, pinus | Limonene, pinene, |
| | Sitrus | Valencene |

Senyawa volatil yang memberikan sensasi aroma yang bermacam-macam, volatilitasnya berbeda-beda, dan senyawa tersebut mudah mengalami perubahan kimia. Senyawa aldehid mudah berubah menjadi asam, senyawa amine membentuk kompleks dengan ion logam, dalam suasana asam *terpena* mengalami *rearrangement* dan isomerasi. Adanya sinar dapat memicu terjadinya fotooksidasi senyawa volatil sehingga aromanya berubah. Reaksi polimerisasi juga memungkinkan terjadi selama preparasi dan penyimpanan senyawa pembentuk aroma.

Senyawa volatil biasanya sangat kecil konsentrasinya, sehingga sulit dalam proses ekstraksi dan penentuan konsentrasinya. Kesulitan dalam analisis juga disebabkan oleh dapat terbentuknya senyawa bentukan baru (*artifact*) selama proses preparasi. Deteksi sensoris jauh lebih sensitif dari pada dengan alat analisis yang ada saat ini. Sebagai gambaran, *1-p-menthene-8-thiol* (aroma *grapefruit*) dapat dikenal pada 10^{-4} ppb (10^{-4} mg/ton air). Reseptor manusia berbeda-beda kepekaannya sehingga ada nilai ambang batas (*threshold*). Satu jenis senyawa kadang memiliki nilai ambang batas berbeda-beda, misalnya kelompok *pyrazine*. Konsentrasi berbeda kadang memberikan *flavor* berbeda. *Flavor* alami dari bahan tanaman dipengaruhi selain jenis tanaman, juga dipengaruhi oleh varietas dan faktor lingkungan waktu tumbuh meliputi suhu,

curah hujan, pengairan, dan unsur hara dalam tanah. Umumnya tanaman yang mengalami *stress* meningkat produksi metabolit sekundernya dan karena itu buah dan sayuran makin kuat *flavornya*.

6.8.3 *Flavor* Proses

Flavor yang timbul karena proses, baik yang menggunakan panas maupun proses fermentasi sudah banyak dipelajari dan diaplikasikan untuk industri. Berikut ini beberapa macam proses pengolahan yang dapat membentuk *flavor*.

Pemecahan Termal Gula – Karamelisasi

Jika gula dipanaskan sampai 100–130°C, air yang terikat akan lepas, tetapi tanpa perubahan struktur molekul gulanya. Pada suhu antara 150–180°C, molekul air hilang dari molekul gula, dan memberikan suatu anhidrida. Reaksi ini menghasilkan furfural dari pentosa atau 5-hidroksimetil furfural yang berasal dari gula heksosa. Dengan suhu yang tinggi dan lama, maka terbentuk senyawa *flavor* karamel, termasuk senyawa derivatif furan, karbonil, alkohol, serta hidrokarbon alifatik dan aromatik.

Karamelisasi merupakan dasar proses pembuatan permen atau produk konfeksionari. Dalam industri *candy*, gula dipanaskan untuk membentuk *flavor*. Senyawa yang timbul pada waktu perebusan nira maple (*maple sap*) untuk menghasilkan *maple syrup* adalah maltol, furaneol, nor-furaneol, isomaltol, cyclotene, dan lakton-lakton yang memberikan *flavor* khas.

Reaksi Maillard

Reaksi Maillard termasuk proses pencokelatan non-enzimatis, cirinya adalah terbentuknya warna cokelat dan *flavor* khas pada produk. Reaksi Maillard merupakan rute reaksi paling penting untuk pembentukan senyawa *flavor* makanan yang dimasak. Louis Maillard - ahli kimia Perancis yang pertama kali menerangkan tentang reaksi ini, yaitu reaksi antara gula pereduksi dengan asam amino. Senyawa berwarna cokelat (melanoidin) akan terbentuk jika larutan glukosa dan glisin dipanaskan. Reaksi Maillard tidak memerlukan

suhu tinggi seperti pada reaksi karamelisasi dan pirolisis protein, bahkan dapat terjadi pada suhu kamar dalam jangka lama, tetapi lebih cepat jika suhu lebih tinggi. Reaksi Maillard sering terjadi misalnya pada proses pemasakan, evaporasi, pemanasan, dan pengeringan. Reaksi Maillard meningkat dengan makin kecil kadar air bahan. Proses pencokelatan yang sering terjadi pada permukaan bahan yang telah dikeringkan (misalnya susu bubuk) umumnya karena reaksi Maillard. Faktor yang memengaruhi reaksi Maillard meliputi jenis asam amino dan gula, pH, aktivitas air, suhu, dan keberadaan garam.

Proses Fermentasi/Enzimatis

Flavor khas keju jenis tertentu timbul karena fermentasi mikroba yang menghasilkan lipase yang memecah lemak susu menjadi asam lemak rantai pendek dan kombinasinya dengan senyawa lain memberikan aroma khas. Asetaldehid merupakan senyawa utama pembentuk *flavor* dari yoghurt melalui proses homofermentatif (Fennema 1996).

Senyawa umami *guanosine 5'-monophosphate* (GMP) jarang ditemukan dalam sayuran segar. Dengan pengolahan pangan menggunakan panas dapat terjadi aktivasi enzim yang akan menghasilkan senyawa umami tersebut. Misalnya selama pengolahan sayuran GMP dapat terbentuk karena asam ribonukleat (RNA) *endogenous* dihidrolisis oleh enzim alami dalam bahan yang teraktifkan pada suhu 65–75°C. Pengukusan dan blansir jamur *Shiitake*, *green beans*, dan paprika, menghasilkan konversi RNA menjadi GMP sehingga timbul rasa lebih lezat.

6.8.4 Klasifikasi *Flavor* Berdasarkan Sumbernya

Biasanya *flavor* diklasifikasi berdasarkan sumbernya, yaitu buah-buahan, sayuran, rempah-rempah, minuman, daging, lemak, hasil masak, pemanasan suhu tinggi dan *flavor* menyengat (**Tabel 6.5**).

Tabel 6.5 Klasifikasi *flavor* berdasarkan sumbernya

| Kelompok | Subdivisi | Contoh |
|---|--|--|
| <i>Flavor</i> buah-buahan | Sitrus (terpen) | <i>Grapefruit</i> , jeruk |
| | Non-sitrus (non-terpen) | Apel, <i>raspberry</i> , pisang |
| Sayuran | Segar, dikeringkan | <i>Letuce</i> , <i>celery</i> |
| | | <i>Tomato leaf</i> , <i>leathe</i> , |
| Rempah-rempah | Aromatik, Lachrymatory Pedas | Kayu manis, <i>peppermint</i> |
| Minuman | Non-fermentasi | <i>Juice</i> (saribuah), susu |
| | Fermentasi | Bir, minuman anggur, teh |
| | Campuran (formula) | <i>Soft drink</i> , <i>cordials</i> |
| Daging | Mamalia, Ikan, Unggas | Daging sapi, domba, babi, |
| | | Salmon, menhaden |
| | | Ayam, kalkun. itik |
| Lemak | Nabati | Minyak zaitun, kedelai |
| | Hewani | Sapi, mentega, <i>lard</i> (babi) |
| Hasil masak | Kaldu | Kaldu sapi |
| | Sayuran | Kentang, <i>beans</i> |
| | Buahan | <i>Marmalade</i> , <i>jelly</i> |
| <i>Flavor</i> karena suhu tinggi (<i>Empyreumatic</i>) | Asap | <i>Ham</i> , <i>kipper</i> |
| | Panggang, goreng, | Daging olahan |
| | Sangrai, <i>toasted</i> , <i>baked</i> | Kopi, <i>snack foods</i> , roti, <i>breakfast cereals</i> |
| <i>Flavor</i> menyengat (<i>stentch</i>) | Fermentasi teroksidasi | <i>Blue cheese</i> |
| | | Ikan busuk |

Sumber: Fischer Scott (1997)

Flavor Buah-buahan

Rasa (*taste*) buah-buahan adalah campuran antara manis dan asam karena adanya gula dan asam organik (asam sitrat dan malat). Meski demikian, aroma yang membedakan antara buah satu dengan lainnya. Suatu buah tertentu

mungkin mempunyai lebih seratus macam senyawa volatil, tetapi totalnya mungkin beberapa ppm. Aroma buah sangat bervariasi. Sitrus (oranye, dsb) kaya terpenoid. Kelompok non-sitrus adalah ester-ester dan aldehida.

Flavor Sayuran

Spesies liar mempunyai *flavor* yang lebih kuat daripada yang dibudidayakan. Kebanyakan *flavor* sayuran dibebaskan dari bahan segarnya bila bahan itu dirajang atau dimasak, karena senyawa aroma diikat oleh *glycoside* atau glucosinolate (kobis, lobak) yang membuatnya non-volatil. Bila ikatan *glycoside* atau *glucosinolate* dipecah baik via proses enzimatis atau panas maka senyawa aroma dibebaskan. “*Green*” *flavor* sayuran (asparagus, peas, dan lettuce) disebabkan oleh senyawa *alkylalkoxypyrazine*, *earthy aroma* (kentang) disebabkan oleh senyawa *alkylalkoxypyrazine*, sedangkan *flavor* pahit pada sledri (*celery*) disebabkan oleh senyawa *phthalide*. Jika sayuran dikeringkan, maka senyawa aroma asli akan hilang bersama air. Dengan adanya proses pemanasan, banyak senyawa *flavor* mengalami perubahan seiring dengan meningkatnya suhu pemanasan dan reaksi oksidasi. Senyawa *flavor* yang baru dapat dikembangkan dari *precursor* non-volatil.

Flavor Rempah

Beberapa sayuran seperti bawang merah dan *garlic* dapat dimasukkan dalam kelompok rempah (*spices*). Bawang merah bersifat *lachrymatory*, karena senyawa *flavor* yang terbentuk (mula-mula dibebaskan oleh pemecahan enzimatis) menyebabkan keluar air mata. Senyawa ini berumur pendek dan segera bereaksi menjadi senyawa *flavor* yang lebih dikehendaki. Senyawa *lachrymatory* ini tidak terbentuk pada *garlic* yang memberikan *aromatic spices* (*dried fruits*), dan *aromatic herbs* (*dried leaves*).

Senyawa volatil memberikan aroma khas pada rempah, yaitu *eugenol* (cengkih), *cinnamaldehyde* (*cinnamon*) dan *menthol* (*mint*). *Eugenol* dan *cinnamaldehyde* juga menghasilkan sensasi sedikit pedas (*pungent*). *Hot spices* meliputi cabai, lada dan jahe. Semua mempunyai karakter aromatik, tetapi yang banyak adalah sensasi pedasnya. Bawang putih, pala, dan kayu manis mempunyai sensasi trigeminal di rongga hidung. Dalam pengolahan

pangan, rempah-rempah sering digunakan dalam bentuk minyak esensial atau oleoresin. *Essential oil* diperoleh dengan distilasi uap rempah kering yang digiling dan mengandung senyawa *flavor* volatil. Oleoresin diperoleh dengan ekstraksi menggunakan pelarut, mengandung *essential oil* maupun bahan resin non-volatil, dan lebih mendekati karakteristik rempah aslinya.

Flavor Minuman

Flavor minuman mencakup *flavor* dari minuman yang tidak difermentasi (susu dan jus buah), yang difermentasi (teh dan minimal beralkohol), minuman ringan (*soft drink*) dan kopi.

Flavor Daging

Daging dapat memberikan *cooked*, *dried*, dan *smoked flavor* yang dapat terbentuk dari reaksi Maillard. *Flavor* khas daging disebabkan oleh perbedaan asam amino, asam lemak dan gula yang terlibat dalam reaksi sehingga masing-masing jenis daging memiliki *flavor* yang khas.

Flavor Lemak

Daging sapi, kambing dan babi memiliki senyawa lipida berupa asam lemak jenuh. Ikan dan unggas memiliki asam lemak tidak jenuh yang mudah mengalami reaksi oksidasi dan membentuk bau tengik yang tidak diinginkan. Reaksi oksidasi terjadi lebih cepat jika ada logam prooksidan. Minyak yang lebih intensif dimurnikan (*refined*) lebih cepat tengik karena antioksidan alami telah rusak, kecuali ditambahkan antioksidan dari luar.

Flavor Makanan yang Dimasak

Selama proses pemanasan dan dengan keberadaan air (misalnya sop dan kaldu), maka banyak *flavor* yang berubah dan terbentuk *flavor* baru yang dapat timbul dari prekursor non-volatil (reaksi Mailard, degradasi karotenoid, dan oksidasi lipid).

Flavor dari Pemanasan Suhu Tinggi

Empyreumatic dapat berarti dalam atau dengan api, yang biasanya berasap dan lebih panas dari air mendidih. *Empyreumatic flavor* biasanya dibagi menjadi kategori, yaitu *smoked*, *broiled* atau *fried*, dan *roasted*, *toasted*, dan *baked*. Jika daging diasap, maka senyawa fenolik dari kayu menguap dan masuk ke dalam daging. *Broiled* dan *fried flavor* timbul pada suhu yang sangat tinggi dan panas ditransfer dengan radiasi (*broiled*) atau melalui pindah panas konveksi dari minyak penggoreng, misalnya pada daging dan makanan yang digoreng. Kelompok *roasted*, *toasted*, dan *baked flavor* menunjukkan *flavor* yang timbul dari karamelisasi gula dan deaminasi asam amino. Dalam kelompok *flavor* ini produk karamelisasi dan deaminasi asam amino tidak selalu saling bereaksi dengan seperti pada reaksi Maillard (yang biasanya terjadi pada pengembangan *meaty flavor*), contohnya *roasted coffee beans*, *snack foods*, dan produk baker.

Flavor Menyengat (Stench)

Selama proses fermentasi, aroma kuat dapat terbentuk, misalnya pada fermentasi keju atau pangan yang mengalami pembusukan. Reaksi oksidasi lemak tidak jenuh, misalnya minyak ikan dan minyak kedelai, dapat menyebabkan bau tengik (*rancid*) atau busuk (*putrid*).

6.9 Komponen Bioaktif

Senyawa bioaktif merupakan senyawa non-gizi yang terdapat dalam pangan dalam jumlah yang kecil. Senyawa bioaktif ini banyak dipelajari secara intensif dalam kaitan efeknya terhadap kesehatan atau memiliki fungsi dalam sistem pangan. Banyak senyawa bioaktif yang telah ditemukan yang sangat bervariasi dalam struktur dan fungsi kimianya. Di antara senyawa bioaktif yang banyak dipelajari adalah senyawa fenolik, dan flavonoid yang banyak terdapat dalam tanaman (seperti sereal, kacang-kacangan, kacang-kacangan, minyak zaitun, sayuran, buah-buahan, teh, dan anggur merah). Banyak senyawa fenolik memiliki sifat antioksidan, dan beberapa penelitian telah menunjukkan efek yang menguntungkan pada trombosis dan tumorigenesis.

Berbagai fitoestrogen terdapat dalam kedelai, tetapi juga dalam minyak biji rami, biji-bijian, buah-buahan, dan sayuran. Senyawa ini juga memiliki sifat antioksidan. Hydroxytyrosol merupakan salah satu dari banyak senyawa fenolat dalam zaitun dan minyak zaitun, yang merupakan antioksidan kuat. *Resveratrol* ditemukan dalam kacang-kacangan dan anggur merah, yang memiliki sifat antioksidan, antitrombotik, dan anti-inflamasi, dan menghambat karsinogenesis.

Likopen dan karotenoid merupakan antioksidan kuat dalam tomat dan buah-buahan lainnya. Senyawa organosulfur dalam bawang putih dan bawang merah, isotiosianat dalam sayuran silangan, dan monoterpen dalam buah jeruk, ceri, dan bumbu memiliki sifat anti kanker dalam model eksperimental, serta menunjukkan efek kardioprotektif.

6.10 Komponen Toksik dalam Pangan

Pangan dikonsumsi karena citarasanya dan karena kandungan gizinya, yaitu senyawa yang bermanfaat bagi tubuh baik sebagai sumber energi, bahan pembangun jaringan maupun senyawa yang berfungsi membantu proses metabolisme sehingga tubuh dalam kondisi sehat. Namun demikian, selain mengandung zat atau senyawa yang sangat penting tersebut kadang bahan pangan mengandung senyawa yang beracun atau yang berpotensi mengganggu kesehatan sehingga keberadaannya tidak dikehendaki. Kelompok senyawa yang berpotensi membahayakan kesehatan ini penting dipelajari dalam kaitannya dengan keamanan pangan.

Senyawa kimia sangat beragam strukturnya, mulai dari yang paling sederhana berupa garam anorganik sampai makromolekul yang memiliki berat molekul yang tinggi. Senyawa ini terdapat secara alami dalam bahan asal tanaman (nabati), hewan, diproduksi oleh mikroba atau berupa kontaminan. Senyawa tersebut berbeda-beda sifat dan potensi bahayanya bagi kesehatan, mulai yang menimbulkan keracunan akut sampai yang sifatnya kronis (jangka lama).

Dalam bidang kimia pangan, hal yang perlu dipelajari berkaitan dengan senyawa toksik ini terutama adalah sifat dasar senyawa tersebut, sumber dan rute masuknya ke bahan pangan, pengaruhnya dalam sistem tubuh (biologis) yang mempunyai konsekuensi terhadap segi keamanan pangan, serta prinsip pengendaliannya, yaitu bagaimana mengurangi atau menghilangkan potensi bahaya senyawa tersebut.

6.10.1 Senyawa Toksik Alami dalam Bahan Nabati

Bahan dari tanaman kadang-kadang mengandung senyawa kimia yang bersifat toksik jika dikonsumsi manusia atau hewan. Senyawa ini kadarnya berbeda-beda yang dipengaruhi oleh jenis tanaman, varietas, tempat dan lingkungan tumbuhnya. Orang pada jaman dahulu telah belajar dan berusaha untuk menghindari bahan yang menyebabkan keracunan itu baik dengan tidak mengonsumsi bahan pangan tersebut atau dengan cara mengolah secukupnya untuk mengurangi atau menghilangkan sifat toksik sebelum bahan makanan dikonsumsi melalui cara pengolahan tradisional. Banyak senyawa beracun atau merugikan kesehatan yang terdapat dalam bahan nabati. Beberapa kelompok senyawa toksik dalam bahan nabati ditunjukkan pada **Tabel 6.6**.

Tabel 6.6 Senyawa toksik dalam bahan nabati

| Toksin | Senyawa kimia | Sumber utama | Gejala utama keracunan |
|---------------------|-----------------------------|---|---|
| Penghambat protease | Protein (BM 8.000–24.000) | Kacang-kacangan (kedelai, koro, kacang hijau dll.), buncis, ubi jalar | Menghambat pertumbuhan dan penggunaan makanan, hipertropi pankreas |
| Hemaglutinin | Protein (BM 36.000–132.000) | Kacang-kacangan (biji jarak, kedelai, koro, kacang panjang) | Menghambat pertumbuhan dan penggunaan makanan, aglutinasi sel-sel darah merah <i>in vitro</i> |
| Saponin | Glikosida | Kedelai, bit, kacang tanah, asparagus, bayam | Hemolisis sel-sel darah merah <i>in vitro</i> |

Tabel 6.6 Senyawa toksik dalam bahan nabati (lanjutan)

| Toksin | Senyawa kimia | Sumber utama | Gejala utama keracunan |
|-----------------|--|--|---|
| Goitrogen | Tioglikosida | Kobis dan sejenisnya, rapeseed, lobak, mustard | Hipotiroidisme dan pembesaran kelenjar tiroid |
| Sianogen | Glukosida sianogenetik | Buncis dan kacang-kacangan, linseed, ubi kayu | Keracunan HCN |
| Pigmen gossipol | Gossipol | Biji kapas | Kerusakan liver, edema, pendarahan |
| Latirogen | Beta-aminopropionitril dan derivat-derivatnya. | <i>Chick pea</i> (Jenis buncis) | Osteolatrisme (kerusakan tulang) |
| | Beta-N-Oksalil-L-alfa-beta-diamino-asam propionate | <i>Chick pea</i> | Neurolatrisme (kerusakan sistem saraf pusat) |
| Sikasin | Metilazoksi-metanol | Biji-biji genus <i>Cycas</i> | Kanker liver dan organ lain |

Sumber : Fennema (1996)

Penghambat Protease

Ketiga kelompok senyawa ini, yaitu penghambat protease (*protease inhibitor*), hemaglutinin dan saponin sering terdapat bersama-sama dalam kacang-kacangan dan sereal. Kedelai mentah memiliki nilai gizi yang rendah yang disebabkan oleh senyawa tersebut. Kedelai yang telah dimasak mempunyai nilai gizi yang meningkat karena penghambat protease menjadi inaktif oleh proses pemanasan. Demikian juga apabila koro mentah diberikan pada tikus, maka dapat menyebabkan tikus tersebut kehilangan berat badan bahkan mati, yang disebabkan oleh kurangnya protein yang dapat dicerna.

Penghambat protease adalah protein yang mempunyai sifat menghambat enzim proteolitik yaitu dengan mengikat enzim tersebut. Apabila hewan percobaan diberikan penghambat protease bentuk murni, maka terjadi

hipertropi pankreas. Namun jika senyawa tersebut dipanaskan lebih dahulu maka hipertropi pankreas tidak terjadi yang dikaitkan bahwa penghambat protease menjadi inaktif karena perlakuan panas.

Penghambat protease yang banyak mendapat perhatian adalah penghambat tripsin (*trypsin inhibitor*) yang terdapat dalam kacang-kacangan termasuk kedelai. Banyak macam penghambat tripsin tetapi semua itu kemudian dapat dibagi menjadi dua golongan berdasarkan berat molekulnya, yaitu yang mempunyai berat molekul 20.000–25.000 yang disebut penghambat tripsin Kunitz dan yang mempunyai berat molekul 6.000–10.000 yang digolongkan sebagai penghambat tripsin Bowman-Birk.

Hemagglutinin

Hemagglutinin juga merupakan protein. Senyawa ini berpotensi menyebabkan aglutinasi sel-sel darah merah secara *in vitro*. Pengaruh ini, yang sangat spesifik untuk tiap protein, karena senyawa tersebut mengikat membran plasma eritrosit (sel darah merah). Hemagglutinin dimasukkan ke dalam kelompok lectin karena spesifitas pengikatannya tersebut.

Meskipun telah banyak diketahui adanya hemagglutinin ini, namun hanya sedikit yang telah diisolasi dalam bentuk murni. Beberapa protein murni kelompok ini bersifat mematikan (*lethal*) jika dikonsumsi atau diinjeksikan kepada hewan percobaan. Senyawa yang paling toksik adalah ricin, yaitu lectin dari biji jarak, yang mempunyai LD_{50} 5 μ /kg pada tikus. Adapun jenis lectin yang berasal dari kedelai dan biji koro jauh tidak toksik, yaitu sekitar seperseribunya. Toksisitas hemagglutinin ini dapat dihilangkan dengan pemanasan pada kondisi lembab (bukan pemanasan kering).

Saponin

Saponin adalah glikosida yang ada dalam berbagai macam tanaman. Ada tiga sifat khas senyawa ini, yaitu rasanya pahit, membentuk buih dalam larutan berair, dan dapat menyebabkan hemolisis sel-sel darah merah. Saponin sangat beracun pada ikan dan hewan-hewan air berdarah dingin lainnya, dan

pengaruhnya pada hewan tingkat tinggi bervariasi. Sifat saponin dipengaruhi oleh gugus sapogenin yang mengikat heksosa, pentosa atau asam uronat, yaitu steroid (C_{27}) atau triterpenoid (C_{30}).

Goitrogen

Goitrogen adalah tioglukosida yang merupakan bahan antitiroid, yang terdapat dalam tanaman famili Cruciferae, khususnya banyak terdapat dalam genus Brassica. Senyawa tioglukosida (disebut juga glukosinolat) juga yang memberikan rasa pedas (*pungent*) dari tanaman tersebut. Semua tioglukosida yang ada di alam berada bersama enzim yang mampu menghidrolisisnya menghasilkan glukosa dan bisulfat jika jaringan tanaman segar dihancurkan dalam keadaan basah dan tidak dipanaskan. Dalam proses ini terjadi pengaturan (*arrangement*) intra-molekuler pada aglikonnya, sehingga menghasilkan isotiosianat, nitril, dan tiosianat.

Sianogen

Sianida dalam jumlah yang kecil terdapat dalam tanaman dan berada terutama dalam bentuk sebagai *glukosida sianogenetik*, yaitu suatu glukosida yang jika terhidrolisis menghasilkan asam sianida. Ada tiga macam glukosida sianogenetik yang telah diidentifikasi dalam bahan pangan nabati, yaitu *amigdalın* (glukosida benzaldehid sianohidrin), *durin* (glukosida *p*-hidroksibenzaldehid sianohidrin), dan *linamarin* (glukosida aseton sianohidrin). Amigdalın terdapat dalam biji *almond* yang pahit dan biji-biji lain; durin terdapat dalam sorgum dan jenis rumput-rumputan lain, sedangkan *linamarin* terdapat dalam *linseed* dan ubi kayu dan umbi gadung. Ubi kayu yang berasa pahit mempunyai kandungan linamarin yang lebih tinggi dari pada yang tidak pahit. Sebanyak 245 mg HCN dapat dibebaskan dari 100 g ubi kayu, sedangkan rebung mempunyai kandungan yang lebih tinggi, yaitu dapat mencapai 800 mg/100 g bahan. Dosis letal HCN bagi manusia berkisar 0,5–3,5 mg/kg berat badan, dan kadang-kadang berakibat fatal bagi orang mengonsumsi bahan pangan yang mengandung HCN ini.

Gossipol

Gossipol dan beberapa zat warna alam (pigmen) yang sejenisnya terdapat dalam kelenjar pigmen biji kapas pada konsentrasi 0,4–1,7%. Senyawa ini merupakan senyawa yang sangat reaktif dan menyebabkan berbagai gejala toksik pada hewan percobaan dan peliharaan. *Gossipol* juga menyebabkan penurunan nilai gizi tepung biji kapas yang merupakan sumber protein.

Toksikan Lain

Alergen biasanya merupakan komponen normal (tidak berbahaya) dalam bahan pangan namun dapat menyebabkan alergi bagi individu yang sensitif. Di antara komponen alergen adalah sikasin, yaitu glukosida *metilazoksimetanol* yang merupakan komponen yang terdapat pada sejumlah tanaman yang menyediakan sumber zat pati. Meskipun senyawa ini sangat berpotensi untuk bersifat karsinogenik pada hewan percobaan, tetapi metode pengolahan tradisional telah secara efektif dapat menghilangkan senyawa beracun ini.

Favisme adalah sindrom klinis pada manusia yang meliputi anemia hemolitik akut dan gejala yang sejenis akibat mengonsumsi kacang fava (*fava bean*, *Vicia faba*) atau menghirup benang sari (*pollen*) tanaman ini. Individu yang sensitif terhadap senyawa dalam tanaman tersebut dicurigai kekurangan (defisiensi) enzim *glukosa-6-fosfat dehidrogenase* dalam sel-sel darah merahnya, sehingga dapat mengakibatkan kerusakan hemolitik akut bila mengonsumsinya.

Senyawa lain dalam tanaman yang bersifat merugikan kesehatan adalah asam fitat, yang merupakan senyawa antigizi. Asam fitat dilaporkan dapat mengurangi penyerapan mineral dalam sistem pencernaan, sehingga digolongkan senyawa antimineral. Asam fitat (*myoinositol-1,2,3,4,5,6,-hexakis dihydrogen phosphate*) terdapat dalam bahan pangan dengan konsentrasi yang bervariasi (0,1–6,0%). Asam fitat terdapat sebagai kristal globoid di dalam “*protein body*” pada kotiledon dari kacang-kacangan dan biji berminyak atau pada dedak dari biji sereal. Asam fitat dengan struktur muatan negatif tinggi, adalah senyawa sangat reaktif dan khususnya menarik ion bermuatan positif seng dan kalsium. Asam fitat juga bereaksi dengan kelompok bermuatan

dari protein, baik secara langsung maupun tidak langsung, melalui gugus bermuatan negatif dari protein dengan media ion logam bermuatan positif seperti kalsium. Interaksi dari asam fitat dengan molekul pati dapat secara langsung melalui ikatan hidrogen pada gugus fosfat atau secara tidak langsung melalui protein. Pengikatan ini dapat mengurangi kelarutan dan daya cerna dari protein dan komponen pati dari makanan. Meskipun demikian, data pustaka yang terkait dengan asam fitat masih banyak yang saling kontradiksi.

Ada senyawa toksik yang berasal dari tanaman yang digolongkan merupakan bahan pangan khas, misalnya mimosin dalam petai cina (*Leucena glauca*) dan asam jengkolat (*Djengkolic acid*) dalam biji jengkol (*Phitecolobium lobatum*). Mimosin dianggap merupakan senyawa toksik, karena dapat menyebabkan rontoknya rambut pada hewan dan manusia. Asam jengkolat merupakan asam amino yang strukturnya mirip sistein, dan senyawa ini sukar larut dalam air. Kandungannya dalam biji jengkol sekitar 1–2%. Asam jengkolat yang terdapat pada biji jengkol dapat menyebabkan gangguan kesehatan, karena dapat membentuk kristal jengkolat yang dapat menyumbat saluran air seni. Tingkat ketahanan tiap individu terhadap keracunan asam jengkolat ini berbeda-beda, namun keracunan jengkolat ini jarang menyebabkan kematian.

6.10.2 Toksin Alami dalam Pangan Hewani

Jenis hewan, yaitu yang jaringannya toksik atau merugikan kesehatan jika dimakan, umumnya merupakan hewan laut. Pengetahuan mengenai hal ini sangat penting karena hewan laut merupakan sumber protein yang sangat diperlukan, namun saat ini pengetahuan tersebut masih relatif sedikit.

Lebih dari 1000 spesies organisme laut diketahui bersifat toksik atau berbisa, dan banyak di antaranya merupakan organisme yang dapat dimakan atau dapat masuk ke rantai makanan. Jenis racunnya sangat beragam, baik kimiawi maupun toksikologinya.

Ada dua tipe keracunan yang disebabkan oleh hewan laut, yaitu keracunan ikan (yang disebabkan mengonsumsi ikan yang mengandung jaringan yang beracun) yang disebut *ichthyotoxism*, dan keracunan kerang-kerangan (yang disebabkan mengonsumsi jenis kerang-kerangan yang mengandung toksin yang berasal dari plankton) yang disebut *paralytic shellfish poisoning*.

Ichthyotoxism

Sekitar 500 spesies ikan laut diketahui bersifat racun jika dimakan, dan banyak di antaranya merupakan jenis yang bisa dimakan (*edible*). Sindrom keracunannya bervariasi sifatnya dan biasanya dikelompokkan menurut jenis ikan yang menyebabkan keracunan, yaitu *ciguatera*, *tetraodon*, *scombroid*, *clupeoid*, *cyclostome*, atau *elasmobranch*.

Keracunan *ciguatera* adalah keracunan ikan yang paling umum. Hal ini dapat terjadi setelah seseorang mengonsumsi jenis ikan *snapper* dan *sea basses*. Bentuk keracunan ini berkaitan dengan rantai makanan ikan. Senyawa toksinnya diperkirakan mula-mula berasal dari alga biru-hijau, yang dimakan ikan herbivora kemudian ikan jenis herbivora itu dimakan oleh ikan karnivora. Toksin *ciguatera* telah diisolasi dalam bentuk murni dan mempunyai rumus molekul $C_{35}H_{65}NO_8$. Senyawa ini mempunyai LD_{50} 80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan pada tikus, tetapi mekanisme kerja racunnya belum diketahui secara pasti. Kematian individu karena keracunan senyawa toksin ini diperkirakan karena terjadi kolaps kardiovaskuler.

Keracunan *clupeoid*, kadang-kadang terjadi setelah mengonsumsi ikan *herring*, *anchovy*, *tarpon*, dan ikan tidak berduri khususnya terjadi di wilayah Karibia. Keadaan keracunannya mirip dengan keracunan *ciguatera*, tetapi sumber dan karakter toksinnya belum diketahui. Kadang-kadang keracunan toksin *clupeoid* ini berakibat fatal.

Keracunan tetrodon (*tetrodon poisoning* atau disebut juga *puffer fish poisoning*) banyak terjadi di Jepang, terutama saat disajikan sebagai hidangan pada jamuan-jamuan tertentu dan kadang-kadang menyebabkan keracunan yang fatal.

Paralytic shellfish poisoning

Sindrom ini disebabkan mengonsumsi remis atau kerang yang telah menelan *dinoflagelata* yang toksik dan secara efektif mengakumulasi senyawa toksik tersebut dalam jaringannya. Kerang tersebut menjadi toksik apabila kondisinya sangat cocok untuk pertumbuhan *dinoflagelata*, sehingga jumlahnya sangat banyak yang melebihi batas normal. Di sepanjang pantai di Amerika, organisme yang sering mengontaminasi ini umumnya spesies *Gonyaulax*, meskipun jenis dan spesies lain juga bersifat toksik.

Agensia toksik dari organisme tersebut telah diisolasi dan dimurnikan dari kultur *dinoflagelata* dan dari kerang yang bersifat toksik. Senyawa tersebut mempunyai rumus molekul $C_{10}H_{17}N_7O_4 \cdot 2HCl$ tetapi strukturnya belum diketahui secara pasti. Senyawa ini stabil terhadap panas dan tidak dapat dimusnahkan dengan pemasakan.

Toksin yang telah dimurnikan mempunyai LD_{50} sebesar 9 mg/kg berat badan pada mencit dan diperkirakan dosis letalnya pada manusia berkisar 1–4 mg. Toksin ini menekan pernapasan dan pusat pengendali kardiovaskular di otak, dan kematian yang terjadi biasanya karena kegagalan pernapasan. Tingkat kefatalan individu yang dipengaruhi adalah sebesar 1–10% pada kebanyakan kasus yang terjadi.

6.10.3 Toksin dari Metabolit Mikroba

Toksin dalam bahan pangan dapat dihasilkan dari metabolisme mikroorganisme, seperti dari kapang (mikotoksin, okratoksin), dan bakteri (botulin dan enterotoksin).

Mikotoksin

Spora kapang (*mold*) dapat ditemui di mana-mana dan mudah tumbuh pada bahan pangan dan pakan, terutama jika bahan tersebut lembab. Bahan pangan atau pakan yang ditumbuhi kapang mudah dikenal karena akan segera rusak atau busuk dan menghasilkan bau tidak sedap. Beberapa macam kapang dapat memproduksi toksin selama pertumbuhannya, dan hal ini

sangat berbahaya jika ditemui dalam bahan pangan atau pakan. Senyawa yang bersifat racun yang diproduksi oleh kapang atau jamur umumnya disebut mikotoksin (*mycotoxin*).

Tabel 6.7 menunjukkan jenis mikotoksin dan sumber jamur yang memproduksinya, serta pengaruh farmakologinya. Mikotoksin merupakan bahaya kesehatan masyarakat yang sangat beragam jenis dan tingkat kaparahannya/bahayanya. Aflatoksin diproduksi oleh beberapa strain *Aspergillus flavus* atau *A. parasiticus* yang sporanya tersebar di mana-mana khususnya di tanah. Meskipun jamur (*fungi*) yang memproduksi toksin umumnya hanya memproduksi dua atau tiga aflatoksin pada kondisi tertentu, namun secara total telah diidentifikasi 14 macam toksin yang secara kimia berhubungan atau turunannya. Salah satunya adalah aflatoksin B1 yang paling sering ditemukan dalam bahan pangan (misalnya jagung) dan juga paling potensial sebagai senyawa beracun dalam kelompok ini.

Tabel 6.7 Mikotoksin dan fungi yang memproduksi toksin

| Toksin atau Sindrome | Fungi | Bahan pangan utama | Pengaruh Farmakologi Utama Setelah Menelan |
|-------------------------------------|--|---|---|
| Aflatoksin | <i>Aspergillus flavus</i> , <i>A. parasiticus</i> | Toksin <i>Aspergillus</i> Kacang tanah, kopra, biji-bijian | Beracun pada liver: karsinogenik pada hati hewan dan kemungkinan pada hati manusia |
| Sterigmatosistin | <i>A. nidulans</i> , <i>A. versicolor</i> | Biji-bijian serealia | Beracun dan karsinogenik pada hati tikus |
| Okratoksin (<i>Ochratoxin</i>) | <i>A. ochraceous</i> | Serealia, kopi muda | Beracun pada ginjal tikus |
| Luteoskirin | <i>P. islandicum</i> | Toksin <i>Penicillium</i> Padi | Beracun dan kemungkinan karsinogenik pada hati tikus |
| Patulin | <i>P. articae</i> ; <i>P.</i> <i>claviformi</i> | Produk apel | Edema; beracun pada ginjal tikus |
| Zearalenon | <i>Giberella zeae</i> | Toksin <i>Fusarium</i> Jagung | Hiperestrogenisme pada babi dan hewan percobaan |

Tabel 6.7 Mikotoksin dan fungi yang memproduksi toksin (lanjutan)

| Toksin atau Sindrome | Fungi | Bahan pangan utama | Pengaruh Farmakologi Utama Setelah Menelan |
|---------------------------------------|---|------------------------------------|---|
| <i>Alimentary toxic aleukia (ATA)</i> | <i>F. poae</i> , <i>F. sporotrichioides</i> | Millet dan biji-bijian sereal lain | <i>Panleukocytopenia</i> karena kerusakan sumsum tulang; mortalitas mencapai 60% |
| 12,13- <i>Epoxytricothecanes</i> | <i>Fusarium</i> spp., <i>Trichoderma</i> spp., <i>Gliocladium</i> spp., <i>Tricothecium</i> spp. | Jagung, sereal lain | Kolaps kardiovaskuler, meningkatkan waktu penjendalan (<i>clotting</i>), leukopenia |

Kapang dapat memproduksi metabolit beracun tersebut pada hampir setiap bahan pangan yang mendukung pertumbuhannya. Oleh karena itu, setiap bahan pangan harus dianggap rentan atau pantas dicurigai terhadap kontaminasi aflatoksin apabila bahan itu berjamur. Frekuensi dan konsentrasi aflatoksin bervariasi di antara makanan di tiap daerah.

Aflatoksin B1 merupakan senyawa paling tinggi potensinya bersifat karsinogenik, karena mampu menginduksi terjadinya sel kanker, terutama hati. Berbagai hewan percobaan telah digunakan untuk menyelidiki sifat karsinogenetik aflatoksin ini. Pada tikus kanker hati terjadi jika hewan diberikan diet yang mengandung aflatoksin B1 lebih dari 15 ppb (*part per billion*, bagian per miliar).

Botulin

Bakteri tertentu yang tumbuh pada bahan pangan dapat memproduksi toksin. Bakteri yang paling terkenal karena toksinnya sangat berbahaya adalah *Clostridium botulinum*, yang memproduksi toksin penyebab keracunan dengan tingkat kefatalan tinggi. Di samping itu, *Staphylococcus aureus* yang memproduksi enterotoksin dalam bahan pangan juga sering menyebabkan terjadinya kasus keracunan pangan. Dalam ilmu toksikologi, keracunan pangan yang ditimbulkan oleh adanya toksin yang diproduksi oleh bakteri yang tumbuh dalam bahan pangan dikategorikan sebagai intoksikasi.

Botulisme adalah gejala sakit karena menelan pangan yang terkontaminasi oleh toksin botulin yang dihasilkan oleh *C. botulinum*. Bakteri ini merupakan jenis bakteri berbentuk basil pembentuk spora dan bersifat anaerobik. Toksin yang diproduksi bakteri disebut *neurotoksin botulinum*, yaitu suatu toksin yang bersifat menyerang sistem saraf.

Toksin yang diproduksi oleh *C. botulinum* ini adalah protein. Sampai saat ini telah dikenal ada delapan macam toksin yang berbeda menurut sifat antigennya, yaitu toksin A, B, C1, C2, D, E, F dan G. Toksin ini terutama bekerja pada sistem syaraf perifer, yang menghambat pembebasan *neurotransmitter acetylcholine*. Kematian individu yang keracunan toksin botulin terjadi disebabkan oleh terjadinya gagal pernafasan.

Enterotoksin

Staphylococcus aureus merupakan bakteri yang tersebar di mana-mana dan umum terdapat pada kulit hewan dan manusia. Bakteri ini dapat memproduksi toksin dalam bahan pangan. Toksinnya dikenal dengan nama enterotoksin. Gejala keracunan makanan karena toksin dari *Staphylococcus* ini muncul 2–3 hari setelah makan, yang ditunjukkan oleh salivasi (keluarnya air liur), muntah, keram bagian perut, dan diare. Kebanyakan pasien akan sembuh setelah 24–28 jam, dan kematian sangat jarang terjadi.

Sampai saat ini diketahui empat macam enterotoksin yang berbeda berdasarkan sifat imunologinya, yaitu enterotoksin tipe A, B, C dan D. Penelitian secara fisikokimia menunjukkan bahwa enterotoksin tipe A, B dan C merupakan protein yang mirip komposisi asam aminonya, dengan berat molekul berkisar 30.000–35.000.

6.10.4 Senyawa Toksin dari Proses Pengolahan Pangan

Minyak makan (*edible oil*) dapat mengalami perubahan selama pengolahan, terutama jika minyak/lemak dipanaskan dalam jangka waktu lama yang disebabkan oleh terjadinya reaksi oksidasi dan polimerisasi. Monomer atau dimer asam lemak dapat terakumulasi selama penggorengan

secara *deep-fat frying* dalam waktu lama. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tikus percobaan yang diberikan minyak tersebut mengalami penghambatan pertumbuhan, dan menderita pembesaran hati.

Pengasapan pangan dengan tujuan pengawetan dan pemberian citarasa telah dipraktekkan sejak lama. Namun demikian, sedikit informasi tentang aspek toksikologinya. Produk pangan yang terkena langsung asap kayu terkontaminasi oleh *polisiklik aromatik hidrokarbon* (PAH), yang diketahui bersifat karsinogenik pada hewan. Insiden kasus kanker usus yang terjadi di masyarakat Iceland diduga berkaitan dengan kebiasaan konsumsi daging dan produknya yang diasap dengan intensitas tinggi. Kondensat asap kayu mengandung banyak macam senyawa (fenol, asam, karbonil, dan alkohol), beberapa di antaranya telah diketahui bersifat toksik.

6.10.5 Kontaminan Kimia

Kontaminan adalah bahan atau zat yang secara tidak sengaja/tidak dikehendaki terikut dalam pangan, ada yang berpotensi bahaya dan ada pula yang tidak berbahaya. Yang tidak berbahaya dapat tetap merugikan karena menjadi pengganggu dalam pengolahan atau dapat mengalami interaksi kimia selama pengolahan. Sumber kontaminan dapat bermacam-macam, termasuk aktivitas manusia. Dari segi zat/bahannya, kontaminan dapat berupa bahan alam atau bahan sintetik.

Kontaminasi dapat terjadi pada setiap mata rantai makanan, dari bahan dasar sampai produk yang siap dikonsumsi. Bahan dasar berupa hasil tanaman dapat mengalami kontaminasi dari pencemar lingkungan (*pollutant*), seperti logam berat, residu pestisida, bahan kimia industri, dan bahan bakar fosil. Sumber kontaminan bahan hewani (khususnya ikan dan susu), yang pada umumnya sama dengan bahan nabati. Kontaminasi dalam produk hewan dapat disebabkan oleh residu obat peternakan dan obat pemacu pertumbuhan.

Kontaminan pangan dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu logam (anorganik atau turunan organik) dan bahan kimia organik. Masyarakat secara kronis terekspos oleh kontaminan tersebut dalam jumlah rendah. Kontaminan

ini tidak bersifat akut. Namun, dalam waktu lama dapat terjadi akumulasi, seperti merkuri (Hg), kadmium (Cd), dan timbal (Pb), serta hidrokarbon aromatik polihalogen yang dapat ditemui dalam jaringan dan organ.

Logam berat

Logam berat merupakan senyawa yang mendapat sorotan karena terdistribusi sangat luas sebagai kontaminan lingkungan dan kontaminan pangan. Senyawa ini berasal dari atau sebagai akibat polusi industri dan masuk dalam rantai pangan melalui berbagai jalur. Logam berat yang merupakan kontaminan utama pada pangan adalah Hg, Cd, dan Pb.

Implikasi toksikologi merkuri sangat tergantung pada bentuk kimiawinya. Logam Hg organik, khususnya metil merkuri, lebih berbahaya daripada Hg anorganik. Target utama keracunan kedua macam merkuri ini adalah sistem syaraf pusat, tetapi terkena Hg organik jauh lebih berbahaya karena kerusakannya bersifat *irreversible*. Dengan mempertimbangkan sumber dietari total Hg, maka telah ditetapkan bahwa asupan yang dapat ditoleransi mingguan (*tolerable weekly intake*) adalah sebanyak 300 µg total merkuri per orang, di mana tidak lebih 200 µg berupa metil Hg. Secara praktis semua metil merkuri dalam diet ada karena kontaminasi ikan; jenis makanan lain umumnya mengandung kurang dari 100 pbb (bagian per miliar) Hg total (organik dan anorganik).

Logam Cd terdistribusi luas di lingkungan dan mudah diserap jika termakan. Sejumlah kecil kadmium yang tertelan disimpan dalam ginjal dalam bentuk kompleks protein-logam. Apabila terpapar dalam jumlah yang berlebihan dan dalam waktu cukup lama, maka dapat mengakibatkan kerusakan pembuluh ginjal pada hewan dan manusia. Pengaruh lain jangka lama adalah menyebabkan anemia dan disfungsi hati.

Kontaminasi pangan dengan Pb nampaknya tidak mungkin dapat dihindari, karena logam Pb berasal dari sumber alami dan aktivitas manusia. Sebagian besar timbal organik di lingkungan disebabkan oleh bahan *anti-knock* bensin, yaitu Tetraethyllead (TEL). Sejak dikenalkan bensin (*gasoline*) bebas timbal, maka polusi Pb di udara dan pangan cenderung

menurun. Kontaminasi pangan nabati dengan Pb cukup tinggi, sedangkan dalam pangan hewani umumnya jarang ditemui. Sebagai contoh, susu yang berasal dari sapi yang makan rumput dengan kadar Pb 100 kali kadar normal hanya mengandung empat kali Pb daripada dari sapi yang makan rumput tidak terkontaminasi Pb. Umumnya peningkatan kadar Pb dalam makanan disebabkan terutama oleh kontaminasi tidak langsung dari bahan pengemas dan penanganan.

PCB's (Polychlorinated Biphenyls)

Polychlorinated Biphenyls (PCBs) menarik perhatian para ahli setelah senyawa itu ditemukan dalam ikan. Senyawa ini terdapat secara luas sebagai kontaminan lingkungan. Tingkat yang sering ditemui adalah berkisar 1–40 ppm, dengan rata-rata kurang dari 2 ppm.

6.11 Reaksi Kimia Selama Pengolahan dan Penyimpanan, dan Cara Pengendaliannya

Seperti dijelaskan di atas, pangan adalah bahan yang berasal bahan biologis yang mengandung berbagai macam zat kimia yang kompleks. Masing-masing golongan senyawa kimia (protein, karbohidrat, lipida dan lain-lainnya) telah diuraikan di depan. Tujuan mempelajari kimia pangan adalah untuk mengetahui dan mengendalikan fenomena tertentu yang berkaitan dengan perubahan kimia masing-masing komponen dari suatu produk pangan. Uraian untuk keseluruhan fenomena dan reaksi kimia yang terjadi selama pengolahan dan penyimpanan tentu tidak memungkinkan dilakukan secara lengkap karena banyak dan kompleksnya reaksi kimia yang terjadi. Sebagai contoh, hampir tidak mungkin menuliskan semua reaksi kimia yang terjadi selama pemanasan kacang kedelai. Apalagi untuk mengidentifikasi pembentukan senyawa kimia selama pengolahan yang melibatkan bahan pangan yang lebih kompleks.

Perubahan kimia komponen pangan selama pengolahan dan penyimpanan tidak dapat dihindari, namun perubahan yang dapat menyebabkan penurunan kualitas dan keamanan pangan perlu diminimalkan. Untuk menentukan kondisi pengolahan atau penyimpanan pangan yang sesuai dan efisien, maka umumnya dilakukan proses optimasi dengan memperhatikan faktor-faktor internal dan eksternal yang dapat memicu suatu reaksi terjadi. Reaksi kimia yang terjadi selama pengolahan dan penyimpanan dapat menyebabkan perubahan yang diinginkan dan tidak diinginkan, yang secara singkat dirangkum pada **Tabel 6.8**.

Tabel 6.8 Perubahan yang terjadi selama penanganan, pengolahan atau penyimpanan pangan

| Atribut | Perubahan |
|------------|---|
| Tekstur | Kekerasan, pelunakan, pembentukan gel, pengentalan, daya larut, kapasitas menahan air (<i>water holding capacity</i>), kelengketan, dsb. |
| Flavor | Timbulnya <i>flavor</i> yang tidak diinginkan (misalnya: ketengikan hidrolitik atau oksidatif), dan yang diinginkan (<i>flavor</i> masak dan karamel). |
| Warna | Pembentukan warna yang lebih gelap, baik yang tidak diinginkan (misal: pembentukan warna kecokelatan dari susu yang dipanaskan pada suhu tinggi), atau yang diinginkan (misal: warna kecokelatan dari roti yang dipanggang). |
| Nilai gizi | Kerusakan komponen kimia (misal: vitamin C oleh pemanasan yang berlebihan, atau terpapar cahaya, dan oksigen selama penyimpanan); Peningkatan daya cerna (misal: daya protein kacang-kacangan meningkat karena inaktivasi trypsin inhibitor oleh pemanasan; timbulnya senyawa yang memberi manfaat bagi kesehatan (misal: pembentukan komponen total fenol dan γ -oryzanol dari bekatul yang difementasi oleh kapang <i>Rhizopus oryzae</i>). |
| Keamanan | Timbulnya senyawa toksik (misal: pembentukan polisiklik aromatik hidrokarbon selama pengasapan) atau penghilangan senyawa toksik oleh proses pengolahan (misal: bakteri <i>C. botulinum</i> akan mati oleh proses sterilisasi yang mencukupi). |

Sumber: Fennema (1996)

Banyak reaksi kimia dan biokimia dapat mengubah kualitas dan keamanan pangan, seperti reaksi pencokelatan, oksidasi, hidrolisis, dan sebagainya (**Tabel 6.9**). Perubahan mutu pangan dapat terjadi oleh beberapa kombinasi reaksi kimia. Masing-masing kelompok reaksi dapat melibatkan reaktan atau substrat yang berbeda yang tergantung pada komponen penyusunan pangan dan kondisi penanganan, pengolahan dan penyimpanannya. Reaksi tersebut dianggap sebagai kelompok reaksi karena sifat dasar dari substrat atau

reaktan yang umumnya mirip untuk semua jenis pangan. Misalnya, reaksi pencokelatan non-enzimatik (*non-enzymatic browning*) melibatkan reaksi antara senyawa karbonil, yang dapat timbul dari gula pereduksi yang sudah ada dalam bahan pangan atau dari reaksi lain seperti oksidasi asam askorbat, hidrolisis pati, atau oksidasi lipid. Reaksi oksidasi dapat terjadi pada lipid, baik pada jenis triasil gliserol maupun fosfolipid dalam bahan pangan, protein, vitamin, atau pigmen. **Tabel 6.10** menyajikan beberapa contoh proses kimia/fisik, fenomena yang terjadi, dan perubahan yang teramati yang melibatkan pangan, baik penanganan, pengolahan dan penyimpanan dirangkum pada **Tabel 6.10**.

Tabel 6.9 Reaksi kimia dan biokimia yang dapat merubah kualitas dan keamanan pangan

| Jenis reaksi | Contoh |
|--|---|
| Pencokelatan non-enzimatik (Maillard) | Produk panggang |
| Pencokelatan enzimatik | Buah yang diiris |
| Oksidasi | Lipid (ketengikan, <i>oxidative rancidity</i>), kerusakan vitamin, kerusakan pigmen, protein (kehilangan nilai gizi) |
| Hidrolisis | Lipid, protein, karbohidrat, pigmen |
| Interaksi logam | Kompleksasi (<i>anthosianin</i>), kehilangan magnesium dari klorofil, katalisis oksidasi |
| Isomerisasi lipid | Dari konfigurasi <i>cis</i> menjadi <i>trans</i> Dari bentuk <i>non-conjugated</i> menjadi <i>conjugated</i> |
| Lipid siklikasi | <i>Monocyclic fatty acid</i> |
| Polimerisasi lipid | Pembuihan pada penggorengan |
| Denaturasi protein | Koagulasi putih telur, inaktivasi enzim |
| Pembentukan ikatan silang protein (<i>Protein cross-linking</i>) | Kehilangan nilai gizi pada perlakuan alkali |
| Sintesis polisakarida | Pasca panen sayuran |
| Perubahan glikolitik | Daging pasca sembelih hewan, pasca panen jaringan tanaman. |

Sumber : Fennema (1996)

Tabel 6.10 Produk kimia/fisik yang terjadi, fenomena yang terjadi dan perubahan yang teramati pada bahan/produk pangan selama penanganan, pengolahan, atau penyimpanan

| Proses Kimia/Fisik | Fenomena yang Terjadi | Perubahan yang Teramati |
|---|---|--|
| Hidrolisis lipid | Asam lemak bereaksi dengan protein | Tekstur, <i>flavor</i> , nilai gizi |
| Hidrolisis polisakarida | Gula bereaksi dengan protein | Tekstur, <i>flavor</i> , warna, nilai gizi |
| Oksidasi lipid | Produk oksidasi bereaksi dengan konstituen lain. | Tekstur, <i>flavor</i> , warna, nilai gizi, mungkin timbul senyawa toksik |
| Memarnya buah | Kerusakan sel, terlepas enzim, akses oksigen | Tekstur, <i>flavor</i> , warna, nilai gizi, |
| Pemanasan sayuran hijau | Dinding dan membrane sel hilang integritasnya, dibebaskan asam, inaktivasi enzim, | Tekstur, <i>flavor</i> , warna, nilai gizi |
| Pemanasan otot daging | Protein mengalami denaturasi dan agregasi, enzim menjadi inaktif. | Tekstur, <i>flavor</i> , warna, nilai gizi |
| Konversi dari <i>cis</i> menjadi <i>trans</i> dalam lipid | Meningkatkan laju polimerisasi selama penggorengan (<i>deep frying</i>) | Pembuihan berlebihan selama <i>deep frying</i> ; terjadi kehilangan bioavailabilitas lipid |

6.12 Prinsip Analisis Kimia Komponen Pangan

Analisis pangan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari ilmu pangan, karena merupakan subbidang ilmu pangan. Analisis pangan berkaitan erat dengan teknik analisis untuk mendeteksi atau menetapkan komponen penyusun dan atau mutu bahan pangan yang terdapat dalam produk pangan baik segar maupun olahan.

Analisis kimia komponen pangan dilakukan untuk memperoleh informasi komponen kimia pangan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Dalam kegiatan penelitian, analisis kimia pangan dipilih sebagai parameter uji untuk

mengevaluasi pengaruh dari suatu perlakuan. Analisis pangan dilakukan oleh industri pangan untuk mengevaluasi pemenuhan standar/spesifikasi mutu dan keamanan pangan dari produk yang dihasilkan. Instansi pemerintah yang memiliki kewenangan dalam pengawasan juga melakukan analisis kimia pangan untuk mengevaluasi apakah suatu bahan/produk pangan memenuhi persyaratan mutu dan keamanan pangan sesuai peraturan yang berlaku.

Hasil yang diharapkan dari kegiatan analisis pangan di laboratorium adalah data pengujian yang tepat dan teliti secara konsisten. Untuk mencapai kebenaran dan kehandalan hasil pengujian tersebut, beberapa faktor yang harus dipenuhi di antaranya adalah: (1) personil laboratorium yang kompeten; (2) kondisi fasilitas dan kondisi lingkungan laboratorium yang sesuai; (3) peralatan pengujian yang mampu memenuhi persyaratan metode dan tuntutan regulasi; (4) kalibrasi peralatan pengujian; (5) pengambilan contoh yang mewakili populasi, termasuk persiapan contoh yang harus menghasilkan contoh yang homogen; (6) pemilihan metode analisis yang digunakan; (7) bahan kimia; dan (8) komputasi data hasil pengujian. Hal ini sesuai dengan persyaratan teknis dalam ISO SNI 17025: 2017, yang merupakan standar untuk kompetensi laboratorium pengujian atau kalibrasi.

6.12.1 Pemilihan dan Validitas Metode Analisis

Pemilihan metode analisis yang digunakan sangat tergantung pada tujuan analisis yang dilakukan. Sebagai contoh penggunaan *rapid test* (metode cepat) kurang akurat dibandingkan dengan metode standar. Di industri pangan, penentuan gula dalam sirup menggunakan refraktometer dikarenakan lebih cepat dan aplikatif dibandingkan dengan metode analisis gula menggunakan kromatografi. Contoh lainnya adalah kegiatan pengendalian mutu (QC) di industri pangan untuk pengecekan kadar air menggunakan *halogen moisture analyzer* yang merupakan salah satu metode cepat yang biasa digunakan dibandingkan dengan metode oven yang membutuhkan waktu yang relatif lebih lama.

Metode analisis pangan terdiri atas metode resmi atau standar/baku dan metode tidak resmi. Metode standar adalah metode yang diterbitkan baik dalam standar internasional, regional maupun nasional, atau oleh organisasi

teknis yang memiliki reputasi baik seperti *Official Methods of Analysis* (AOAC), *American Oil Chemists' Society* (AOCS), *American Society for Testing and Materials* (ASTM), dan Standar Nasional Indonesia (SNI), dan lain-lain. Metode tidak resmi adalah metode analisis dalam naskah atau jurnal ilmiah yang relevan, atau yang ditentukan oleh produsen peralatan, atau metode yang dikembangkan sendiri. Metode tersebut merupakan contoh metode yang perlu divalidasi terlebih dahulu sebelum digunakan.

Beberapa kriteria dalam melakukan pemilihan metode analisis adalah (1) *inherent properties* yang terdiri atas selektivitas/spesifisitas, presisi dan akurasi; (2) kemampuan untuk diaplikasikan di laboratorium yang terdiri atas jumlah sampel yang dibutuhkan, bahan kimia yang digunakan, peralatan yang diperlukan dan biaya untuk melakukan pengujian; (3) kebermanfaatannya yang terdiri dari kehandalan metode, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan analisis dan kebutuhan terhadap analisis tersebut, (4) personil laboratorium terkait keamanan dalam melakukan analisis tersebut dan beberapa prosedur yang perlu disiapkan misalnya penulisan prosedur analisis, perhitungan data dan prosedur lainnya (Nielsen 2003).

6.12.2 Kesalahan Analisis

Dalam melakukan analisis di laboratorium mungkin saja ditemui kesalahan yaitu bisa kesalahan acak (*random error*) dan kesalahan sistematik (*systematic error*). Kesalahan acak (*random error*) merupakan kesalahan analisis yang terjadi ketika data yang dihasilkan menyimpang satu sama lain pada satu contoh yang sama. Sebagai contoh, variasi dalam pembacaan meniskus buret atau pada alat pengukur lainnya dapat menimbulkan fluktuasi dan kesalahan acak. Usaha untuk mengurangi kesalahan acak adalah dengan mengulang analisis beberapa kali sehingga standar deviasi dapat diturunkan sampai taraf yang dapat diterima.

Salah satu yang dapat dijadikan parameter untuk melihat kesalahan acak adalah nilai presisi data hasil analisis. Presisi adalah derajat seberapa jauh pengulangan analisis memberikan data yang sama. Ketelitian biasanya diukur dengan menghitung standar deviasi (SD) dari data yang didapat, kemudian

dihitung nilai *relative standard deviation* (RSD) atau koefisien keragaman (*coefficient of varians*, CV). Makin kecil koefisien keragaman dari suatu metode, maka makin tinggi ketelitiannya.

Kesalahan sistematis (*systematic error*) merupakan jenis kesalahan yang dapat dilihat dari penyimpangan data dari nilai yang sebenarnya (*true value*) pada suatu arah tertentu. Data *true value* dapat diperoleh dari *standard reference material* atau dari *certified reference material* (CRM). Kesalahan jenis ini agak sulit untuk dideteksi, karena mungkin presisi datanya sudah baik namun sebenarnya datanya jauh dari nilai yang benar. Salah satu contoh kesalahan sistematis adalah peralatan pengujian yang tidak dikalibrasi. Parameter untuk dapat melihat kesalahan sistematis adalah dari nilai akurasi atau ketepatan.

6.12.3 Analisis Komponen Penyusun Bahan Pangan

Analisis komponen penyusun bahan pangan dapat ditentukan melalui analisis proksimat yang terdiri dari analisis kadar air, abu, lemak, protein dan karbohidrat. Analisis proksimat adalah estimasi terhadap kadar komponen kimia mayor dalam bahan pangan. Analisis kadar air adalah analisis yang penting untuk dilakukan, namun paling sulit untuk memperoleh data yang tepat dan teliti. Metode analisis kadar air merupakan metode yang terus berkembang untuk memperoleh data yang cepat dan teliti.

Analisis proksimat merupakan salah satu analisis pangan yang termasuk dalam kelompok non-instrumental. Pengujian non-instrumental ini termasuk di dalamnya adalah metode gravimetrik dan volumetrik. Contoh metode volumetrik adalah pada karakterisasi sifat kimia lemak dengan proses titrasi seperti pengujian bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod dan bilangan peroksida.

Analisis Kadar Air

Secara garis besar, metode kadar air dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu metode langsung dan tidak langsung. Metode analisis kadar air secara langsung adalah penetapan kadar air dari bahan pangan melalui pengeluan air melalui proses pengeringan dengan menggunakan oven, oven

vakum, distilasi, desikasi, ekstraksi dan teknik fisikokimia lainnya. Kadar air ditentukan dengan cara perubahan massa bahan atau pengukuran volume air dari bahan atau metode langsung lainnya. Kelebihan metode langsung adalah data yang diperoleh memiliki akurasi dan presisi yang baik. Namun tahapan proses pengujiannya memerlukan waktu relatif lebih lama dan umumnya masih menggunakan peralatan yang manual.

Metode analisis kadar air secara tidak langsung adalah metode penentuan kadar air tidak melalui pengeluaran air dari bahan pangan namun melalui konduktivitas, konstanta dielektrik, penyerapan gelombang mikro, penyerapan sonik dan ultra sonik, spektroskopi infra merah, spektroskopi *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR), refraktometer dan lain-lain.

Analisis Kadar Abu

Metode analisis kadar abu ditujukan untuk menentukan total mineral yang terdapat dalam bahan pangan. Abu adalah residu anorganik dari proses pembakaran pada suhu tinggi dalam sebuah tanur atau hasil oksidasi komponen organik dalam bahan pangan. Kadar abu yang tinggi merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan untuk menunjukkan tingginya total mineral dalam produk pangan.

Analisis Kadar Lemak

Metode analisis kadar lemak pada produk pangan dapat dilakukan dengan (1) ekstraksi dengan pelarut secara kontinu (metode Goldfish); (2) ekstraksi dengan pelarut semi-kontinyu (metode Soxhlet); (3) ekstraksi *discontinuous solvent extraction*: metode Mojonnier; dan (4) *non-solvent wet extraction* (metode Babcock dan Gerber).

Lipid adalah komponen yang larut dalam pelarut organik dan tidak larut dalam air. Komponen lipid yang berada dalam pangan umumnya berada dalam bentuk triasilgliserol, mono dan diasilgliserol, asam lemak bebas, *waxes*, fosfolipid, sterol, karotenoid, dan glikolipid.

Sebelum melakukan pengujian kadar lemak dengan pelarut organik, preparasi contoh perlu diperhatikan di antaranya adalah pengeringan contoh, pelarut tidak mudah untuk berpenetrasi ke dalam contoh jika banyak mengandung air, ukuran partikel sampel, proses hidrolisis asam untuk melepaskan lipid yang terikat dan pemilihan pelarut yang digunakan. Pelarut yang terlalu polar akan sulit untuk dapat mengekstraksi lipid yang non polar dan dapat mengekstrak non-lipid. Sebaliknya pelarut yang terlalu non polar tidak efisien dalam mengekstraksi lipid yang bersifat polar.

Pelarut yang ideal untuk proses ekstraksi lipid adalah memiliki kemampuan yang tinggi dalam mengekstrak lipid dan rendah untuk non-lipid, tidak ada residu, lebih mudah diuapkan, memiliki titik didih yang rendah, tidak mudah terbakar atau meledak, tidak toksik, mudah, murah, dan tidak higroskopis.

Metode ekstrak lemak yang umumnya digunakan untuk sampel padatan adalah metode Soxhlet. Pelarut yang biasanya digunakan adalah dietil eter dan heksana. Yang perlu untuk dicermati adalah bahwa penggunaan pelarut dietil eter yang telah lama disimpan, dapat menghasilkan peroksida yang dapat mengoksidasi lemak pada saat proses ekstraksi. Kondisi tersebut dapat dihilangkan dengan melakukan proses pencucian menggunakan larutan fero sulfat dan dilanjutkan dengan penambahan Na_2SO_4 *anhydrous*.

Analisis Kadar Protein

Metode analisis protein secara kasar yang biasa digunakan untuk penentuan kadar protein dalam analisis proksimat adalah metode Kjeldahl. Metode ini mengukur kadar nitrogen total yang ada di dalam contoh. Kandungan protein dapat dihitung dengan mengasumsikan rasio tertentu antara protein terhadap nitrogen dalam produk tertentu yang dianalisa. Karena unsur nitrogen bukan hanya berasal dari protein, maka metode ini umumnya mendasarkan pada asumsi bahwa kandungan nitrogen di dalam protein adalah sekitar 16%. Untuk mengubah dari kadar nitrogen ke dalam kadar protein, faktor konversi sebesar 100/16 atau 6,25 sering digunakan. Informasi kadar nitrogen dalam protein menjadi penting sebagai acuan untuk menentukan faktor konversi dalam menghitung kadar protein. Kelemahan dari metode ini adalah mengukur bukan hanya nitrogen pada protein, tetapi juga nitrogen dari non-protein.

Metode yang banyak digunakan adalah untuk penentuan total karbohidrat dengan metode *by difference* yaitu nilai 100 dikurangi penjumlahan dari kadar air, abu, lemak dan protein. Kadar karbohidrat ini tidak bisa digunakan langsung untuk menentukan energi dari produk pangan, karena serat pangan termasuk yang dihitung di dalam kadar karbohidrat. Oleh karena itu, diperlukan pengujian lanjutan untuk menentukan kadar serat pangan. Energi yang disumbang oleh karbohidrat tersebut dihitung berdasarkan pengurangan kadar karbohidrat *by difference* dengan kadar serat pangan.

Analisis Spektroskopi

Metode analisis pangan yang banyak berkembang adalah analisis dengan menggunakan instrumen spektroskopi. Spektroskopi banyak jenisnya, yaitu spektroskopi UV-Vis, fluoresen, infra merah, *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), *Atomic Emission Spectroscopy* (AES), *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy* (ICP-MS). Jenis spektroskopi yang paling banyak digunakan dalam analisis pangan adalah jenis UV-Vis di antaranya digunakan untuk penentuan kadar protein terlarut dalam contoh seperti metode Lowry, Biuret, dan Bradford. Analisis instrumentasi ini juga untuk analisis total fenol, total flavonoid, kadar vitamin C, total karotenoid, total tokoferol, aktivitas antioksidan dengan metode 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazil (DPPH) dan sebagainya.

Hal yang perlu diperhatikan pada saat menggunakan spektrofotometer UV-Vis adalah (1) apabila yang diinginkan adalah komponen yang terlarut, maka komponen target yang diuji harus terlarut dalam reagen yang digunakan. Apabila terdapat komponen tidak larut atau tersuspensi dalam larutan contoh yang diuji, maka akan menyebabkan peningkatan nilai absorbansi sehingga seolah-olah konsentrasi komponen target tinggi dalam contoh, (2) nilai absorbansi yang digunakan berada dalam rentang 0,1–0,7 atau nilai transmittannya 20–80%. Apabila nilai transmittan kurang dari 20% maka larutan contoh perlu diencerkan, atau apabila lebih dari 80% maka larutan contoh perlu dipekatkan. Kesalahan analisis menjadi lebih besar apabila nilai transmittan tidak di antara rentang 20–80%; (3) dalam pembuatan kurva standar akan diperoleh nilai absorbansi mulai dari konsentrasi rendah sampai

tinggi. Nilai absorbansi contoh harus berada dalam rentang nilai absorbansi kurva standar. Jika absorbansi contoh berada lebih tinggi dari nilai absorbansi yang terdapat pada kurva standar, maka diperlukan pengenceran dari contoh sampai absorbansinya masuk dalam rentang kurva standar, (4) pemilihan kuvet yang digunakan. Untuk pengukuran dengan menggunakan panjang gelombang UV, maka kuvet yang dapat digunakan yaitu *quartz* atau *fused silica*, sedangkan untuk Vis dapat digunakan gelas silikat atau kuvet dari plastik yang lebih murah, dan (5) pemilihan panjang gelombang yang digunakan, *screening* panjang gelombang dari contoh yang diuji sehingga dapat diperoleh panjang gelombang yang memberikan hasil nilai absorbansi paling besar.

Fourier Transform Infra Red (FTIR) spektroskopi adalah salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi, untuk mengidentifikasi senyawa tanpa merusak sampel. Gugus fungsi yang dapat diidentifikasi adalah alkana, alkena, aromatik, alkohol, eter, amin, aldehid dan keton, asam karboksilat, dan amida. Penggunaan FTIR dalam bidang analisis pangan dapat terus berkembang dikarenakan sangat efisien, tidak memerlukan waktu yang lama dan prosesnya yang sederhana, tidak memerlukan preparasi contoh yang sulit (sampel padatan maupun cairan bisa langsung dianalisa) untuk menghasilkan pola spektrum dan intensitasnya pada berbagai panjang gelombang secara serentak.

Analisis berbagai jenis mineral dalam produk pangan dapat menggunakan AAS. Jika diinginkan hasil analisis dengan sensitivitas yang tinggi, maka analisis dengan *graphite furnace-AAS* (GF-AAS) lebih sesuai dibandingkan dengan *Flame AAS* (F-AAS). Saat ini pengujian jenis mineral telah berkembang dengan pesat, salah satunya adalah penggunaan ICP-MS. Alat ini merupakan gabungan antara plasma (ICP) yang merupakan sumber ionisasi dan MS sebagai *mass analyzer*. ICP-MS digunakan untuk menentukan unsur dan isotop yang terkandung dalam suatu matriks sampel secara simultan. Ada beberapa tipe *mass analyzer* namun yang umum digunakan adalah *magnetic analyzer* dan *quadropole analyzer*.

Prinsip kerja ICP-MS adalah mengubah atom dari unsur yang ada dalam sampel menjadi bentuk ion, selanjutnya ion ditransmisikan ke dalam *mass analyzer* untuk dipisahkan berdasarkan massa terhadap rasio

muatan (m/z). Perbedaan F-AAS, GF-AAS dan ICP-MS dapat dilihat pada **Tabel 6.11**. Pemilihan instrumen mana yang akan digunakan sangat tergantung pada jumlah sampel yang akan diuji, berapa banyak mineral yang diuji dan sensitivitas atau limit dekteksi yang dipersyaratkan.

Tabel 6.11 Perbandingan antara *Flame*-AAS, GF-AAS, dan ICP-MS

| Parameter | <i>Flame</i> -AAS | GF-AAS | ICP-MS |
|-------------------------------|------------------------|----------------------|---|
| Batas Deteksi | ppm | ppb | ppb-ppt |
| Lamanya Pengukuran | 10–15 detik per elemen | 5–6 menit per elemen | Banyak elemen dalam waktu kurang dari 1 menit |
| <i>Interference</i> | | | |
| Spektral | Sedikit | Sedikit | Sedikit |
| Kimia | Banyak | Sangat sedikit | Sedikit |
| Volume sampel yang dibutuhkan | Besar | Sangat kecil | Sangat kecil hingga sedang |
| Biaya | Sedang | Sedang sampai tinggi | Sangat tinggi |

Sumber : (Helaluddin *et al.* 2016)

Analisis Kromatografi

Teknik kromatografi adalah metode yang digunakan untuk memisahkan dan atau menganalisis campuran yang kompleks. Kromatografi juga dapat digunakan untuk tujuan pemisahan yang diikuti dengan pemurnian, identifikasi komponen baik terhadap komponen volatil maupun non volatil. Pemisahan komponen dalam campuran tersebut dimungkinkan karena masing-masing komponen mempunyai laju migrasi yang berbeda (interaksi komponen yang dianalisis di antara dua fasa yaitu fase gerak dan fase diam yang berbeda).

Kromatografi yang sering digunakan adalah kromatografi kertas, *Thin-Layer Chromatography* (TLC), *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC), dan *Gas Chromatography* (GC). *Liquid Chromatography* memiliki beberapa tipe yaitu adsorpsi, partisi, penukar ion, afinitas, dan filtrasi *gel/size exclusion chromatography*. Kromatografi penukar ion menggunakan fase diam yang bermuatan positif atau negatif dan digunakan untuk pemisahan komponen yang bermuatan seperti asam amino, nukleotida, peptida dan

protein. Kromatografi filtrasi gel merupakan teknik pemisahan berdasarkan ukuran dan bentuk molekul (tidak ada interaksi antara fase diam dengan komponen). Molekul yang lebih kecil masuk ke dalam pori-pori gel dan keluar dari kolom lebih lama (waktu retensi lebih lama) daripada molekul besar. Kromatografi afinitas merupakan teknik yang paling selektif terhadap komponen target karena terjadinya interaksi spesifik antara molekul target dengan molekul lain yang diimobilisasi dalam fase diam. Sebagai contoh adalah dalam proses pemisahan campuran protein. Mekanisme pemisahannya adalah dengan memasukkan sampel yang berisi campuran protein ke dalam kolom. Hanya protein tertentu yang berikatan dengan antibodi yang terikat pada fase diam. Protein yang terikat tersebut dapat dielusi dengan mengubah pH dan kekuatan ion.

Teknik kromatografi yang lain adalah GC, yang menggunakan gas *inert* sebagai fase mobilnya. Metode GC dapat digunakan untuk memisahkan dan menetapkan komponen organik yang bersifat volatil dan stabil pada suhu tinggi selama pengujian. Pemisahan komponen organik yang sulit untuk menguap memerlukan tahap derivatisasi dahulu, misalnya pada pengujian profil asam lemak pada minyak. Hasil derivatisasi lemak menghasilkan senyawa volatil metil ester asam lemak atau *fatty acid methyl ester* (FAME). Berbagai jenis metil ester asam lemak tersebut dibawa oleh gas pembawa untuk melewati fase diam berupa cairan di dalam kolom. Komponen yang keluar dari kolom dideteksi dengan alat detektor *flame ionization detector* (FID) yang memberikan responsnya berupa *peak* kromatogram. Jenis maupun jumlah asam lemak yang ada pada contoh dapat diidentifikasi dengan membandingkan *peak* kromatogram contoh dengan *peak* kromatogram standar yang telah diketahui jenis dan konsentrasi masing-masing asam lemak penyusunnya.

6.13 Ringkasan

1. Komponen kimia penyusun pangan terdiri atas komponen makro (air, karbohidrat, protein, dan lemak), dan komponen mikro (vitamin, mineral dan senyawa lainnya dalam bentuk komponen bioaktif, komponen *flavor*, komponen toksik, pigmen, dsb).
2. Air merupakan penyusun utama pangan yang berada di dalam bahan pangan sebagai molekul yang terikat secara kimia atau fisik dengan derajat keterikatan yang berbeda-beda. Keberadaan air dalam pangan dinyatakan sebagai kadar air. Derajat keterikatan air, dan perannya dalam pertumbuhan mikroba dan reaksi kimia dinyatakan dalam aktivitas air (a_w).
3. Karbohidrat dalam pangan berada dalam bentuk karbohidrat sederhana (monosakarida dan disakarida), oligosakarida dan polisakarida (seperti pati, selulosa, dan hemiselulosa). Monosakarida merupakan monomer penyusun karbohidrat yang lebih besar (disakarida, oligosakarida dan polisakarida). Karbohidrat disusun oleh atom C, H dan O yang mengandung gugus polihidroksil dan gugus aldehid atau keton.
4. Protein merupakan senyawa organik kompleks yang disusun oleh asam amino melalui ikatan peptida. Atom penyusun asam amino adalah atom C, H, O, N dan S, yang memiliki dua gugus fungsional, yaitu gugus karboksil dan gugus amino. Sifat fungsional protein dipengaruhi oleh asam amino penyusunnya. Di antara peran protein dalam sistem pangan adalah sebagai pengemulsi, pembentuk gel, pembentuk buih, pengikat air, dan penyerap lemak.
5. Lemak atau minyak adalah bagian kelompok lipid sederhana yang disusun oleh asam lemak dan gliserol sebagai komponen utamanya. Sifat fungsional dan reaksi lemak sangat dipengaruhi oleh jenis asam lemak penyusunnya, baik panjang rantai karbon maupun keberadaan ikatan rangkap dalam struktur asam lemak.
6. Komponen mikro terdiri atas vitamin (larut air dan larut lemak), mineral (makro dan mikro), pigmen dan komponen organik lainnya (termasuk komponen bioaktif).

7. *Flavor* dalam pangan merupakan sensasi yang dirasakan oleh indera perasa dan pembau, namun juga oleh reseptor rasa sakit, kesan tekstur dan suhu dalam rongga mulut. *Flavor* menunjukkan keseluruhan karakteristik dari bahan yang menghasilkan sensasi tersebut. *Flavor* dapat diklasifikasikan berdasarkan sumbernya yaitu *flavor* buah-buahan, sayuran, rempah-rempah, minuman, daging, lemak, hasil pemasakan, *flavor* karena suhu tinggi (*empyreumatic*) dan *flavor* menyengat (*stench*).
8. Senyawa bioaktif merupakan senyawa yang memiliki kemampuan fungsional tertentu, seperti antioksidan (zat atau senyawa yang dapat menghambat, menunda atau mencegah terjadinya oksidasi lemak atau senyawa lain yang mudah teroksidasi). Senyawa bioaktif merupakan konstituen ekstra gizi yang secara khusus terdapat dalam jumlah kecil dalam pangan. Senyawa fenolik (termasuk sub-kelompoknya), dan flavonoids, dalam semua tanaman telah dipelajari secara luas dalam sereal, kacang-kacangan, biji-bijian, minyak zaitun, sayuran, buah, teh, dan anggur merah.
9. Komponen toksik dalam pangan adalah senyawa yang beracun atau yang berpotensi mengganggu kesehatan sehingga keberadaannya tidak dikehendaki. Komponen tersebut berasal dari senyawa alami dalam bahan nabati, hewani, produk pertumbuhan mikroba atau kontaminan yang secara tidak sengaja terikut dalam pangan, senyawa produk oksidasi lipid dan karsinogen dalam makanan yang diasap.
10. Pangan dapat mengalami perubahan selama penanganan, pengolahan atau penyimpanan yang meliputi atribut tekstur, *flavor*, warna, nilai gizi dan aspek keamanan. Perubahan tersebut dapat diakibatkan oleh adanya reaksi kimia atau biokimia di dalam pangan yaitu pencokelatan enzimatis dan non-enzimatis, oksidasi, hidrolisis, interaksi logam, isomerisasi lipid, lipid siklikasi, lipid polimerisasi, denaturasi protein, pembentukan ikatan silang pada protein, sintesis polisakarida dan perubahan glikolitik.

11. Analisis pangan berkaitan erat dengan teknik analisis untuk mendeteksi atau menetapkan kadar komponen penyusun dan atau mutu bahan pangan yang terdapat dalam produk pangan baik segar maupun olahan. Hasil akhir dari kegiatan analisis pangan di laboratorium adalah dihasilkan data pengujian yang tepat dan teliti secara konsisten.

6.14 Pustaka

- Belitz HD, Grosch W. 1987. *Food Chemistry*. Springer Verlag, Berlin
- Chung-May W, Pan BS. 1997. *Flavor Compounds*. In “*Chemical and Functional Components of Food Compounds*”. Sikorsky, Z.E., (Ed.), Technomic Publ. Co. Inc., Lancaster, Basel.
- Clemens R, Hayes AW, Sundram K, Pressman P. 2017. Palm oil and threats to a critically important food source: the chloropropanols—caution, controversy, and correction. *Toxicology Research and Application*. 1: 1 – 9.
- deMan JM. 1999. *Principles of Food Chemistry (3rd)*, Kluwer Academic, New York.
- [FAO/WHO] Food Agriculture Organization and World Health Organization. 1998. *Expert Consultation on Human Vitamin and Mineral Requirements*. Report of a joint FAO/WHO expert consultation, Bangkok: 21–30 September 1998.
- [FAO/WHO] Food Agriculture Organization and World Health Organization. 2006. *Guidelines on Food Fortification with Micronutrients*. ISBN 9241594012
- Fennema OR. 1996. *Food Chemistry 4th Edition*. New York: CRC Press.
- Fischer C, Scott TR, 1997. *Food Flavor: Biology and Chemistry*. The Royal Soc of Chemistry, Cambridge, UK.
- Harris RS. 1971. *General Discussion on The Stability of Nutrients, in Nutritional Evaluation of Food Processing*. Westport: AVI Publishing Co.

- Hassan BAR. 2012. Vitamins (Importance and Toxicity). *Pharmaceutica Analytica Acta*. 3:8.
- Helaluddin ABM, Khalid RS, Alaama M, Abbas SA. 2016. Main analytical techniques used for elemental analysis in various matrices. *Tropical Journal of Pharmaceutical*. 15(2):427–434.
- [IFT] Institute of Food Technologists (IFT). 2018. Guidelines for Initial IFT Approval of Undergraduate Food Science and Food Technology Programs. Higher Education Review Board IFT.
- Karmee SK. 2011. The synthesis, properties, and applications of ascorbyl esters. *Lipid Technology*. 23(10): 227–229. DOI: 10.1002/lite.201100146
- Kris-Etherton PM, Hecker KD, Bonanome A, Coval SM, Binkoski AE, Hilpert KE, Griel AE, Etherton TD. 2002. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *The American Journal of Medicine*. 13 (9): 71–88.
- Kusnandar F. 2020. *Kimia Pangan Komponen Makro*. Penerbit PT Bumi Aksara.
- Maher LK, Escott SS. 2004. *Krause's Food, Nutrition, and Diet Therapy*. 11th ed. USA: Elsevier.
- Nielsen SS. 2003. *Food Analysis Laboratory Manual*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York.
- Palupi NS, Zakaria FR, Prangdimurti E. 2007. Pengaruh Pengolahan terhadap Nilai Gizi Pangan. Di dalam: *Evaluasi Nilai Gizi Bahan Pangan (Modul e-learning*. Bogor: Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan IPB.
- [PATPI] Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia. 2015. *Standar Pendidikan Sarjana Teknologi Pangan/Teknologi Hasil Pertanian*.
- Pomeranz Y. 1991. *Functional Properties of Food Components*. Academic Press, Inc. New York.
- Sheraz MA, Kazi SH, Ahmed S, Anwar Z, Ahmad I. Photo, thermal and chemical degradation of riboflavin. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*. 10: 1999–2012.

- Sumardjo D. 2009. *Pengantar Kimia*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Winarno FG. 2008. *Kimia Pangan dan Gizi*. Bogor: M-Brio Press.
- Wong DWS. 1989. *Mechanism and Theory in Food Chemistry*. An AVI Book, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Yuliarti N. 2009. *A To Z Food Supplement*. Yogyakarta: C.V Andi.

Latihan

Petunjuk: Untuk memahami materi pada Bab 6 ini, kerjakan soal berikut. Pilih satu jawaban yang benar.

1. Jenis asam amino yang memiliki gugus aromatik adalah:
 - a. Isoleusin
 - b. Tirosin
 - c. Lisin
 - d. Semua jawaban diatas salah
2. Bentuk vitamin E yang memiliki aktivitas tertinggi pada bahan pangan adalah:
 - a. δ -tokoferol
 - b. γ -tokoferol
 - c. α -tokoferol
 - d. Semua jawaban diatas salah
3. Berikut merupakan atribut yang terpengaruh akibat adanya oksidasi lipid pada bahan pangan:
 - a. Tekstur
 - b. Warna
 - c. *Flavor*
 - d. Semua jawaban diatas benar

4. Berikut merupakan jenis instrument yang dapat digunakan untuk analisis berbagai jenis mineral, kecuali:
 - a. ICP-MS
 - b. GC-MS
 - c. GF-AAS
 - d. Semua jawaban diatas benar
5. Senyawa toksik yang umumnya berada pada ubi kayu adalah:
 - a. Goitrogen
 - b. Ichtyotoxism
 - c. Gossipol
 - d. Sianogen
6. Berikut merupakan faktor yang dapat memengaruhi reaksi Maillard:
 - a. Jenis asam amino
 - b. Jumlah air
 - c. Suhu
 - d. Semua jawaban diatas benar
7. Berikut merupakan syarat senyawa antioksidan yang dapat digunakan dalam pangan, kecuali:
 - a. Efektif pada konsentrasi tinggi
 - b. Tidak memberikan *flavor*
 - c. Mudah tersedia
 - d. Larut dalam lemak/minyak
8. Karakteristik air tipe 3 dalam bahan pangan adalah:
 - a. Bersifat air murni
 - b. Molekul air membentuk hidrat dengan molekul lain yang mengandung atom O dan N
 - c. Bersifat sebagai air bebas
 - d. Semua jawaban diatas benar

9. Bahan pangan yang mengandung *trypsin inhibitor* adalah:
 - a. Bayam
 - b. Kacang kedelai
 - c. Asparagus
 - d. Semua jawaban diatas salah
10. Berikut merupakan karakteristik BHT (*butylated hydroxytoluene*) sebagai senyawa antioksidan sintetik pada bahan pangan, kecuali:
 - a. Digunakan pada produk *bakery*
 - b. Stabil terhadap suhu tinggi
 - c. Mudah larut dalam lemak
 - d. Semua jawaban diatas benar

Tugas Mandiri (*Challenge Questions*)

1. Langkah apa yang perlu diambil supaya produk yang mengandung asam lemak tidak jenuh tinggi seperti minyak ikan tidak mudah rusak.
2. Dilihat dari strukturnya, komponen fenolik dapat berfungsi sebagai antioksidan namun tidak berubah menjadi radikal bebas. Cermati dan jelaskan!
3. Persyaratan apa yang perlu dipenuhi supaya data pengujian yang tepat dan teliti secara konsisten.
4. Metode apa yang dapat digunakan untuk mengetahui profil asam amino yang terdapat dalam pangan.
5. Ketika kita sakit pilek, kira-kira apa yang menyebabkan kita tidak bisa merasakan *flavor* pada produk pangan yang kita konsumsi.
6. Apakah mungkin selama proses pengolahan dihasilkan produk yang mengandung senyawa kontaminan yang berbahaya?

Bab

7

Mikrobiologi Pangan, Fermentasi dan Analisis Mikrobiologi

Winiati P Rahayu dan Endang S. Rahayu

7.1 Pendahuluan

Mikroba atau mikroorganisme adalah makhluk hidup yang umumnya ukurannya sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat oleh mata manusia tanpa bantuan alat. Bakteri, virus, protozoa dan fungi seperti kapang dan khamir termasuk ke dalam kelompok ini. Mikroba ada di mana-mana, di tanah, di tanaman, di hewan, di manusia, di udara bahkan di wilayah gunung berapi. Dalam piramida pangan, mikroba berfungsi sebagai pendekomposisi senyawa organik (karbohidrat, protein, lemak, dll.) menjadi senyawa non-organik (nitrat, sulfat, dll.). Ketika tumbuhan dan hewan mati, sistem perlindungan anti mikroba berhenti berfungsi, sehingga cepat atau lambat pembusukan akan terjadi. Dekomposisi ini dimulai dengan membebaskan senyawa dengan berat molekul rendah yang akan digunakan kembali oleh inangnya, baik tumbuhan maupun hewan. Mikroba juga membantu mengendalikan tingkat populasi hewan dan tumbuhan tingkat tinggi karena sifat parasitisme dan patogenitasnya. Berdasarkan kemampuannya tersebut, bahan pangan merupakan medium yang mudah ditumbuhi oleh mikroba karena mengandung berbagai macam nutrisi yang dibutuhkan bagi pertumbuhan mikroba.

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat dan aktivitas mikroba. Mikrobiologi pangan lebih spesifik lagi membahas aktivitas mikroba pada pangan baik yang bersifat menguntungkan ataupun merugikan bila

dikonsumsi manusia. Aplikasi ilmu mikrobiologi pangan di antaranya adalah untuk peningkatan mutu pangan, pengendalian masalah keamanan pangan, dan pemanfaatan mikroba untuk peningkatan nilai tambah pada pangan.

Bahan pangan alami tidak bersifat steril, biasanya terdapat mikroba yang komposisinya bergantung dari mikroba yang dapat tumbuh, bertahan hidup dan berinteraksi dengan bahan pangan tersebut seiring dengan berjalannya waktu. Mikroba ini ada yang berasal dari mikroflora alami pada bahan baku ataupun mikroba yang mengontaminasi selama proses panen, pengolahan, penyimpanan, dan distribusi pangan.

Pada pangan, keberadaan mikroba dapat menyebabkan perubahan struktur fisik dan kimia pada pangan. Beberapa mikroba dapat menyebabkan pembusukan ataupun menyebabkan penyakit (*foodborne disease*). Namun demikian, terdapat beberapa jenis mikroba bermanfaat yang dapat mengubah sifat pangan menjadi lebih disukai dengan proses fermentasi yang memang diharapkan terjadi. Dalam proses fermentasi, terjadi perubahan pada komponen pangan tertentu akibat aktivitas mikroba yang menguntungkan. Produk pangan hasil fermentasi memiliki nilai gizi, daya cerna, dan umur simpan yang lebih tinggi daripada bahan bakunya. Proses fermentasi pangan dapat melibatkan mikroba dari jenis bakteri, kapang multiseluler atau khamir uniseluler.

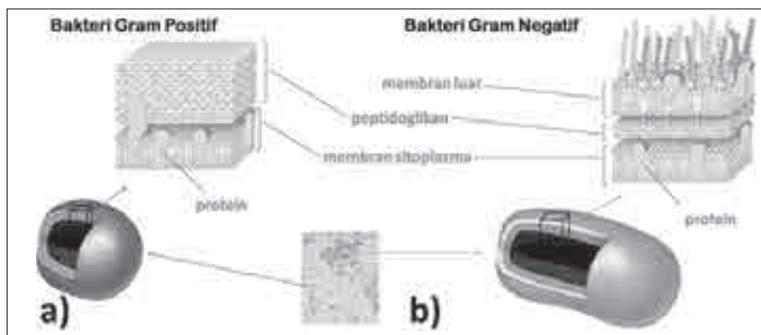
Bab 7 ini menjelaskan pengertian mikrobiologi pangan, berbagai jenis mikroba yang mengontaminasi pangan dan karakteristiknya, faktor yang memengaruhi pertumbuhan mikroba, kerusakan mikrobiologi pangan, keracunan pangan, pengendalian mikroba pada pangan, prinsip bioteknologi pangan/teknologi fermentasi dan aplikasinya dalam sistem pangan, serta metode identifikasi dan analisis mikrobiologi. Setelah mempelajari bab ini, pembaca dapat memperoleh gambaran secara komprehensif lingkup mikrobiologi pangan.

7.2 Jenis Mikroba yang Tumbuh pada Pangan

Mikroba yang tumbuh pada pangan sangat banyak jenisnya. Secara umum mikroba mempunyai nama ilmiah yang terdiri atas genus dan spesies. Penulisan nama ilmiah tersebut biasa dituliskan dengan cetak miring. Beberapa mikroba

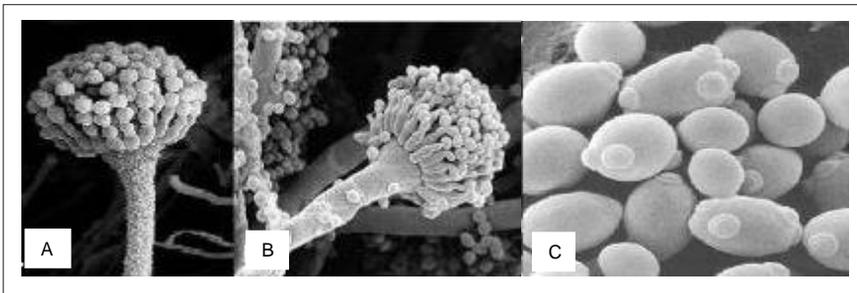
langsung dituliskan dengan nama genus dan serovar yang nama serovarnya ditulis tegak dengan awalan huruf besar. Mikroba pada pangan umumnya digolongkan menjadi bakteri, kapang, khamir, protozoa, dan virus.

Bakteri adalah mikroba bersel satu dengan panjang sekitar 1 mikron. Bakteri dapat ditemui hampir di semua jenis pangan. Bakteri dibedakan pada dua kelompok yakni bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Bakteri Gram positif memiliki peptidoglikan yang tebal tanpa membran eksternal, sedangkan bakteri Gram negatif memiliki peptidoglikan yang tipis dengan membran eksternal. Berdasarkan bentuknya bakteri dibedakan pada kelompok kokus (*Coccus*), basil (*Bacillus*), dan spiral (*Spirillum*). Kokus (*Coccus*) adalah bakteri yang berbentuk bulat seperti bola, contoh bakteri ini pada pangan adalah *Staphylococcus aureus* yang perlu diwaspadai saat pengolahan pangan karena banyak terdapat pada kulit manusia. Basil (*Bacillus*) adalah kelompok bakteri yang berbentuk batang atau silinder dan contoh bakteri dalam kelompok ini adalah *Salmonella* spp. dan *E. coli* yang banyak mencemari pangan. Spiral (*Spirillum*) adalah bakteri yang berbentuk lengkung dan contoh bakteri dalam kelompok ini adalah *Campylobacter* dan *Vibrio*. Bakteri tersebut dikenal sebagai penyebab penyakit (*foodborne disease*). Beberapa bakteri dapat menghasilkan spora dengan membuat lapisan di luar membran dan dinding sel sehingga dapat bertahan pada kondisi yang lebih ekstrim dan mempertahankan diri pada proses pengolahan pangan, seperti pemanasan, pengeringan dan iradiasi. **Gambar 7.1** menunjukkan perbedaan bakteri Gram positif dan Gram negatif.



Gambar 7.1 Perbedaan bakteri Gram positif dan Gram negatif (Madigan *et al.* 2012)

Kapang dan khamir termasuk dalam golongan fungi bersama dengan jamur. Kapang adalah mikroba bersel tunggal atau jamak. Kapang tumbuh dengan membentuk hifa (struktur seperti serabut) yang dalam jumlah banyak membentuk miselium seperti yang dapat diamati pada tempe. Khamir berbeda dengan kapang karena hanya memiliki struktur bersel tunggal. Khamir tidak membentuk miselium seperti kapang melainkan hidup sebagai mikroba bersel tunggal berbentuk oval. Khamir dapat tumbuh lebih cepat dibandingkan kapang pada pangan. **Gambar 7.2** menunjukkan perbedaan kapang dan khamir.



Gambar 7.2 Kapang (A, B) dan khamir (C) di bawah mikroskop elektron (Alam *et al.* 2019)

Kelompok protista terdiri atas protozoa dan alga. Protozoa dan alga adalah organisme eukariotik yang terdiri atas inti yang terikat membran. Kedua jenis mikroba ini berbentuk uniseluler, tetapi terdapat juga alga yang berbentuk multiseluler. Alga multiseluler tidak dikategorikan sebagai mikroba. Perbedaan utama antara protozoa dan alga adalah bahwa protozoa merupakan organisme heterotrofik, seperti hewan sedangkan alga adalah organisme autotrofik, seperti tumbuhan. Hal ini berarti bahwa protozoa mencerna molekul organik dengan cara fagositosis, sementara alga menghasilkan makanan mereka sendiri dengan cara fotosintesis. Kadang-kadang agak sulit membedakan antara alga dan protozoa karena kurang jelas perbedaannya. Beberapa organisme mempunyai sifat antara alga dan protozoa. Contohnya alga hijau *Euglenophyta*, selnya berflagela dan sel tunggal yang berklorofil, tetapi dapat mengalami kehilangan klorofil dan mampu berfotosintesis.

Virus adalah mikroba parasit. Sebagian besar virus bersifat spesifik berpasangan dengan inang, sebagai contoh virus hewan tidak dapat menginfeksi tanaman dan virus tanaman tidak dapat menginfeksi hewan. Virus memiliki struktur yang sangat sederhana, terdiri atas kapsul protein dengan asam nukleat di dalamnya. Virus menempel pada sel inang melalui reseptornya, dan kemudian menyuntikkan kode genetik ke dalam inang. Setelah di dalam inang, asam nukleat virus direplikasi menggunakan enzim inang dan partikel virus disintesis. Kebanyakan virus pangan adalah virus yang memasukkan asam nukleatnya ke dalam *deoxyribonucleic acid* (DNA) inang sehingga sel inang tetap utuh.

Mikroba dapat bersifat merugikan atau menguntungkan bila ditinjau dari manfaatnya bagi manusia. Mikroba yang merugikan adalah mikroba yang pertumbuhannya pada pangan dapat menyebabkan kerusakan atau membahayakan kesehatan. Mikroba yang menguntungkan adalah mikroba yang pertumbuhannya pada pangan menghasilkan produk yang memberikan nilai tambah pada bahan bakunya. Jenis mikroba perusak pada pangan sangat bervariasi jenisnya dan umumnya dibedakan berdasarkan kondisi pangan tersebut. Hal yang paling mudah untuk dijadikan pedoman adalah kondisi kadar air dan nilai keasamannya.

Mikroba patogen merupakan mikroba yang memiliki kemampuan menimbulkan penyakit. Mikroba patogen yang berasal dari pangan dapat menyebabkan penyakit melalui tiga mekanisme yaitu secara infeksi, intoksikasi, dan toksikoinfeksi. Dalam proses infeksi, mikroba patogen masuk ke tubuh melalui pangan. Mikroba yang masuk ke dalam tubuh akan membentuk koloni dan dapat menembus (invasi) bagian organ dalam atau jaringan tubuh menggunakan toksin atau enzim yang dihasilkan sehingga menyebabkan gangguan di dalam tubuh. Intoksikasi disebabkan oleh terkonsumsinya toksin ekstraseluler yang dihasilkan oleh mikroba yang mencemari pangan. Berbeda dengan infeksi, intoksikasi tidak memerlukan adanya mikroba hidup pada pangan yang dikonsumsi. Mekanisme yang ketiga adalah toksikoinfeksi, yaitu terjadinya sekresi racun bila sel mikroba berada dalam tubuh. Penyakit yang disebabkan dari proses pencernaan makanan disebut *foodborne illness/foodborne disease*.

7.3 Pertumbuhan Mikroba

Faktor yang memengaruhi pertumbuhan mikroba dapat dibedakan menjadi faktor intrinsik (internal) dan ekstrinsik (eksternal) dari pangan sebagai tempat pertumbuhan mikroba (**Tabel 7.1**). Selain itu terdapat faktor implisit. Faktor intrinsik adalah kondisi dalam pangan dan faktor ekstrinsik adalah kondisi di lingkungan pangan tersebut berada. Faktor implisit adalah kondisi mikrobanya sendiri.

Tabel 7.1 Faktor yang memengaruhi pertumbuhan mikroba

| Faktor | Uraian |
|------------|--|
| Intrinsik | Nutrisi pH Potensial Reduksi-Oksidasi (Redoks) Aktivitas air (a_w) Komponen antimikroba Struktur biologis |
| Ekstrinsik | Suhu Kelembaban udara relatif (RH) Gas di lingkungan |
| Implisit | Sifat mikroba |

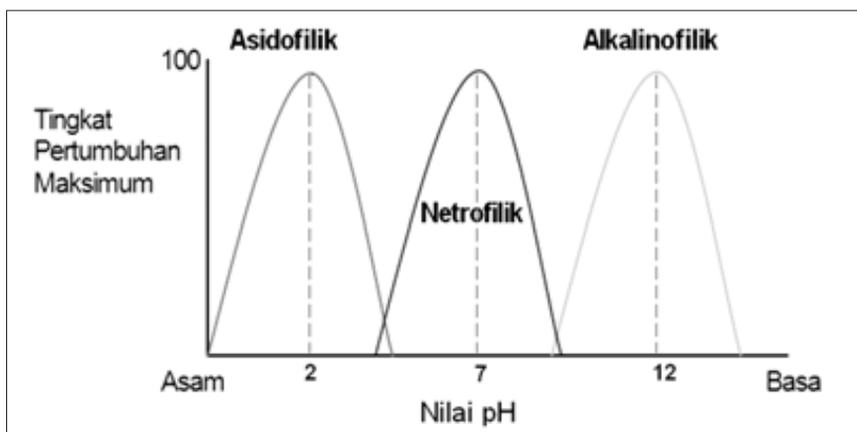
Sumber: Diolah dari Adams dan Mos (2008)

7.3.1 Faktor Intrinsik

Ketersediaan nutrisi merupakan komponen yang sangat penting dalam pertumbuhan mikroba. Mikroba membutuhkan air, nitrogen, karbon, vitamin, dan mineral yang terdapat dalam bahan pangan untuk pertumbuhannya. Tidak semua mikroba memiliki kebutuhan nutrisi yang sama. Kebutuhan nutrisi mikroba berbeda pada setiap jenisnya bahkan spesies yang berbeda membutuhkan komponen nutrisi kunci yang berbeda pula. Ketidamampuan suatu mikroba untuk memanfaatkan komponen utama dari pangan akan membatasi pertumbuhannya. Dalam hal ini mikroba akan berkompetisi satu sama lain untuk tumbuh dan berkembang. Konsentrasi nutrisi kunci dapat

menentukan tingkat pertumbuhan mikroba sampai dengan batas tertentu. Sebagai contoh, bakteri Gram positif membutuhkan nutrisi yang lebih banyak untuk tumbuh dibandingkan dengan bakteri Gram negatif. Khamir dan kapang dapat tumbuh dengan ketersediaan nutrisi yang lebih sedikit.

Keasaman atau alkalinitas lingkungan memiliki efek pada aktivitas dan stabilitas makromolekul seperti enzim, sehingga sudah sewajarnya pertumbuhan dan metabolisme mikroba dipengaruhi oleh pH. Setiap jenis mikroba memiliki kisaran pH dan pH optimum untuk pertumbuhannya. **Gambar 7.3** menunjukkan rentang pH bagi mikroba untuk dapat tumbuh dan berkembang yang diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok, yaitu asidofilik, netrofilik, dan alkalifilik. Secara umum, bakteri tumbuh pesat di kisaran pH 6,0–8,0.



Gambar 7.3 Pengaruh pH terhadap pola pertumbuhan mikroba (Rahayu dan Nurwitri 2012)

Ketersediaan oksigen merupakan faktor pertumbuhan yang penting. Sama halnya dengan alkalinitas, mikroba juga memiliki sensitivitas yang berbeda-beda terhadap potensi redoks dari medium pertumbuhannya. Potensial reduksi-oksidasi (redoks) dari suatu sistem dilambangkan dengan Eh. Mikroba aerobik membutuhkan Eh yang positif (substrat teroksidasi), sedangkan mikroba anaerobik membutuhkan potensial redoks yang negatif (substrat tereduksi). Substrat teroksidasi berarti molekul memiliki afinitas yang relatif tinggi terhadap elektron sedangkan substrat tereduksi berarti molekul

memiliki afinitas yang relatif rendah terhadap elektron. Oksigen, yang ada di udara pada konsentrasi sekitar 21%, biasanya merupakan pasangan redoks paling berpengaruh dalam sistem pangan.

Seperti makhluk hidup pada umumnya, mikroba juga membutuhkan air untuk bertahan hidup. Bakteri memiliki ketergantungan terhadap air yang tinggi walaupun kebutuhannya sangat sedikit. Kebutuhan akan ketersediaan air pada mikroba diukur dengan aktivitas air (a_w). Aktivitas air yang dimaksud adalah air yang tidak terikat, tidak terlibat dalam ikatan kimia dengan komponen pangan. Air bebas pada bahan pangan dibutuhkan oleh pertumbuhan mikroba terutama untuk proses transpor nutrisi, media untuk reaksi enzimatik, sintesis komponen seluler, dan berperan dalam reaksi biokimia lain seperti hidrolisis polimer. Bakteri secara umum membutuhkan a_w minimum sebesar 0,9 dan 1,0 untuk kondisi ideal. Kapang membutuhkan a_w minimum yang lebih rendah yakni 0,7, sedangkan khamir 0,8. Pada lingkungan a_w rendah mikroba akan mati karena air di dalam sel akan terdifusi keluar dalam proses untuk penyeimbangan tekanan osmosis.

Beberapa pangan secara alami memiliki mekanisme alami untuk mencegah atau membatasi kontaminasi atau infeksi mikroba yang berpotensi merusak. Mekanisme alami inilah yang dimaksud dengan bahan antimikroba. Komponen antimikroba berbeda dalam spektrum aktivitas dan potensinya. Senyawa ini hadir pada berbagai konsentrasi dalam produk alami, dan sering pada level yang terlalu rendah untuk memiliki efek. Sebagai contoh, beberapa jenis tanaman mengandung minyak atsiri, susu sapi mengandung komponen laktoferin dan koaglutinin, telur mengandung lisozim dan ovotransferin. Senyawa ini adalah komponen atau enzim yang bersifat anti mikroba sehingga dapat membatasi atau mencegah pertumbuhan mikroba.

Seperti halnya senyawa anti mikroba yang ada dalam pangan, struktur luar yang secara alami melindungi pangan juga berfungsi untuk mencegah dan menghambat mikroba untuk tumbuh dan berkembang. Beberapa contoh struktur pelindung tersebut misalnya kulit pada kacang dan buah-buahan, kulit telur, dan bulu-bulu atau kulit hewan. Telur memiliki cangkang yang dapat mencegah masuknya hampir semua jenis mikroba ketika disimpan pada kondisi yang tepat.

7.3.2 Faktor Ekstrinsik

Suhu merupakan faktor ekstrinsik utama yang memengaruhi pertumbuhan mikroba. Oleh karena itu teknik pengaturan suhu sudah digunakan selama berabad-abad untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba. Jenis maupun kelompok mikroba yang berbeda tumbuh pada kisaran suhu yang sangat luas dan berbeda-beda pula. Suhu dapat memengaruhi lamanya fase lag, kecepatan pertumbuhan, kegiatan enzimatik dan penyerapan nutrisi oleh mikroba. Berdasarkan suhu hidupnya mikroba dibedakan ke dalam lima kelompok yakni psikrofilik, psikrotropik, mesofilik, termofilik dan hipertermofilik. Suhu minimum, optimum, dan maksimum untuk masing-masing kelompok mikroba dapat dilihat pada **Tabel 7.2**.

Tabel 7.2 Klasifikasi mikroba berdasarkan kebutuhan suhu

| Mikroba | Suhu Pertumbuhan | | |
|-----------------|------------------|--------------|---------------|
| | Minimum (°C) | Optimum (°C) | Maksimum (°C) |
| Psikrofilik | -10 | 10–15 | 18–20 |
| Psikrotropik | -5 | 20–30 | 35–40 |
| Mesofilik | 5–10 | 30–37 | 45 |
| Termofilik | 10 | 42–46 | 50 |
| Hipertermofilik | 25–45 | 50–80 | 60–85 |

Sumber: Murano (2003)

Sel akan mati pada suhu yang lebih rendah dari suhu minimumnya karena kecepatan reaksi metabolisme turun secara drastis dan penurunan fluiditas membran sel yang memperlambat transportasi nutrisi ke dalam sel. Pada suhu yang lebih tinggi mikroba akan mati karena enzim terinaktivasi dan terjadi denaturasi komponen struktural sel. Agar aman, pangan harus disimpan pada suhu di bawah 4,4°C atau di atas 60°C. Suhu antara 4,4 dan 60°C merupakan *danger zone* karena sebagian besar mikroba perusak dan patogen tumbuh dan berkembang pada suhu ini.

Kelembapan udara relatif (*relative humidity* atau RH) berhubungan erat dengan a_w . Lingkungan dengan RH yang tinggi akan membuat komponen bahan pangan menyerap air jika a_w rendah, dan sebaliknya pada lingkungan dengan RH yang rendah akan membuat komponen bahan

pangan mengeluarkan air jika a_w tinggi. Hal ini terjadi secara otomatis sampai dengan kondisi kesetimbangan. Karena mikroba memiliki preferensi pada a_w yang relatif tinggi, bahan pangan yang mudah mengalami kerusakan karena pertumbuhan mikroba harus disimpan pada kondisi lingkungan dengan RH rendah. Daging yang kemasannya tidak tertutup rapat dapat mengalami kerusakan mikrobiologis pada permukaan yang lebih parah jika disimpan di lemari pendingin karena RH yang tinggi cocok untuk pertumbuhan mikroba perusak daging yang bersifat aerobik. Namun demikian perlu diperhatikan penyimpanan bahan pangan pada lingkungan dengan RH rendah dapat mengurangi kualitas bahan pangan.

Oksigen yang terdapat sebanyak 21% pada atmosfer bumi merupakan komponen penyusun udara terbanyak yang kontak dengan pangan dalam keadaan normal. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya oksigen akan memengaruhi potensial redoks. Selain oksigen keberadaan karbon dioksida (CO_2) juga berpengaruh pada pertumbuhan mikroba. Setiap mikroba memiliki batasan yang berbeda dalam mentoleransi kadar karbon dioksida di lingkungan. Kapang dan bakteri Gram negatif oksidatif adalah yang paling sensitif terhadap CO_2 dan sebaliknya bakteri Gram positif, terutama *Lactobacilli*, cenderung paling tahan terhadap CO_2 . Ozon (O_3) juga merupakan gas pada atmosfer yang memiliki sifat antimikroba dan dapat digunakan untuk memperpanjang masa simpan dari beberapa jenis pangan. Gas ini efektif melawan sekelompok mikroba, tetapi gas ozon merupakan agen pengoksidasi yang kuat sehingga tidak dianjurkan untuk diaplikasikan pada bahan pangan yang memiliki kadar lemak tinggi.

7.3.3 Faktor Implisit

Faktor ketiga selain faktor intrinsik dan ekstrinsik yang penting dalam menentukan sifat asosiasi mikroba yang ditemukan dalam pangan adalah faktor implisit, yaitu sifat mikroba itu sendiri. Hal ini berpengaruh pada cara mikroba berinteraksi dengan lingkungan dan berinteraksi satu sama lain. Laju pertumbuhan spesifik suatu mikroba dapat menentukan pertumbuhan mikroba dalam pangan. Mikroba yang memiliki tingkat pertumbuhan spesifik tertinggi cenderung akan mendominasi pertumbuhannya pada pangan. Sensitivitas sel

terhadap perlakuan (pengolahan misalnya) yang berpotensi mematikan juga sangat menentukan keberhasilan mikroba untuk tumbuh dan berkembang. Secara umum, beberapa bentuk praadaptasi dapat dilakukan oleh mikroba karena paparan awal yang nantinya akan mengurangi efek dari perlakuan. Sebagai contoh, *Bacillus* dapat membentuk spora pada suhu yang lebih tinggi dari suhu pertumbuhannya dan meningkatkan ketahanan panasnya. Mikroba dapat bersifat antagonis satu sama lain, karena menghasilkan senyawa penghambat untuk mikroba lain atau menyerap nutrisi yang penting bagi pertumbuhan mikroba lain.

7.4 Kerusakan Mikrobiologi Pangan

Mikroba memanfaatkan karbohidrat, lemak dan protein dari bahan pangan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan reproduksi sel. Di dalam proses ini bakteri, kapang dan khamir dapat menyebabkan kerusakan mikrobiologi pada pangan. Berdasarkan jenis pangan yang mengalami kerusakan, kerusakan pada pangan dibedakan menjadi kerusakan pada bahan pangan hewani dan nabati.

7.4.1 Kerusakan pada Bahan Pangan Hewani

Mikroba dapat menguraikan monosakarida dan disakarida pada berbagai produk pangan hewani. Sebagai contoh, bakteri asam laktat *Lactobacillus* menggunakan laktosa untuk menghasilkan asam laktat, dan khamir *Saccharomyces cerevisiae* memetabolisme berbagai macam gula sederhana untuk menghasilkan etanol. Selain itu mikroba juga dapat menyebabkan kerusakan pada pangan yang mengandung karbohidrat dengan menghasilkan gula yang dapat mengubah susunan tekstur dan aroma pada pangan tersebut.

Bakteri anaerobik seperti *Clostridium laramie* mengatabolisme protein menjadi asam amino yang dapat menyebabkan bau tidak sedap pada daging. Beberapa bakteri anaerobik dan fluktuatif anaerobik memanfaatkan asam amino untuk menghasilkan bau dan aroma yang tidak diinginkan. Sebagai contoh sintesis hidrogen sulfida dari asam amino sistein.

Mikroba berpotensi menimbulkan kerusakan pada daging dan produk olahannya pada berbagai kondisi dengan ketersediaan faktor yang mendukung pertumbuhan mikroba. Tanda kerusakan yang umumnya dapat diamati pada daging yang ditumbuhi mikroba, terutama pada kondisi aerobik adalah terdapatnya lendir. Lendir yang terbentuk umumnya disebabkan oleh mikroba dari genus *Pseudomonas*, *Streptococcus*, *Micrococcus*, *Achromobacter*, dan *Bacillus*. Kerusakan dapat juga mengakibatkan perubahan warna daging menjadi hijau kecokelatan atau keabuan. Perubahan warna ini disebabkan oleh terbentuknya H_2O_2 . Beberapa mikroba juga menghasilkan pigmen yang dapat memengaruhi warna daging. Tanda kerusakan lainnya pada daging akibat pertumbuhan mikroba pada daging adalah timbulnya bau tengik yang diakibatkan oleh degradasi lemak. Jenis-jenis mikroba ini berasal dari bakteri genus *Pseudomonas* dan *Achromobacter*, juga dari beberapa khamir.

Kapang dapat menyebabkan kerusakan daging yang disebabkan oleh miselium dan spora kapang yang menimbulkan bintik yang berwarna hitam, putih, atau hijau. Kapang juga dapat menimbulkan bau busuk. Dalam lingkungan yang tidak terdapat oksigen, mikroba juga tetap dapat merusak daging. Sebagai contoh, bakteri anerobik dapat tumbuh pada lapisan tepat di bawah film kemasan vakum dan pada permukaan lemak yang pengaruh *oxygen scavenger* nya tidak terlalu besar.

Mikroba jenis lainnya yang juga dapat merusak daging adalah *E. coli*, *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, dan *Proteus*. Daging yang disimpan dingin juga masih dapat mengalami kerusakan oleh mikroba psikrofilik yang menyukai kondisi lingkungan bersuhu rendah. Kerusakan produk dapat dilihat dari terbentuknya lendir, bau asam yang ditimbulkan oleh produk hasil metabolisme bakteri asam laktat, dan perubahan warna.

Selain pada daging, kerusakan mikrobiologi juga sering terjadi pada telur, susu dan produk perikanan. Pada telur *Salmonella* Enteritidis dapat menimbulkan penyakit jika telur dikonsumsi pada kondisi yang tidak benar-benar matang. Semakin ayam menjadi tua, maka telur ayam akan semakin rentan terhadap kerusakan mikroba. Hal ini disebabkan oleh mikroba yang berasal dari kotoran ayam karena melemahnya sistem otot kloaka ketika telur keluar bersamaan dengan kotoran ayam.

Susu memiliki zat gizi yang lengkap sehingga disukai oleh berbagai jenis mikroba. Pada susu kerusakan mikrobiologi dapat disebabkan oleh produksi asam oleh beberapa spesies bakteri dan khamir. Kerusakan susu juga dapat mengakibatkan busa atau buih yang terbentuk pada permukaan susu. Pada suhu ruang (28–30°C), bakteri penghasil gas tersebut adalah *E. coli* sedangkan pada kondisi dingin (5°C), bakterinya adalah *Clostridium* dan *Bacillus*. Kerusakan mikrobiologi pada susu antara lain ditandai dari terjadinya reaksi dekomposisi protein susu membentuk polipeptida yang dapat menimbulkan rasa pahit pada susu. Dekomposisi protein dapat terjadi akibat aktivitas enzim protease yang dihasilkan oleh bakteri proteolitik, seperti *Proteus*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Clostridium*, *Micrococcus*, *Pseudomonas*, dan *Achromobacter*. Susu juga dapat menjadi rusak karena terbentuknya basa dari urea yang diinisiasi oleh bakteri pembentuk amonia. Contoh dari bakteri tersebut antara lain adalah *P. fluorescens*, *P. trifolii*, *Micrococcus ureae*, *Alcaligenes faecalis*, dan *A. viscolactis* (Roberts *et al.* 2005).

Produk perikanan dan olahannya dapat mengalami kerusakan mikrobiologi dan menunjukkan tanda kerusakan yang serupa dan mudah diidentifikasi pembentukan lendir, perubahan warna, pelunakan struktur yang disertai dengan timbulnya bau busuk.

7.4.2 Kerusakan pada Bahan Pangan Nabati

Dalam kerusakan bahan pangan nabati seperti buah dan sayur, karbohidrat seperti polisakarida, monosakarida dan disakarida dimetabolisme oleh mikroba. Pektin dan polisakarida pada buah dapat diuraikan oleh mikroba yang memiliki enzim pektin esterase atau pektinase yang menyebabkan buah menjadi busuk. Enzim selulase yang diproduksi oleh spesies bakteri *Bacillus*, atau kapang *Aspergillus* dan *Penicillium* menyebabkan mikroba ini dapat menguraikan struktur selulosa sehingga struktur tanaman menjadi lunak.

Ketersediaan zat gizi yang cukup pada sayuran memungkinkan untuk pertumbuhan kapang, khamir, ataupun bakteri. Kadar air dari sayuran yang tinggi dan dalam bentuk yang bebas mudah dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroba perusak. Sayuran juga memiliki potensial redoks yang tinggi sehingga lebih mendukung pertumbuhan bakteri aerobik atau

anaerobik fakultatif daripada bakteri anaerobik. Kerusakan yang disebabkan oleh mikroba pada sayuran dapat dilihat melalui pelunakan sayuran yang disebabkan oleh aktivitas enzim protopektinase yang disekresikan oleh bakteri. Komoditas yang umumnya mengalami kerusakan busuk lunak adalah bawang merah, bawang putih, dan wortel. Contoh spesies bakteri yang memproduksi protopektinase antara lain *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas* (*P. fluorescens* dan *P. marginalis*), *Bacillus*, dan *Clostridium*.

Kerusakan mikrobiologi pada sayuran dapat berupa timbulnya bintik yang disebabkan oleh spora kapang yang biasanya terjadi pada kondisi kelembaban dan suhu tinggi. Busuk asam merupakan kerusakan mikrobiologi pada produk pangan nabati yang disebabkan oleh *Geotrichum candidum*. Sayur-sayuran yang mungkin mengalami kerusakan ini adalah asparagus, wortel, tomat, brokoli, dan bawang. Kapang penyebab kerusakan tersebut biasanya berasal dari tanah.

Secara umum, kerusakan mikrobiologi pada buah disebabkan oleh kapang. Kerusakan yang terjadi antara lain adalah busuk kapang biru (*blue mould spoilage*) yang disebabkan oleh kapang *Penicillium digitatum*, busuk kapang abu-abu (*grey mould spoilage*) yang disebabkan kapang *Botrytis cinerea* dan *Mucor*, dan busuk kapang hitam (*black mould spoilage*) yang disebabkan oleh adanya *Cladosporium*. Sebagian khamir dapat juga menyebabkan degradasi asam organik dan dapat memproduksi asetaldehid dan asam yang menimbulkan bau yang tidak diinginkan.

Pada produk sereal, mikroba yang menimbulkan kerusakan mikrobiologi pada umumnya merupakan mikroba bergenus *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, dan *Fusarium*. Sereal rentan diserang oleh beberapa jenis kapang pada saat sebelum dipanen dan pada saat penyimpanan pasca panen. Sereal yang rusak karena adanya kapang perlu diwaspadai karena dapat menimbulkan ancaman kesehatan apabila kapang tersebut dari jenis kapang toksigenik. Pada produk yang telah diolah seperti, pasta dan roti juga tidak terlepas dari bahaya kerusakan mikrobiologi. Kapang *Rhizopus stolonifer* menimbulkan bintik hitam, *Penicillium expansum* dan *Penicillium stoloniferum* menimbulkan bintik kehijauan atau cokelat, sedangkan kapang *Neurospora sitophila* menimbulkan noda orange atau kemerahan pada roti. Selain kerusakan yang disebabkan

oleh kapang, roti juga dapat rusak menjadi lunak dan berlendir disertai bau asam (*ropy*) yang disebabkan oleh aktivitas bakteri. Kapang juga tumbuh baik pada produk kacang-kacangan.

Kerusakan mikrobiologi pada produk *confectionery* seperti sirup, madu, permen, cokelat, selai, dan jeli biasanya disebabkan oleh kapang xerofilik yang dapat tampak secara fisik. Kadar gula yang tinggi pada produk kelompok ini merupakan inhibitor bagi sebagian besar mikroba perusak. Kapang seperti *Penicillium* dan *Mucor* dapat berkembang pada madu walaupun tidak tumbuh dengan baik. Khamir lebih baik tumbuh pada madu dibanding kapang. Mekanisme pertumbuhan khamir yang merusak madu diawali dengan pertumbuhan khamir pada permukaan madu. Proses higroskopis pada madu menyebabkan pengenceran pada permukaan madu dan mengencerkan konsentrasi gula sehingga khamir dapat beradaptasi pada konsentrasi gula tersebut. Setelah itu, khamir memfermentasi gula dan menghasilkan CO₂, alkohol, dan asam non-volatil yang memberikan rasa dan bau yang tidak diinginkan.

7.5 Keracunan Pangan

Mikroba patogen, khususnya bakteri patogen, kecuali jumlahnya meningkat beberapa diantaranya dapat menghasilkan toksin selama pertumbuhannya. Pangan yang membawa bakteri patogen maupun toksin, kadang-kadang tidak menunjukkan tanda kerusakan fisik (bau busuk dan perubahan tekstur kurang nyata) pada pangan sehingga pangan tetap dikonsumsi dan dapat membahayakan kesehatan.

Mikroba hampir selalu ditemukan pada organ tubuh yang berhubungan langsung dengan luar, seperti kulit, rongga mulut, jalur respirasi, jalur pencernaan dan jalur urin. Bahkan di dalam saluran pencernaan (kolon) terdapat triliunan mikroba, yang disebut sebagai *gut microbiota*, yang memiliki peran mendukung kesehatan tubuh. Mikroba secara normal tidak ditemukan pada organ tubuh lainnya, seperti darah, dan sistem limpa, maka bila ditemukan dalam jumlah yang besar merupakan indikasi suatu penyakit.

Saluran pencernaan manusia merupakan suatu sistem yang terbuka, apabila bakteri patogen yang terdapat pada pangan ikut termakan, dan dosisnya mencukupi maka bakteri patogen ini akan berkembang biak di dalam saluran pencernaan dan menyebabkan gejala penyakit atau disebut sebagai infeksi. Mikroba patogen yang mencemari pangan juga dapat menghasilkan toksin (racun), dan apabila toksin ini ikut termakan akan menyebabkan gejala penyakit yang disebut sebagai intoksikasi/keracunan. Gejala akut yang disebabkan oleh mikroba patogen adalah diare, muntah dan pusing segera setelah konsumsi makanan yang tercemar.

Penyerangan bakteri patogen, yang terbawa pangan diawali pada membran mukosa usus. Membran mukosa ini terdiri atas sejumlah lapisan sel epitel yang terkemas dengan padat serta memiliki kontak langsung dengan lingkungan luar. Membran mukosa pada umumnya dilapisi dengan pertahanan mukus (*mucus*), tersusun dari glikoprotein yang dapat melindungi sel epitel.

Pada saat bakteri kontak dengan membran mukosa, antara sel bakteri dan sel mukosa dapat terbentuk ikatan, baik ikatan lemah atau kuat. Apabila ikatan lemah maka bakteri tersebut akan segera tersapu atau hilang bersama feses. Pada bakteri atau virus patogen, penempelan antara sel patogen pada sel epitel mukosa berlangsung secara kuat karena adanya beberapa komponen spesifik yang mendukung. Penempelan ini didukung oleh komponen yang terdapat pada dinding sel bakteri, terutama polisakarida yang bersifat *sticky*. Contohnya adalah *E. coli* patogen yang memiliki kapsul polisakarida untuk menempel, namun demikian, *E. coli* serotype lainnya tidak memiliki. Kemampuan menempel bakteri pada sel epitel juga didukung oleh struktur fimbriae yang terdiri atas protein yang juga terdapat di permukaan sel. Bakteri patogen yang telah menyerang permukaan mukosa selanjutnya: (1) membebaskan toksin sehingga terjadi kerusakan mukosa (contohnya *Vibrio cholera*); dan (2) melakukan penetrasi ke sel epitel dan tumbuh pada submukosa atau jaringan tubuh yang lain (contohnya *Listeria monocytogenes*).

Pada pangan, apabila jumlah bakteri telah mencapai lebih dari satu juta (10^6 CFU/g atau mL), maka pangan tersebut pada umumnya telah memberikan perubahan kesegaran, dan apabila di antaranya terdapat mikroba patogen maka pangan menjadi berbahaya apabila dikonsumsi. Namun yang

perlu mendapat perhatian adalah, anak-anak atau orang tua yang rentan terhadap penyakit, jumlah patogen yang lebih rendah dari 10^6 CFU/g atau mL telah dapat membahayakan. **Tabel 7.3** menyajikan perbedaan yang lebih detail penyakit yang disebabkan oleh intoksikasi, toksikoinfeksi, dan infeksi. Perbedaan antara enterotoksin yang menyerang usus dan neurotoksin yang menyerang saraf disajikan pada **Tabel 7.4**.

Tabel 7.3 Penyakit bawaan pangan yang disebabkan oleh mikroba

| Intoksikasi dan Mikroba Penyebab | Toksiko-infeksi dan Mikroba Penyebab | Infeksi dan Mikroba Penyebab |
|---|--|---|
| <p>Bakteri</p> <ul style="list-style-type: none"> Menyerang usus (enterotoksin) dan saraf (neurotoksin) Toksin dihasilkan oleh patogen saat berkembang biak pada pangan Toksin yang tahan panas dan tidak tahan panas Toksin masuk ke dalam usus (bakteri tidak perlu hidup) saat pangan dikonsumsi Gejala muncul sangat singkat, 30 menit setelah konsumsi <p>Kapang</p> <ul style="list-style-type: none"> Dampak mikotoksin yang dihasilkan oleh kapang pada pangan, sifatnya akumulatif dan kronis, contohnya kerusakan liver | <ul style="list-style-type: none"> Menyerang usus (gastroenteritis) Bakteri penghasil spora, perlu dosis yang besar sebagai penyebab penyakit dan masuk ke dalam usus dan terjadi sporulasi di dalam usus dan membebaskan toksin (sel vegetatif tidak berkembang biak) Bakteri yang tidak menghasilkan spora, sel vegetatifnya setelah masuk ke usus berkembang biak, ada pula yang mati dan membebaskan toksin | <ul style="list-style-type: none"> Menyerang usus (gastroenteritis) dan organ/jaringan yang lain Bakteri patogen masuk ke dalam usus bersama dengan pangan Bakteri hidup menyerang sel epitel, memperbanyak diri dan beberapa menghasilkan toksin Dosis yang dibutuhkan untuk menyebabkan gejala penyakit bervariasi, dari jumlah 10^4 sd 10^5 sel. Gejala penyakit muncul sampai dengan 24 jam Gejala enterik (GE) – gejala infeksi pada usus, ditandai dengan sakit perut, diare (kadang berdarah), pusing, muntah, panas. Gejala non enterik (GNE) – gejala infeksi tidak terjadi pada usus, setelah patogen atau toksinnya melewati usus menyerang organ (jaringan) tubuh lain |

Tabel 7.3 Penyakit bawaan pangan yang disebabkan oleh mikroba (lanjutan)

| Intoksikasi dan Mikroba Penyebab | Toksiko-infeksi dan Mikroba Penyebab | Infeksi dan Mikroba Penyebab |
|--|---|---|
| <p>Bakteri patogen</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Staphylococcus aureus</i> • <i>Clostridium botulinum</i> <p>Kapang dan mikotoksinnnya</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>A. flavus</i> (aflatoksin) • <i>A. parasiticus</i> (aflatoksin) • <i>A. ochraceus</i> (okratoksin) • <i>Fusarium oxysporum</i> (fumonisin) • <i>Fusarium graminearum</i> (zearalenon) • <i>Penicillium expansum</i> (patulin) | <p>Bakteri patogen</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Clostridium perfringens</i> • <i>Bacillus cereus</i> • <i>Vibrio cholera</i> • <i>E. coli</i> gastroenteritis | <p>Bakteri patogen</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Vibrio parahaemolyticus</i> (GE) • <i>Vibrio vulnificus</i> (GNE) • <i>Salmonella</i> (GE) • <i>Shigella</i> (GE) • <i>Campylobacter jejuni</i> (GE) • <i>Yersinia enterocolitica</i> (GE) • <i>Listeria monocytogenes</i> (GNE) • <i>E. coli</i> EIEC (GE) • <i>E. coli</i> EHEC (GNE) <p>Virus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rotavirus • Hepatitis A (GNE) |

Sumber: Ray (1996)

Tabel 7.4 Perbedaan antara enterotoksin dan neurotoksin

| Enterotoksin | Neurotoksin |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Enterotoksin (menyerang usus) • Dihasilkan oleh <i>Staphylococcus aureus</i> (Gram positif, aerob, tidak berspora) • Bakteri ini dapat ditemukan di tangan, rambut – mudah mencemari pangan siap saji • <i>Staphylococcal intoxication</i> (gastroenteritis) • Masa inkubasi : 1–8 jam (2–4 jam) • Gejala muntah, muntah-muntah, sakit perut, diare, <i>prostration</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Neurotoksin (menyerang saraf dan terjadi kelumpuhan) • Botulisms yang disebabkan oleh botulinum (neurotoksin) dihasilkan oleh <i>Clostridium botulinum</i> (Gram positif, obligat anaerob, berspora) • Mengganggu kerja jantung dan pernafasan dan dapat menyebabkan kematian. • Tanda serangan terjadi setelah 4–48 jam setelah toksin terkonsumsi: pusing, muntah, pandangan ganda |

7.6 Pengendalian Mikroba pada Pangan

Pertumbuhan mikroba perusak dan patogen harus dikendalikan pertumbuhannya pada pangan agar tidak merugikan. Pangan dapat menjadi rusak atau bahkan menjadi tidak aman bila mikroba yang merugikan tersebut tumbuh pada pangan. Higienitas personal yang buruk dan proses pengolahan pangan yang tidak tepat merupakan penyebab utama kasus keracunan pangan akibat bahaya mikrobiologi. Oleh karena itu setidaknya terdapat tiga cara pengendalian mikroba yakni pencegahan atau minimalisasi kontaminasi, meminimalisasi pertumbuhan mikroba, dan eliminasi atau menghilangkan mikroba dari pangan.

Pencegahan kontaminasi bahaya mikrobiologis pada pangan dalam praktiknya tidak mudah karena bahan baku pangan memiliki peluang yang sangat besar untuk kontak dengan mikroba. Industri pangan menggunakan sistem *good manufacturing practices* (GMP) dan prosedur sanitasi untuk mencapai tujuan ini. Pangan harus diolah dan ditangani dengan tepat untuk mencegah kontaminasi silang baik dari bahan mentah, peralatan dan bahan baku atau pangan yang sudah rusak.

Sanitasi merupakan upaya untuk menghindari pertumbuhan mikroba. Prosedur pembersihan harus dilakukan sebelum disanitasi. Pembersihan dilakukan untuk menghilangkan debu dan kotoran lainnya yang menempel, kemudian dilakukan pencucian dengan air bersih, dan dilakukan pengecekan agar pencucian yang sudah dilakukan berjalan efektif. Setelah bahan bersih dapat diberikan sanitasi. Upaya sanitasi selain menggunakan bahan kimia sebagai sanitaiser, dapat juga dilakukan secara fisik dengan pemanasan dan iradiasi. Bahan kimia yang biasa digunakan dalam proses sanitasi peralatan pengolahan pangan ataupun lingkungan industri pangan antara lain adalah *acidified sodium chlorite* (ASC); ozon (O_3); hidrogen peroksida (H_2O_2); klorin (Cl_2), atau kombinasinya dengan Na; Ca; iodofor; quats (*quaterner ammonium compound*); dan asam. Idealnya suatu bahan sanitaiser harus dapat menghilangkan semua jenis mikroba; bakteri vegetatif, kapang, dan khamir dengan cepat. Strategi pengendalian mikroba pada pangan dapat dilakukan secara efektif dengan beberapa cara seperti aplikasi suhu tinggi, suhu rendah, pengeringan, pengasapan, pengendalian atmosfer, iradiasi, aplikasi bahan

pengawet, dan aplikasi perlakuan nonthermal. Aplikasi suhu tinggi/sterilisasi dan iradiasi merupakan cara efektif untuk mematikan mikroba, sedangkan aplikasi suhu rendah dan perlakuan lainnya merupakan cara efektif untuk menghambat pertumbuhan mikroba.

Beberapa teknik suhu tinggi yang dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan atau mengeliminasi mikroba antara lain blansir, pasteurisasi, dan sterilisasi. Blansir dapat dilakukan dengan merebus atau mengukus bahan pangan pada waktu singkat (5 menit). Blansir dapat menghambat pertumbuhan mikroba karena akan menginaktivasi enzim dan mengurangi jumlah mikroba awal. Teknik pasteurisasi juga dikenal efektif karena menggunakan pemanasan untuk mematikan mikroba perusak dan patogen nonspora. Secara umum terdapat dua jenis pasteurisasi yakni pasteurisasi pada suhu rendah dengan waktu yang lama (*low temperature long time* atau LTLT) dan pasteurisasi pada suhu yang lebih tinggi dengan waktu yang singkat (*high temperature short time* atau HTST). LTLT dilakukan pada suhu 63°C selama 30 menit sedangkan HTST dilakukan pada suhu 72°C selama 15 detik. Khusus untuk produk susu dapat juga menggunakan suhu 90°C selama 0,5 detik atau 100°C selama 0,01 detik. Pemilihan teknik pasteurisasi di industri dapat disesuaikan dengan pertimbangan efisiensi energi, waktu, ataupun biaya. Sterilisasi digunakan untuk membunuh mikroba berspora. Kebutuhan panas dan waktu bergantung dari jenis pangan, jenis media, serta jenis dan ukuran kemasan untuk menjamin bahwa semua mikroba berspora telah mati. Sterilisasi untuk susu dapat dilakukan dengan *ultra/ultra high temperatures* (UHT) pada suhu 140–150°C selama beberapa detik sehingga susu steril tersebut dapat disimpan pada suhu ruang (28–30°C) hingga dua bulan.

Penyimpanan pangan pada suhu rendah untuk menghambat pertumbuhan mikroba dapat dilakukan dengan tiga kelompok suhu yang berbeda. Proses *chilling* adalah penyimpanan dingin pada suhu lemari es 5–7°C dan 10–15°C. Teknik ini efektif untuk penyimpanan buah dan sayur. Kelompok yang kedua adalah antara 0–7°C, walaupun idealnya tidak lebih dari 4,4°C untuk penyimpanan bahan pangan yang tidak mudah rusak oleh aktivitas mikroba. Selanjutnya suhu beku (kurang dari -18°C) atau lebih rendah digunakan untuk penyimpanan daging atau bahan pangan yang rentan rusak.

Pengeringan dapat digunakan untuk menghambat perkecambahan spora dari mikroba patogen. Proses pengeringan akan menurunkan nilai a_w yang sangat dibutuhkan oleh mikroba. Teknik pengasapan umumnya digunakan dalam produk fermentasi. Proses pengasapan akan mengeringkan pangan, memasak, dan menghasilkan komponen asap yang bersifat bakteriostatik, yaitu mencegah mikroba untuk tumbuh. Proses ini lebih ditujukan untuk mengurangi jumlah mikroba daripada menghambat pertumbuhannya.

Kontrol mikroba yang dilakukan melalui pengendalian atmosfer dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu: *controlled atmosphere packaging* (CAP), *modified atmosphere packaging* (MAP), dan kemasan vakum. Teknik CAP memodifikasi atmosfer di dalam kemasan sehingga komposisi dan konsentrasi gas selalu berada pada kondisi yang akan mengendalikan pertumbuhan mikroba. Di dalam sistem MAP pangan dikemas dalam wadah tertutup, yang sebelumnya udara di dalamnya telah dihilangkan dan kemudian diisi dengan gas *inert* atau komposisi gas tertentu. Setelah itu pengemasannya dilakukan dengan kondisi kedap udara dan dengan demikian tidak perlu dilakukan monitor komposisi gas di dalam kemasan. Kemasan vakum dilakukan dengan mengeluarkan udara dari kemasan dan menutupnya secara kedap.

Iradiasi dilakukan untuk mematikan mikroba. Beberapa jenis medium yang dapat digunakan untuk mematikan mikroba antara lain spektrum elektromagnetik (yaitu radiasi ultraviolet (UV), sinar gamma dan sinar X) serta sinar katode (merupakan elektron berkecepatan tinggi). Proses iradiasi dengan sinar gamma paling banyak digunakan karena lebih ekonomis dibandingkan dengan iradiasi jenis lainnya. Proses ini akan mematikan kapang, khamir, bakteri, spora bakteri, virus, cacing, serangga, dan larva.

Pengendalian mikroba lainnya adalah dengan menggunakan bahan pengawet. Penggunaan bahan pengawet lebih dimaksudkan agar mencegah mikroba untuk tumbuh (bakteriostatik) karena bakteri tidak dapat menggandakan diri walaupun tetap hidup. Sebagai contoh penggunaan sulfat yang digunakan pada buah untuk menunda pencokelatan enzimatis bersifat bakteriostatik untuk bakteri asam laktat. Antimikroba alami secara alami telah terdapat pada pangan, sedangkan antimikroba sintetik berupa bahan kimia

hasil sintesis. Penggunaan bahan pengawet untuk menghambat mikroba perlu memperhatikan jenis dan dosis yang digunakan. Terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan dalam memilih bahan pengawet seperti sifat bahan pangan, jenis mikroba yang akan dihambat/dimatikan, serta kondisi lingkungan atau kemasan yang akan digunakan.

Dengan berkembangnya ilmu dan teknologi pangan beberapa aplikasi berteknologi tinggi telah dibuktikan efektif untuk pengendalian mikroba seperti aplikasi *high electric field pulses* (HEFP), *oscillating magnetic field pulse* (OMFP), *intense light pulse* (ILP), dan *ultrahigh hydrostatic pressure* (UHP). Teknik HEFP menggunakan medan listrik sekitar 15–25 kV/cm untuk merusak sel mikroba yang berukuran 2 sampai 20 μm . Tegangan dapat ditingkatkan untuk mengeliminasi spora bakteri dan kapang yang lebih kuat. Teknik OMFP menggunakan mekanisme getaran medan magnet dengan dosis 5–50 tesla pada frekuensi 50–500 KHz untuk mengurangi populasi mikroba hingga turun sebanyak 2 siklus log. Teknik ILP menggunakan paparan cahaya dengan intensitas yang tinggi dapat membunuh mikroba dan menginaktivasi enzim. Adapun dalam aplikasi UHP, sel mikroba akan mati secara cepat karena diberi tekanan yang sangat tinggi hingga mencapai 14.500 psi. Pada kondisi tersebut, protein mikroba didenaturisasi oleh tekanan hidrostatis yang tinggi.

7.7 Teknologi Fermentasi

7.7.1 Berbagai Jenis Produk Fermentasi

Teknologi fermentasi adalah teknologi dengan mengaplikasikan mikroba untuk menghasilkan produk baru dengan nilai tambah. Fermentasi secara luas diartikan sebagai perubahan biokimiawi akibat aktivitas mikroba. Manfaat dari perubahan yang berlangsung selama proses fermentasi yaitu meningkatkan kualitas sensori, meningkatkan keawetan, mengurangi risiko bahaya, memperbaiki gizi, memiliki fungsionaliti dan nilai kesehatan serta meningkatkan nilai ekonomi.

Pangan fermentasi telah ada sejak beradaban manusia lahir, sebagai contoh adalah *curd*/dadih (fermentasi susu), yoghurt, keju, roti tawar, bir dan anggur (*wine*) yang sudah ada sejak berabad yang lalu. Di Indonesia juga dijumpai berbagai jenis pangan fermentasi yang berbeda dari satu daerah dengan daerah yang lain (tempe, oncom, tape, growol, gatot, tempoyak, bekasam, petis, dadih, dangke). Beberapa pangan tersebut telah dikonsumsi secara nasional dan bahkan sudah di kenal pula di dunia internasional. Tempe yang dibuat dengan starter *Rhizopus oligosporus*, maupun *Rhizopus* lainnya adalah pangan tradisional Indonesia yang telah mendunia. Growol adalah rendaman singkong, sedang gatot adalah rendaman gaplek, merupakan pangan fermentasi tradisional, masing-masing dari daerah Kulonprogo dan Gunungkidul. Selama perendaman terjadi proses fermentasi oleh berbagai macam mikroba terutama bakteri asam laktat. Dadih mirip yoghurt yang dibuat dari susu kerbau, merupakan pangan fermentasi yang dikenal dari daerah Minangkabau (Sumatera Barat), sedang dangke mirip dengan keju lokal yang dibuat dari susu kerbau dan getah papaya, berasal dari Enkerang, Sulawesi Selatan.

Produk hasil teknologi fermentasi atau industri berbasis mikroba dapat dikelompokkan menjadi tiga (**Tabel 7.5**). Pertama adalah produksi biomassa untuk kultur starter (khamir dan *baker yeasts*) dan probiotik. Kedua adalah produk metabolisme, enzim maupun protein yang dihasilkan setelah proses fermentasi berlangsung, dilanjutkan dengan pengunduhan hasil, sesuai dengan masing-masing produk. Ketiga adalah fermentasi pangan yang salah satu contohnya adalah dadih (**Gambar 7.4**). **Tabel 7.6** menyajikan jenis mikroba yang digunakan di dalam teknologi fermentasi pangan, yang dikelompokkan sebagai bakteri, khamir dan kapang.

Metabolisme yang berlangsung selama proses fermentasi, sangat bergantung dari jenis mikroba serta bahan dasar yang digunakan (**Tabel 7.7**). Bahan berkarbohidrat (contohnya padi-padian, termasuk *barley*, beras) disakarifikasi menjadi gula sederhana, yang berlanjut pada produk etanol atau berbagai jenis asam. Produk yang dihasilkan contohnya adalah bir. Pada proses pembuatan nata, glukosa justru disintesa menjadi selulosa secara enzimatis oleh enzim yang dihasilkan oleh bakteri asam asetat (*Acetobacter*

aceti atau *A. xylinum*). Contoh fermentasi bahan berprotein adalah fermentasi kedelai menjadi tempe, sedangkan contoh fermentasi bahan berlemak adalah fermentasi daging menjadi sosis.

Tabel 7.5 Produk fermentasi

| Biomassa | Metabolit/Enzim / Protein | Jenis Pangan Fermentasi |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Kultur starter yoghurt • Kultur starter BAL • <i>Baker yeasts</i> • Probiotik, pada umumnya <i>Lactobacillus</i>, <i>Bifidobacterium</i> • Kapang tempe • Ragi tape (kapang, khamir, bakteri) | <ul style="list-style-type: none"> • Amino amino (asam glutamat, lisin), peptida • Asam organik (vinegar, asam laktat, asam sitrat, asam propionat, dll) • Etanol • Enzim (amilase, protease) • Bakteriosin (nisin) – polipeptida sebagai biopreservatif | <ul style="list-style-type: none"> • Yoghurt, kefir, keju • <i>Sauerkraut</i>, pikel, <i>kimchi</i>, asinan • Produk fermentasi ikan dan daging (petis, bekasam, dll) • Bir, <i>wine</i> (anggur), sake, tape • Tempe, natto, miso, tauco, kecap • Angkak (beras merah) |

Tabel 7.6 Jenis mikroba yang berperan dalam fermentasi pangan

| Bakteri | Khamir | Kapang |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • <i>Lactobacillus bulgaricus</i> • <i>L. cremoris</i> • <i>L. plantarum</i> • <i>P. acidilactici</i>, • <i>P. pentosus</i> • <i>S. thermophilus</i> • <i>Bacillus subtilis</i> (<i>B. natto</i>) • <i>Acetobacter aceti</i> • <i>A. xylinum</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Saccharomyces cerevisiae</i> • <i>S. uvarum</i> • <i>S. pastorianus</i> • <i>Kleuveromyces marxianus</i> • <i>K. imarxianus var. lactis</i> | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Rhizopus oligosporus</i>, • <i>R. oryze</i> • <i>Amylomyces rouxii</i> • <i>Neurospora sitophila</i> • <i>Monascus purpureus</i> • <i>Aspergillus oryzae</i> • <i>A. sojae</i> • <i>Penicillium roquefortii</i> • <i>P. camembertii</i> • <i>P. nalgiovence</i> |



Gambar 7.4 Contoh produk fermentasi tradisional dadih (Surono 2015)

Tabel 7.7 Produk metabolisme oleh mikroba pada pangan

| Karbohidrat | Protein | Lemak |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Dekstrin • Oligosakarida • Gula sederhana • Asam organik (asam laktat, asam asetat, asam propionat, asam sitrat, asam butirat) • Etanol, CO₂ • Sintesa dekstran (selulosa) – Nata de coco | <ul style="list-style-type: none"> • Polipeptida • Peptida • Asam amino • Skatol, indol, <i>putrescine</i>, <i>cadaverine</i>, histamin, tiramin, merkaptan, sulfida, NH₃, H₂S, dll | <ul style="list-style-type: none"> • Tri-, di-, monogliserida • Asam lemak • Asetil-CoA • Aldehida |

Pangan fermentasi yang telah dikonsumsi berabad lamanya termasuk aman, karena secara alami sudah teruji, demikian pula mikroba yang digunakan, juga sering diklasifikasikan sebagai *Generally Recognized as Safe* (GRAS). Proses fermentasi tradisional ini berlangsung secara spontan, mikroba yang aktif berasal atau terbawa oleh bahan dasar maupun dari lingkungan sekitar. Mengikuti perkembangan teknologi fermentasi, kini telah dilakukan variasi jenis bahan dasar maupun mikroba yang digunakan, demikian pula kondisi dan tempat (kemasan) fermentasi. Bahkan pangan fermentasi juga ditingkatkan potensinya sebagai pangan fungsional. Contoh

pangan fermentasi yang berpotensi sebagai pangan fungsional adalah susu fermentasi probiotik, produk fermentasi dengan biopeptida penurun tekanan darah tinggi, produk fermentasi tinggi asam folat, dan tinggi γ -*aminobutyric acid* (GABA), dan lain-lain.

7.7.2 Kultur Starter

Keberhasilan proses fermentasi pangan bergantung dari keberadaan, pertumbuhan serta metabolisme dari mikroba. Mikroba merombak bahan dasar menjadi produk fermentasi dengan karakter yang spesifik. Pada mulanya, proses fermentasi berlangsung secara spontan yaitu dengan mengandalkan mikroba yang telah berada pada bahan dasar maupun lingkungan disekitarnya. Pada fermentasi alami (*natural fermentation*) diperlukan keberadaan mikroba yang aktif berperan serta kondisi fermentasi yang sesuai. Namun demikian, proses fermentasi alami yang saat ini masih banyak berlangsung memiliki risiko gagal, sehingga tidak dapat dihasilkan produk yang sesuai atau produk tidak seragam. Seiring dengan kemajuan teknologi, fermentasi secara spontan telah mulai diperbaiki dengan penggunaan cara-cara yang modern, di antaranya dengan penambahan kultur starter.

Secara sederhana, kultur starter diartikan sebagai mikroba yang diinokulasikan secara langsung pada media fermentasi untuk mendominasi mikroba dan memulai proses fermentasi, sehingga dihasilkan produk yang dikehendaki. Manfaat dari penggunaan kultur starter adalah memberi keyakinan bahwa di dalam proses fermentasi yang terkendali akan dihasilkan produk dengan kualitas yang konsisten stabil. Industri pangan fermentasi yang besar sangat mengandalkan kultur starter untuk keberhasilan proses produksinya. Industri besar yang mengawali adopsi penggunaan kultur starter adalah *brewing*, *baking* dan *dairy products*, yaitu fermentasi menggunakan khamir dan bakteri asam laktat. Meskipun demikian, masih ada beberapa industri yang masih mengandalkan fermentasi alami, contohnya *sauerkraut* dan *pickles*.

Proses fermentasi pangan berlangsung secara spontan karena sejak awal sudah ada kecocokan antara bahan dan mikroba yang tumbuh serta kondisi lingkungan. Baru pada akhir abad 19, mulai para peneliti melakukan isolasi

mikroba, sehingga diperoleh berbagai isolat murni yang penting untuk fermentasi pangan. Isolat murni khamir pertama kali dipelajari oleh Emil Ch. Hansen dari perusahaan bir Calsberg di Copenhagen, Denmark pada tahun 1883, yaitu *Saccharomyces carlbergensis*. Isolat yang selanjutnya disebut sebagai *S. patorianus* dikembangkan sebagai kultur starter untuk bir. Di lain pihak *baker yeast* untuk pengembang roti juga telah dikembangkan di Amerika, di sekitar tahun 1860.

Studi kultur bakteri yang terdapat pada yoghurt awalnya dilakukan oleh Grigoroff (1905), Luerssen dan Khun (1908), Metchnikoff 1910. Bahkan Metchnikoff (1910) juga menyampaikan suatu teori bahwa kultur yoghurt yang kini disebut dengan *Lactobacillus bulgaricus* dapat menghambat pertumbuhan bakteri jahat di dalam intestin. Hal inilah yang menjadi dasar produk probiotik yang saat ini berkembang dengan cepat. Berdasarkan klasifikasi bakteri asam laktat yang dilakukan oleh Orlla Jensen (Wood dan Holzappel 1995), starter yoghurt termasuk jenis bakteri asam laktat termofilik yang dapat tumbuh pada suhu 40–45°C, yaitu *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus*.

Keterlibatan kapang pada fermentasi alami seperti dalam proses pembuatan keju *Roquefort*, yaitu keju dari susu kambing berkapang. Asalnya keju ini milik penggembala yang tertinggal di gua, yang ternyata rasanya lebih enak setelah berkapang. Kondisi di dalam gua tersebut merupakan kondisi yang optimum untuk fermentasi kapang pada keju. Pada awal abad 20, dilakukan isolasi kapang berwarna biru ini dan diidentifikasi sebagai *Penicillium roqueforti*. Kapang ini selanjutnya digunakan sebagai kultur starter untuk pembuatan *blue cheese*. Starter yang pertama kali diperkenalkan di Jepang adalah Tane Koji, dibuat dari *Aspergillus oryzae* dan *A. sojae* untuk pembuatan kecap.

Di Indonesia telah dikembangkan inokulum tempe, berupa *Rhizopus oligosporus* untuk fermentasi tempe. Mikroba ini diseleksi dari proses fermentasi dan pemilihan mikroba untuk kultur starter proses fermentasi pangan harus memenuhi persyaratan. Syaratnya antara lain adalah tidak patogen, tidak menghasilkan mikotoksin dan antibiotik (untuk kapang). Contoh kapang

penghasil mikotoksin adalah *Aspergillus flavus* menghasilkan aflatoksin dan beberapa *Penicillium* menghasilkan antibiotik. Antibiotik dapat menyebabkan tubuh resisten terhadap antibiotik tersebut.

Aspergillus flavus dan *A. parasiticus* yang dikenal sebagai penghasil aflatoksin, ternyata secara taksonomi sangat mirip dengan *A. oryzae* dan *A. sojae* yang penting untuk fermentasi pangan. Kini diketahui bahwa kemampuan menghasilkan aflatoksin pada *A. oryzae* dan *A. sojae* telah hilang karena terus menerus digunakan untuk fermentasi kedelai, di dalam proses pembuatan kecap. Fermentasi terkendali menyebabkan kedua kapang ini kehilangan kemampuannya untuk menghasilkan mikotoksin. Hal ini menunjukkan isolasi mikroba untuk kultur starter sebaiknya diambil dari pangan fermentasi.

Kini starter tersedia dalam bentuk bubuk secara komersial. Beberapa perusahaan penghasil kultur starter contohnya adalah Chris Hansen, Lalleman, Danisco – Dupont. Di Indonesia juga tersedia kultur starter untuk pembuatan tempe dan tape. Pusat Studi Pangan Gizi UGM juga menyediakan kultur starter yoghurt dalam bentuk bubuk yang dibuat menggunakan media halal, untuk memenuhi kebutuhan penelitian maupun industri kecil penghasil yoghurt. Mikroba yang terdapat pada **Tabel 7.6** pada umumnya tersedia dalam bentuk kultur starter.

7.7.3 Fermentasi Berbasis Bakteri

Bakteri yang banyak digunakan untuk fermentasi pangan adalah bakteri asam laktat dengan karakteristik bakteri Gram positif, katalase negatif, heterotrof dan metabolisme gula dilakukan melalui homofermentatif atau heterofermentatif. Bakteri asam laktat tumbuh pada interval suhu yang cukup luas, mulai dari mesofilik sampai termofilik dengan suhu optimum masing-masing 30 dan 42°C. Bakteri ini banyak terlibat pada fermentasi pangan termasuk yang masih berlangsung secara spontan, contohnya adalah pada fermentasi *sauerkraut* dari kol, pickel dari mentimun, serta *kimchi* dari kol dan cabe merah. Cara pembuatannya juga sederhana, yaitu dengan penambahan garam sekitar 2–7%, bergantung dari jenis bahan dasar serta produk yang dihasilkan. Garam kecuali berfungsi sebagai media selektif mikroba juga akan menarik cairan yang terdapat pada sayuran, dan cairan ini

segera digunakan sebagai substrat bakteri asam laktat yang ada. Bakteri asam laktat menjadi dominan dalam fermentasi karena kecepatan mengonversi gula untuk membentuk asam laktat, dan menurunkan pH sehingga menghambat pertumbuhan sebagian besar mikroba lain. Selain membentuk asam laktat, bakteri penghasil asam juga berperan pada pembentukan *flavor*, tekstur dan nilai nutrisi pangan fermentasi. Di Indonesia, terdapat pula fermentasi tradisional yang mirip pembuatannya, yaitu tempoyak dari buah durian.

Fermentasi bakteri asam laktat lainnya adalah yoghurt, yang dibuat dari susu yang difermentasi menggunakan dua kombinasi bakteri asam laktat, *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Pada suhu fermentasi sekitar 42°C, kedua bakteri tersebut akan tumbuh bersinergi menghasilkan asam sehingga menurunkan pH sampai sekitar 4,7–4,5, sehingga terbentuk massa yang semi padat. Fermentasi berlangsung sekitar 6–8 jam, selanjutnya yoghurt disimpan dingin untuk menurunkan aktivitas metabolisme bakteri yang ada.

Natto merupakan produk fermentasi asli Jepang dengan bahan dasar kedelai oleh *Bacillus subtilis* atau *B. natto*. Cara pembuatannya adalah kedelai setelah direndam, dimasak dan selanjutnya difermentasi dengan *B. subtilis* atau *B. natto* selama satu hari. Pertumbuhan bakteri ini akan menghasilkan massa kedelai masak yang berlendir dengan bau yang khas. Setelah fermentasi selesai, natto disimpan dingin. Natto dapat langsung dimakan tanpa pengolahan lebih lanjut.

Nata de coco merupakan makanan hasil fermentasi dari Filipina yang dibuat dari air kelapa dengan *Acetobacter aceti* dan *A. xylinum* yang merupakan bakteri Gram negatif berbentuk bulat atau batang pendek, dan mampu mengoksidasi gula atau etanol menjadi asam asetat selama fermentasi. Sifat yang spesifik dari bakteri ini adalah kemampuannya membentuk massa selulosa dari glukosa secara ekstraselular. Komponen selulosa ini akan membentuk jalinan mikrofibril yang panjang dalam cairan fermentasi. Gelembung gas CO₂ yang dihasilkan selama fermentasi mempunyai kecenderungan melekat pada jaringan selulosa, sehingga menyebabkan jaringan (pelikel) terangkat ke permukaan cairan. Fermentasi nata biasanya berlangsung sekitar 15 hari.

7.7.4 Fermentasi Berbasis Khamir

Khamir merupakan fungi uniseluler, berkembang biak dengan cara membelah diri, pembentukan tunas, dan beberapa khamir juga mampu menghasilkan askospora. Khamir pada umumnya hanya mampu menggunakan gula sederhana, paling besar adalah triosa, yang selanjutnya dimetabolisme menjadi CO_2 dan H_2O pada kondisi aerob. Kondisi ini penting untuk propagasi/perbanyak sel, contohnya pada proses pembuatan adonan (dalam pembuatan roti), karena CO_2 yang dihasilkan penting dalam pengembangan adonan. Pada kondisi anaerob, khamir mengubah glukosa menjadi etanol dan gas CO_2 . Produk etanol ini penting di dalam proses fermentasi minuman beralkohol, seperti bir, sake, *wine*, maupun untuk bioetanol.

Teknologi proses pembuatan bir merupakan teknologi yang menarik karena melibatkan proses enzimatik maupun fermentasi khamir. Bir diartikan sebagai minuman beralkohol yang dihasilkan dari fermentasi alkohol pada kecambah biji *barley (malt)* dengan penambahan hop. Kadar alkohol yang terdapat pada bir berkisar antara 3–10% bergantung dari jenisnya. *Malt* adalah biji *barley* yang dikecambahkan, memiliki enzim hidrolisis (karbolitik dan proteolitik) yang berperan penting pada proses hidrolisis di tahapan pemasakan (*mashing*) saat pembuatan bir. Proses pemasakan utamanya digunakan untuk mendapatkan ekstrak sebanyak-banyaknya melalui proses enzimatik yang terdapat pada *malt*. Hidrolisis yang paling diutamakan adalah dari pati menjadi gula sederhana, yang selanjutnya gula sederhana ini digunakan sebagai substrat untuk proses fermentasi menggunakan khamir. Khamir akan merombak glukosa menjadi etanol sebagai hasil metabolisme utama dan gas CO_2 .

Terdapat dua tipe khamir yang sering dipakai di dalam proses pembuatan bir. Pertama, *bottom-fermenting yeast*, yaitu khamir yang setelah fermentasi cenderung mengendap ke bawah, yaitu *Sacharomyces uvarum* (*S. carlbergensis*). Tipe fermentasinya disebut sebagai *bottom fermentation*. Kedua, adalah *top-fermenting yeast*, yaitu khamir yang setelah fermentasi berakhir cenderung mengumpul di permukaan cairan fermentasi, yaitu *Saccharomyces cerevisiae*. Tipe fermentasinya disebut *top fermentation*. Pada

akhir fermentasi, dilakukan pemisahan, antara cairan fermentasi dengan biomassa khamir. Proses selanjutnya adalah pemeraman, sesuai dengan tipe bir, diakhiri dengan pembotolan atau pengalengan

Sake adalah minuman fermentasi alkohol asli dari Jepang, yang dibuat dari bahan dasar beras. Proses sakarifikasi yang berlangsung pada pembuatan sake adalah dengan penambahan kapang *Aspergillus oryzae* atau *A. sojae* yang memiliki aktivitas hidrolitik tinggi. Setelah proses hidrolisis pati menjadi gula selesai baru dilanjutkan fermentasi dengan khamir *Saccharomyces cerevisiae*. Proses ini mirip dengan pembuatan tape. Namun dalam pembuatan tape digunakan ragi yang di dalamnya terdapat campuran kapang amilolitik, khamir fermentatif, dan bakteri asam laktat. Hal ini menyebabkan tape berasa manis, asam dan sekaligus alkoholik. Ragi tape merupakan konsorsium berbagai jenis mikroba tersebut.

Wine (anggur) dihasilkan dari fermentasi cairan buah anggur. Proses pembuatannya diawali dengan penghancuran buah dan pengepresan untuk mendapatkan cairan dan proses sulfitasi untuk menekan pertumbuhan mikroba yang tidak dikehendaki selama fermentasi anggur. Proses fermentasi dapat berlangsung secara spontan dilakukan oleh khamir yang terdapat pada cairan buah, walaupun saat ini sudah jarang dilakukan. Bahkan sebelum fermentasi berlangsung, cairan buah terlebih dahulu dilakukan proses pasteurisasi, agar proses fermentasi lebih terkendali. Selanjutnya dilakukan penambahan kultur starter, biasanya *Saccharomyces cerevisiae*, atau *Saccharomyces ellipsoides*. Pembuatan *wine* secara tradisional juga sering terkontaminasi dengan bakteri asam laktat yang justru menguntungkan, karena bakteri ini mampu mengubah substrat menjadi asam laktat, disebut sebagai *malolactic fermentation*. Setelah fermentasi selesai, cairan fermentasi dipisahkan dengan biomassa khamir, dan dilanjutkan dengan pemeraman. Pemeraman *wine* merupakan ciri khas dari produk ini, semakin lama disimpan dalam dalam tong kayu, akan terbentuk *flavor* yang semakin disukai. Selama pemeraman terjadi proses kimiawi yang berlangsung lebih lama, khususnya esterifikasi untuk menghasilkan *flavor*.

Khamir juga memiliki peranan penting di dalam proses pembuatan roti, yaitu saat pembuatan adonan roti. Adonan roti yang mengembang dan membentuk struktur yang kokoh setelah di oven merupakan peran dari gluten

yang berasal dari terigu serta gas CO₂ yang berasal dari pertumbuhan khamir. Adonan roti merupakan campuran bahan pokok yaitu terigu, air, dan ditambah kultur khamir. Adonan ini diremas remas dan ditarik, agar memberikan massa yang liat dan lembut. Setelah menjadi lembut dan liat, adonan dibiarkan beberapa saat untuk memberi kesempatan khamir melakukan fermentasi dengan merombak gula menjadi gas CO₂ dan H₂O untuk mendapatkan energinya. Gas CO₂ yang dihasilkan selama pertumbuhan khamir ditangkap oleh protein gluten pada adonan yang berasal dari terigu. Setelah proses pengembangan (fermentasi) selesai, selanjutnya adonan dimasukkan oven, dan setelah dipanaskan dihasilkan roti yang mengembang dengan stuktur yang kuat.

7.7.5 Fermentasi Kapang

Kapang masuk ke dalam *Kingdom Fungi* bersama-sama dengan khamir dan jamur (*mold, yeast and mushroom*). Kapang membentuk filamen multiseluler yang disebut hifa selama pertumbuhan, sehingga disebut juga kapang berfilamen. Kapang tumbuh secara aerob dan memperoleh energinya dari proses oksidasi substrat organik. Kemampuan kapang untuk menggunakan berbagai substrat yang sangat besar variasinya disebabkan kemampuannya menghasilkan berbagai jenis enzim. Hal ini merupakan dasar kapang dapat tumbuh di berbagai komoditas pangan, sehingga berakibat pada kerusakan pangan dan bahaya karena sifat toksigenisitasnya. Di lain pihak kapang juga berperan dalam pangan fermentasi.

Pangan fermentasi yang dihasilkan dari penggunaan kapang diantaranya adalah kecap, tempe, oncom, miso, tauco, dan keju. Penggunaan kapang sebagai starter fermentasi pangan tidak terlepas dari enzim yang dimilikinya seperti amilase, protease, selulase, transaminase yang penting dalam pembentukan *flavor* pada pangan.

Berikut ini beberapa produk fermentasi oleh kapang sebagai kultur utama atau bersinergi dengan mikroba lain. Tempe adalah pangan fermentasi yang dibuat dari kedelai. Prosesnya diawali dengan perendaman kedelai agar terjadi fermentasi asam laktat oleh berbagai bakteri asam laktat secara spontan. Kondisi pH rendah pada kedelai menguntungkan untuk proses

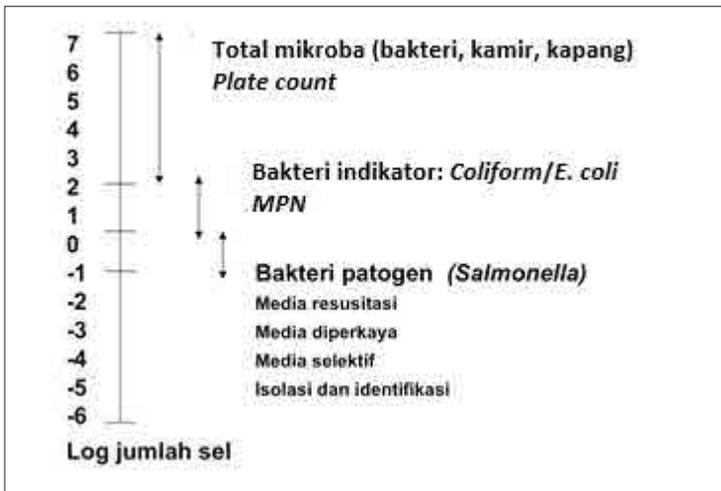
fermentasi yang dilakukan oleh *Rhizopus oligosporus* atau *Rhizopus* yang lain, yaitu *R. oryzae*, *R. stolonifer*, *R. arrhizus*. Selama pertumbuhannya, *Rhizopus* akan menghasilkan aerial miselia berwarna putih yang lebat, sehingga dapat mengikat kedelai satu sama lain, menghasilkan massa yang kompak. Spora hitam yang muncul, menyebabkan warna miselia yang putih bercampur dengan warna hitam.

Oncom dibuat dari fermentasi ampas kacang tanah oleh *Neurospora sitophila* menghasilkan produk dengan warna merah jingga. Angkak atau beras merah dibuat dari fermentasi nasi oleh *Monascus purpureus*. Keju berkapang dihasilkan oleh *Penicillium camemberti* dan *Penicillium roqueforti* (*blue cheese*). Kecap merupakan hasil fermentasi kedelai oleh kapang (koji), yang dilanjutkan dengan fermentasi dalam larutan garam, saat khamir dan bakteri asam laktat aktif melakukan metabolismenya. Fermentasi sosis kering dilakukan oleh campuran kapang (*Penicillium nalgiovense*) dan bakteri asam laktat (di antaranya *Lactobacillus plantarum* dan *Pediococcus*).

7.8 Analisis Mikroba pada Pangan

Analisis mikrobiologi ditujukan untuk menentukan kualitas mikrobiologis pangan, evaluasi proses sanitasi, penanganan bahan dasar dan proses pengolahan, menentukan jenis dan sumber kontaminan, serta menentukan umur simpan. Analisis mikrobiologi pangan dapat dilakukan secara kuantitatif maupun kualitatif. Enumerasi mikroba secara kuantitatif dilakukan dengan metode kultur, yaitu metode yang ditujukan untuk menumbuhkan mikroba yang mengontaminasi bahan pangan pada media yang tepat sehingga diperoleh koloni bakteri maupun khamir, ataupun kapang dengan konidia atau spora yang spesifik. Pada analisis kualitatif, dapat dilakukan dengan metode kultur maupun non kultur. Pada umumnya, analisis kuantitatif dengan metode kultur dilakukan dengan kultivasi pada cawan petri setelah pengenceran (*dilution and plating*). Cara menyajikan data adalah dengan menghitung koloni yang tumbuh, data disajikan sebagai jumlah unit pembentuk koloni (*colony forming unit* atau CFU/g atau mL).

Gambar 7.5 menjelaskan penerapan metode kultur di dalam analisis mikrobiologi yang didasarkan pada jumlah mikroba yang terdapat pada bahan pangan. Apabila diperkirakan jumlah mikroba yang terdapat dalam bahan pangan $> 10^3$ sel maka metode *plate count* dapat diterapkan dengan parameter hasil adalah CFU/g atau mL. Namun apabila jumlah selnya diantara 10^{-1} – 10^3 sel maka metode yang dipakai adalah *most probable number* (MPN) dengan parameter hasil MPN per gram atau mL. Kedua metode kultur di atas termasuk analisis mikrobiologi secara kuantitatif. Metode kultur dapat juga dilakukan untuk analisis kualitatif, yaitu mendeteksi keberadaan patogen. Contohnya adalah mendeteksi *Salmonella* pada bahan pangan yang jumlahnya sangat rendah, apalagi setelah proses pengolahan atau proses pengawetan. Hasil uji dinyatakan sebagai positif atau negatif, dengan sebelumnya dilakukan pertumbuhan dengan pengkayaan media.



Gambar 7.5 Metode kultur pada analisis mikrobiologi

Metode MPN adalah suatu metode untuk estimasi jumlah bakteri pada sampel yang didasarkan pada teknik statistik. Prinsip pengerjaannya adalah disiapkan tiga atau lima seri pengenceran kelipatan 10. Tiga seri misalnya, tanpa pengenceran, pengenceran 10 kali, dan pengenceran 100 kali dari sampel yang akan diuji. Sebanyak 1 mL dari masing-masing pengenceran diinokulasikan ke dalam tabung berisi media cair dari setiap seri tabung. Jumlah tabung yang

positif yang ditunjukkan dengan munculnya pertumbuhan dikonfirmasi dengan Tabel MPN untuk menentukan perkiraan jumlah bakteri setiap unit sampel (MPN/sampel). Metode MPN sering digunakan untuk uji *coliform* dalam penentuan kualitas air.

Khusus untuk kontaminasi kapang, analisis dapat dilakukan dengan cara *direct plating* yang dilakukan pada sereal atau kacang-kacangan. Hasilnya disajikan sebagai persentase biji-bijian terkontaminasi. Keuntungan dari analisis kapang dengan *direct plating* adalah berbagai jenis kontaminan dapat teramati walaupun jumlahnya rendah. Hal ini dapat digunakan untuk menganalisis lebih lanjut sumber kontaminan kapang tersebut beserta cara penanganannya.

Analisis mikrobiologi secara kualitatif dapat dilakukan dengan berbasis molekuler, misalnya untuk deteksi mikroba patogen dengan metode *polymerase chain reaction* (PCR), ataupun dapat pula dilakukan deteksi toksin yang dihasilkan oleh mikroba patogen dengan metode *enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA). Setelah PCR ditemukan di tahun 1980, analisis mikrobiologi berbasis molekuler juga mulai dikembangkan. Keuntungan dari analisis berbasis molekuler ini adalah: (1) cepat, biasanya selesai dalam waktu sehari, (2) memiliki spesifitas yang tinggi karena didasarkan pada sifat genetik, (3) sensitif yaitu dapat mendeteksi satu sel yang ada dalam 25 g sampel, dan (4) mudah dilakukan. Meskipun banyak keuntungannya, namun tentu saja mahal. Prinsip dari PCR adalah kemampuan untuk mengamplifikasi deretan gen yang spesifik yang dimiliki oleh mikroba tertentu didasarkan pada primer yang digunakan. Analisis ini diawali dengan pengkayaan selama semalam, dilanjutkan dengan ekstraksi *deoxyribonucleic acid* (DNA). Molekul DNA yang diperoleh diamplifikasi dengan primer, dengan mengikuti tahapan denaturasi, *annealing*, dan elongasi, selama 30 kali.

Pada analisis mikroba patogen menggunakan PCR, amplifikasi dan deteksi langsung dijadikan satu. Hal ini dapat dilakukan menggunakan *probe* berlabel *fluorescence*, sehingga hasil amplifikasi langsung dapat dimonitor sampai mencapai level tertentu dan dapat ditentukan hasil positif atau negatif. Analisis dinyatakan positif apabila terdapat amplikon sebagai hasil amplifikasi DNA. Apabila tidak terdapat amplikon, maka analisis dinyatakan negatif.

PCR yang spesifik untuk deteksi patogen ini disebut sebagai *thermocycler/fluorescence detection*. Metode ini dapat digunakan dalam waktu 20–30 jam, dengan sensitivitas 1 sel per 25 g sampel. Sistem PCR ini telah dikomersialkan oleh beberapa perusahaan dan primer untuk beberapa mikroba patogen juga telah tersedia, di antaranya untuk *E. coli* O157:H7, *Salmonella*, *Listeria*, dan *Campylobacter*. Pedoman untuk analisis mikrobiologi dapat diperoleh dari *Bacteriological Analytical Method* (BAM), AOAC, SNI sesuai dengan *update* terakhir.

7.9 Ringkasan

1. Mikrobiologi pangan merupakan ilmu yang mempelajari mikroba yang tumbuh pada pangan dan berdasarkan jenisnya mikroba pada pangan digolongkan menjadi bakteri, kapang, khamir, dan virus.
2. Pertumbuhan mikroba pada pangan dipengaruhi oleh faktor intrinsik yang berupa nutrisi, pH, potensial redoks, aktivitas air, komponen antimikroba, dan struktur biologis; faktor ekstrinsik yang berupa suhu, kelembapan, dan gas di lingkungan; serta faktor implisit yaitu kondisi mikroba.
3. Mikroba perusak pangan adalah mikroba yang mempunyai kemampuan untuk mendegradasi komponen zat gizi pada pangan yang menyebabkan pangan rusak. Mikroba patogen adalah mikroba yang dapat menimbulkan bahaya kesehatan apabila dikonsumsi manusia. Mikroba yang bermanfaat adalah mikroba yang pertumbuhannya atau hasil metabolisemenya memberi keuntungan bagi manusia.
4. Proses fermentasi pada pangan adalah perubahan berbagai komponen pangan oleh aktivitas mikroba, sehingga dihasilkan produk fermentasi yang disukai karena *flavor*, tekstur, dan daya awetnya. Kultur starter merupakan biomassa hidup, sehat, dalam jumlah yang cukup, untuk digunakan memulai proses fermentasi agar proses berlangsung dengan baik.
5. Keracunan pangan dapat terjadi secara infeksi, intoksikasi dan toksikoinfeksi.

6. Pengendalian mikroba perusak dapat dilakukan dengan tiga cara yakni pencegahan kontaminasi, pelambatan pertumbuhan mikroba, dan eliminasi bahaya.
7. Metode analisis mikroba pada pangan dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif dan dengan metode kultur atau non-kultur. Diantara metode kultur adalah *plate count*, MPN, dan metode pengkayaan khusus untuk patogen. Metode non kultur yang saat ini banyak digunakan untuk deteksi patogen adalah metode berbasis molekuler yaitu dengan *thermocycler/fluorescence detection* menggunakan primer spesifik.

7.10 Pustaka

- Adams MR, Moss MO. 2008. *Food Microbiology Chapter 3: Factors Affecting the Growth and Survival of Microorganisms in Foods*. Guildford: RSC Publishing.
- Alam A, Shaheen S, Ashfaq M, All M, Watto JI, Anjum MA, Sajjad M. 2019. Microbial examination of mould and yeast in fruit juices. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 56(3): 715–721.
- Hutkins RW. 2006. *Microbiology and Technology of Fermented Food*. Blackwell Publishing.
- Madigan MT, Martinko JM, Stahl DA, Clark DP. 2012. *Brock Biology of Microorganisms* (13th ed.). San Francisco: Benjamin Cummings.
- Murano PS. 2003. *Understanding Food Science and Technology. Chapter 10: Food Microbiology and Fermentation*. Belmont: Wadsworth/Thomson Learning.
- Rahayu WP, Nurwitri CC, 2012. *Mikrobiologi Pangan*. Bogor: IPB Press.
- Rahayu ES, Sardjono, Samson RA. 2013. *Jamur Benang (Mold) pada Bahan Pangan*. Penerbit Kanisius.
- Ray B. 1996. *Fundamental Food Microbiology*. CRC Press. Inc.

- Roberts TA, Cordier JL, Gram L, Tompkin RB, Pitt JI, Gorris LGM, Swanson, KM J. (Editor). 2005. *Microorganisms in Foods 6: Microbial Ecology of Food Commodities*. New York: Kluwer Academic & Plenum Publishers.
- Surono IS. 2015. Indonesian Dadih in Punia A.K. (editor). *Fermented Milk and Dairy Products*. Vol. 6. CRC Press.
- Wood BJB, Holzapel WH. 1995. *The Genera of Lactic Acid Bacteria*. London: Blackie Academic and Professional.

Latihan

Petunjuk: Untuk memahami materi pada Bab 7 ini, kerjakan soal berikut. Pilih satu jawaban yang benar.

- Berikut yang tidak termasuk ke dalam kelompok mikroba adalah:
 - Kapang
 - Khamir
 - Spirillum*
 - Virus
- Berikut di bawah ini merupakan jenis bakteri perusak, kecuali:
 - E. coli* H7:O107
 - Aspergillus*
 - Pseudomonas*
 - Erwinia*
- Pertumbuhan mikroba dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu faktor intrinsik, ekstrinsik dan implisit. Yang termasuk faktor implisit adalah:
 - Gas di lingkungan
 - Struktur biologis
 - pH
 - Sensitivitas sel

4. Berikut ini adalah bakteri penyebab infeksi :
 - a. *Staphylococcus aureus*
 - b. *Clostridium botulinum*
 - c. *Bacillus cereus*
 - d. *Salmonella* Typhi
5. Penguraian pektin pada buah yang dapat menyebabkan kebusukan terjadi akibat mikroba memiliki enzim:
 - a. Pektin esterase
 - b. Pektinase
 - c. Selulase
 - d. Jawaban A dan B benar
6. Berikut ini adalah kapang yang digunakan untuk membuat *blue cheese* :
 - a. *Penicillium chrysogenum*
 - b. *Penicillium nalgioence*
 - c. *Penicillium roqueforti*
 - d. *Penicillium notatum*
7. Kerusakan pada daging sering terindikasi dengan terbentuknya lendir, mikroba yang dapat menyebabkan hal ini, kecuali:
 - a. *Pseudomonas*
 - b. *Streptococcus*
 - c. *Geotrichum*
 - d. *Achromobacter*
8. *Danger zone* merupakan rentang suhu mikroba dapat tumbuh dan berkembang dengan baik, yang berada pada:
 - a. 20–35°C
 - b. 40–140°C
 - c. 4,4–60°C
 - d. 4–40°C

9. Berikut ini adalah contoh analisis mikrobiologi dengan penggunaan tiga seri pengenceran pada media cair
 - a. MPN
 - b. *Dilution and plating*
 - c. PCR
 - d. *Plate count*
10. Pada umumnya khamir hanya mampu merombak gula sederhana, sehingga saat bahan dasar yang digunakan adalah bahan kompleks perlu dilakukan proses berikut ini:
 - a. Lipolisis
 - b. Sakarolisis
 - c. Proteolisis
 - d. Glukolisis

Tugas Mandiri (*Challenge Questions*)

1. Jelaskan mekanisme pelunakan pada kerusakan produk nabati!
2. Jelaskan alternatif teknik pengendalian mikroba yang tepat untuk produk susu!
3. Jelaskan perbedaan infeksi, intoksikasi, dan toksikoinfeksi yang disebabkan oleh bakteri patogen via pangan!
4. Jelaskan keuntungan beberapa proses fermentasi, misalnya *sauerkraut*, *pickle*, *kimchi*, apabila tetap mengandalkan kultur alami!
5. Jelaskan prinsip metode kultur dan non kultur yang diterapkan pada analisis mikrobiologi!

Bab

8

Keamanan Pangan

Ratih Dewanti-Hariyadi dan Hanifah Nuryani Lioe

8.1 Pendahuluan

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 tahun 2012 tentang Pangan mendefinisikan keamanan pangan sebagai kondisi dan upaya yang diperlukan untuk mencegah pangan dari kemungkinan cemaran biologis, kimia, dan benda lain yang dapat mengganggu, merugikan, dan membahayakan kesehatan manusia serta tidak bertentangan dengan agama, keyakinan, dan budaya masyarakat sehingga aman untuk dikonsumsi. Definisi ini memiliki ruang lingkup yang lebih luas dibandingkan dengan cakupan keamanan pangan dalam konsensus dunia yakni bahaya biologi, kimia dan fisik. Keamanan pangan telah berkembang menjadi aspek yang sangat penting dalam pangan, karena juga menjadi bahasa perdagangan pangan di dunia internasional.

Seiring dengan semakin meningkatnya pengetahuan tentang karakteristik pangan, bahaya dalam pangan, aplikasi teknologi selama produksi dan pengolahan pangan, serta distribusi dan praktik penanganan, disadari bahwa pada kenyataannya sangat sulit menghasilkan pangan yang 100% aman. Oleh karena itu, harus dilakukan upaya oleh negara, produsen dan/atau industri, serta konsumen (masyarakat) untuk menjamin keamanan pangan yang dikonsumsi.

Salah satu indikator status keamanan pangan dalam suatu negara dapat dilihat dari angka Kejadian Luar Biasa (KLB) atau *outbreaks* penyakit bawaan pangan dan/atau keracunan pangan yang dilaporkan. Meskipun demikian, banyak negara terutama negara berkembang tidak memiliki laporan data KLB penyakit bawaan pangan yang baik sehingga angka yang dilaporkan seringkali jauh lebih rendah dari yang seharusnya. Sebagai contoh, data penyakit bawaan pangan dan/atau keracunan pangan di Indonesia dapat dilihat pada **Tabel 8.1**.

Tabel 8.1 KLB penyakit bawaan pangan dan atau keracunan pangan di Indonesia tahun 2011–2017

| Dugaan Penyebab | Tahun | | | | | | | Total |
|------------------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | |
| Mikroorganisme | 33 | 34 | 27 | 24 | 26 | 26 | 24 | 194 |
| Kimia | 18 | 13 | 5 | 8 | 7 | 13 | 4 | 68 |
| Tidak terdeteksi | 71 | 34 | 6 | 8 | 27 | 18 | 15 | 179 |
| Total | 122 | 81 | 38 | 40 | 60 | 57 | 42 | 441 |

Sumber: BPOM (2011–2017)

Selama tahun 2011–2017, sebanyak 441 KLB penyakit bawaan pangan dilaporkan di Indonesia dan 179 (41%) dari seluruh KLB tidak dapat diidentifikasi penyebab etiologinya. Sebanyak 40% dari KLB (194) diduga terjadi karena mikroorganisme patogen, sementara 15% (68) diduga disebabkan oleh bahaya kimia. Pada tahun 2017, pangan yang dihasilkan di rumah tangga (37,74%) adalah yang paling sering dihubungkan dengan KLB, diikuti dengan pangan jajanan (24,53%).

Pada tahun 2015, kelompok kerja *Foodborne Disease Epidemiology Research Group* (FERG) WHO mempublikasikan hasil kajian perkiraan beban yang diakibatkan oleh penyakit bawaan pangan. Kajian tersebut menyimpulkan bahwa setiap tahunnya terjadi 600 juta penyakit bawaan pangan dan 420,000 kematian di dunia dengan beban global 33 juta *Disability Adjusted Life Years* (DALYs) yang diakibatkan oleh 31 jenis bahaya bawaan pangan. DALYs adalah jumlah tahun yang hilang karena penyakit atau kecacatan (YLD, *Years Life with Disability*) ditambah dengan jumlah tahun yang hilang karena kematian (YLL, *Years of Life Lost*).

Penyakit bawaan pangan paling banyak disebabkan oleh kelompok mikroorganisme penyebab diare, terutama Norovirus dan *Campylobacter* spp, sementara *Salmonella enterica* non-tifoid menyebabkan 230.000 kematian. Patogen atau toksin yang juga mengakibatkan kematian adalah *Salmonella* Typhi, *Taenia solium*, virus hepatitis A dan aflatoksin. Dua per lima (40%) dari beban penyakit bawaan pangan terjadi pada anak berusia di bawah 5 tahun. Wilayah Afrika, Asia Tenggara, dan Mediterania Timur memiliki beban penyakit bawaan pangan tertinggi di dunia. *Escherichia coli* enteropatogenik, *E. coli* enterotoksigenik, dan *Vibrio cholerae* adalah penyebab utama penyakit bawaan pangan di daerah berpendapatan rendah, sementara *Campylobacter* spp. adalah penyebab utama penyakit bawaan pangan di daerah berpendapatan tinggi. Kasus karena *S. Typhi*, *Opisthorchis* spp., aflatoksin, dan dioksin masih banyak dijumpai di berbagai wilayah di Asia Tenggara (Havelaar *et al.* 2015).

Di negara maju pun data keracunan atau penyakit bawaan pangan disebutkan sebagai fenomena gunung es (*iceberg phenomenon*) karena data yang dilaporkan selalu lebih rendah daripada yang benar-benar terjadi. Hal ini dapat disebabkan oleh kurang efektifnya atau ketiadaan surveilan penyakit bawaan pangan, rendahnya partisipasi masyarakat dsb. Fenomena ini disajikan dalam **Gambar 8.1**.

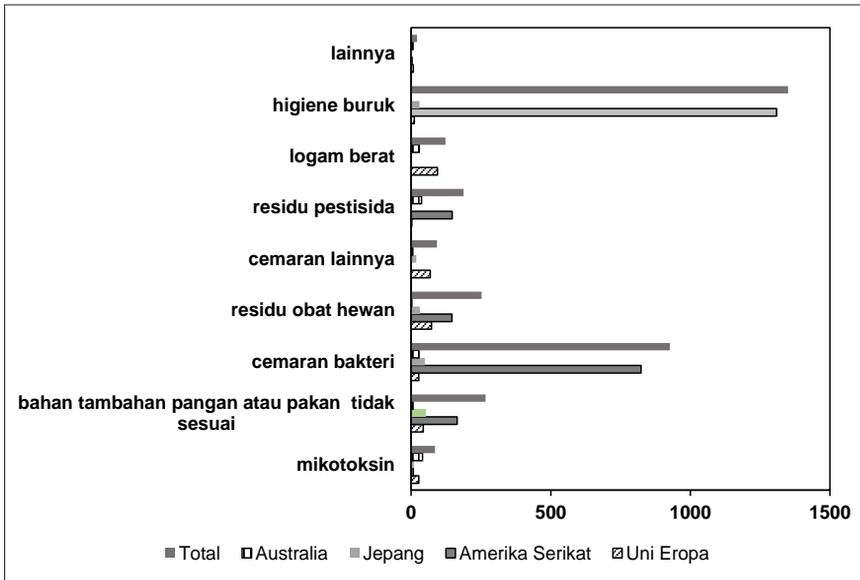


Gambar 8.1 Piramida beban penyakit untuk memahami pelaporan penyakit bawaan pangan (CDC 2015a)

Indikator lain yang juga digunakan untuk menggambarkan status keamanan pangan suatu negara adalah dengan melihat data penolakan ekspor pangan. Di Indonesia, *seafood* adalah produk pangan yang paling banyak diekspor setelah kakao. Berdasarkan data ekspor pangan Indonesia tahun 2006–2010, terdapat berbagai alasan penolakan pangan Indonesia yang ke Australia, Jepang, Amerika dan Uni Eropa (UNIDO 2015). Secara keseluruhan, higiene buruk yang ditandai dengan keberadaan benda asing, potongan tubuh serangga, dan cemaran dari pekerja masih mendominasi alasan penolakan ekspor pangan dari Indonesia. Selain itu, bahaya keamanan pangan penting lain yang menyebabkan pangan ekspor dari Indonesia ditolak, berturut-turut adalah cemaran bakteri, residu pestisida, residu obat hewan, penggunaan bahan tambahan pangan dan pakan yang tidak sesuai. Data lengkap alasan penolakan ekspor pangan Indonesia karena isu keamanan pangan disajikan pada **Gambar 8.2**.

Fahmi (2015) melaporkan bahwa selama 2002–2013, ekspor kepiting/rajungan Indonesia ke AS sebesar 111,380 ton (8,34% dari total impor oleh AS) mengalami 381 penolakan (39% dari total penolakan). Dalam kurun waktu yang sama, penolakan untuk *seafood* secara keseluruhan mencapai 3.249 kali. Analisis terhadap 381 penolakan kepiting oleh AS menunjukkan bahwa penyebab utama penolakan adalah adanya antibiotika kloramfenikol (45%), diikuti dengan obat veteriner (36%), toksin (23%), dan sanitasi/higiene yang buruk (20%).

Ekonomi keamanan pangan adalah beban biaya yang harus ditanggung karena hilangnya kendali terhadap keamanan pangan. Biaya ini mencakup kehilangan produktivitas, biaya rumah sakit, biaya obat-obatan, kehilangan perdagangan, dan biaya investigasi KLB. Di AS, biaya tersebut diperkirakan 77,7 miliar dollar AS (Scharff 2012). Sementara itu, estimasi beban keamanan pangan di Swedia berdasarkan lima patogen terbesar adalah sebesar 142 juta Euro (Sundstrom 2018). Di Indonesia, beban keamanan pangan berdasarkan jumlah penyakit diare diperkirakan sebesar 4,8–16,8 miliar dollar AS (On dan Rahayu 2017).



Gambar 8.2 Alasan penolakan ekspor pangan Indonesia oleh Australia, Jepang, Amerika Serikat, dan Uni Eropa (dimodifikasi dari UNIDO 2015)

Secara umum, bahaya keamanan pangan dapat digolongkan ke dalam tiga kelompok, yakni bahaya biologi, bahaya kimia, dan bahaya fisik. Bahaya biologi terdiri atas bakteri, virus, parasit protozoa dan cacing (*helminth*). Bahaya kimia terdiri atas toksin alami dari pertumbuhan mikroba dan toksin endogenus, residu pestisida dan obat-obatan, kontaminan lingkungan, kontaminan yang timbul selama proses pengolahan, bahan tambahan pangan (BTP) yang digunakan melebihi batas maksimum, kontaminan dari migrasi kemasan, dan radioaktif. Subbab berikut menjelaskan masing-masing bahaya keamanan pangan tersebut.

8.2 Bahaya Keamanan Pangan: Bahaya Biologi

Bahaya biologi terutama terdiri atas virus, bakteri, protozoa, dan parasit cacing. Bahaya mikrobiologi, khususnya bakteri patogen, umumnya dapat diinaktifkan dengan pemanasan. Namun, bakteri dalam pangan bersifat sangat dinamis karena dapat berkembang biak selama rantai pangan dan beberapa

dapat membentuk spora selama pengolahan serta bergerminasi jika tidak dikendalikan pasca pengolahan. Di samping itu beberapa bakteri dilaporkan memiliki mekanisme untuk menyintas atau bahkan resisten terhadap berbagai *stress* akibat senyawa antimikroba dan berbagai proses penanganan dan pengolahan. Sementara itu virus, protozoa, dan cacing tidak dapat berkembang biak dalam pangan, tetapi dapat bertahan dalam pangan dan menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia. Berbagai teknologi pengolahan pangan telah dirancang untuk menghilangkan atau menginaktifkan bahaya mikrobiologi. Pemanasan (pasteurisasi dan sterilisasi), iradiasi, pengeringan, dan pembekuan umumnya dirancang untuk menurunkan jumlah mikroorganisme sampai tingkat yang dapat diterima. Beberapa teknologi baru seperti *high pressure processing* (HPP) dan pemanasan *microwave* juga telah dikembangkan untuk mengendalikan bahaya mikrobiologi.

8.2.1 Bakteri Penyebab Infeksi

Infeksi karena patogen bawaan pangan adalah peristiwa masuknya sel bakteri hidup dalam makanan atau minuman yang kemudian mengkolonisasi usus dan mengakibatkan berbagai macam penyakit. Beberapa bakteri penyebab infeksi juga dapat menghasilkan toksin di dalam tubuh manusia (toksikoinfeksi) atau pun menembus usus (invasi) dan masuk ke peredaran darah (*bacteremia* atau septisemia) serta menyerang organ tubuh lainnya seperti hati, ginjal, jantung, selaput otak dsb. Gejala infeksi karena patogen bawaan pangan berkisar dari mual, muntah, diare, konstipasi sampai demam, kejang, kerusakan selaput otak, gagal ginjal dan kematian. Berikut adalah beberapa bakteri patogen bawaan pangan penyebab infeksi yang diurutkan secara alfabet.

Campylobacter jejuni

Bakteri Gram negatif ini berbentuk koma atau spiral dan tidak membentuk spora. *C. jejuni* bersifat mikroaerofilik yakni tumbuh optimum pada kondisi lingkungan dengan kadar oksigen rendah (2–5%) dan memerlukan karbon dioksida 2–10% (kapnofilik). *C. jejuni* tergolong bakteri termofilik dengan suhu pertumbuhan optimum pada 42°C. Aktivitas air (a_w) optimum untuk

mendukung pertumbuhan bakteri ini adalah 0,997 dengan konsentrasi garam sebesar 0,5%, sementara pH optimum bakteri ini berada pada kisaran 6,5–7 (FDA 2014). *C. jejuni* juga diketahui memproduksi toksin tidak tahan panas dan sensitif terhadap tripsin yang dinamakan *Cytolethal distending toxin* (CDT) (FDA 2014). Bakteri ini bersifat zoonosis dan beberapa bersifat invasif. Infeksi *C. jejuni* terjadi hampir di seluruh dunia baik di negara maju maupun di negara berkembang. Beberapa kasus infeksi *C. jejuni* yang dilaporkan di Amerika Serikat, antara lain adalah KLB akibat konsumsi susu mentah di negara bagian Utah pada tahun 2014, di negara bagian Pennsylvania pada tahun 2013, dan konsumsi hati ayam yang tidak dimasak dengan baik (*undercooked*) di Northeastern pada tahun 2012. Laporan KLB keracunan pangan akibat *C. jejuni* di Indonesia tidak tersedia, tetapi Tjaniadi *et al.* (2003) melaporkan bahwa dari 21.763 sampel dari kasus diare, sekitar 3,6% di antaranya mengandung *C. jejuni*.

Clostridium perfringens

C. perfringens adalah bakteri Gram positif pembentuk spora yang bersifat anaerobik, akan tetapi beberapa galur bakteri ini bersifat aerotoleran atau toleran terhadap oksigen. *C. perfringens* dapat menghasilkan enterotoksin dan sekitar 15 toksin ekstraseluler yang berbeda. Empat toksin ekstraseluler utama yang dihasilkan bakteri ini adalah toksin alfa, beta, epsilon, dan iota. Sementara itu, lima jenis enterotoksin yang dihasilkan *C. perfringens* adalah A, B, C, D, dan E (Batt 2014). Keracunan pangan akibat *C. perfringens* dapat terjadi melalui proses toksikoinfeksi. Selain itu, *C. perfringens*, terutama tipe A dan tipe C, dapat bersifat zoonosis (Songer 2010).

C. perfringens tumbuh pada kisaran suhu 10–52°C dengan suhu optimum pertumbuhan 43–45°C. Sementara itu, suhu optimum untuk produksi enterotoksin oleh *C. perfringens* adalah 35–40°C. Pertumbuhan *C. perfringens* terjadi pada kisaran pH 5–9 dengan pH optimum 6–7. Sporulasi *C. perfringens* yang baik terjadi pada kisaran pH 6–8. Nilai a_w minimum *C. perfringens* untuk tumbuh adalah 0,93 dan pertumbuhannya terhambat pada a_w 0,95–0,97. *C. perfringens* yang tumbuh pada suhu optimum memiliki waktu generasi yang pendek, yaitu 7–10 menit. Bakteri ini memiliki waktu generasi

7,1 menit jika ditumbuhkan pada suhu 33–49°C. *C. perfringens* mampu bertahan di lingkungan dengan kandungan sodium nitrit mencapai 300 ppm dan NaCl 4–6% (Batt 2014). *C. perfringens*, terutama *C. perfringens* tipe A merupakan mikrobiota dalam saluran pencernaan manusia dan beberapa hewan sehingga sering ditemukan pada manusia dan hewan. Sementara itu, *C. perfringens* tipe B, C, D, dan E juga hidup dalam saluran pencernaan hewan, tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan tipe A. Meskipun demikian, *C. perfringens* tipe A juga mudah ditemukan di lingkungan, seperti tanah, debu, udara, dan air, serta dapat bertahan dalam jangka waktu panjang meskipun pada kondisi yang tidak menguntungkan (Parija 2014). *C. perfringens* tipe A ditemukan dalam jumlah 10^3 – 10^4 CFU/g di tanah, sementara *C. perfringens* tipe B, C, D, dan E tidak ditemukan hidup di tanah. Bakteri ini juga dikenal sebagai “*buffet germ*” karena sering menimbulkan KLB melalui makanan yang disajikan dalam pesta prasmanan.

Cronobacter spp

Bakteri Gram negatif berbentuk batang ini adalah anggota Famili *Enterobacteriaceae*, tidak membentuk spora dan bersifat anaerob fakultatif (Iversen *et al.* 2008). *Cronobacter* spp. bersifat osmotoleran, tidak tumbuh pada suhu 4°C, memiliki suhu pertumbuhan maksimum 41–45°C dan suhu pertumbuhan minimum 5,5–8°C. Sebelumnya dikenal sebagai *Enterobacter sakazakii*, bakteri ini mengalami pengelompokan ulang menjadi genus baru, *Cronobacter*spp. pada tahun 2007. Hingga tahun 2015, sebanyak 11 spesies telah diidentifikasi, yaitu *C. sakazakii*, *C. malonaticus*, *C. dublinensis*, *C. turicensis*, *C. mytjensii*, *C. condimenti*, *C. universalis*, *C. helveticus*, *C. zurichensis*, *C. pulveris*, dan *C. colletis* (Singh *et al.* 2015). Di Indonesia *Cronobacter* spp telah diisolasi dari berbagai pangan seperti susu formula, makanan pendamping ASI, tapioka, bubuk cokelat, bubuk rempah (Gitapratwiwi *et al.* 2012).

Cronobacter spp mampu menyintas kekeringan dan pH asam, dan mengekspresikan gen virulennya dalam kondisi stres (Jameelah *et al.* 2018, Maerani *et al.* 2020). Bakteri ini juga dapat memasuki kondisi *viable and non culturable* atau VBNC selama pembentukan biofilm (Sinaga *et al.* 2016) dan ketika terpapar *stress* kekeringan (Jameelah *et al.* 2018) dan asam

(Hati *et al.* 2020). Kasus infeksi *Cronobacter* spp. pada orang dewasa jarang dipublikasikan karena infeksi dampaknya kurang parah dibandingkan dengan kasus infeksi dengan angka kematian yang tinggi pada bayi baru lahir. Infeksi *Cronobacter* spp. paling sering dikaitkan dengan kasus sporadis penyakit yang mengancam jiwa, yakni meningitis, *necrotizing enterocolitis* (NEC), dan septisemia pada bayi (Lai 2001). KLB *Cronobacter* spp. umumnya dikaitkan dengan konsumsi susu formula pada bayi prematur dan bayi dengan berat lahir rendah.

Escherichia coli Patogenik

E. coli adalah bakteri Gram negatif, batang, tidak menghasilkan spora dan bersifat anaerobik fakultatif. *E. coli* tumbuh optimum pada suhu 37°C, pH 6–7, dan a_w 0.995 dengan konsentrasi garam <5%. *E. coli* umumnya memfermentasi glukosa menjadi piruvat yang kemudian berubah menjadi asam laktat, asetat, dan format yang akhirnya menghasilkan gas karbon dioksida pada suhu 35°C dalam selang waktu 48 jam sehingga *E. coli* dikatakan bersifat aerogenik (Torres 2010). *E. coli* adalah bakteri yang selalu ditemukan pada usus manusia dan hewan berdarah panas, serta banyak mengontaminasi sumber air ataupun perairan, seperti kolam, sungai, dan sebagainya.

Pengelompokan *E. coli* patogenik dilakukan berdasarkan gejala penyakit dan faktor virulensi yang dimilikinya. Kelompok *E. coli* patogenik meliputi *Enteropathogenic E. coli* (EPEC), *Enteroinvasive E. coli* (EIEC), *Enterotoxigenic E. coli* (ETEC), *Enterohemorrhagic E. coli* (EHEC), *Enteroaggregative E. coli* (EAEC), dan *Diffusely Adherent E. coli* (DAEC). Kelompok *E. coli* yang dilaporkan berkaitan dengan kasus kontaminasi *E. coli* pada pangan dan air adalah EPEC, EIEC, ETEC, dan EHEC (FDA 2018). Sementara itu, EHEC adalah *E. coli* yang paling banyak dihubungkan dengan pangan dan menyebabkan KLB dengan keparahan penyakit yang lebih tinggi. EHEC ditetapkan sebagai patogen bawaan pangan pada tahun 1982 ketika terjadi KLB di AS yang disebabkan karena konsumsi produk olahan daging sapi hamburger. Dalam KLB tersebut ditemukan dua galur EHEC, yaitu O157:H7 dan O26:H11. Kedua galur tersebut memiliki patogenisitas paling tinggi dan fatal dengan laju kematian tinggi pada anak-anak dan lansia. Galur O157:H7 adalah galur

yang paling banyak menyebabkan kasus infeksi EHEC di seluruh dunia dengan dosis infeksi antara 10–100 sel. Pangan yang dikaitkan dengan kasus infeksi EHEC di antaranya adalah susu mentah, daging sapi, *sandwich* dingin, salami, keju, *game meat*, minuman, jus apel yang tidak dipasteurisasi, dan sayuran. Pada tahun 2014 KLB EHEC kembali terjadi yang disebabkan oleh *E. coli* O104:H7 dalam tauge *fenugreek*, yang menyebabkan 3816 orang dilaporkan sakit dan 54 orang meninggal dunia (Tahden *et al.* 2016).

Listeria monocytogenes

L. monocytogenes adalah bakteri Gram positif berbentuk batang anggota Famili *Listeriaceae* yang bersifat anaerob fakultatif. Bakteri ini tidak membentuk spora, motil ketika diamati pada suhu 25°C, dan mampu membentuk biofilm sehingga relatif tahan terhadap desinfektan. *L. monocytogenes* adalah bakteri psikrotropik yang artinya dapat tumbuh pada suhu referigerasi (0–4°C). *L. monocytogenes* tersebar secara luas di alam seperti di air, tanah, pakan ternak, feses, dan pada proses pembusukan tanaman. *L. monocytogenes* juga ditemukan pada saluran pencernaan hewan dan manusia. Sebesar 1–10% usus manusia sehat adalah pembawa (*carrier*) *L. monocytogenes* (FDA, 2014) dan 2–6% feses dari manusia sehat juga diketahui mengandung *L. monocytogenes*. Listeriosis merupakan penyakit bawaan pangan ketiga paling banyak menimbulkan kematian. Di Indonesia, kasus listeriosis belum pernah dilaporkan terjadi, namun penarikan buah melon dan enoki impor yang tercemar *L. monocytogenes* pernah dilakukan berturut-turut pada tahun 2016 dan 2020.

Di AS, telah terjadi 1.651 kasus sepanjang tahun 2009–2011. Sebagian besar listeriosis terjadi pada kelompok usia >65 tahun (58%) dan 14% kasus berkaitan dengan kehamilan. Pada tahun 2011–2016, CDC melaporkan pangan yang dikaitkan dengan insiden listeriosis di AS, antara lain keju, seledri, *cantaloupes*, apel, kecambah, es krim, salad kemasan, dan susu mentah. Pada akhir tahun 2017 sampai dengan kuartal pertama 2018, KLB listeriosis terburuk dilaporkan di Afrika Selatan yang menyebabkan 937 orang terinfeksi dan 193 meninggal dunia. KLB tersebut dikaitkan dengan konsumsi sosis siap makan “Polony” yang tercemar *L. monocytogenes* ST 6 (*sequence type* 6)

(Thomas *et al.* 2020). Serovar *L. monocytogenes* yang paling banyak ditemukan pada pangan dan lingkungan produksi pangan adalah 1/2a, 1/2b, dan 1/2c. Sementara itu, serovar *L. monocytogenes* yang paling banyak berkaitan dengan kasus listeriosis pada manusia adalah 1/2a, 1/2b, dan 4b (FDA 2014).

Salmonella

Salmonella adalah patogen bawaan pangan penyebab infeksi yang paling banyak dilaporkan di dunia. *Salmonella* tumbuh dalam pangan dengan kisaran lingkungan pertumbuhan yang sangat luas. Meski memiliki suhu optimum pertumbuhan pada 35–37°C, beberapa galur dapat tumbuh pada suhu 5°C dan beberapa pada suhu 45–47°C. Kisaran pH pertumbuhan bakteri ini juga cukup luas yakni pada pH 4–9 dengan pH optimum 6,5–7,0 (Tajkarimi 2007). Habitat alami *Salmonella* adalah saluran pencernaan manusia dan hewan. Bakteri ini dapat ditularkan dari kontak orang ke orang, serta melalui air dan pangan yang tercemar (FSAI 2011).

Bakteri bukan pembentuk spora ini tidak tahan panas dan mudah dihilangkan dengan pemanasan <100°C. Akan tetapi *Salmonella* dilaporkan dapat menyintas kondisi kekeringan. Beuchat dan Mann (2015) melaporkan bahwa *Salmonella* dapat bertahan sampai 182 hari dalam kondisi kering pada produk *cookies* dan *crackers sandwiches*. Di Indonesia *Salmonella* dilaporkan diisolasi dari udang tambak dan laut (Dewanti-Hariyadi *et al.* 2005), udang di pasar (Amalia *et al.* 2014) dan karkas ayam (Kusumaningrum *et al.* 2012). KLB karena bakteri ini paling banyak dihubungkan dengan daging unggas, telur, susu, sayuran dan buah, serta makanan campuran. Diduga beragamnya serotipe *Salmonella* telah menyebabkan patogen ini bertahan lama di bumi. Beberapa jenis pangan yang juga dikaitkan dalam KLB salmonellosis adalah kacang-kacangan, selai kacang, sayur dan buah segar. *Salmonella* spp. pada umumnya menyebabkan gastroenteritis, akan tetapi beberapa galur dapan menyebabkan demam enterik serta demam tifoid yang bersifat sistemik dan seringkali fatal.

Shigella

Seperti halnya *E. coli* dan *Salmonella*, *Shigella* adalah anggota Famili *Enterobacteriaceae*. Bakteri Gram negatif ini berbentuk batang, anaerob fakultatif, tidak motil, dan tidak membentuk spora. *Shigella* tumbuh pada kisaran suhu 6,1–47,1°C dan optimum pada suhu 37°C. Kisaran pH untuk pertumbuhan *Shigella* adalah 4,8–9,3 dan optimum pada pH 6–8. Nilai a_w minimum untuk pertumbuhan *Shigella* adalah 0,96 (NaCl 4%) dengan kandungan NaCl maksimum 5,3% (FDA 2013). *Shigella* terdiri atas empat spesies yang dikelompokkan ke dalam empat subgrup: *Shigella dysenteriae* (subgrup A), *Shigella flexneri* (subgrup B), *Shigella boydii* (subgrup C), dan *Shigella sonnei* (subgrup D).

Manusia dan primata merupakan inang utama *Shigella* di samping primata, dan bakteri ini juga dapat mencemari air dan sumber air. Kontaminasi *Shigella* pada produk pangan dapat terjadi melalui penggunaan air yang sudah tercemar. Penyebaran *Shigella* dapat terjadi melalui feses ke oral atau dari orang ke orang. Kontaminasi *Shigella* pada sayuran dan buah-buahan segar dapat terjadi melalui tanah yang tercemar feses yang mengandung *Shigella*. Tingkat temuan *Shigella* mencapai 33% pada labu, 21% pada mentimun dan 53% pada *waterleaf*. Beberapa laporan kasus keracunan *Shigella* yang berkaitan dengan konsumsi sayuran, diantaranya pada kemangi, kentang peterseli dan selada. Infeksi karena *Shigella* menimbulkan gejala disentri yakni diare yang disertai dengan adanya lendir (*mucus*) dan darah.

Vibrio cholera

V. cholerae adalah bakteri Gram negatif berbentuk batang atau koma yang tidak membentuk spora. *V. cholerae* tumbuh optimum pada kisaran suhu 37°C, pH 7,6, dan a_w 0,98 dengan konsentrasi garam NaCl 0,5%. *V. cholerae* bahkan masih dapat tumbuh dalam lingkungan yang tidak mengandung garam. *V. cholerae* sering ditemukan di air, termasuk perairan laut. Di Jakarta, studi pada es batu menunjukkan bahwa dari 110 sampel yang diuji, 33 sampel (30%) mengandung *V. cholerae* dengan konsentrasi < 0,3 hingga > 110 MPN/mL (Waturangi *et al.* 2012). Pengamatan di dalam laboratorium menunjukkan bahwa *V. cholerae* dapat bertahan hidup di dalam air laut tidak steril selama

lima hari dan selama 240 hari dalam air laut steril (Wennberg *et al.* 2013). Karena habitatnya tersebut, *V. cholerae* sering ditemukan pada ikan. *V. cholerae* tumbuh pada rentang suhu 10–43°C dan pH 5,0–9,6 sehingga bakteri ini dapat tumbuh pada berbagai produk pangan. Suhu rendah juga mendukung kemampuan menyintas bakteri ini (Vital *et al.* 2007).

V. cholerae yang sering dikaitkan KLB diare adalah *V. cholerae* serotipe O1 dan O139. Selain itu, *V. cholerae* serotipe O141 dan O75 juga dilaporkan berkaitan dengan kejadian diare di AS. Pada tahun 2010, terjadi KLB kolera yang besar di Haiti yang dikaitkan dengan keberadaan *V. cholerae* O1 serotipe Ogawa dalam air, *seafood*, serta air laut. KLB yang mengakibatkan 30 orang mengalami kolera juga dilaporkan di Uganda pada tahun 2015 dan penyebabnya adalah air yang berasal dari sumber yang tercemar (Pande *et al.* 2015).

Vibrio parahaemolyticus

Bakteri Gram negatif ini berbentuk batang lurus atau melengkung, anaerob fakultatif, tidak membentuk spora, dan tumbuh baik dalam 2–3% NaCl (air laut). *V. parahaemolyticus* bersifat halofilik obligat karena untuk tumbuh diperlukan minimal 0,5% NaCl dalam medium pertumbuhannya. *V. parahaemolyticus* tumbuh optimum pada suhu 37°C dengan suhu minimum pertumbuhan 5°C. Sementara itu, pH optimum pertumbuhannya adalah 5–7 dan masih mampu tumbuh pada pH 11. *V. parahaemolyticus* lazim ditemukan di perairan payau seperti pantai, muara sungai, dan kolam tambak dan oleh karenanya umum ditemukan pada hewan laut seperti kerang-kerangan. *V. parahaemolyticus* banyak ditemukan di wilayah tropis atau beriklim sedang dan pada saat musim panas ketika suhu lingkungan mendekati suhu optimum pertumbuhan bakteri ini, yaitu 37°C (PHAC 2011).

Yennie *et al.* (2015) melaporkan prevalensi *V. parahaemolyticus* pada udang vaname dari tambak tradisional dan intensif di Jawa Barat, Indonesia berturut-turut sebesar 16/32 (50%) dan 6/32 (18,8%). Dari isolat yang diperoleh, 81% (13/16) dari udang tambak tradisional dan 50% (3/6) dari udang tambak intensif bersifat patogen berdasarkan kepemilikan gen *tdh*. Infeksi *V. parahaemolyticus* banyak terjadi pada musim panas di negara

beriklim tropis. Di Indonesia, Lesmana *et al.* (2001) melaporkan bahwa 333 (6.1%) *V. parahaemolyticus* diisolasi dari 5442 sampel usap rektal penderita diare selama Desember 1996–Desember 1997. Isolasi tertinggi terjadi pada musim kemarau (Juni, Juli) dan terendah (4,5%) pada musim hujan (Desember, Januari, Februari). KLB *V. parahaemolyticus* pertama kali terjadi di Osaka, Jepang pada tahun 1950 karena konsumsi ikan sardin mentah yang menyebabkan 272 orang jatuh sakit dan 20 orang meninggal dunia. Serotipe *V. parahaemolyticus* penyebab gastroenteritis yang diisolasi dari korban pandemik infeksi *V. parahaemolyticus* pada tahun 1996 di India dinamakan O3:K6 yang juga bersifat pandemik di negara-negara Asia Tenggara (Okuda *et al.* 1997). *V. parahaemolyticus* O3:K6 juga diisolasi dalam KLB di AS akibat konsumsi tiram mentah dan juga di Eropa serta Afrika.

Yersinia enterocolitica

Y. enterocolitica adalah bakteri Gram negatif berbentuk batang, anaerob fakultatif, tidak membentuk spora, motil pada suhu 22–25°C tetapi non-motil pada suhu 35–37°C. *Y. enterocolitica* bersifat psikrotrofik sehingga dapat tumbuh pada suhu di bawah 4°C meskipun pertumbuhan optimumnya terjadi pada suhu 28–30°C dengan waktu generasi 34 menit. Waktu pembelahannya meningkat menjadi satu jam pada suhu 22°C, lima jam pada suhu 7°C, dan mencapai 40 jam pada suhu 1°C. Bakteri ini tumbuh optimum pada kisaran pH 7,2–8,0, a_w minimum untuk tumbuh 0,96 dan mampu tumbuh pada konsentrasi garam sampai dengan 5% (MPI 2010).

Y. enterocolitica dapat berasal dari lingkungan, seperti tanah dan air, serta dapat berasal dari pakan ternak. Bakteri ini juga ditemukan pada beberapa hewan seperti babi, burung, kucing, anjing, ikan, dan kerang-kerangan (FDA 2017). KLB penyakit bawaan pangan akibat *Y. enterocolitica* belum dilaporkan terjadi di Indonesia. Sementara itu, di AS, Eropa, Australia, Tiongkok, dan Jepang telah banyak laporan KLB akibat *Y. enterocolitica*. Serovar *Y. enterocolitica* yang dikaitkan dengan kasus keracunan pangan berbeda-beda di setiap negara. *Y. enterocolitica* serovar O:8 paling banyak dikaitkan dengan kasus infeksi di AS diikuti dengan serovar O:3, O:5, 27, O:13a, 13b, O:20, dan O:9. Di Eropa, KLB lebih banyak disebabkan oleh *Y. enterocolitica*

serovar O:3 dan O:9. Serotipe O:3 banyak dilaporkan di Kanada, Eropa, dan Australia, sedangkan serotipe O:8 dan O:7 di Jepang, dan *Y. enterocolitica* O:9 di Belanda (Sabina *et al.* 2011).

8.2.2 Bakteri Penyebab Intoksikasi

Intoksikasi pangan oleh mikroorganisme terjadi ketika toksin dihasilkan oleh bakteri atau kapang dalam pangan kemudian dikonsumsi oleh manusia. Penyakit karena intoksikasi dalam skema ini tidak mencakup penyakit yang diakibatkan oleh respons tubuh yang dimediasi oleh kekurangan genetik (seperti pada intoleransi) atau pun yang dipicu oleh reaksi sistem imun (seperti pada alergi). Toksin yang masuk ke dalam tubuh akan berikatan pada reseptor sel target dan menimbulkan reaksi yang dimanifestasikan dalam gejala penyakit seperti muntah, rasa terbakar, kelumpuhan, kejang-kejang, dan lain-lain yang umumnya terjadi segera setelah konsumsi pangan tercemar tersebut. Selain disebabkan oleh toksin yang dihasilkan oleh mikroorganisme, intoksikasi pangan dapat disebabkan oleh berbagai toksin kimia seperti yang dijelaskan pada subbab bahaya kimia. Berikut adalah beberapa bakteri penyebab intoksikasi yang diurutkan secara alfabet.

Bacillus cereus

Bakteri Gram positif ini berbentuk batang, bersifat anaerob fakultatif, membentuk spora, dan motil dengan flagela *peritrikus*. *B. cereus* tidak bersifat zoonosis, artinya tidak ditularkan dari hewan ke manusia. *B. cereus* tumbuh pada kisaran suhu 4–55°C dan pertumbuhan optimum terjadi pada suhu 30–37°C, sementara produksi toksin terjadi pada kisaran suhu 10–40°C. *B. cereus* tumbuh optimum pada pH 6–7, memerlukan a_w minimal 0,92–0,93 (dengan NaCl) dan mampu tumbuh dengan konsentrasi NaCl maksimum 7,5% (MPI 2015). Beberapa galur *B. cereus* bersifat mesofilik dan beberapa lainnya psikrotrofik. Galur yang bersifat mesofilik umumnya dikaitkan dengan *B. cereus* yang memproduksi toksin emetik atau *cereulide* yang menimbulkan gejala mual dan muntah. Meskipun bersifat anaerob fakultatif, tetapi bakteri ini memerlukan oksigen untuk memproduksi toksin emetik tersebut. Di samping toksin emetik, *B. cereus* juga menghasilkan beberapa

jenis enterotoksin yakni hemolysin BL (HBL), *non-hemolytic enterotoxin* (Nhe) dan *cytotoxin K* (CytK). Enterotoksin *B. cereus* tersebut dihubungkan dengan keracunan pangan yang menyebabkan diare.

B. cereus dapat menimbulkan penyakit pada manusia melalui dua mekanisme, yaitu intoksikasi dan toksikoinfeksi. Toksin emetik *B. cereus* menimbulkan penyakit melalui mekanisme intoksikasi. *B. cereus* yang mengontaminasi pangan mengeluarkan toksin emetik dalam pangan sehingga apabila pangan tersebut dikonsumsi, toksin emetik akan masuk ke dalam tubuh bersama pangan dan menyebabkan gejala emetik. Sementara itu, enterotoksin *B. cereus* penyebab diare menyebabkan penyakit melalui mekanisme toksikoinfeksi. Penyakit dalam KLB *B. cereus* berbeda-beda terkait dengan pangan yang sering dikonsumsi di suatu negara. Di Jepang, Britania Raya, Finlandia, dan AS di mana nasi, pasta, kentang, dan sayuran merupakan pangan yang umum dikonsumsi, sindrom emetik lebih sering terjadi. Sementara itu, di Eropa dan Amerika Utara di mana sup, susu dan produk turunannya, daging, serta rempah biasanya dikonsumsi, diare lebih mendominasi. *B. cereus* merupakan bakteri penyebab KLB keracunan pangan kedua paling banyak di Perancis tahun 2006–2014, di mana sebagian besar KLB terkait dengan pangan berpati dan sayuran (Glasset *et al.* 2016). Sebanyak 253 KLB terjadi di Brazil antara tahun 2003–2013 dengan 2.435 orang terpapar *B. cereus* dan 346 orang sakit. Pangan yang dicurigai menyebabkan kebanyakan KLB ini adalah makanan yang disiapkan di restoran, makanan ringan, dan makanan dengan saus (Lentz *et al.* 2018).

Clostridium botulinum

C. botulinum adalah bakteri Gram positif berbentuk batang, pembentuk spora, motil dan tidak bersifat zoonosis. Pertumbuhan optimum *C. botulinum* terjadi pada kondisi anaerob dan kemampuan tumbuhnya melambat pada konsentrasi karbon dioksida 100% (Gibson *et al.* 2000). Bakteri ini memproduksi toksin protein yang bersifat neurotoksik, yaitu menyerang atau merusak sistem saraf. Sampai saat ini ditemukan tujuh jenis neurotoksin penyebab botulisme yakni toksin botulin A, B, C, D, E, F, dan G. Toksin tersebut diproduksi oleh grup *C. botulinum* yang berbeda-beda.

Toksin botulin yang dikaitkan dengan kasus botulisme pada manusia adalah jenis A, B, E, dan F, sedangkan toksin jenis C dan D dikaitkan dengan kejadian botulisme pada hewan (FDA 2001). Sementara itu, toksin botulin tipe G diisolasi dari sampel tanah di Argentina dan belum dikaitkan dengan kasus botulisme baik pada manusia dan pada hewan (Peck 2006). Spora *C. botulinum* lazim ditemukan di tanah, sedimen cair, perairan, dan pangan mentah. Spora bakteri ini juga dapat ditemukan pada produk pertanian, seperti madu dan sayuran. Spora tersebut dapat bergerminasi dan berkembang biak jika tidak dilakukan pengendalian suhu yang baik khususnya selama proses pengolahan pangan dengan panas. Bakteri ini bukan termasuk flora normal saluran pencernaan manusia.

Keracunan botulisme paling banyak disebabkan oleh toksin botulin dari *C. botulinum* grup I dan II. Toksin botulin tipe A dan B adalah yang paling banyak dikaitkan dengan kasus keracunan pangan diikuti oleh toksin tipe E dan F. Toksin tipe E lebih banyak dikaitkan dengan produk perairan (Horowitz 2010). KLB karena *C. botulinum* saat ini relatif jarang terjadi, beberapa KLB karena bakteri ini terkait dengan saus kare dalam botol, rebung rebus dalam kemasan, sup kentang, dan daging babi olahan. Intoksikasi oleh botulin menyebabkan transfer sinyal saraf terhambat dan dapat berakhir dengan kelumpuhan, bahkan kematian.

Staphylococcus aureus

S. aureus adalah bakteri Gram positif berbentuk bulat bergerombol dan digolongkan ke dalam Famili *Staphylococcaceae*. Bakteri ini tidak motil dan tidak membentuk spora. *S. aureus* bersifat anaerob fakultatif sehingga mampu tumbuh pada kondisi dengan atau tanpa oksigen, tetapi sebagian besar pertumbuhannya menjadi lebih lambat pada kondisi anaerob. Bakteri ini bersifat katalase positif, oksidase negatif, memproduksi koagulase, serta memfermentasi manitol dan gula secara anaerobik. *S. aureus* tumbuh optimum pada suhu 37°C, pH 7,0–7,5, dan a_w 0,99. Meskipun demikian, *S. aureus* tumbuh dengan baik pada lingkungan dengan kadar NaCl 7–10% bahkan tetap tumbuh pada kadar NaCl sampai dengan 25% (halotoleran).

Dewanti-Hariyadi *et al.* (2012) melaporkan bahwa nilai D dari *S. aureus* asal Indonesia yang diisolasi dari sampel ayam suwir dan nasi uduk lebih tinggi daripada isolat rujukan ATCC 25923. Produksi enterotoksin oleh *S. aureus* terjadi pada kisaran suhu 40–45°C, pH 5,3–7,0, dan $a_w \geq 0,90$. Hampir semua kasus keracunan *S. aureus* diakibatkan oleh keberadaan enterotoksin ini pada pangan yang menyebabkan intoksikasi pada orang yang mengonsumsinya. Sumber *S. aureus* utama adalah manusia yang merupakan pembawa atau carrier bakteri ini. Kulit, rambut dan saluran pernafasan manusia merupakan sumber utama bakteri ini. *S. aureus* ditemukan pada rambut, kulit, rongga hidung, dan tenggorokan dari >50% manusia sehat. *S. aureus* juga dapat berasal dari hewan, di antaranya dari bagian ambing sapi, amandel dan kulit babi, serta kulit ayam dan kalkun. Penyebaran bakteri ini melalui manusia terutama terjadi dari penjamah dan/atau pengolah yang kontak langsung dengan pangan. Selain itu, *S. aureus* juga dapat berasal dari lingkungan, seperti debu, air, udara, saluran pembuangan, serta lingkungan dan peralatan produksi pangan.

Pada bulan Juli 2012, sebuah KLB keracunan pangan akibat enterotoksin *S. aureus* terjadi di AS terkait dengan konsumsi makan siang di unit militer. Sebanyak 13 korban mengalami gejala gastrointestinal dengan waktu onset 2–3 jam setelah mengonsumsi empat menu utama, yaitu perlo, daging ayam, daging babi, dan kacang hijau dengan kentang. Korban mengalami mual-mual (86%), muntah (69%), diare (77%), nyeri perut (77%), pusing (59%), keringat dingin yang tidak disertai demam (59%), dan demam (18%) (FDA 2013). Keracunan pangan akibat enterotoksin *S. aureus* juga terjadi pada April 2013 di Freiburg, Jerman karena konsumsi es krim dengan jumlah korban mencapai 31 orang (Fetsch *et al.* 2014). Di Indonesia, laporan spesifik keracunan pangan akibat *S. aureus* masih jarang dilaporkan. Suarjana dan Agung (2013) melaporkan salah satu bakteri yang mengakibatkan keracunan pangan di SDN 3 Sangeh, Badung, Bali adalah *S. aureus*.

8.2.3 Virus

Virus adalah mikroorganisme berukuran sangat kecil (0,02–0,4 mm) dan bersifat parasit intraseluler obligat, artinya hanya dapat memperbanyak diri ketika berada pada sel inang hidup yang menyediakan enzim untuk replikasi, transkripsi dan translasi yang menyebabkan perbanyakannya virus tersebut. Mikroorganisme ini tidak berkembang biak pada benda mati, termasuk di dalam pangan, sehingga sintasan virus dalam bahan pangan sangat bergantung dari jenis virus dan suhu lingkungan. Norovirus digolongkan sebagai patogen bawaan pangan “*emerging*” sejak tahun 2010-an. Di samping itu, virus penting yang juga dapat ditularkan melalui pangan adalah virus hepatitis A (HAV) dan E (HEV).

Norovirus

Norovirus, sebelumnya dikenal sebagai virus *Norwalk-like* yang ditemukan sebagai penyebab penyakit diare di daerah Norwalk, Ohio, AS sekitar tahun 1970-an. Pada tahun 2010-an, virus ini diberi nama Norovirus dan telah banyak dihubungkan dengan KLB penyakit bawaan pangan. Norovirus telah menyebabkan setidaknya enam epidemi global KLB gastroenteritis dan 50–70% KLB institusional di dunia sejak 1996 (Siebenga *et al.* 2009). Norovirus diklasifikasikan ke dalam lima genogrup, yaitu GI, GII, GIII, GIV, dan GV, dan GI, GII, serta GIV diketahui dapat menginfeksi manusia. Penamaan genotipe merupakan gabungan dari nama genogrup dan genocluster, misalnya genocluster 4 dari genogrup GII dinamakan genotip GII.4. GII.4 merupakan genotip yang umum ditemukan pada manusia dan merupakan penyebab sebagian besar KLB Norovirus dan 80% infeksi.

Galur Norovirus yang menginfeksi manusia biasanya diberi nama sesuai dengan lokasi KLB di mana galur tersebut pertama diisolasi, misalnya Norwalk virus, Hawaii virus, dan Norovirus GII.4 galur Sydney 2012 (Green 2013; van Beek *et al.* 2013). Norovirus juga telah diisolasi dari hewan. Genogrup GIII ditemukan pada hewan ternak, GV pada mencit, GII pada babi, serta GIV pada anjing dan anak singa. Namun, genotipe Norovirus yang ditemukan pada hewan berbeda dari yang ditemukan pada manusia (Bank-Wolf *et al.* 2010). Manusia merupakan inang tunggal untuk galur Norovirus manusia.

Norovirus dilaporkan sebagai penyebab KLB penyakit bawaan pangan terbesar di AS (CDC 2013). Di AS setiap tahunnya Norovirus menyebabkan 19–21 juta orang sakit, 56–71 ribu orang dirawat inap dan 570–800 kematian. KLB Norovirus paling banyak terjadi karena konsumsi buah rasberi, khususnya rasberi beku.

Sifat Norovirus yang tahan asam menyebabkan, virus ini dapat bertahan hidup meskipun tidak berkembang biak pada buah rasberi yang memiliki pH sekitar 3,2–3,5 dan kadar air 87%. Keberadaan Norovirus pada rasberi dapat disebabkan oleh kontaminasi feses manusia ke raspberi di tingkat petani selama partumbuhan dan pemanenan, baik dari dari tanah, air irigasi, tangan petani, dan peralatan yang tercemar; atau selama proses pengolahan dan pembekuan di tingkat perusahaan, seperti dari air atau es yang digunakan, tangan pekerja, peralatan, dan permukaan. Selain pangan segar, KLB Norovirus juga dikaitkan dengan pangan siap santap (*ready-to-eat*), seperti salad, *sandwich* dan produk roti

Virus Hepatitis A dan E

Virus hepatitis merupakan virus penyebab penyakit hepatitis yang akhir-akhir ini terus menunjukkan peningkatan dan telah menjadi permasalahan kesehatan masyarakat di seluruh dunia, serta telah menginfeksi ratusan juta orang. Penyakit karena virus hepatitis B, C dan D memiliki tingkat morbiditas dan mortalitas yang tinggi, baik melalui infeksi akut maupun gejala ikutan kronis (*sequelae*) yang mencakup *chronic active hepatitis* dan sirosis hati (*cirrhosis*). Sementara itu, virus Hepatitis A (HAV) dan E (HEV) telah menyebabkan banyak KLB yang sebagian besar dikaitkan dengan konsumsi pangan dan air, sehingga kedua virus ini termasuk ke dalam patogen bawaan pangan.

Pangan yang dikaitkan dengan HAV, antara lain kerang-kerangan mentah atau kurang matang yang berasal dari air yang tercemar virus ini, sayuran dan buah-buahan segar, air minum, pangan mentah, serta pangan matang yang tidak dihangatkan kembali setelah kontak dengan pekerja yang terinfeksi virus ini. WHO (2012), melaporkan terjadinya 1,4 juta kasus hepatitis A baru yang muncul di dunia setiap tahunnya. Laporan terjadinya

penyakit ini sebagian besar berasal dari negara dengan pengolahan limbah dan praktik higiene yang tidak baik, seperti di negara-negara di sub-Sahara Afrika dan Asia Tenggara. Di negara tersebut, hepatitis A merupakan penyakit yang endemik dan sebagian besar menjangkiti anak-anak (90%) sehingga orang dewasa imun terhadap penyakit ini. Kasus hepatitis A di negara-negara tersebut dapat mencapai hingga 150 per 100,000 penduduk per tahunnya, tetapi KLB jarang dilaporkan (WHO 2012).

Sementara itu, sebanyak 2,3 miliar orang di dunia diperkirakan telah terpapar oleh HEV. Seperti HAV, HEV juga merupakan penyakit endemik di negara berkembang dengan sanitasi yang buruk, seperti negara di Asia dan Afrika, serta Meksiko. Lebih dari 50% kasus hepatitis akut dikaitkan dengan HEV. Di Jepang, sebuah kasus HEV terjadi karena transfusi darah yang dikaitkan dengan donor yang terinfeksi HEV setelah mengonsumsi hati dan usus babi (Harrison dan DiCaprio 2018). Beberapa KLB hepatitis E dikaitkan dengan konsumsi pangan seperti daging babi hutan liar, *seafood* dan sebagainya.

8.2.4 Protozoa

Protozoa adalah hewan bersel satu yang mencakup kelompok yang luas. Beberapa protozoa dapat ditemukan di alam, tetapi sebagian besar hidup sebagai parasit pada hewan ataupun manusia. Cakupan yang luas menyebabkan mikroorganisme yang termasuk ke dalam kelompok Protozoa dapat memiliki ukuran satu mikrometer sampai dengan beberapa milimeter.

Protozoa terdapat dalam dua bentuk, yaitu bentuk trofozoit (vegetatif, proliferasif) yang bergerak aktif dan berkembang biak tetapi tidak tahan lingkungan; serta bentuk kista (*cyst*) yakni bentuk yang lebih tahan lingkungan dan digunakan untuk masuk ke inang yang akan ditumpanginya. Peristiwa berubahnya sel trofozoit menjadi kista disebut enkistasi (*encystation*), sementara pelepasan sel trofozoit dari kista disebut eksistasi (*excystation*).

Protozoa penyebab penyakit bawaan pangan merupakan parasit intraseluler obligat (*obligate intracellular parasites*) yang menggantungkan hidupnya pada inang yang ditinggalkannya. Protozoa enterik umumnya ditularkan melalui konsumsi pangan. Beberapa protozoa dapat mengakibatkan

penyakit yang fatal dan juga kerugian ekonomi. Protozoa terutama dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada orang dengan sistem imun yang terkompromi (*immunocompromised*). Kondisi ini ditemukan pada individu yang terinfeksi *Human Immunodeficiency Virus* (HIV) dan individu yang kekurangan sel T. Prevalensi protozoa pada populasi orang dan hewan di negara berkembang umumnya lebih besar jika dibandingkan pada negara maju. Hal ini diduga karena sistem pengadaan air dan pangan yang kurang baik, sering terjadinya pencemaran air dan pangan, kurangnya sarana toilet, cemaran fekal, dan sebagainya. Berikut adalah contoh protozoa yang dapat ditularkan melalui pangan.

Giardia

Giardia tergolong protozoa berflagela dan pertama kali diketahui menyebabkan penyakit pada manusia pada tahun 1970 karena terjadinya kasus *Giardiasis* karena konsumsi air yang tercemar. Spesies *Giardia* penyebab *Giardiasis* pada manusia dan hewan mamalia adalah *Giardia lamblia* yang juga dikenal sebagai *Giardia duodenalis* atau *Giardia intestinalis*. Di samping *G. lamblia*, dikenal beberapa spesies lain seperti *G. muris*, *G. agilis*, *G. ardae*, dan *G. psittaci*. *G. muris* dilaporkan hanya menginfeksi hewan seperti tikus, burung dan reptilia; *G. agilis* ditemukan pada amfibi; *G. ardae* pada burung bangau; sementara *G. psittaci* pada burung beo tertentu (McRoberts *et al.* 1996). *Giardia* merupakan parasit pada lebih dari 40 spesies inang yang berbeda.

Pada umumnya, *Giardia* berkembang secara aseksual. Seperti protozoa lainnya, *Giardia* memiliki dua tahap siklus hidup, yakni tahap reproduktif sebagai trofozoit dan tahap kista yang mampu bertahan dengan baik di lingkungan. Trofozoit *Giardia* berukuran panjang 9–21 mm dan lebar 5–15 mm, berbentuk tetes airmata (*teardrop*), memiliki dua inti, empat flagela, dan menunjukkan *tumbling motility*. Siklus hidup *Giardia* diakhiri dengan pembentukan kista yang berbentuk oval dengan panjang 9–12 mm dan lebar 7–10 mm dengan ketebalan 0,3–0,5 mm. Kista adalah bentuk menular yang dikeluarkan dalam feses, sementara itu trofozoit juga dikeluarkan dalam feses tetapi umumnya tidak menular (Dawson 2005). *Giardia* juga tahan terhadap

klorin sehingga berisiko mencemari air minum yang tidak diolah. Meskipun *Giardia* lebih rentan daripada *Cryptosporidium*, keduanya memiliki resistensi yang lebih besar terhadap klorin yang biasa digunakan untuk pengolahan air. Namun, *Giardia* memiliki ukuran yang lebih besar sehingga lebih mudah dihilangkan dengan filtrasi daripada *Cryptosporidium*.

Cryptosporidium

Cryptosporidium adalah protozoa berbentuk bulat kecil (*coccidian*) yang mampu menginfeksi mikrovili sel epitel saluran pencernaan dan pernapasan vertebrata. *Cryptosporidium* melalui siklus hidup lengkap dalam satu inang dan berakhir dengan dikeluarkannya ookista dewasa pada feses inang. Ookista *Cryptosporidium* berukuran kecil dengan diameter 4–6 mm dan berisi empat sporozoit berbentuk bulan sabit. Beberapa spesies *Cryptosporidium* menginfeksi secara spesifik pada vertebrata tertentu, misalnya *Cryptosporidium parvum*, *Cryptosporidium muris*, *Cryptosporidium felis*, dan *Cryptosporidium wrairi* pada mamalia; *Cryptosporidium baileyi* dan *Cryptosporidium meleagridis* pada burung; *Cryptosporidium serpentis* pada reptil; serta *Cryptosporidium nesorum* pada ikan tropis.

Infeksi pada manusia umumnya disebabkan oleh *Cryptosporidium parvum*. Robertson *et al.* (1992) yang memaparkan air keran, air sungai, dan feses sapi dengan dua isolat *C. parvum* menyimpulkan bahwa ookista dapat bertahan hingga enam bulan setelah paparan. *C. parvum* merupakan protozoa yang tahan terhadap klorin sehingga merupakan ancaman dalam suplai air minum. Perusahaan air minum umumnya mengaplikasikan proses pemurnian alami secara geologis ataupun proses koagulasi dan filtrasi untuk menahan *C. parvum*. Namun, ketika jumlah mikroorganisme dalam lingkungan sangat tinggi dan tindakan pencegahan gagal, sejumlah ookista dapat memasuki suplai air dan menyebabkan kasus dan KLB sporadis.

8.2.5 Parasit Cacing

Telur, larva, dan bentuk kehidupan lain dari cacing (*helminth*) yang berukuran mikroskopik adalah penyebab penyakit bawaan yang penting, khususnya di negara dengan standar sanitasi yang rendah. Beberapa jenis cacing

parasit yang paling sering menimbulkan penyakit bawaan pangan, antara lain (1) *Taenia solium* atau cacing pita pada daging babi; (2) *Echinococcus granulosus* yakni cacing *hydatid* atau cacing pita pada anjing yang dapat ditemukan dalam sayuran, buah-buahan, dan pangan lainnya; (3) *Echinococcus multilocularis* yang merupakan cacing pita serupa *E. granulosus*; (4) *Trichinella* spp. yakni cacing pada babi yang menyebabkan penyakit melalui daging babi, anjing, serigala, kuda, babi hutan, anjing laut, dan burung; (5) *Opisthorchiidae* yakni cacing pipih atau Trematoda dalam ikan air tawar; dan (6) *Ascaris lumbricoides* yaitu cacing gilig kecil dalam usus serta makanan, minuman, dan sayuran yang tercemar.

Sebagai parasit obligat intraseluler, cacing dalam tahap apa pun hanya tumbuh jika berada dalam inang hidupnya dan tidak tumbuh dalam pangan. Namun, cacing parasit dalam tahap *metacercariae* dan larva dapat menyintas pada pangan. Cacing parasit dari kelompok Trematoda dan Nematoda dalam pangan cenderung dapat bertahan terhadap pembekuan. *Trichinella* dilaporkan dapat bertahan dalam daging beku yang disimpan pada suhu -5 hingga -18°C . Viabilitas dan infektivitas *metacercariae* *Clonorchis sinensis* dalam ikan yang dibekukan pada suhu -12°C masih terdeteksi setelah 10–18 hari, serta setelah 5–7 hari pembekuan pada suhu -20°C . Sementara itu, larva *Cestoda* cenderung sensitif terhadap pembekuan. Larva *Taenia solium* dalam daging babi dapat diinaktivasi dengan pembekuan pada suhu -24°C hingga -5°C selama 1–4 hari, sedangkan larva *Taenia saginata* dalam daging sapi terinaktivasi pada suhu -25°C hingga -5°C setelah 10–15 hari (Franssen *et al.* 2019).

Selain suhu, kemampuan menyintas cacing parasit dipengaruhi oleh pH dan a_w pangan. *Trichinella* dilaporkan dapat mempertahankan viabilitasnya dalam ikan yang telah difermentasi selama 7–10 hari dan memiliki pH 5,2. Nilai a_w sebesar 0,92 merupakan batas kemampuan menyintas larva *Trichinella* sehingga pengeringan di bawah nilai a_w tersebut dapat menginaktivasi larva *Trichinella*. Sementara batas kemampuan menyintas kista *Taenia saginata* dalam daging sapi adalah pada a_w sebesar 0,98.

8.3 Bahaya Keamanan Pangan: Bahaya Kimia

Bahaya kimia dalam pangan adalah agen, senyawa atau bahan yang terdapat dalam pangan yang pada konsentrasi tertentu dapat memberikan efek kesehatan kronis atau akut, berdasarkan paparan bahaya kimia tersebut per hari. Efek kesehatan yang ditimbulkan dapat tergolong ke dalam intoksikasi pangan (*food intoxication*) yang sifatnya berlaku sama untuk seluruh populasi, atau tergolong ke dalam sensitivitas pangan (*food sensitivity*) yang berlaku hanya untuk kelompok individu tertentu. Sensitivitas pangan dibagi lagi menjadi bahaya alergi (*food allergy*) karena terdapatnya reaksi imunologi, dan intoleransi pangan (*food intolerance*) yang tidak melibatkan reaksi imunologi. Umumnya bahaya kimia tergolong dalam intoksikasi pangan (Luning *et al.* 2007).

Paparan dari bahaya kimia dalam pangan yang dapat ditoleransi agar tidak memberikan efek kesehatan seumur hidup, adalah apabila paparan tidak melebihi nilai *tolerable daily intake* (TDI) (mg/kg berat badan/hari atau µg/kg berat badan/hari), atau untuk bahaya kimia yang dapat menimbulkan bioakumulasi tidak melebihi nilai *tolerable weekly intake* (TWI) (mg/kg berat badan/minggu), atau *tolerable monthly intake* (TMI) (mg/kg berat badan/bulan).

Nilai *tolerable intake* atau asupan yang dapat ditoleransi tubuh manusia ini disebut sebagai *health based guidance value* (HBGV) yang telah diturunkan dari nilai *no observed adverse effect level* (NOAEL) atau *no observed effect level* (NOEL) berdasarkan beberapa hasil penelitian di laboratorium dengan menggunakan hewan percobaan. Penelitian ini telah dikaji oleh *risk assessors* dari JECFA (gabungan WHO dan FAO), EFSA (di Uni Eropa), atau lembaga lainnya yang melakukan kajian risiko (*risk assessment*). Akan tetapi, beberapa bahaya kimia yang telah diketahui, tidak memiliki nilai HBGV, karena dapat menimbulkan efek karsinogenik atau genotoksik karsinogenik pada hewan percobaan yang diberi asupan pada konsentrasi rendah berapa pun. Terhadap bahaya kimia ini, tidak dapat diketahui paparan yang tidak berisiko, namun risiko rendah dapat diketahui apabila nilainya tidak melebihi batasan tertentu berdasarkan *point of departure* yang disepakati oleh *risk assessors* (Luning *et al.* 2007).

Bahaya kimia dapat ditemui di sepanjang rantai pangan mulai dari produksi ternak atau pertanian hingga makanan terhidang di atas meja saat akan dikonsumsi. Bahaya kimia dalam pangan dapat dibagi menjadi enam bagian menurut Meulenaer (2007), yaitu (1) kontaminan sebagai akibat dari pertumbuhan mikroba (*microbial toxin*) dan toksin endogenus (*endogenous toxin*); (2) residu pestisida dan obat-obatan; (3) kontaminan dari lingkungan; (4) kontaminan yang timbul selama proses pengolahan pangan (*process contaminant*); (5) bahan tambahan pangan (BTP) akibat penggunaan yang melebihi batas maksimum; dan (6) kontaminan dari migrasi kemasan. Dalam hal ini BTP dan residu pestisida dan obat-obatan memiliki nilai *acceptable daily intake* (ADI) (mg/kg berat badan/hari atau $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat badan/hari) sebagai nilai HBGV, karena BTP, pestisida dan obat-obatan merupakan bahan yang sengaja digunakan dalam rantai produksi pangan (Luning *et al.* 2007).

8.3.1 Toksin dari Pertumbuhan Mikroba dan Endogenus dalam Bahan Pangan

Kapang dan bakteri yang bersifat toksigenik dapat menghasilkan toksin. Toksin bakteri terutama botulin pada pangan jenis berasam rendah (*low acid*) yang dapat diatasi dengan penerapan proses sterilisasi yang tepat serta toksin bakteri lainnya dibahas pada subbab 8.2.2, sedangkan proses sterilisasi dibahas pada Bab 9. Toksin lain dari pertumbuhan mikroba yang sering mengontaminasi bahan pangan dan pangan olahan terutama berasal dari kapang yang dikenal sebagai mikotoksin. Terdapat lima jenis mikotoksin yang telah diatur menurut peraturan BPOM untuk pangan olahan (PerBPOM No. 8 Tahun 2018 tentang Batas Maksimum Cemaran Kimia dalam Pangan Olahan), yaitu aflatoksin, deoksinivalenol (DON), okratoksin A, fumonisin dan patulin.

Aflatoksin dihasilkan dari *Aspergillus flavus* dan *Aspergillus parasiticus* yang bersifat toksigenik. Terdapat empat jenis aflatoksin, yaitu aflatoksin B1, aflatoksin B2, aflatoksin G1 dan aflatoksin G2. Aflatoksin B1 merupakan yang paling toksik di antara berbagai jenis aflatoksin dan mikotoksin lainnya (Luning *et al.* 2007). Efek bahaya dari aflatoksin B1 bersifat genotoksik karsinogenik, terutama pada organ hati. Kapang penghasil aflatoksin dapat

tumbuh pada kacang-kacangan, biji-bijian bahkan rempah-rempah (pala) dan ikan asin. Hasil percobaan dengan menggunakan kapang *Aspergillus flavus* BIO 2237 yang bersifat toksigenik menunjukkan bahwa produksi aflatoksin yang paling tinggi pada kacang tanah adalah pada suhu sekitar 30°C dan kelembaban 90% (Pratiwi *et al.* 2015). Hal ini sesuai dengan kondisi negara tropis.

Pengendalian pertumbuhan kapang penghasil aflatoksin pada bahan pangan di negara tropis perlu mendapatkan perhatian serius mulai dari budidaya yang sesuai *good agricultural practices* (GAP) serta penggunaan benih yang tahan serangan kapang hingga penanganan pasca panen, penggudangan hingga distribusinya (Dąbrowski dan Sikorski 2005). Hal ini untuk mencegah produksi aflatoksin dengan cara menghambat atau meminimalkan pertumbuhan kapang *A. flavus*, karena pengendalian aflatoksin setelah biji atau kacang terkontaminasi aflatoksin memerlukan upaya yang belum tentu memberikan produk akhir yang dapat diterima konsumen. Pakan ternak yang terkontaminasi aflatoksin B1, apabila diberikan kepada sapi perah dapat berdampak pada produksi susu yang mengandung aflatoksin M1 (Dąbrowski dan Sikorski 2005). Jenis aflatoksin ini hanya terdapat pada susu dan produknya. Pengendalian hal ini juga perlu dilakukan sejak dari GAP. Produk susu formula bayi, formula lanjutan dan formula pertumbuhan yang diambil di Indonesia dapat mengandung aflatoksin M1, masing-masing 0,023, 0,42 dan 0,004 µg/kg (Restiani *et al.* 2020). Konsentrasi ini masih di bawah batas maksimum yang diregulasikan dalam PerBPOM No. 8 Tahun 2018, yaitu 0,5 µg/kg.

DON, fumonisin, okratoksin A dapat ditemukan pada sereal seperti jagung dan gandum yang telah kering, sedangkan patulin ditemukan pada buah-buahan segar seperti apel dan produknya seperti jus apel. Okratoksin A juga ditemukan pada biji kakao kering dan produknya. Pengendalian semua jenis mikotoksin ini relatif sama, yaitu diperlukan pencegahan pertumbuhan kapang sejak dari GAP hingga distribusi dan pengolahannya (Dąbrowski dan Sikorski 2005; Prayitno *et al.* 2018). Fumigasi dengan fungisida pada saat penyimpanan atau penggudangan kadang diperlukan untuk mencegah tumbuhnya kapang, terutama pada biji-bijian yang dikeringkan tetapi mengandung kadar air relatif tinggi (>15%) (Dąbrowski dan Sikorski 2005).

Toksin endogenus terdapat dalam bahan pangan nabati dan hewani. Dalam bahan pangan nabati, singkong pahit yang memiliki senyawa sianogenik glikosida seperti linamarin pada konsentrasi yang relatif tinggi dan dapat menyebabkan keracunan HCN apabila singkong jenis ini dikonsumsi. Selain itu, kentang yang berwarna hijau yang mengandung solanin, alkaloid kafein pada kopi dan teobromin pada coklat merupakan toksin endogenus yang harus dicermati. Dalam bahan pangan hewani senyawa *biogenic amine* dari ikan yang dapat menimbulkan reaksi alergi dan toksin dalam kekerangan yang bersifat *amnestic* dan *paralytic*, seperti *saxitoxin* perlu diperhatikan keberadaannya. Toksin dalam kekerangan ini disebabkan oleh toksin yang berasal dari plankton atau alga seperti dinoflagelata dan diatom yang berkembang di perairan tempat kekerangan tersebut hidup (Dąbrowski dan Sikorski 2005). Kasus *red tide* yang disebabkan pertumbuhan alga yang pesat pada waktu tertentu yang mempunyai pigmen coklat hingga merah di perairan laut dapat menyebabkan ikan yang berasal dari perairan ini mengandung toksin dan membahayakan kesehatan manusia apabila ikan ini dikonsumsi.

8.3.2 Residu Pestisida dan Residu Obat-obatan Hewan

Keberadaan residu pestisida dan obat-obatan hewan dalam pangan disebabkan oleh penggunaan pestisida dan obat-obatan selama budidaya pertanian atau produksi perikanan dan peternakan, tanpa sengaja menyebabkan residu ini masih berada dalam rantai pangan hingga saatnya dikonsumsi. Pestisida terdiri atas insektisida, akarisida, nematisida, rodentisida, moluskisida, avisida, fungisida, bakterisida, herbisida dan pengatur pertumbuhan tanaman serta desinfektan tanah. Pestisida dapat diklasifikasikan sebagai senyawa golongan organoklorin (*organochlorine*), organofosfat (*organophosphorus*), karbamat (*carbamate*) dan piretroid sintetis (*synthetic pyrethroid*) (Meulenaer 2007).

Senyawa golongan organoklorin dapat mengganggu sistem saraf pusat serangga atau hewan. Senyawa golongan organofosfat dan karmabat dapat menghambat enzim asetilkolin esterase yang penting dalam sistem saraf pusat

serangga dan hewan, tetapi toksisitas akut dan kronisnya lebih rendah pada karbamat daripada organofosfat. Senyawa golongan piretroid lebih bekerja pada serangga daripada hewan mamalia, sehingga lebih kurang toksik pada hewan. Pestisida golongan organoklorin merupakan golongan pestisida yang awal mula dibuat dan memiliki stabilitas molekul yang tinggi serta umumnya bersifat hidrofobik, sehingga memungkinkan senyawa golongan ini terakumulasi dalam tubuh manusia dan hewan (Meulenaer 2007). Contoh pestisida golongan ini adalah DDT, golongan *hexachlorine cyclo hexane* seperti *lindane* dan isomernya, golongan *cyclodiene* seperti *aldrin*, *dieldrin* dan *endosulfan* yang telah dilarang penggunaannya menurut Permentan RI Nomor 43 Tahun 2019 yang merupakan revisi Nomor 39/Permentan/SR.330/7/2015 Tahun 2015. Pestisida golongan organoklorin pernah digunakan dalam jumlah berlebihan, serta beberapa memiliki waktu paruh tahunan sehingga resistansinya pada lingkungan dilaporkan dalam beberapa penelitian.

Golongan organofosfat yang berfungsi sebagai insektisida terbagi lagi ke dalam golongan ortofosfat (*orthophosphate*), fosforotionat (*phosorothionate*), fosforotiolat (*phosphorothiolate*) dan fosfosroditiolat (*phosphorodithiolate*). Contoh golongan organofosfat adalah *mevinphos*, *dichlorvos*, *parathion*, *malathion* dan *demethon-S-methyl*. Insektisida golongan karmabat contohnya *carbaryl*, *carbofuran* dan *aldicarb*. Insektisida golongan piretroid contohnya *pyrethrin*, *permethrin*, *deltamethrin* (Meulenaer 2007).

Masing-masing pestisida mempunyai nilai LD₅₀ untuk toksisitas akut oral pada tikus dalam mg/kg berat badan (**Tabel 8.2**). Toksisitas akut ini dibagi kelas bahaya menurut WHO, untuk pemberian oral dan bahan bentuk cair, yaitu kelompok Ia sangat berbahaya sekali (<20 mg/kg berat badan), kelompok Ib berbahaya sekali (20–<200 mg/kg), kelompok II berbahaya (200–2000 mg/kg), kelompok III cukup berbahaya (>2000–3000 mg/kg) dan kelompok IV tidak berbahaya pada penggunaan normal (>3000 mg/kg). Paraquat diklorida yang memiliki LD₅₀ oral (tikus) 20–150 mg/kg berat badan, sehingga masuk kelompok Ib merupakan herbisida golongan *quaternary ammonium compounds* yang diizinkan menurut Permentan di atas, tetapi penggunaan terbatas untuk pengelolaan tanaman. Menurut Permentan tersebut terdapat 103 bahan aktif pestisida yang dilarang digunakan, di antaranya 73 bahan aktif dilarang pada

semua bidang penggunaan, satu bahan (klorpirifos) dilarang untuk rumah tangga, satu bahan (triklorfon) dilarang untuk bidang perikanan, dan 31 bahan dilarang untuk tanaman padi. Penggunaan pestisida yang sesuai dengan GAP dan sesuai dengan Permentan Nomor 43 Tahun 2019, setidaknya dapat memberikan residu pestisida pada bahan pangan yang memenuhi peraturan bahan ini, yang dinyatakan dalam batas maksimum residu atau maximal residue limit (MRL).

Tabel 8.2 Pestisida golongan insektisida dengan nilai TDI dan toksisitas akut (LD_{50})

| Golongan | Nama Pestisida | TDI (mg/kg berat badan/hari)* | LD_{50} oral (tikus) (mg/kg berat badan)** |
|------------------|------------------|-------------------------------|--|
| Organochlorine | DDT | 0,01 | 200–500 |
| | endosulfan | 0,008 | 100 |
| | aldrin | 0,0001 | 10–70 |
| | dieldrin | 0,0001 | 40–100 |
| | lindane | 0–0,005 | 150–230 |
| Organophosphorus | mevinphos | 0–0,0008 | 3–7 |
| | dichlorvos | 0–0,004 | 25–60 |
| | parathion | 0–0,003 | 6–13 |
| | malathion | 0–0,3 | 1200–2800 |
| | demeton-S-methyl | 0–0,0003 | 2–60 |
| Carbamate | carbaryl | 0–0,008 | 400–600 |
| | carbofuran | 0–0,001 | 8–14 |
| | aldicarb | 0–0,003 | 0.84 |
| Pyrethroid | pyrethrin | 0–0,04 | 340 |
| | permethrin | 0–0,05 | 1750 |
| | deltamethrin | 0–0,01 | 60 |

*WHO (2012) melalui apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database /Home/Search, tambahan keterangan: TDI eldrin dan dieldrin merupakan gabungan kedua pestisida ini

**Meulenaer 2007

Obat-obatan hewan (*veterinary drugs*) menjadi penting digunakan ketika produksi peternakan dan perikanan digalakkan lebih intensif. Terdapat sedikitnya empat tujuan penggunaan obat-obatan hewan, yaitu: (1) obat-obatan untuk terapi (*therapeutic*) digunakan untuk mengendalikan penyakit

infeksi yang disebabkan oleh mikroorganisme patogenik, parasit dan fungi; dan (2) obat-obatan untuk mencegah terjangkitnya penyakit (*prophylactic*) yang digunakan pada hewan yang sehat. Obat-obatan ini umumnya diaplikasikan melalui pakan ternak dan ikan termasuk di dalamnya adalah obat-obatan golongan *anabolic growth promoter* dan β -*agonist* yang dapat terlihat efeknya selama dalam metabolisme hewan ternak untuk meningkatkan rasio konversi pakan; (3) obat-obatan golongan hormon digunakan untuk pengendalian reproduksi hewan; dan (4) obat-obatan golongan *tranquilliser* untuk mengurangi *stress* dan tingkah laku hewan yang agresif. Keempat tujuan tersebut dapat dipenuhi melalui penggunaan satu atau lebih senyawa aktif yang diklasifikasikan sebagai berikut: (1) antimikroba dan antibiotik digunakan untuk terapi, pencegahan penyakit dan pemacu pertumbuhan; (2) *steroidal and non steroidal anabolic*; (3) antelmintik untuk mematikan atau melumpuhkan cacing dalam usus hewan; (4) *coccidiostat* untuk menghentikan pertumbuhan protozoa; (5) *tranquilliser* dan β -*agonist*; dan (6) *non hormonal growth promoter*.

Contoh antibiotik adalah *sulphonamide* untuk mengendalikan pneumonia juga sebagai *coccidiostat*, *penicilline* dari golongan β -*lactam* untuk pengobatan mastitis pada sapi perah, *tetracyclin* untuk peternakan dan budidaya perikanan. Masalah serius dalam penggunaan antibiotik adalah timbulnya strain bakteri yang resistan terhadap antibiotik, baik pada hewan maupun pada manusia apabila residu antibiotik terdapat dalam rantai pangan dan ini dikonsumsi, maka akan mengganggu atau mengubah flora bakteri dalam usus manusia. *Testosterone* dan *progesterone* sintesis digunakan sebagai *steroidal anabolic*, dan *stilbene* sebagai contoh *non steroidal anabolic* tetapi memiliki toksisitas yang relatif tinggi. Contoh β -*agonist* adalah clenbuterol untuk menginduksi redistribusi lemak pada jaringan daging. *Hormonal growth promoter* sering diaplikasikan melalui injeksi atau implant di telinga hewan. Meskipun demikian residu obat-obatan jenis ini telah dilarang penggunaannya di Eropa. Pengendalian penggunaan obat-obatan hewan sesuai dengan GAP sejak dari pertanian atau peternakan dan perikanan ditujukan untuk memperoleh pangan dengan residu yang dapat diterima kadarnya atau di bawah MRL yang ditetapkan (Meulenaer 2007).

8.3.3 Kontaminan dari Lingkungan

Kontaminan dari lingkungan dapat berupa senyawa inorganik dan senyawa organik. Sumber kontaminan ini di lingkungan disebabkan oleh buangan atau emisi buangan industri, buangan dari aktivitas rumah tangga, aktivitas pertambangan mineral, polusi lingkungan dan kejadian alam seperti letusan gunung berapi. Contoh yang paling umum untuk kontaminan lingkungan adalah senyawa golongan aromatik hidrokarbon (*aromatic hydrocarbon*) termasuk senyawa benzena dan polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), dioksin (*dioxin*) dan senyawa serupa dioksin, dan logam berat (Meulenaer 2007). Golongan kontaminan lingkungan telah ditemukan dalam kekerangan dan ikan di teluk Jakarta (Dwiwitno *et al.* 2016).

Senyawa benzena dan senyawa benzo-a-piren dari golongan aromatik hidrokarbon telah terbukti sebagai senyawa genotoksik karsinogen, dan terdapat di lingkungan sebagai hasil polusi udara serta pembakaran sampah organik atau kebakaran hutan. Senyawa golongan ini mudah larut dalam lemak serta dapat berada pada makanan berlemak karena terabsorpsi dari udara. Senyawa toluena dan naftalena termasuk dalam golongan kontaminan lingkungan ini (Meulenaer 2007).

Dioksin adalah nama untuk golongan *polychlorinated dibenzo-p-dioxins* (PCDD) dan *polychlorinated dibenzofurans* (PCDF). Senyawa ini mempunyai dua cincin benzena yang dihubungkan oleh satu atau dua atom oksigen dengan sedikitnya satu atom Cl. Di lingkungan terdapat 75 PCDD dan 135 PCDF *congeners* (yang memiliki sifat fisikokimia dan struktur kimia yang mirip). Senyawa serupa dioksin adalah *polychlorinated biphenyl* (PCB) yang mempunyai dua cincin benzena tetapi tidak memiliki atom oksigen dalam strukturnya. Di alam terdapat 209 PCB *congeners*. Selain PCB, senyawa serupa dioksin lainnya adalah *polybrominated biphenyl* (PBB) dan *polychlorinated naphthalene* (PCN). PCB dan PCN diproduksi oleh industri sebagai cairan pindah panas karena sifat fluidanya yang mirip minyak. PBB diproduksi oleh industri sebagai bahan tahan api (*flame retardant*), sedangkan dioksin tidak sengaja diproduksi industri. Senyawa dioksin terdapat dalam lingkungan sebagai hasil samping dari produksi pestisida *organochlorine*,

akibat proses *bleaching* pada *pulp* kayu, akibat proses pembakaran (*combustion*) bahan organik yang mengandung Cl, serta akibat erupsi gunung berapi dan kebakaran hutan (Meulenaer 2007).

Senyawa dioksin dan serupa dioksin ini sangat stabil dan bersifat lipofilik, serta memiliki waktu paruh dalam tubuh manusia sekitar 10 tahun. Karena sifatnya yang mudah terdeposit pada jaringan lemak hewan dan tubuh manusia, sehingga senyawa golongan dioksin dan serupa dioksin bersifat bioakumulasi dan biomagnifikasi, serta nilai HBGV nya dinyatakan sebagai TWI. Menurut WHO, toksisitas ekivalen dioksin direlatifkan terhadap senyawa 2,3,7,8-TCDD yang memiliki toksisitas ekivalen 1. Demikian pula senyawa serupa dioksin seperti PCB, toksisitas ekivalen direlatifkan terhadap senyawa dioksin tersebut. Paparan dioksin dan senyawa serupa dioksin dinyatakan sebagai pg 2,3,7,8-TCDD/kg berat badan/minggu. Kontribusi berbagai jenis pangan terhadap paparan dioksin telah diketahui, yaitu produk perikanan laut 11–63%, produk susu 16–39%, produk daging 6–32%, produk sayuran 6–26%. Kontaminasi pangan oleh dioksin yang tertinggi terdapat pada produk perikanan laut (Meulenaer 2007).

Logam berat khususnya timbal (Pb), merkuri (Hg), kadmium (Cd) dan arsen (As) merupakan kontaminan lingkungan inorganik yang sering menjadi perhatian. Arsen merupakan unsur golongan metalloid atau semi logam, akan tetapi tergolong sebagai logam berat karena toksisitasnya sama seperti logam berat Pb, Hg dan Cd. Logam berat dapat bersifat bioakumulasi sehingga nilai HBGV nya dinyatakan sebagai TWI atau TMI, akan tetapi berdasarkan WHO (2019), <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database>), JECFA telah menarik PTWI arsen (sebagai arsen inorganik) serta PTWI timbal, karena nilai PTWI yang sebelumnya ditetapkan (sebelum 2011) belakangan diketahui masih memberikan efek negatif pada hewan percobaan serta tidak memiliki nilai NOAEL.

Merkuri memiliki PTWI yang sangat kecil yaitu 4 µg/kg berat badan/minggu, sedangkan cadmium memiliki PTMI sebesar 25 µg/kg berat badan/bulan. Akumulasi logam berat terutama terdapat pada produk perikanan seperti ikan tuna, karena dalam rantai makanan ikan tuna memakan ikan lain dan seterusnya yang menyebabkan terdapatnya akumulasi logam berat

pada ikan tuna yang lebih tinggi daripada ikan lain dalam rantai makanan di bawahnya. Keberadaan logam berat di lingkungan dapat berasal dari aktivitas industri (*metal smelting*), pembakaran bahan bakar fosil, pertambangan, aktivitas gunung berapi dan pengeboran sumur untuk air minum dekat dengan deposit mineral yang mengandung logam berat. Arsen anorganik diketahui memiliki toksisitas yang jauh lebih tinggi daripada arsen organik, sedangkan merkuri organik (*organomercury*) lebih toksik daripada merkuri inorganik atau merkuri bebas. Arsen inorganik terdapat dalam dua jenis, arsen inorganik valensi 3 dan valensi 5, arsen inorganik valensi 3 lebih toksik daripada valensi 5. Menghindari budidaya pertanian pada lahan dekat pertambangan, menerapkan pengolahan limbah industri dengan benar, serta menerapkan *combustion system* di industri dan instalasi pembakaran sampah yang dapat mengurangi polusi udara menurunkan kontaminan lingkungan ini pada rantai pangan (Luning *et al.* 2007).

Selain logam berat terdapat senyawa nitrat akibat penggunaan pupuk nitrat pada budidaya pertanian. Senyawa nitrat dapat tereduksi menjadi nitrit dalam rantai pangan hal ini dapat menimbulkan masalah kesehatan, karena nitrit dapat membentuk nitrosamin atau N-nitrosamin yang bersifat karsinogenik selama pengolahan pangan apabila nitrit bereaksi dengan senyawa yang memiliki gugus amina sekunder (Stadler dan Lineback 2009). Nitrat yang terdapat dalam pangan, apabila termakan juga dapat tereduksi menjadi nitrit oleh mikroflora dalam mulut individu yang memiliki bakteri pereduksi nitrat, hal ini dapat meningkatkan asupan nitrit pada individu ini.

8.3.4 Kontaminan dari Proses Pengolahan Pangan pada Suhu Tinggi

Kontaminan yang timbul selama proses pengolahan pangan pada suhu tinggi yaitu suhu di atas 100°C yang dapat ditemui pada proses penggorengan, pemanggangan, pembakaran langsung dengan api, pengasapan dan penyangraian, di antaranya yang sering menjadi perhatian adalah senyawa golongan polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), golongan heterosiklik amin, kloropropanol, nitrosamin dan akrilamida (Meulenaer 2007; Stadler dan Lineback 2009).

Senyawa golongan PAH yang ditemukan pada pangan dapat sama seperti yang ditemukan pada kontaminan lingkungan, yaitu benzo-a-piren (BaP) dan senyawa PAH lainnya. Meskipun demikian PAH yang sering ditemukan pada pangan jumlahnya lebih terbatas, yaitu 16 senyawa PAH, terdiri atas benzo-a-piren (*benzo[a]pyrene*), *benzo[b]fluoranthene*, *benzo[k]fluoranthene*, *benzo[g,h,i]perylene*, *benz[a]anthracene*, *dibenz[a,h]anthracene*, *indeno[1,2,3-cd]pyrene*, *naphthalene*, *acenaphthylene*, *acenaphthene*, *fluorene*, *anthracene*, *phenanthrene*, *fluoranthene*, *pyrene*, *chrysene* (Stadler dan Lineback 2009). Senyawa PAH memiliki toksisitas yang berbeda-beda, toksisitas ekuivalen direlatifkan terhadap senyawa BaP yang memiliki toksisitas ekuivalen 1.0. BaP telah dijelaskan di atas bersifat genotoksik karsinogenik.

Senyawa golongan PAH terbentuk karena reaksi pirolisis dari kayu yang digunakan untuk pengasapan atau dari pangan yang dibakar langsung di atas api atau bara. Pengasapan merupakan cara tradisional yang telah diterapkan turun-temurun untuk pengawetan pangan, akan tetapi pengasapan dengan cara langsung pada bahan pangan dapat memungkinkan pangan asap mengandung BaP sekitar 130 µg/kg (daging sapi asap) dan 210 µg/kg (daging unggas asap) (Stadler dan Lineback 2009). Asap cair yang digunakan sebagai BTP *flavor* atau aroma asap pada sosis dan pangan lain dapat mengandung BaP. Untuk mengurangi kandungan BaP pada pangan asap, pengasapan secara tidak langsung dengan pembuatan *tunnel* atau cerobong khusus untuk pangan atau melakukan destilasi berulang pada hasil asap cair (*flavouring*) dapat diterapkan. Pada pangan yang dibakar atau dipanggang, upaya untuk mengurangi kontak langsung dengan cara *wrapping* (Farhadian *et al.* 2011) atau mengatur jarak antara bahan pangan dan api dapat mengurangi kadar BaP (Stadler dan Lineback 2009). Dalam peraturan BPOM Nomor 8 Tahun 2018, batas maksimum PAH diatur sebagai BaP dan sebagai total dari empat jenis PAH, yaitu *benzo[a]pyrene*, *benz[a]anthracene*, *benzo[b]fluoranthane* dan *chrysene*, yang mengikuti peraturan yang terdapat di Eropa.

Senyawa golongan heterosiklik amin (HA) atau heterosiklik aromatik amin (HAA) dihasilkan dari reaksi pirolisis protein atau asam amino pada suhu tinggi (>250°C). Reaksi deaminasi dan dekarboksilasi yang disertai dengan pembentukan fragmen radikal memberikan hasil heterosiklik amin

yang terdiri atas lima kelompok senyawa yang mengandung *pyridoindole*, *pyridoimidazole*, *phenylpyridine*, *tetraazofluoranthene*, atau *benzimidazole*. Dalam pangan ditemukan sekitar 20 senyawa HA, beberapa di antaranya diketahui bersifat karsinogenik. Dua senyawa yang paling banyak ditemukan pada pangan adalah *2-amino-3,8-dimethylimidazo[4,5-f]quinoxaline* atau disingkat MeIQx, dan *2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine* atau disingkat PhIP (Meulenaer 2007; Jahurul *et al.* 2010). Untuk mengurangi terbentuknya senyawa ini, pemasakan pangan yang tidak *overcooked*, serta penggunaan suhu rendah tetapi waktu pemasakan lebih lama dapat diterapkan.

Senyawa golongan kloropropanol seperti 3-monokloropropanadiol (3-MCPD) dan 1,3-dikloropropanol (1,3-DCP) pertama kali ditemukan pada hidrolisat protein kedelai (*hydrolysed vegetable protein* atau HVP) yang dihidrolisis dengan asam HCl. Namun belakangan kloropropanol juga ditemukan pada pangan yang dipanggang seperti roti dan biskuit, meskipun tidak mengandung HVP (Stadler dan Lineback 2009). Hal ini karena terjadinya reaksi antara garam NaCl dalam pangan dan gliserol sebagai hasil hidrolisis lemak dalam pangan selama proses pemasakan. Senyawa golongan kloropropanol juga ditemukan dalam bentuk ester dalam minyak makan, baik nabati maupun hewani. Meskipun bentuk ester, 3-MCPD ester ataukah 1,3-DCP ester memiliki toksisitas yang sama dengan 3-MCPD dan 1,3-DCP bebas, karena di dalam tubuh 3-MCPD ester dan 1,3-DCP ester mudah terhidrolisis oleh enzim lipase membentuk 3-MCPD dan 1,3-DCP bebas (Stadler dan Lineback 2009).

Pembentukan 3-MCPD ester dan 1,3-DCP ester dalam minyak makan, terutama terjadi pada saat minyak mengalami proses deodorisasi yang umumnya berlangsung pada suhu di atas 200°C (Fredeunstein *et al.* 2013). Ion klorida dalam minyak dapat berasal dari bahan penolong yang digunakan untuk proses *bleaching* atau dari air pencuci yang mengandung klorin. Upaya untuk mengontrol kadar klorin dalam air pencuci atau menggunakan bahan penolong yang tidak mengandung ion klorida serta menurunkan suhu deodorisasi dapat menurunkan kadar kloropropanol dalam minyak nabati dan hewani. Pada proses deodorisasi minyak, senyawa lain seperti glisidol dan glisidil ester dapat terbentuk. Senyawa ini sangat reaktif dalam tubuh

dan bersifat karsinogenik, sehingga kadar glisidil ester juga menjadi perhatian untuk produk minyak seperti minyak goreng. Kadar glisidil ester dalam minyak meningkat apabila deodorisasi dilakukan pada suhu 240°C atau lebih tinggi, serta apabila bahan baku minyak banyak mengandung digliserida. Penggunaan suhu deodorisasi di bawah suhu 240°C atau penggunaan digliserida pada minyak sebelum dideodorisasi dapat menurunkan kadar glisidil ester dalam produk minyak.

Nitrosamin atau N-nitrosamin terbentuk dalam pangan yang mengalami proses kuring dengan garam nitrit atau campuran garam nitrit dan nitrat (sendawa) dan kemudian mengalami proses pemasakan pada suhu tinggi seperti penggorengan dan *autoclaving*. Pangan yang dikuring contohnya sosis dan korned serta dendeng sapi kering (Suryati *et al.* 2014). Setelah dendeng sapi ini digoreng dapat ditemukan senyawa nitrosamin. Senyawa nitrosamin yang sering ditemukan pada pangan adalah *N-nitrosodimethylamine* (NDMA), *N-nitrosopyrrolidine* (NPYR), *N-nitrosopiperidine* (NPIP) dan *N-nitrosothiazolidine* (NTHZ), sedangkan senyawa nitrosamin lainnya dapat ditemukan sewaktu-waktu adalah *N-nitrosodiethylamine* (NDEA), *N-nitrosodibu-tylamine* (NDBA) dan *N-nitrosomorpholine* (NMOR) (Stadler dan Lineback 2009). Kadar nitrosamin total dalam produk daging berkisar antara tidak terdeteksi hingga 14 µg/kg produk (Stadler dan Lineback 2009). Penggunaan garam nitrit atau sendawa di bawah batas maksimum BTP nitrit yang ditetapkan, serta pemasakan dengan *temperature controller*, diharapkan dapat menurunkan kadar nitrosamin yang terbentuk dalam pangan yang dikuring tersebut.

Akrilamida merupakan hasil reaksi Maillard (pencokelatan non enzimatis) antara asam amino terutama asparagin dan gula pereduksi seperti glukosa. Korelasi kuat antara konsentrasi asam amino asparagin bebas dan glukosa dalam pangan dengan konsentrasi akrilamida telah dibuktikan dalam sebuah penelitian (Daniali *et al.* 2013). Akrilamida terbentuk selama penggorengan kentang, pisang dan bahan lain yang berbasis karbohidrat. Akrilamida juga terdapat dalam biji kopi yang telah disangrai, serta diketahui semakin lama penyangraian biji kopi pada suhu tertentu, konsentrasi akrilamida semakin tinggi. Akrilamida bersifat karsinogenik sehingga kadarnya perlu diturunkan

serendah mungkin. Cara yang dapat dilakukan pada penggorengan kentang adalah dengan menggunakan penggorengan yang memiliki pengendalian suhu otomatis (*temperature controller*), menggunakan enzim asparaginase dalam perendaman kentang sebelum kentang digoreng, atau memilih bahan baku kentang dari varietas yang rendah kadar asam amino asparagin (Luning *et al.* 2007).

8.3.5 Penggunaan Bahan Tambahan Pangan yang Melebihi Batas Maksimum

Bahan tambahan pangan (BTP) yang menjadi perhatian sebagai salah satu sumber bahaya kimia dalam pangan adalah BTP yang memiliki nilai ADI numerik atau yang dinyatakan dalam besaran angka, bukan yang memiliki nilai ADI “*not specified*” atau “tidak dinyatakan”. BTP yang memiliki ADI numerik, banyak tergolong sebagai pewarna, pemanis, pengawet, antioksidan dan pengemulsi. Penggunaan BTP yang melebihi batas maksimum yang ditetapkan dalam peraturan (Peraturan BPOM Nomor 11 Tahun 2019 tentang Bahan Tambahan Pangan) dapat menimbulkan risiko bahaya. Batas maksimum BTP dalam peraturan tersebut ditetapkan dengan merujuk pada standar internasional (Codex) dan berdasarkan analisis risiko dari BTP bersangkutan sesuai dengan konsumsi pangan (Peraturan BPOM Nomor 30 Tahun 2018 tentang Angka Konsumsi Pangan), meskipun analisis risiko untuk penetapan ini dilakukan dalam bentuk yang sederhana (*rapid risk analysis*). Penjelasan mengenai jenis BTP dibahas dalam Bab 4 mengenai bahan tambahan pangan (BTP).

Secara umum, BTP yang memiliki nilai ADI numerik yang lebih kecil menunjukkan bahwa risiko bahayanya lebih tinggi. Dalam subbab ini diambil satu contoh BTP pewarna. BTP pewarna azo (yang memiliki gugus azo dalam struktur kimianya) seperti karmoisin, kuning FCF, ponceau 4R dan cokelat HT memiliki nilai ADI lebih kecil daripada pewarna azo lainnya seperti tartrazin dan merah allura (**Tabel 8.3**). BTP pewarna alami belum tentu memiliki ADI numerik yang lebih kecil daripada BTP pewarna sintesis contohnya pewarna alami kurkumin yang memberikan warna kuning memiliki ADI lebih kecil daripada pewarna kuning tartrazin. Hal ini menunjukkan bahwa BTP alami

belum tentu lebih aman dibandingkan dengan BTP sintetis, bergantung dari nilai ADI BTP. Pengendalian bahaya dari penggunaan BTP yang melebihi batas adalah dengan pemilihan BTP dan formulasi yang tepat serta penerapan proses produksi pangan yang baik, sehingga konsentrasi BTP tidak melebihi batas maksimum dalam produk akhirnya. Sementara penggunaan BTP yang memiliki batas maksimum *good manufacturing practice* (GMP) atau cara produksi pangan yang baik (CPPB) harus berada pada level serendah mungkin untuk memperoleh karakteristik produk akhir yang diinginkan.

Tabel 8.3 Bahan tambahan pangan kelompok pewarna yang memiliki nilai *acceptable daily intake* (ADI) numerik

| Nama pewarna* | Jenis pewarna | ADI** (mg/kg berat badan) | Keterangan |
|---|---------------|------------------------------|----------------------------|
| Beta-apo-8'-karotenal | alami | 0–5 | - |
| Beta-karoten | sintetis | 0–5 | identik beta karoten alami |
| Beta-karoten dari <i>Blakeslea trispora</i> | alami | 0–5 | - |
| Biru berlian FCF | sintetis | 0–6 | pewarna non azo |
| Cokelat HT | sintetis | 0–1,5 | pewarna azo |
| Ekstrak anato | alami | 0–12 | berbasis bixin |
| Eritrosin | sintetis | 0–0,1 | pewarna non azo |
| Hijau FCF | sintetis | 0–25 | pewarna non azo |
| Indigotin | sintetis | 0–5 | pewarna non azo |
| Karamel II | alami | 0–160 | proses kaustik sulfit |
| Karamel III | alami | 0–200 | proses amonia |
| Karamel IV | alami | 0–200 | proses ammonia sulfit |
| Karmin | alami | 0–5 | - |
| Karmoisin | sintetis | 0–4 | pewarna azo |
| Klorofil tembaga kompleks | alami | 0–15 | - |
| Kuning FCF (<i>sunset yellow</i>) | sintetis | 0–4 | pewarna azo |
| Kuning kuinolin | sintetis | 0–3 | pewarna non azo |
| Kurkumin | alami | 0–3 | - |
| Merah allura | sintetis | 0–7 | pewarna azo |

Tabel 8.3 Bahan tambahan pangan kelompok pewarna yang memiliki nilai *acceptable daily intake* (ADI) numerik (lanjutan)

| Nama pewarna* | Jenis pewarna | ADI** (mg/kg berat badan) | Keterangan |
|------------------------------|---------------|---------------------------|-------------|
| Ponceau 4R | sintetis | 0–4 | pewarna azo |
| Riboflavin 5'-natrium fosfat | alami | 0–0,5 | - |
| Tartrazin | sintetis | 0–10 | pewarna azo |

*BTP pewarna ditetapkan dalam PerBPOM No. 11 Tahun 2019

**JECFA *Compendium of Food Additive Specifications* (2010, 2011, 2017)

8.3.6 Migrasi dari Kemasan

Kemasan plastik yang digunakan untuk bahan pangan cair terutama menjadi perhatian utama untuk kasus migrasi dari kemasan. Bahan yang bermigrasi disebut *migrant*. *Migrant* dapat berupa monomer dari polimer plastik yang digunakan seperti monomer stiren dari polistiren atau monomer vinil asetat dari plastik polivinil asetat, dapat juga berupa bahan lain yang digunakan dalam pembuatan plastik seperti senyawa golongan *phtalate* yang berfungsi sebagai plasticizer. Bahan pangan cair lebih intens bersentuhan dengan kemasan dibandingkan bahan pangan padat, contohnya minyak goreng dalam kemasan plastik. *Migrant* dapat diukur kadarnya sebagai total migrant dengan cara gravimetrik atau sebagai migrant spesifik yang memerlukan instrumen canggih seperti kromatografi gas untuk mengukur kadarnya (Mariana *et al.* 2013). Jenis migrant sangat beragam bergantung dari jenis plastik dan bahan plasticizer serta bahan tambahan lainnya seperti antioksidan, pewarna, lubricant dan sebagainya yang digunakan dalam pembuatan plastik tersebut (Katan 1996).

8.3.7 Radioaktif

Radioaktif dimiliki oleh unsur yang mempunyai inti atau nuklida yang berat dan mampu meluruh menjadi inti atau nuklida yang lebih ringan dengan memancarkan sinar iradiasi atau partikel α , β dan γ . Cedera akibat dari bahaya kimia ini apabila organ atau jaringan tubuh manusia terpapar iradiasi energi

tinggi. Untuk itu diperlukan pengukuran secara kuantitatif apabila sejumlah iradiasi terkena. Pengukuran dapat berdasarkan energi yang tersampaikan per volume, energi yang tersampaikan per massa, pasangan ion yang terbentuk per volume dan pasangan ion yang terbentuk per massa. Satuan untuk dosis yang terabsorpsi adalah Gray (Gy). Radionuklida yang menjadi kontaminan pangan dirangkum dalam **Tabel 8.4** (Aladjadjian 2007).

Tabel 8.4 Radionuklida penting yang memiliki pengaruh terbesar pada kontaminasi pangan

| Pangan | Radionuklida |
|--------------------|--|
| Susu | ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs |
| Daging | ^{134}Cs , ^{137}Cs |
| Produk pangan lain | ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{137}Cs |

8.4 Bahaya Keamanan Pangan: Bahaya Fisik

Definisi bahaya fisik dalam pangan adalah keberadaan bahan asing yang secara normal tidak terdapat dalam pangan dan dapat menyebabkan cedera atau luka atau kecelakaan, trauma psikologis dan penyakit (Luning *et al.* 2007). Sebanyak 1–5% bahan asing dalam pangan telah dapat menyebabkan kecelakaan ringan sampai serius. Bahaya fisik terdiri atas bahaya yang berasal dari mineral (tanah, batu, logam, gelas, pecahan cat kering), tanaman (kayu, daun, gulma, batang/ranting), dan hewan (tulang, serangga, tikus, dan sebagainya). Bahaya fisik yang telah ditemui dan dapat menimbulkan kecelakaan seperti tercantum pada **Tabel 8.5**. Pencegahan bahaya fisik dapat dilakukan dengan mendeteksi logam pada bahan pangan atau produk setengah jadi dan produk jadi menggunakan *metal detector*, melakukan penyaringan pada bahan pangan yang sifatnya mengalir, melakukan inspeksi bahan mentah, melakukan scan dengan *scanner* pada panjang gelombang tertentu, serta *maintenance* dan pengecekan mesin produksi (Aladjadjian 2007).

Tabel 8.5 Bahaya fisik yang menjadi perhatian dan diketahui menyebabkan luka atau *injury*

| Bahaya Fisik | Potensi luka (<i>injury</i>) | Sumber |
|---------------|--|--------------------------------------|
| Pecahan gelas | Teriris, perdarahan, diperlukan operasi | Botol, jar, lampu, utensil operasi |
| Pecahan kayu | Teriris, infeksi, tersedak, diperlukan operasi | Lapangan, boks kayu, bangunan |
| Batu | Tersedak, patah gigi | Lapangan, bangunan |
| Logam | Teriris, infeksi, diperlukan operasi | Mesin, lahan, pekerja |
| Tulang | Trauma, tersedak, diperlukan operasi | Lapangan, teknologi yang tidak tepat |

8.5 Sistem Manajemen Keamanan pangan

Keamanan pangan merupakan suatu upaya yang harus secara berkesinambungan dilakukan sejak tahap produksi sampai konsumsi. Manajemen keamanan pangan di sepanjang rantai pangan juga dikenal sebagai “*food safety from farm to table*”. Konsep “keamanan pangan dari ladang ke meja makan” tersebut menyatakan bahwa untuk menjamin keamanan pangan di tingkat konsumen, seluruh pelaku dalam rantai pangan harus mengelola keamanan pangan, terutama dengan menerapkan praktik yang higienis (*good hygienic practices*). Implikasinya adalah dengan menerapkan praktik yang baik selama produksi pangan (*good agricultural practices, good farming practices, good aquaculture practices*); selama penanganan oleh petani, petambak, atau peternak dan penerima bahan baku pangan (*good handling practices*); selama pengolahan (*good manufacturing practices*); selama distribusi (*good distribution practices*); selama penjualan eceran (*good retailing practices*); selama pemasakan di restoran, deli, atau “warung” (*good cooking practices*), dan sebagainya.

8.5.1 *Good Manufacturing Practices*

Good Manufacturing Practices (GMP) atau Cara Produksi Pangan yang Baik (CPPB) adalah perwujudan *good hygienic practices* di tingkat produsen/ industri. GMP merupakan persyaratan umum untuk menjamin produksi yang bermutu secara konsisten, khususnya terkait dengan lokasi dan

lingkungan produksi pangan, konstruksi, rancangan, dan sanitasi bangunan dan peralatan dalam produksi pangan, persyaratan program (sanitasi) untuk pekerja, pengendalian proses umum (hama, hewan, udara dll) dalam suatu proses produksi.

Pedoman internasional persyaratan mengenai GMP dituangkan dalam *Codex General Principles of Food Hygiene CAC/RCP 1-1969* (CAC 1997). Di Indonesia persyaratan terkait GMP untuk industri pangan diatur dalam Peraturan Kemenperin Nomor 75/M-IND/PER/7/2010 tentang Cara Produksi Pangan Olahan yang Baik (CPPOB), sementara industri rumah tangga dapat mengacu pada persyaratan dasar praktik higienisnya berdasarkan Peraturan BPOM RI Nomor Hk.03.1.23.04.12.2206 Tahun 2012 tentang Cara Produksi Pangan yang Baik untuk Industri Rumah Tangga, sedangkan persyaratan GMP industri jasa boga diatur dalam Permenkes Nomor 1096/Menkes/Per/VI/2011 tentang Higiene Sanitasi Jasaboga. Sistem pencegahan generik di atas kemudian dapat dilengkapi dengan sistem pencegahan yang lebih spesifik yaitu *Hazard Analysis Critical Control Points* (HACCP).

8.5.2 *Hazard Analysis Critical Control Points*

Sistem HACCP dikembangkan untuk menjawab keterbatasan penggunaan pengujian produk pangan yang sebelum tahun 1980 merupakan piranti yang lazim digunakan untuk mengelola keamanan pangan. Pada saat itu telah disadari bahwa pengujian produk memiliki keterbatasan karena tidak mungkin menguji seluruh produk, memerlukan waktu lama dan tidak dapat mengidentifikasi penyebab apabila hasil pengujian menunjukkan hasil yang tidak memuaskan. HACCP adalah sistem manajemen keamanan dengan fondasi GMP yang dibangun berdasarkan operasi produksi dengan cara mengendalikan titik-titik yang kritis yang dapat menjadi sumber bahaya dengan harapan hasil produksi akan (hampir 100%) aman. HACCP awalnya dikembangkan di Amerika Serikat untuk menjamin keamanan pangan bagi makanan astronot dan pada awalnya diaplikasikan pada makanan kaleng berasam rendah. Karena dianggap lebih memberikan jaminan keamanan pangan HACCP kemudian diadopsi oleh *Codex Alimentarius Commission* dalam Annex CAC/RCP 1-1969 (revisi 3 tahun 1997) tentang *Hazard*

Analysis and Critical Control Point (HACCP) System and Guidelines for its Applications (CAC 1997). Pedoman tersebut saat ini diacu oleh negara dalam mengembangkan sistem manajemen keamanan pangan di tingkat produsen/industri. Di Indonesia, misalnya HACCP diadopsi dalam SNI 2001-4852-1998 tentang Sistem Analisa Bahaya Dan Pengendalian Titik Kritis (HACCP) serta Pedoman Penerapannya (Dewanti-Hariyadi 2013).

8.5.3 Analisis Risiko

Secara internasional, konvensi negara-negara di Roma pada tahun 1992 menetapkan bahwa pangan yang bergizi dan aman adalah hak asasi tiap manusia. Hal ini mendorong banyak negara untuk mengembangkan sistem manajemen keamanan pangan baik dalam bentuk undang-undang, peraturan, keputusan, serta kebijakan lain dalam rangka mendorong terciptanya pangan yang aman. Sementara itu, industri juga menetapkan sistem jaminan mutu dan keamanan pangan untuk menghasilkan produk yang bermutu dan aman. Konsumen, sebagai pihak yang berkepentingan dengan produk pangan, dapat ikut mendorong terciptanya produk pangan dengan mengkritisi dan ikut serta dalam penetapan kebijakan, serta menggunakan fasilitas yang disediakan oleh produsen misalnya *hotline number*, *consumer complaint service*, dan sebagainya. Intinya, keamanan pangan hanya tercipta melalui partisipasi dari ketiga pemangku kepentingan di atas.

Sejalan dengan keikutsertaan negara-negara sebagai anggota *World Trade Organization* (WTO), negara anggota bebas memperdagangkan barang termasuk pangan, tetapi juga dihadapkan pada masalah kemudahan masuknya pangan dari luar negeri. Untuk menjamin bahwa pangan yang masuk ke suatu negara tidak membahayakan kesehatan manusia (juga tanaman dan hewan), negara anggota WTO terikat pada perjanjian *Sanitary* dan *Phytosanitary* (SPS) yang mensyaratkan bahwa pangan yang masuk ke suatu negara tidak boleh membahayakan kesehatan manusia, hewan, dan tanaman. Pangan yang masuk ke suatu negara dan dianggap tidak memberikan perlindungan yang tepat (*appropriate level of protection*) dapat ditolak di perbatasan. Sebagai negara anggota WTO, negara-negara terikat pada perjanjian SPS tersebut dan harus terus mengupayakan peningkatan keamanan pangan apabila menginginkan produk pangan yang dihasilkan diterima di perdagangan global.

Analisis risiko adalah sistem manajemen di tingkat negara harus disusun berdasarkan kajian/asesmen risiko untuk menghasilkan kebijakan yang berbasis ilmiah dan dapat diharmonisasikan dengan dunia internasional. Adanya *world trade agreement* atau perdagangan bebas yang meniadakan hambatan tarif dan SPS Agreement (perjanjian SPS *Agreement*) memungkinkan suatu negara menolak produk (pangan) dari negara lain atas pertimbangan kesehatan manusia (dan juga hewan serta tanaman), mendorong negara untuk menyusun kebijakan keamanan pangan.

Analisis risiko terdiri atas tiga komponen yang terkait satu sama lain, yaitu: (1) Asesmen risiko, (2) Manajemen risiko, dan (3) Komunikasi risiko. Asesmen risiko adalah evaluasi ilmiah pada pasangan pangan kontaminan tertentu identifikasi bahaya, karakterisasi bahaya, kajian paparan untuk menghasilkan estimasi/karakterisasi risiko yang juga merupakan tingkat perlindungan yang terjadi (*level of protection*). Apakah tingkat perlindungan tersebut dapat diterima (*appropriate level of protection* atau ALOP) atau tidak akan menjadi keputusan bersama para pemangku kepentingan. Kegiatan manajemen risiko adalah dengan menggunakan hasil asesmen risiko ditetapkan pilihan manajemen yang dianggap tepat dan kemudian dievaluasi apakah pilihan yang diambil memberikan peningkatan perlindungan kepada konsumen. Tahap komunikasi risiko telah berjalan sejak inisiatif analisis risiko dimulai dan dimaksudkan sebagai sarana diskusi interaktif antar pemangku kepentingan di sepanjang proses asesmen risiko dan manajemen risiko (FAO/WHO 2008).

8.5.4 *Food Safety Objective* (FSO)

Untuk menghubungkan antara tingkat perlindungan yang tepat (ALOP) bagi konsumen dan kriteria dalam proses di tingkat produsen, dikembangkan konsep *food safety objective* (FSO). FSO adalah frekuensi dan atau konsentrasi maksimum suatu bahaya dalam pangan pada saat dikonsumsi yang memberikan atau berkontribusi pada (ALOP) (ICMSF 2018). Karena FSO dijabarkan pada saat konsumsi, maka pelaku dalam rantai pangan dapat merancang *performance objective* (PO) di titik atau tahap dalam proses produksi atau rantai pasok pangan. PO didefinisikan sebagai frekuensi dan

atau konsentrasi maksimum suatu bahaya dalam pangan pada tahap-tahap tertentu dalam rantai pangan sebelum tahap konsumsi yang memberikan atau berkontribusi pada FSO dan ALOP.

Adanya PO yang dirancang untuk mencapai FSO memungkinkan produsen/ industri pangan merancang *performance criterion* (PC) yang sesuai, yang didefinisikan sebagai pengaruh terhadap frekuensi dan atau konsentrasi maksimum suatu bahaya dalam pangan yang harus dicapai dengan aplikasi satu atau lebih tindakan pengendalian yang memberikan atau berkontribusi pada FSO dan ALOP. PC dapat dicapai dengan teknologi yang tersedia, dengan mempertimbangkan jumlah cemaran awal. Parameter untuk mencapai PC adalah kandidat batas kritis dalam rencana HACCP. Dengan demikian industri dapat menyusun disain proses berbasis HACCP yang tepat agar produk pangan yang dihasilkannya aman dan berkontribusi pada pencapaian ALOP.

8.6 Ringkasan

1. Keamanan pangan didefinisikan sebagai status dan upaya untuk menekan bahaya biologi, kimia, fisik yang dapat merugikan dan mengganggu kesehatan manusia.
2. Bahaya biologi mencakup bakteri penyebab infeksi, bakteri penyebab intoksikasi, virus, protozoa, dan cacing.
3. Bahaya kimia dapat berasal dari toksin yang dihasilkan dari pertumbuhan mikroba dan endogenus dalam bahan pangan, residu pestisida dan residu obat-obatan hewan, kontaminan dari lingkungan, kontaminan dari proses pengolahan pangan pada suhu tinggi, penggunaan BTP yang melebihi batas maksimum, migrasi dari kemasan, dan radioaktif.
4. Bahaya fisik adalah potongan kayu, batu, plastik, pecahan kaca, bagian serangga yang mencemari pangan.
5. Upaya peningkatan keamanan pangan dilakukan melalui sistem manajemen keamanan pangan dengan pendekatan pencegahan seperti GMP, HACCP, analisis risiko dan FSO.

8.7 Pustaka

- Aladjadjian A. 2007. Physical Hazards in the Agri-food Chain. Luning PA, Devlieghere F, Verhé R, editors. *Safety in the Agri-food Chain*. Hal. 209-222. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. ISBN-13: 978-90-76998-77-0.
- Amalia U, Dewanti-Hariyadi R, Poernomo A. 2014. Rapid detection of *Salmonella* in shrimp by Polymerase Chain Reaction. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 25 (1): 78-82.
- Ansaruzzaman M, Lucas M, deen JL, Bhuiyan NA, Wang XY, Safa A. 2005. Pandemic serovars (O3:K6 and O4:K68) of *Vibrio parahaemolyticus* associated with diarrhea in Mozambique: spread of the pandemic into the African continent. *Journal of Clinical Microbiology*. 43: 2559-2562.
- Batt AC. 2014. *Encyclopedia of Food Microbiology*. Cambridge (US): Academic Press.
- [BPOM] Badan Pengawas Obat dan Makanan. 2011-2017. Laporan Tahunan Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia 2011-2017. BPOM, Jakarta (ID).
- [CAC] Codex Alimentarius Commission. 1997. *General Principles of Food Hygiene CAC/RCP 1-1969 (rev)*.
- [CDC] Centers for Disease Control and Prevention. 2015a. *Foodborne Disease Active Surveillance Network (FoodNet): Burden of Illness*. Atlanta (US): CDC. <https://www.cdc.gov/foodnet/surveillance.html>.
- [CDC] Centers for Disease Control and Prevention. 2018. Surveillance for foodborne disease outbreaks – United States, 2009–2015. *Surveillance Summaries*. 67(10):1-11. <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/67/ssl/ss6710a1.htm>.
- Dąbrowski WM, Sikorski ZE. 2005. *Toxins in Food*. CRC Press, Boca Raton. ISBN: 0-8493-1904-8.
- Daniali G, Jinap S, Hanifah NL, Hajeb P. 2013. The effect of maturity stages of banana on the formation of acrylamide in banana fritters. *Food Control*. 32: 386–391.

- Dewanti-Hariyadi R. 2013. *HACCP : Pendekatan Sistematis Pengendalian Keamanan Pangan*. PT Dian Rakyat Jakarta. ISBN 978-979-078-404-8.
- Dewanti-Hariyadi R, Hadiyanto J, Purnomo E. 2012. Thermal resistance of local isolates of *Staphylococcus aureus*. *Asian Journal of Food and Agroindustry*. 4(4): 213-221.
- Dewanti-Hariyadi R, Suliantari, Nuraida L, Fardiaz S. 2005. Determination of contamination profiles of human bacterial pathogens in shrimp obtained from Java, Indonesia. Di dalam *Determination of Human Pathogen Profiles in Food by Quality Assured Microbial Assays*, Proceedings of a Final Research Coordination Meeting, Mexico City, Mexico, 22-26 July 2002, International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-1431 pp 63–66.
- Dwiyitno, Dsikowitzky L, Nordhaus I, Andarwulan N, Irianto HE, Lioe HN, Ariyani F, Kleinertz S, Schwarzbauer J. 2016. Accumulation patterns of lipophilic organic contaminants in surface sediments and in economic important mussel and fish species from Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 110(2): 767–77.
- Fahmi AS, Maksun M, Suwondo E. 2015. USFDA import refusal and competitiveness of Indonesian crab in US market. *Proceeding of the 2014 International Conference on Agroindustry (ICoA): Competitive and sustainable Agroindustry for Human Welfare*. 3: 226–230.
- Farhadian A, Jinap S, Hanifah HN, Zaidul IS. 2011. Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoalgrilled meat. *Food Chemistry*. 124: 141–6.
- [FAO/WHO] Food and Agriculture Organization - World Health Organization. 2008. Food Safety Risk analysis: A Guide for National Food Safety Authority. ISSN 0254-4725.
- [FDA] Food and Drug Administration. 2001. Bacteriological Analytical Manual. Chapter 17: *Clostridium botulinum*. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-17-clostridium-botulinum>.

- [FDA] Food and Drug Administration. 2013. Bacteriological Analytical Manual. Chapter 6: *Shigella*. [diakses 13 Juli 2020]<https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-6-Shigella>.
- [FDA] Food and Drug Administration. 2013. Outbreak of staphylococcal food poisoning from a military unit lunch party – United States, July 2012. Morbidity and Mortality Weekly Report. 62(50): 1026-1028. <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwr.html/mm6250a2.htm>.
- [FDA] Food and Drug Administration. 2017. Bacteriological Analytical Manual. Chapter 8: *Yersinia enterocolitica*. [diakses 13 Juli 2020]. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-8-yersinia-enterocolitica>.
- [FDA] Food and Drug Administration. 2018. Bacteriological Analytical Manual. Chapter 4a: Diarrheogenic *Escherichia coli*. [diakses 18 Juli 2020]. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4a-diarrheogenic-escherichia-coli>.
- [FDA] United States Food and Drugs Administration. 2014. Bad Bug Book: Foodborne Pathogenic Microorganisms and Natural Toxins Handbook *Listeria monocytogenes*. Silver Spring (US): FDA. <http://www.fda.gov/food/foodborneillnesscontaminants/causesofillnessbadbugbook/ucm070064.htm>.
- Fetsch A, Contzen M, Hartelt K, Kleiser A, Maassen S, Rau S, Rau J, Kraushaar B, Layer F, Strommenger. 2014. *Staphylococcus aureus* food-poisoning outbreak associated with the consumption of ice cream. *International Journal of Food Microbiology*. 187: 1–6.
- Fredeunstein A, Weking J, Mathaus B. 2013. Influence of precursors on the formation of 3-MCPD and glycidyl ester in a model oil under simulated deodorization condition. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 115(3): 286–94.
- [FSAI] Food Safety Authority of Ireland. 2011. *Salmonella* Species. Dublin (IE): FSAI. <https://www.fsai.ie/Salmonellaspecies.html+&cd=1&hl=en&ct=clnk>.

- [FSAI] Food Safety Authority of Ireland. 2013. FSAI information note – Hepatitis A virus in imported frozen berries. Dublin (IE): FSAI. https://www.fsai.ie/uploaded/Files/News_Centre/Press_Releases/FSAI_Information_Note_4.pdf.
- Gibson AM, Ellis-Brownlee RCL, Cahill ME, Szabo EA, Fletcher GC, Bremer PJ. 2000. The effect of 100% CO₂ on the growth of nonproteolytic *Clostridium botulinum* at chill temperatures. *International Journal of Food Microbiology*. 54: 39–48.
- Gitaprawati D, Dewanti-Hariyadi R, Hidayat SH. 2012. Genetic relatedness of *Cronobacter* spp. (*Enterobacter sakazakii*) isolated from dried food products in Indonesia. *International Food Research Journal*. 19(4): 1745–1749.
- Glasset B, Herbin S, Guillier L, Cadel-Six S, Vignaud ML, Grout J, Pairaud S, Michel V, Hennekinne J, Ramarao N, Brisabois A. 2016. *Bacillus cereus*-induced food-borne outbreaks in France, 2007 to 2014: epidemiology and genetic characterization. *Euro Surveill*. 21(48).
- Green KY. 2013. Caliciviridae: The noroviruses. Ch 20. Di dalam: Knipe, D.M., Howley, P.M., (Editor). *Fields Virology*. Edisi 6, Philadelphia (US): Lippincott Williams and Wilkins. Hal 582–608.
- Hati RP, Dewanti-Hariyadi R, Nuraida L. 2019. *Cronobacter sakazakii* local isolates response to acid stress and their resuscitability. *Food Research*. 4(1): 244–253.
- Havelaar AH *et al.* 2015. World Health Organization global estimates and regional comparisons of the burden of food-borne disease in 2010. *PloS Medicine*. 12(12): 1–23.
- Hill KK, Smith TJ. 2013. Genetic diversity within *Clostridium botulinum* serotypes, botulinum neurotoxin gene clusters and toxin subtypes. *Current Topics in Microbiology and Immunology*. 364: 1–20.
- Horowitz BZ. 2010. Type E botulism. *Clinical Toxicology*. 48(9): 880–895.
- [ICMSF] International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 2018. *Microorganisms in Foods Book 7: Microbiological Testing in Food safety Management*. Springer.

- Iversen C, Mullane N, McCardell B, Tall BD, Lehner A, Fanning S, Stephan R, Joosten H. 2008. *Cronobacter* gen. nov., a new genus to accommodate the bio-groups of *Enterobacter sakazakii*, and proposal of *Cronobacter sakazakii* gen. nov., comb. nov., *Cronobacter malonaticus* sp. nov., *Cronobacter turicensis* sp. nov., *Cronobacter muytjensii* sp. nov., *Cronobacter dublinensis* sp. nov., *Cronobacter* genomospecies 1, and of three subspecies, *Cronobacter dublinensis* subsp. dublinensis subsp. nov., *Cronobacter dublinensis* subsp. lausannensis subsp. nov. and *Cronobacter dublinensis* subsp. lactaridi subsp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 58(6): 1442–1447.
- [JECFA] Joint Expert Committee for Food Additives. 2010. *Compendium of Food Additive Specifications*. <http://www.fao.org/3/a-i1782e.pdf>.
- [JECFA] Joint Expert Committee for Food Additives. 2011. *Compendium of Food Additive Specifications*. <http://www.fao.org/3/i2358e/i2358e00.pdf>
- [JECFA] Joint Expert Committee for Food Additives. 2017. *Compendium of Food Additive Specifications*. <http://www.fao.org/3/a-i8147e.pdf>.
- Jahurul MHA, Jinap S, Ang SJ, Abdul-Hamid A, Hajeb P, Lioe HN, Zaidul ISM. 2010. Dietary exposure to heterocyclic amines in high temperature cooked meat and fish in Malaysia. *Food Additive and Contaminant*. 27(8): 1060–71.
- Jameelah M, Dewanti-Hariyadi R, Nurjanah S. 2018. Expression of rpoS, ompA and hfq genes of *Cronobacter sakazakii* strain Yrt2a during stress and viable but nonculturable state. *Food Science and Biotechnology*. 27(3): 915–920.
- Katan LL. 1996. *Migration from Food Contact Materials*. Blackie Academic & Professional, London. ISBN-13: 978-1-4612-8520-5.
- Kusumaningrum HD, Suliantari, Dewanti-Hariyadi R. 2012. Multidrug resistance among different serotypes of *Salmonella*. *International Food Research Journal*. 19 (1): 57-63.
- Lai KK. 2001. *Enterobacter sakazakii* infections among neonates, infants, children and adults: case reports and review of the literature. *Medicine (Baltimore)*. 80: 113–122.

- Lentz SAM, Rivas PM, Cardoso MRDI, Morales DDL, Centenaro FC, Martins AF. 2018. *Bacillus cereus* as the main casual agent of foodborne outbreaks in Southern Brazil: data from 11 years. *Cadernos De Saude Publica*. 34: e00057417.
- Lesmana M, Subekti D, Simanjuntak CH, Tjaniadi P, Campbell JR, Oyofa BA. 2001. *Vibrio parahaemolyticus* associated with cholera-like diarrhea among patients in North Jakarta, Indonesia. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*. (2): 71–75.
- Luning PA, Devlieghere F, Verhé R. 2007. *Safety in the Agri-food Chain*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. ISBN-13: 978-90-76998-77-0.
- Maerani, Dewanti-Hariyadi R, Nurjanah S. 2020. Expression of stress regulator and virulence genes of *Cronobacter sakazakii* strain Yrt2a as a response to acid stress. *Food Science and Biotechnology*. 27(3): 915–920.
- Mariana D, Andarwulan N, Lioe HN. 2013. Validasi metode analisis kandungan spesifik residu total monomer stiren pada kemasan polistiren. *Jurnal Kimia Kemasan*. (35(2): 113–22.
- Meulenaer BD. 2007. Chemical Hazards. Luning PA, Devlieghere F, Verhé R, editors. *Safety in the Agri-food Chain*, p 145–208. Wageningen Academic Publishers, Wageningen. ISBN-13: 978-90-76998-77-0.
- [MPI] Ministry for Primary Industries. 2010. *Yersinia enterocolitica*. . [diakses 1 Jul 2020) <https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/11039/direct>.
- [MPI] Ministry for Primary Industries. 2015. *Bacillus cereus*. [diakses 1 Jul 2020) <https://www.mpi.govt.nz/dmsdocument/21545/direct>.
- Okuda J, Ishibashi M, Hayakawa E, Nishino T, Takeda Y, Mukhopadhyay AK. 1997. Emergence of a unique O3:K6 clone of *Vibrio parahaemolyticus* in Calcutta, India, and isolation of strains from the same clonal group from Southeast Asian travellers arriving in Japan. *Journal of Clinical Microbiology*. 35: 3150–3155.
- On SLW, Rahayu WP. 2017. Estimates for the burden and costs of foodborne diarrhoeal illness in Indonesia. *Asia Pacific Journal of Food Safety and Security*. 3(1): 3–16.

- Pande G, Bwire G, Kalyebi P, Rioplexus AA, Matovu JKB, Makumbi F, Mugerwa S, Musinguzi J, Wanyene RK, Zhu BP. 2018. Cholera outbreak caused by drinking contaminated water from a lakeshore water-collection site, Kasese District, south-western Uganda, June-July 2015. *PLOS ONE*.
- Parija SC. 2014. *Textbook of Microbiology and Immunology*. Amsterdam (NL): Elsevier Health Sciences.
- Peck MW, Stringer SC, Carter AT. 2011. *Clostridium botulinum* in the post-genomic era. *Food Microbiology*. 28(2): 183–191.
- [PHAC] Public Health Agency of Canada. 2011. *Vibrio parahaemolyticus*: Pathogen Safety Data Sheet-Infectious Substances. Ottawa (CA): PHAC. [diakses 8 Juni 2019]. <http://www.phac-aspc.gc.ca/lab-bio/res/psds-ftss/vibrio-parahaemolyticus-eng.php#footnote2>.
- Pratiwi C, Rahayu WP, Lioe HN, Herawati D, Broto W, Ambarwati S. 2015. The effect of temperature and relative humidity for *Aspergillus flavus* BIO 2237 growth and aflatoxin production on soybeans. *International Food Research Journal*. 22(1): 82–87.
- Prayitno WE, Kusumaningrum HD, Lioe HN. 2018. Kondisi penyimpanan kacang tanah dan potensi cemaran *Aspergillus flavus* pada pedagang pengecer pasar tradisional di wilayah Jakarta. *Agritech*. 38(1): 45–55.
- Restiani Y, Nuraida L, Lioe HN. 2020. Kajian risiko aflatoksin M1 dalam produk formula untuk bayi dan anak usia 0-36 bulan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 25(1): 160–6.
- Sabina Y, Atiqur R, Ramesh CR, Didier M. 2011. *Yersinia enterocolitica*: mode of transmission, molecular insights of virulence, and pathogenesis of infection. *Journal of Pathogens*. 1–10.
- Scallan E, Hoekstra RM, Angulo FJ, Tauxe RV, Widdowson MA, Roy S, Jones JL, Griffin PM. 2011. Foodborne illness acquired in the United States – major pathogens. *Emerging Infectious Diseases*. 17(1): 7–15.
- Scharff RL. 2012. Economic burden from health losses due to foodborne illness in the United States. *Journal of Food Protection*. 75(1): 123–31.
- Siebenga *et al.* 2009. Norovirus illness is a global problem: emergence and spread of norovirus GII.4 variants, 2001–2007. *Journal of Infection and Disease*. 200(5): 802–812.

- Sinaga YMR, Dewanti-Hariyadi R, Suliantari. 2016. *Cronobacter sakazakii* memasuki kondisi viable but nonculturable selama pembentukan biofilm. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 27(2): 140–147.
- Singh N, Goel G, Raghav M. 2015. Insights into virulence factors determining the pathogenicity of *Cronobacter sakazakii*. *Virulence*. 6(5): 433–440.
- Stadler RH, Lineback DR. 2009. *Process-induced Food Toxicants*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey. ISBN: 978-0-470-07475-6.
- Suarjana IM, Agung AG. 2013. Kejadian luar biasa keracunan makanan (studi kasus di SD 3 Sangeh Kabupaten Badung). *Jurnal Skala Husada*. 10(2): 144–148.
- Sundstrom K. 2018. Cost of Illness for Five Major Foodborne Illnesses and Sequelae in Sweden. *Appl. Health Econ. Health Policy* 16(6).
- Suryati T, Astawan M, Lioe HN, Wresdiyati T, Usmiati S. 2014. Nitrite residue and malonaldehyde reduction in dendeng - Indonesian dried meat - influenced by spices, curing methods and precooking preparation. *Meat Science*. 96: 1403–1408.
- Tahden M, Manitz J, Baumgart K, Fell G, Kneib T, Hegasy G. 2016. Epidemiological and Ecological Characterization of the EHEC O104:H4 Outbreak in Hamburg, Germany, 2011. PLOS One. Tajkarimi, M. 2007. *Salmonella* spp. [diakses 23 Maret 2016]. Tersedia dari: https://www.cdfa.ca.gov/ahfss/Animal_Health/PHR250/2007/25007Sal.pdf.
- Thomas *et al.* 2020. Outbreak of listeriosis in South Africa associated with processed meat. *The New England Journal of Medicine*. 382: 632–643.
- Tjaniadi Z. 2003. Antimicrobial resistance of bacterial pathogens associated with diarrheal patients in Indonesia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 68(6): 666–670.
- Torres A. 2010. *Pathogenic Escherichia Coli in Latin America*. Sharjah (AE): Bentham Science Publishers.
- [UNIDO] United Nations Industrial Development Organization. 2015. Meeting Standards, Winning Markets. Trade Standard Compliance 2015. Vienna (AT): UNIDO. https://www.unido.org/sites/default/files/2015-09/TSCR_2015_final_0.pdf.

- van Beek *et al.* 2013. Indications for worldwide increased norovirus activity associated with emergence of a new variant of genotype II.4, late 2012. *European Surveillance*. 18(1): 8-9.
- Vital M, Fuchslin HP, Hammes F, Egli T. 2007. Growth of *Vibrio cholerae* O1 Ogawa Eltor in freshwater. *Microbiology*. 153: 1993–2001.
- [WHO] World Health Organization. 2012. Position paper on hepatitis A vaccines—June 2012. *Wkly. Epidemiol. Rec.* 87(28/29):261–76. https://www.who.int/wer/2012/wer8728_29.pdf?ua=1.
- Waturangi DE, Pradita N, Linarta J, Banerje S. 2012. Prevalence and molecular characterization of *Vibrio cholerae* from ice and beverages sold in Jakarta, Indonesia, using most probable number and multiplex PCR. *Journal of Food Protection*. 75(4): 651–659.
- Wennberg AC, Tryland T, Ostensvik O, Secic I, Monshaugen M, Liltved H. 2013. Water treatment on the growth potential of *Vibrio cholerae* and *Vibrio parahaemo-lyticus* in seawater. *Marine Environmental Research*. 83: 10–15.
- Yennie Y, Dewanti-Hariyadi R, Poernomo A. 2015. Prevalensi Gen tdh dan trh *Vibrio parahaemolyticus* pada udang vaname di wilayah Indramayu, Jawa Barat. *Jurnal Pascapanen Bioteknologi Kelautan Perikanan*. 10 (1): 61–70.

Latihan

Petunjuk: Untuk memahami materi pada Bab 8 ini, kerjakan soal berikut. Pilih satu jawaban yang benar.

1. Berikut adalah jenis bahaya dalam keamanan pangan, kecuali :
 - a. Biologi
 - b. Kimia
 - c. Fisik
 - d. Busuk

2. Pernyataan yang tidak benar tentang *Clostridium botulinum* adalah :
 - a. Pembentuk spora
 - b. Penyebab intoksikasi
 - c. Penghasil enterotoksin
 - d. Penghasil neurotoksin
3. Penyakit salmonellosis yang disebabkan oleh konsumsi telur mentah yang mengandung bakteri *Salmonella* merupakan peristiwa :
 - a. Infeksi
 - b. Intoksikasi
 - c. Kolonisasi
 - d. Invasi
4. Diantara jenis pangan berikut, yang paling mungkin menjadi penyebab KLB *Listeria monocytogenes*:
 - a. Sarden dalam kaleng
 - b. *Ready-to-eat smoked salmon*
 - c. Susu steril
 - d. Sup dalam kaleng
5. Norovirus dalam rasberi:
 - a. Tumbuh lebih cepat pada suhu refrigerasi
 - b. Menyebabkan intoksikasi
 - c. Tidak tumbuh dalam pangan
 - d. Kemungkinan besar dapat ditemukan dalam jam rasberi dalam botol
6. Berikut ini yang bukan menyebabkan kasus keamanan pangan kimia adalah :
 - a. Residu pestisida dan obat-obatan hewan yang telah dilarang penggunaannya
 - b. Bahan baku yang tercemar aflatoksin dari *Aspergillus flavus*

- c. Penggunaan bahan tambahan pangan (BTP) di bawah atau sesuai batas maksimal regulasi
 - d. Kondisi pengolahan pangan pada suhu tinggi dalam waktu yang relatif lama
7. Kondisi pengolahan pangan pada suhu tinggi (di atas 100°C) merupakan penyebab dari terbentuknya beberapa kontaminan berikut, kecuali:
- a. Polisiklik aromatik hidrokarbon
 - b. Paraben
 - c. 3-MCPD
 - d. Akrilamida
8. Kontaminan kimia dapat ditemukan secara alami dalam bahan pangan yang berasal dari berikut ini, kecuali:
- a. Kekekangan yang hidup pada perairan dengan dinoflagellata yang mengandung toksin
 - b. Singkong yang tergolong dalam singkong pahit
 - c. Kopi yang mengandung kafein
 - d. Ikan yang berasal dari perairan dengan *red tide*
9. Kontaminan fisik dapat diupayakan untuk dihilangkan selama proses pengolahan pangan dengan menerapkan hal berikut ini:
- a. *Metal detector* atau magnet untuk kontaminan dari logam
 - b. Scan dengan sinar tertentu untuk kontaminan dari gelas, logam dan lainnya
 - c. Penyaringan (*sieving*) untuk pangan yang berbentuk bubuk atau cair
 - d. Jawaban A, B dan C benar

10. Berikut adalah sistem pengendalian keamanan pangan yang bersifat generik yang dapat diterapkan oleh industri pangan :
 - a. GMP
 - b. HACCP
 - c. Analisis Risiko
 - d. *Food safety Objectives*

Tugas Mandiri (*Challenge Questions*)

1. Susunlah suatu skenario KLB penyakit bawaan pangan/keracunan yang terjadi karena bakteri penyebab infeksi *Listeria monocytogenes* dan intoksikasi karena *Bacillus cereus*? (masing-masing 1 contoh kejadian hipotetis atau kejadian sebenarnya)
2. Identifikasi kontaminan kimia dan mikrobiologi yang berpotensi ditemukan dalam produk susu bubuk. Cari dalam peraturan yang berlaku batas maksimal yang diizinkan untuk kontaminan tersebut.
3. Apakah keterkaitan antara HACCP, Analisis Risiko dan *Food safety Objectives* dalam sistem manajemen keamanan pangan?

Bab

9

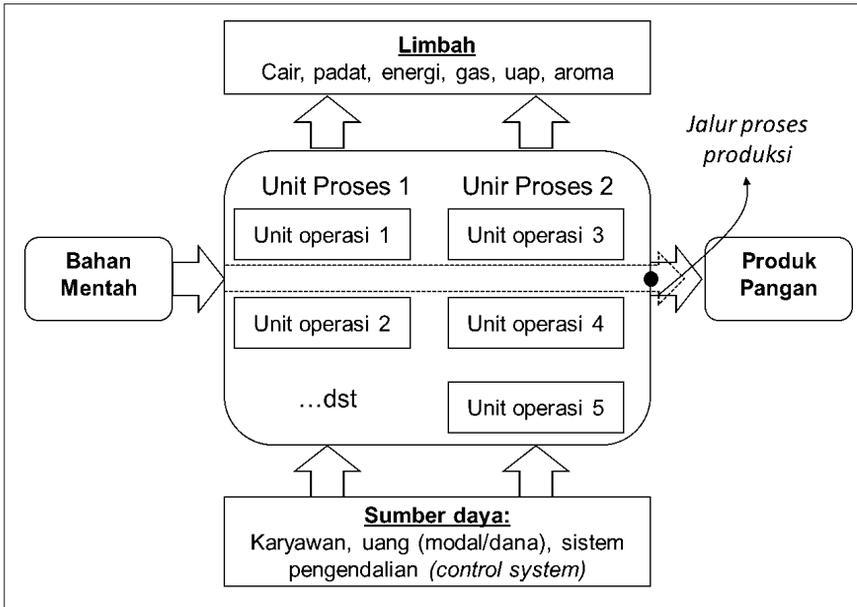
Unit Operasi di Industri Pangan

Azis Boing Sitanggang dan Anton Rahmadi

9.1 Pendahuluan

Secara harfiah, “proses” dapat didefinisikan sebagai serangkaian aktivitas yang terjadi dengan cara tertentu untuk mencapai tujuan tertentu. Proses produksi pangan dimulai dari input dalam bentuk bahan baku dan output dalam bentuk produk jadi, limbah dan beberapa di antaranya memberikan produk samping (*byproduct*). Dalam industri pangan, proses produksi dapat melibatkan unit reaksi dan unit operasi. Terdapat perbedaan yang mendasar dari kedua istilah ini. Unit reaksi umumnya melibatkan reaksi kimia untuk menghasilkan produk tengah (*intermediate*) ataupun produk akhir. Sebagai contoh, pengolahan susu UHT rendah laktosa dapat diawali dengan hidrolisis laktosa menjadi glukosa dan galaktosa menggunakan enzim β -galaktosidase. Sementara unit operasi terfokus pada perubahan atau transformasi bahan secara fisik selama proses pengolahan. Unit reaksi dan unit operasi dapat terjadi bersamaan dalam pengolahan pangan, seperti pada penggorengan yaitu perubahan fisik terjadi yang diikuti oleh reaksi kimia, baik pada produk pangan maupun medium (minyak) penggorengannya. Gabungan dari beberapa unit operasi yang saling terkait digunakan sebagai bagian dari proses pengolahan suatu produk disebut dengan istilah unit proses. Proses produksi pangan dapat bersifat kompleks, namun dapat dikelompokkan menjadi beberapa unit proses yang dapat berdiri sendiri ataupun saling terkait. Sebagai contoh, proses pemanasan atau pendinginan dapat menjadi unit proses tersendiri yang

terpisah dari unit lainnya; unit proses pemanggangan juga demikian. Secara umum keterkaitan antara unit operasi dan unit proses dalam suatu proses produksi pangan dapat dilihat pada **Gambar 9.1**.



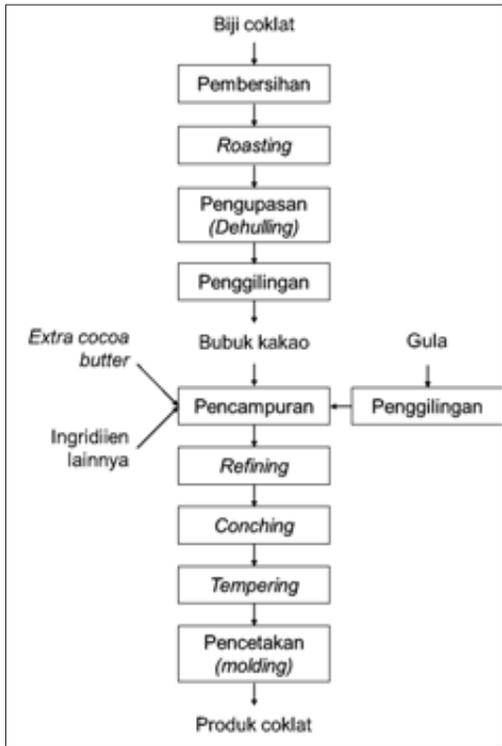
Gambar 9.1 Hubungan unit proses dan unit operasi dalam industri pangan

Contoh sederhana yang dapat diberikan untuk menggambarkan kombinasi unit operasi dalam suatu unit proses dan keterkaitan antara beberapa unit proses dalam memproduksi produk pangan adalah sterilisasi komersial ikan kaleng. Unit proses persiapan ikan kembung (*mackerel*) dapat melibatkan berbagai unit operasi, yakni operasi pencucian, pembuangan bagian dalam (usus) ikan, pemotongan kepala dan badan ikan pada ukuran tertentu. Secara paralel, unit proses persiapan saus tomat juga dilakukan, yang meliputi unit operasi pencampuran (*mixing puree*, garam/gula dan air sampai mencapai viskositas dan total padatan tertentu). Kedua unit proses ini akan dilanjutkan dengan unit proses pemanasan, yakni meliputi proses pengisian ikan dan saus ke dalam kaleng, operasi *exhausting*, pengeliman (*double seaming*) dan dilanjutkan dengan sterilisasi menggunakan pemanas bertekanan (*retort*).

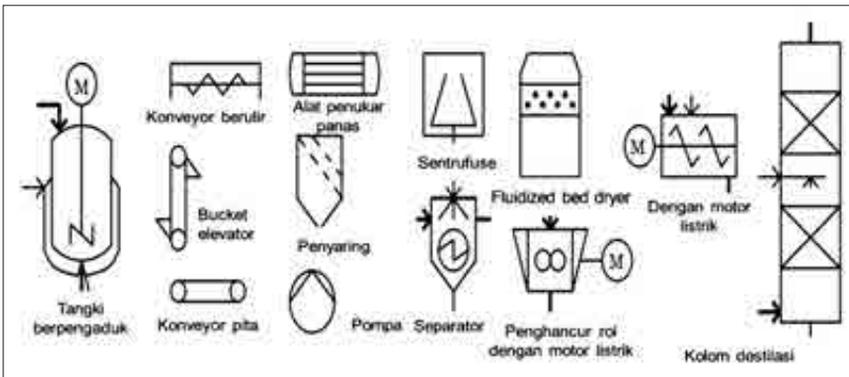
Industri dalam menghasilkan produk pangan, membuat suatu diagram alir (*flow chart, flow sheet/flow diagram*) yang berfungsi sebagai informasi standar grafik yang merepresentasikan proses produksi produk tersebut. Dalam bentuknya yang paling sederhana, diagram alir menunjukkan unit proses, unit operasi yang utama secara berurutan, bahan baku, produk, dan produk sampingan. Informasi tambahan, seperti kondisi proses di setiap unit operasi dapat ditambahkan. Karena suatu proses umumnya dilambangkan secara sederhana sebagai persegi panjang atau blok, maka diagram alir disebut juga diagram blok. **Gambar 9.2** menunjukkan diagram blok yang disederhanakan untuk memproduksi cokelat.

Deskripsi yang lebih rinci tentang diagram blok di atas adalah dengan memberikan simbol peralatan standar yang digunakan dalam suatu proses, seperti pompa, konveyor, dan sentrifuse (**Gambar 9.3**). Peralatan umumnya diwakilkan oleh berbagai simbol yang mirip dengan gambar peralatan yang sebenarnya. Jika simbol tersebut kemudian digunakan di dalam suatu diagram alir, maka dapat disebut sebagai diagram alir peralatan. Dalam hal ini, umumnya berbagai utilitas perpindahan barang di dalam proses khususnya perpipaan juga digambarkan dengan baik (**Gambar 9.4**).

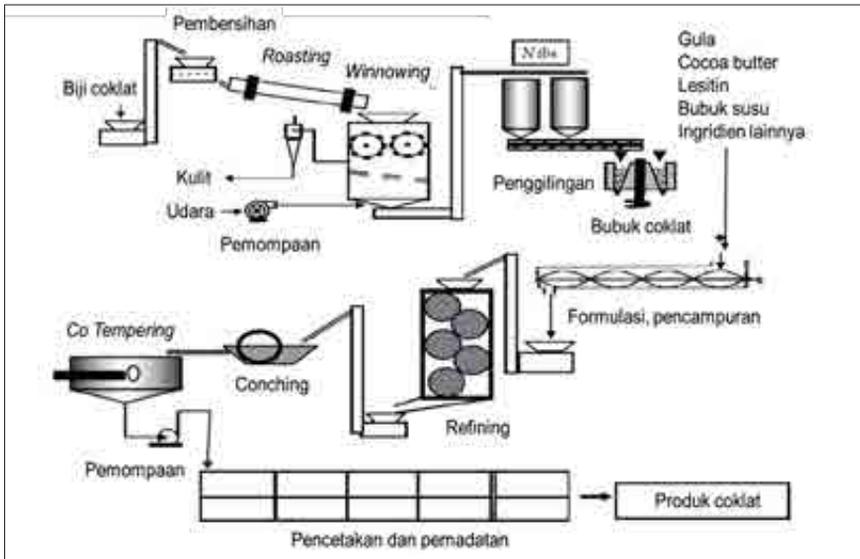
Setiap unit proses melibatkan fenomena perpindahan (*transport phenomena*) yang meliputi perpindahan masa (*mass transport*), perpindahan panas/energi (*heat transfer*) dan perpindahan momentum (*momentum transfer*). Ketiga jenis perpindahan ini harus dapat dikuantifikasi dan dioptimasi dengan baik, sehingga dapat mengefisienkan penggunaan waktu, biaya dan tenaga karyawan pada setiap unit proses (perhatikan **Gambar 9.1**). Ini sangat penting untuk dapat mencapai target produktivitas yang diinginkan oleh industri pangan tersebut.



Gambar 9.2 Diagram blok proses produksi cokelat



Gambar 9.3 Beberapa simbol peralatan yang digunakan dalam diagram alir suatu proses



Gambar 9.4 Diagram alir peralatan yang disederhanakan untuk produksi cokelat

9.2 Fenomena Perpindahan dalam Unit Operasi

Rekayasa dan pengolahan pangan didasarkan pada tiga fenomena perpindahan yaitu pindah massa, pindah panas, dan pindah momentum dalam rangka meningkatkan nilai tambah produk pangan. Fenomena perpindahan ini dapat terjadi selama proses produksi pangan di setiap unit operasi yang ada. Perpindahan dapat terjadi secara individu (perpindahan masa saja) ataupun kombinasi di antara ketiga parameter fisik di atas. Kombinasi perpindahan yang terjadi tergantung dari sistem operasi pada unit operasi yang digunakan. Sebagai contoh, dalam sistem terbuka (*open system*), perpindahan baik masa, energi dan momentum dapat terjadi. Sementara untuk sistem tertutup (*closed system*), hanya memungkinkan terjadinya perpindahan energi. Pada sistem terisolasi (*isolated system*) tidak ada fenomena perpindahan yang terjadi. Sistem terisolasi umumnya diadopsi dalam industri pangan khususnya dalam proses pemanasan ataupun pendinginan, seperti membungkus pipa dengan isolator.

Namun, pada kenyataannya panas masih dapat terhambur keluar atau masuk ke dalam pipa. Dengan demikian, sistem terisolasi sempurna hampir jarang ditemui pada industri pangan.

Sebagian besar proses pengolahan, seperti pasteurisasi, sterilisasi, pengeringan, evaporasi, distilasi, pendinginan dan pembekuan, melibatkan perpindahan panas dengan atau tanpa perpindahan momentum dan massa. Proses pemisahan menggunakan membran, pengeringan, penggaraman, adsorpsi, dan ekstraksi merupakan contoh unit operasi yang melibatkan perpindahan massa tanpa atau dengan kombinasi dengan perpindahan panas dan momentum. Perpindahan panas, momentum dan massa didasarkan pada prinsip fisika yang serupa, yaitu terjadi karena adanya perbedaan (*gradient*) di antara dua lokasi di dalam suatu sistem atau antara sistem dan lingkungan. Secara umum, hal ini mengikuti Hukum Ohm, sebagai berikut: Laju perpindahan (jumlah yang berpindah per unit waktu) proporsional dengan gaya pendorong (*driving force*), dan berbanding terbalik dengan hambatan (*resistance*) medium, yaitu $q = \frac{\partial Q}{\partial t} =$ laju perpindahan panas (jumlah panas yang berpindah per satuan waktu), $F =$ gaya pendorong, $R =$ hambatan dari medium atas pindah panas, dan $k =$ faktor penyesuaian atau konduktivitas dari medium pindah panas (persamaan 9.1).

$$q = \frac{\partial Q}{\partial t} = kF \rightarrow (k = 1 / R) \quad (9.1)$$

Secara umum, pada perpindahan panas, perbedaan suhu (δT) merupakan faktor pendorong (*driving force*), pada perpindahan massa, gradien konsentrasi (δc) merupakan faktor pendorongnya, dan pada perpindahan momentum perbedaan kecepatan (δv) merupakan faktor pendorongnya. Perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi ataupun radiasi. Kombinasi konduksi dan konveksi umumnya terjadi dalam proses pemanasan/pendinginan, kecuali pada pemanasan menggunakan *infra red* dan gelombang mikro yang menggunakan prinsip radiasi juga.

Perpindahan panas dapat terjadi baik secara tunak (*steady state*) ataupun tidak tunak (*unsteady state*). Perpindahan panas secara tunak terjadi, yaitu profil suhu di dalam sistem/medium tidak mengalami perubahan seiring

dengan waktu. Dengan demikian perbedaan suhu di dalam sistem hanya terjadi karena faktor lokasi ($T = f(x)$). Pada pindah panas tidak tunak, selain lokasi, waktu juga merupakan parameter yang memengaruhi profil suhu di dalam sistem ($T = f(x, t)$). Pada perpindahan panas secara tidak tunak, geometri dari produk pangan umumnya direpresentasikan oleh tiga bentuk yang umum, yaitu bentuk bola, silinder, dan lempeng.

Perpindahan panas mengikuti Hukum Fourier (Jean-Baptiste Joseph Fourier, matematikawan dan fisikawan dari Perancis, 1768–1830), sementara perpindahan massa mengikuti Hukum Fick (Adolf Eugen Fick, Fisiologist dari Jerman, 1829–1901).

Perpindahan panas mengikuti Hukum I Fourier (persamaan 9.2), sedangkan perpindahan massa mengikuti Hukum I Fick (persamaan 9.3). Dalam hal ini, Q = panas yang ditransfer (J), T = suhu (K), t = waktu (s), k = konduktivitas panas dari medium ($W m^{-1} K^{-1}$), x = jarak pada arah perpindahan (m), m_B = massa dari zat B yang berpindah (mol), C_B = konsentrasi dari zat B ($mol m^{-3}$) dan D_B = koefisien difusi dari senyawa B ($m^2 s^{-1}$)

$$\frac{\partial Q}{A \partial t} = -K \frac{\partial C_B}{\partial x} \quad (9.2)$$

$$\frac{\partial m_B}{A \partial t} = J_B = -D_B \frac{\partial C_B}{\partial x} \quad (9.3)$$

Proses produksi di industri pangan umumnya melibatkan perpindahan fluida. Produk pangan cair seperti jus, susu cair harus dialirkan menggunakan pompa dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Pada proses pembekuan secara cepat (*blast freezer*) udara dingin disemprotkan kepada produk. Pada penggilingan gandum, produk *intermediate* ataupun produk akhir dipindahkan melalui aliran udara (*pneumatic conveying*). Secara umum, penggunaan air, udara bahkan uap didistribusikan pada pabrik pengolahan menggunakan sistem perpipaan. Pipa yang mendistribusikan uap umumnya dilengkapi dengan insulasi untuk menekan laju kehilangan panas dari uap ke lingkungan. Berbagai unit operasi seperti penyaringan/filtrasi, dan pencampuran merupakan contoh penggunaan konsep aliran fluida.

Perpindahan fluida merupakan cerminan perpindahan momentum. Momentum dipindahkan melalui parameter kecepatan di antara lapisan fluida dalam satu sistem. Konsep ini digunakan oleh Newton untuk menjelaskan parameter fisik viskositas. Secara definitif, viskositas diartikan sebagai hambatan atas aliran. Hukum Newton menyatakan bahwa gaya geser F_x dibutuhkan untuk mempertahankan aliran lapisan fluida yang nilainya proporsional terhadap luasan dari perpindahan serta gradien kecepatan ($\frac{\partial vx}{\partial z}$). Persamaan ini diekspresikan dalam persamaan 9.4, yaitu μ = faktor proporsionalitas atau disebut dengan viskositas (Pa s).

$$F_x = -\mu A \frac{\partial vx}{\partial z} \quad (9.4)$$

Viskositas daripada cairan sangat tergantung dari suhu cairan tersebut dan umumnya tidak bergantung pada tekanan. Sementara viskositas dari suatu gas meningkat seiring dengan kenaikan tekanan dan menurun sedikit dengan kenaikan suhu. Jika nilai dari gaya geser dibagi dengan luas area adalah tegangan geser (*shear stress*, τ [Pa]) dan gradien kecepatan ($\frac{\partial vx}{\partial z}$) adalah laju geser (*shear rate*, γ [s^{-1}]), maka persamaan sebelumnya dapat diubah menjadi persamaan 9.5:

$$\tau = \mu \gamma \quad (9.5)$$

Persamaan ini hanya valid untuk berbagai fluida yang mengikuti Hukum Newton sehingga disebut dengan fluida Newtonian, yaitu nilai viskositas konstan dengan kenaikan laju geser. Ada juga beberapa cairan yang tidak mengikuti Hukum Newton sehingga disebut sebagai fluida non-Newtonian. Beberapa persamaan untuk fluida non-Newtonian yang dapat menggambarkan hubungan antara tegangan geser dengan representasi parameter viskositas adalah persamaan Ostwald–de Waele (fluida *Power Law*, persamaan 9.6) dan persamaan Herschel–Bulkeley (fluida H-B, persamaan 9.7), yaitu K = indeks konsistensi fluida ($Pa \cdot s^n$), n = indeks alir fluida dan τ_0 = tegangan geser awal (Pa).

$$\text{Fluida Power-Law: } \tau = \mu (\gamma)^n \quad (9.6)$$

$$\text{Fluida H-B: } \tau = \tau_0 + (\gamma)^n \quad (9.7)$$

Nilai viskositas menunjukkan kemudahan suatu fluida untuk mengalir. Aliran fluida itu sendiri memiliki pola yang berbeda-beda selain tergantung dari viskositas, juga pada densitas dan kecepatan alirnya. Hubungan ini diekspresikan dengan nilai bilangan Reynolds (Re) (persamaan 9.8), yaitu Re = bilangan Reynolds (-), ρ = densitas fluida (kg m^{-3}), D = diameter bagian dalam pipa (m) dan v = kecepatan aliran fluida (m s^{-1}). Secara umum, jika nilai $Re < 2300$ maka aliran fluida termasuk kepada aliran laminar $2300 < Re < 4000$ maka alirannya termasuk ke dalam aliran transisi, dan jika $Re > 4000$ maka aliran termasuk ke dalam aliran turbulen.

$$Re = \frac{\rho D v}{\mu} \quad (9.8)$$

Jenis aliran fluida dalam pipa memegang peranan yang penting di dalam pengolahan pangan. Sebagai contoh, perpindahan panas dari uap/air panas ke produk jus yang dipasteurisasi dengan menggunakan alat penukar panas pipa ganda (*double pipe tubular heat exchanger*) sangat ditentukan oleh kecepatan alir medium pemanasnya. Selain itu, faktor koreksi aliran pada perhitungan kecukupan panas (F_0) dalam sistem sterilisasi komersil (sistem UHT) sangat ditentukan apakah fluida yang dipanaskan berada pada pola aliran laminar (faktor koreksi 2,0) atau turbulen (faktor koreksi 1,25). Dengan mengetahui aspek perpindahan ini, maka kita dengan mudah mendesain dan mengoptimasi parameter proses dari setiap unit operasi yang terlibat selama proses pengolahan pangan tertentu.

9.3 Pendendalian Parameter Proses dalam Unit Operasi Industri Pangan

Dengan mengetahui fenomena perpindahan baik energi (panas), massa dan momentum, maka dalam setiap unit operasi terdapat parameter proses yang harus dikendalikan. Pengendalian parameter proses ini sangat diperlukan untuk mendapatkan kualitas produk pangan akhir yang sesuai dengan spesifikasi perusahaan dan menjawab kebutuhan konsumen. Secara umum, pengendalian parameter proses (*process control*) memiliki dua tujuan utama,

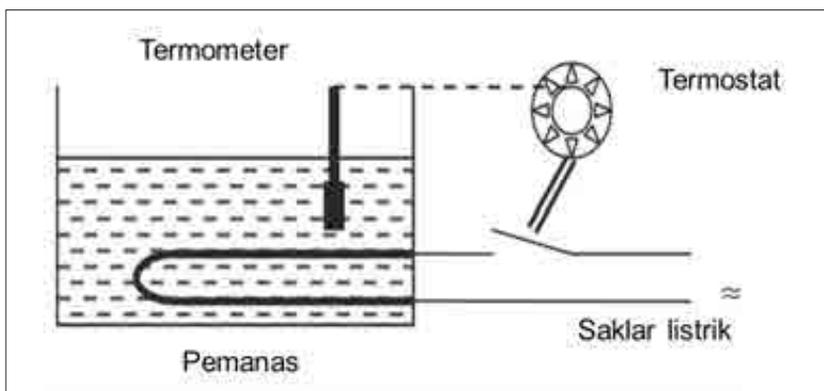
yaitu (a) Mempertahankan variabel/parameter proses dengan simpangan baku tertentu (*regulation activities*); dan (b) Mengubah variabel/parameter proses sesuai dengan nilai pengaturan yang ditentukan (*servo activities*).

Dengan penerapan pengendalian proses, maka proses produksi dalam industri pangan dapat dipercaya (*reliable*), yaitu meningkatkan keamanan proses (*process safety*), dan meningkatkan volume produksi (*productivity*), menekan jumlah produk cacat (*defective*) yang terkait langsung dengan penurunan biaya produksi (*production cost*). Pengendalian proses dapat dilakukan secara manual ataupun otomatis. Pengendalian proses yang dilakukan lewat mekanisme suatu sistem (*control system*) yang terjadi secara kontinu dapat menggantikan kebutuhan penggunaan tenaga karyawan (juga meningkatkan reliabilitas dan keamanan proses) disebut dengan otomatisasi.

Sebagai contoh sederhana, penggunaan *waterbath system* dapat mendeskripsikan bagaimana parameter suhu dari suatu proses dapat dikendalikan (**Gambar 9.5**). Jika kita mengasumsikan bahwa suhu air suatu proses reaksi sebesar 30°C, maka nilai ini merupakan nilai pengaturan (*setting value*). Sensor suhu (termometer) berfungsi mengukur suhu air di dalam *waterbath system*. Jika suhu aktual (*actual value*) air hasil penguruan termometer berada di atas 30°C, maka informasi ini dikirimkan ke termostat. Termostat memberikan respons ke saklar listrik, berupa pemutusan listrik, sehingga pemanas tidak dapat bekerja. Suhu aktual air turun terus menerus di dalam *waterbath system* hingga mencapai 30°C. Sebaliknya, jika suhu aktual berada di bawah 30°C, maka saklar listrik tidak dimatikan, sehingga pemanas terus bekerja memanaskan air di dalam *waterbath system* hingga suhu tujuan tercapai.

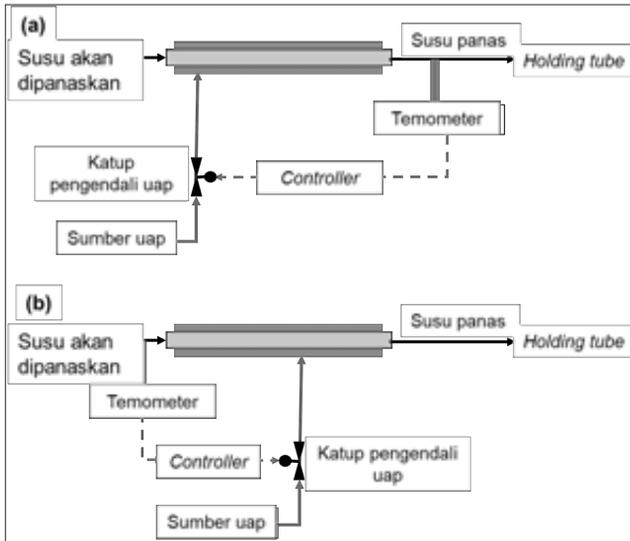
Dari contoh di atas kita dapat melihat bahwa arus listrik dapat dimanipulasi dalam bentuk *on* dan *off*. Jenis pengendalian ini disebut dengan *on-off control*. Perbedaan antara *setting* dan *actual value* disebut sebagai *control error*. Hasil pengukuran dari termometer disebut dengan sinyal. Termostat merupakan *controller* karena berfungsi memberikan respons pengendalian. Sementara saklar listrik merupakan *actuator* yang berfungsi memberikan perbaikan dalam sistem untuk memperkecil *error*. Jalur sinyal hasil pengukuran thermometer yang dikirimkan ke termostat (*input*) diproses untuk menghasilkan respons

yang diberikan kepada saklar listrik (*output*) disebut dengan putaran (*loop*). Pada industri pangan jenis pengendalian otomatis dapat terjadi secara putaran terbuka (*open loop*) atau tertutup (*closed loop*).



Gambar 9.5 *Waterbath system* sebagai contoh pengendalian suhu

Jenis struktur dari sistem pengendalian putaran tertutup dapat berupa pengendalian umpan balik (*feed-back control*) dan pengendalian umpan maju (*feed-forward control*) (**Gambar 9.6**). Sebagai contoh, dalam suatu proses pasteurisasi susu secara aseptik (kontinu), alat penukar panas (*heat exchanger*) digunakan untuk memanaskan susu sebelum dipompa ke *holding tube*. Pada pengendalian umpan balik, nilai aktual suhu produk susu yang mengalir di sepanjang alat penukar panas diukur pada bagian akhir penukar panas. Namun pada pengendalian umpan maju, pengukuran suhu dilakukan pada susu yang dipanaskan sehingga memperkirakan kebutuhan dari uap yang diperlukan untuk mencapai suhu target. Dengan demikian, pengendalian umpan maju seringkali disebut dengan pengendalian prediksi (*predictive control*). Katup uap disebut sebagai aktuator dan nilai suhu disebut sebagai sinyal dalam contoh di atas. Jenis pengendalian prediksi umumnya jarang digunakan pada industri pangan. Beberapa contoh parameter proses yang dikendalikan dalam industri pangan dapat dilihat pada **Tabel 9.1**.



Gambar 9.6 Perbandingan antara pengendalian umpan balik (*feedback control*) (a) dan pengendalian umpan maju (*feed-forward control*) (b)

Tabel 9.1 Parameter proses yang dikendalikan dalam industri pangan

| Parameter yang Dikendalikan | Aktuator | Respons | Unit proses | Industri pangan |
|-----------------------------|---|--|---|---|
| Suhu | Katup pengatur uap, saklar listrik untuk pemanas | Jumlah uap yang mengalir, besaran listrik menuju alat pemanas (<i>heater</i>) | Blansir (alat penukar panas), pasteurisasi, sterilisasi (<i>batch</i> atau aseptis), pemanggangan, pengering semprot (pengeringan) | Susu pasteurisasi, produk pengalengan, <i>bakery</i> , susu bubuk |
| Tekanan | Katup pengatur uap, saklar listrik untuk pemanas, katup pengatur tekanan dari <i>compressor</i> | Jumlah uap yang mengalir, besaran listrik menuju alat pemanas (<i>heater</i>), jumlah <i>aliran coating material</i> | Sterilisasi (<i>saturated steam still-</i> dan <i>over-pressure retort</i>), evaporasi, pelapisan | Produk pengalengan, konsentrat jus, <i>wafer</i> coklat |

Tabel 9.1 Parameter proses yang dikendalikan dalam industri pangan (lanjutan)

| Parameter yang Dikendalikan | Aktuator | Respons | Unit proses | Industri pangan |
|-----------------------------|--------------------------------|--|---|---|
| Laju alir volumetrik | Daya pompa | Jumlah volume produk cair yang mengalir | Sterilisasi, pasteurisasi aseptis (kontinu), homogenisasi, pengeringan | Susu pasteurisasi, susu UHT, santan komersil, dll |
| Level volume | Daya pompa | Jumlah volume produk cair (bubuk) yang dipompa | Pencucian, pengecilan ukuran, sterilisasi, pasteurisasi aseptis (kontinu) | Berbagai industri pangan |
| pH | Katup pengatur inlet asam-basa | Jumlah volume asam-basa yang ditambahkan | Fermentasi | Yoghurt, kombucha, kefir, dll |

9.4 Sifat Fisik Bahan Pangan

Sifat fisik bahan pangan dapat diartikan sebagai sifat dari bahan pangan yang mana deksripsi dan kuantifikasinya lebih cocok menggunakan pendekatan fisik dibandingkan kimia. Sifat fisik bahan pangan penting, khususnya dalam formulasi dan produksi serta bagi peneliti rekayasa proses pangan, karena banyak karakteristik mutu (tekstur, penampilan) dan stabilitas (aktivitas air) dari produk makanan terkait dengan sifat fisik pangan itu sendiri. Salah satu area yang paling aktif diteliti terkait dengan pangan “masa depan” (*future foods*) adalah mikrostruktur fisik baru dari suatu pangan. Penggunaan nanoteknologi adalah contoh untuk mendapatkan struktur fisik yang baru dari pangan. Pengetahuan yang cukup terkait sifat fisik pangan, seperti sifat termal, konduktivitas, densitas, viskositas, panas spesifik, entalpi, dan lainnya adalah penting untuk desain rasional dan proses produksi pangan. Hal ini juga penting untuk memprediksi respons komponen pangan terhadap pemrosesan, distribusi, dan kondisi penyimpanan kondisi.

Beberapa contoh sifat fisik bahan pangan meliputi densitas, volume, massa, sifat mekanis (*elastic, viscous*) dalam kaitannya dengan kemudahan pangan mengalami perubahan (deformasi) sebagai respons terhadap tekanan (*stress*), sifat reologi (kemudahan mengalir suatu fluida), sifat termal seperti

panas spesifik, aktivitas air, struktur (struktur berserat, gel, emulsi, *foam*, bubuk ataupun dalam bentuk nano), sifat optik (turbiditas, warna, transparansi), sifat permukaan (tegangan permukaan), dan lainnya.

Sifat-sifat di atas sangat berpengaruh atas desain unit proses yang akan dilakukan, contohnya dalam proses produksi minuman fungsional dalam bentuk emulsi minyak dalam air (o/w). Salah satu unit operasi yang terlibat adalah emulsifikasi (proses pengemulsian). Penghomogen (*homogenizer*) *rotor-stator* atau penghomogen bertekanan mungkin menjadi pilihan untuk mengecilkan ukuran lemak, sehingga dapat terdistribusi secara merata pada fase kontinu (air). Sebagai salah satu contoh sifat fisik pangan adalah tegangan permukaan antara minyak dan air sangat tinggi. Oleh karena itu, pemisahan fase mudah terjadi ketika proses homogenisasi selesai dilakukan. Kestabilan emulsi ini sangat memengaruhi penyimpanan dari produk tersebut. Mengingat densitas air lebih tinggi daripada densitas minyak, maka minyak berada pada permukaan (bagian atas). Sebagai solusi atas kondisi ini adalah penggunaan emulsifier yang memiliki nilai neraca *hydrophylic lipophylic balance* (HLB) lebih besar dari 14. Dengan penambahan emulsifier, maka tegangan permukaan dapat direduksi, sehingga minyak dan air dapat tercampur dengan baik dan emulsi yang stabil akan diperoleh.

9.5 Berbagai Unit Operasi di Industri Pangan

Berikut ini dijelaskan secara garis besar berbagai unit operasi yang sering ditemui di industri pangan. Pendalaman mengenai masing-masing unit proses dapat ditemui pada buku referensi yang sesuai.

9.5.1 Pengecilan Ukuran

Pengecilan ukuran berperan penting dalam pengolahan pangan, di antaranya untuk menghasilkan produk yang lebih seragam, dan memudahkan dalam pencampuran bahan dalam suatu unit proses sehingga hasilnya homogen, menghasilkan sistem emulsi yang stabil, meningkatkan kepraktisan dalam transportasi dan penggunaan bahan pangan, dsb. Pengecilan ukuran dalam unit operasi pengolahan pangan sering disebut sebagai kominusi (*comminution*).

Selain ukuran partikel, keseragaman bentuk dari partikel juga merupakan parameter yang penting untuk dicermati selama operasi pengecilan ukuran. Keseragaman ukuran dalam serbuk (*powder*) memiliki pengaruh terhadap densitas massal (*bulk density*) dan daya alir (*flowability*) dari padatan tersebut. Pada produk cokelat, bentuk dari kristal gula memengaruhi teksturnya di dalam mulut (*mouthfeel*). Keseragaman bentuk dari potongan buah atau pasta pendek (*fettucini*) sangat berpengaruh pada penerimaan konsumen.

Pengecilan ukuran bahan pangan dapat dilakukan untuk padatan dan cairan. Prinsip kominusi dilakukan dengan mengaplikasikan prinsip tekanan geser (*shear stress*), namun prosesnya berbeda antara bahan padat dan bahan cair. Prinsip dasar pengecilan bahan padat adalah mengurangi ukuran partikel, sedangkan pengecilan bahan cair adalah mengubah cairan menjadi droplet.

Pemotongan, penggilingan, homogenasi dan ekstraksi adalah unit operasi untuk mendapatkan ukuran partikel bahan pangan yang lebih kecil. Pemotongan dan penggilingan merupakan unit operasi yang hanya dapat diterapkan untuk padatan. Sebagai contoh, umbi-umbian dipotong menjadi lembaran berukuran kecil (*chips*) untuk kemudian dikeringkan dan digiling menjadi tepung. Jagung pipil digiling menjadi tepung.

Homogenasi dan ekstraksi dapat dilakukan baik untuk padatan maupun cairan. Sebagai contoh, ukuran partikel tepung dapat dihomogenasi dengan menggunakan pengayak (*sieve*) untuk menghasilkan tepung dengan ukuran partikel yang lebih seragam. Pati dapat diekstrak dari tepung dengan berbagai metode. Homogenasi lebih umum dikenali pada produk cairan, misalnya susu. Dalam pemrosesan susu segar, prosedur homogenasi menghasilkan produk akhir dengan protein yang tidak menggumpal. Selanjutnya proses homogenasi dan ekstraksi dibahas secara lebih terperinci pada subbab tersendiri.

9.5.2 Pembesaran Ukuran

Lawan dari pengecilan ukuran adalah penyatuan/agregasi (*aggregation*) dan penggumpalan/aglomerasi (*agglomeration*), yaitu unit operasi yang ditujukan untuk mengkombinasikan, mengumpulkan, menyatukan bahan pangan yang

berukuran lebih kecil menjadi lebih besar. Pencampuran (*mixing*), pencetakan (*casting*), peletisasi, flokulasi, sedimentasi, dan ekstrusi adalah contoh unit operasi pembesaran ukuran bahan pangan.

Prinsip utama agregasi adalah peningkatan pelekatan (*sticking*) dengan cara peningkatan kontak permukaan atau dikenal dengan kohesi. Kohesi antar partikel yang kecil pada umumnya dilakukan dengan penambahan agen pengikat atau agen pengemulsi. Ekstrusi merupakan salah satu cara agregasi adonan dengan bantuan suhu tinggi dan tekanan dalam suatu laras yang terbuat dari baja untuk memaksa adonan meleleh dari lubang (*die*) kecil di mulut mesin *extruder*.

Beberapa unit operasi pembesaran ukuran dengan prinsip penggumpalan atau aglomerasi adalah dengan penggunaan tekanan, pelelehan parsial, dan penggunaan agen pengikat (*binding agent*). Contoh klasik penggumpalan bahan pangan adalah pencampuran tepung dengan lelehan mentega atau air untuk membuat adonan roti (*dough*). Contoh lain adalah penggunaan lignin untuk melekatkan serat pangan.

Teknik aglomerasi dapat dimulai dengan mencampurkan bahan berupa tepung dengan air atau mentega cair, sehingga membentuk suatu adonan. Selanjutnya, adonan dapat dituang dalam cetakan sesuai dengan ukuran yang dikehendaki. Adonan dapat mengalami proses pemanasan, pemberian tekanan, dan penambahan agen pengikat untuk menghasilkan tablet dan pellet. Untuk partikel terlarut yang berukuran kecil, pembesaran ukuran dapat dilakukan dengan teknik pengapungan (flokulasi) dan pengendapan (sedimentasi).

9.5.3 Homogenasi

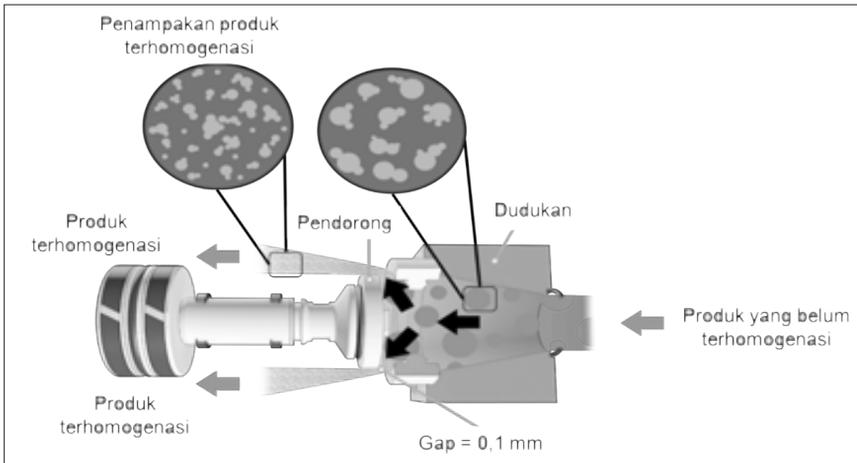
Homogenasi merupakan unit operasi mekanis yang bertujuan untuk menyeragamkan ukuran partikel bahan pangan dengan menerapkan prinsip gaya geser (*high shear*) atau tumbukan (*impact force*). Homogenasi diharapkan juga meningkatkan sifat dispersi di dalam pangan tersuspensi atau teremulsi. Pada intinya, di dalam pangan yang bersifat cairan, homogenasi meningkatkan stabilitas bahan terhadap fenomena sedimentasi sebagaimana dijelaskan dalam

hukum Stoke (persamaan 9.9), yaitu V (kecepatan sedimentasi partikel), R (radius partikel), μ (viskositas cairan (*liquid*)), ρ_p dan ρ_L (densitas partikel dan *liquid*), dan g (percepatan gravitasi).

$$V = \frac{2R^2}{9\mu}(\rho_p - \rho_L)g \quad (9.9)$$

Hukum Stoke menjelaskan bahwa ukuran partikel tersuspensi atau teremulsi berbanding kuadratik terhadap kecepatan pengendapan atau sedimentasi. Artinya, radius dan keseragaman ukuran partikel yang dihasilkan dalam proses homogenasi sangat berperan terhadap stabilitas dan umur simpan produk pangan. Saat ini, proses homogenasi juga menjadi bagian dari unit operasi yang signifikan untuk memproduksi bahan pangan dengan paradigma yang lebih maju, misalnya partikel dan fluida nano.

Perangkat yang digunakan dalam unit operasi ini disebut homogenizer. Homogenizer dapat berupa *rotor-stator*, yaitu rotor terletak pada bagian dalam *stator*. Pada bagian *rotor*, kecepatan putar dapat dikendalikan sampai di atas puluhan ribu putaran (revolusi) per menit. Lewat perputaran *rotor*, maka cairan tertarik masuk ke dalam area di antara *rotor* dan *stator*, dan selanjutnya terlempar keluar dari lubang kecil yang ada pada *stator*. Jenis homogenizer lainnya yang umum digunakan pada proses pengolahan susu cair adalah *pressure homogenizer*. Prinsip kerjanya juga bersifat mekanis seperti pada *homogenizer rotor-stator*. Mekanisme pengecilan ukuran terjadi melalui disipasi energi, adanya tubulensi dan kombinasi kavitasi (**Gambar 9.7**). Kavitasi adalah pembentukan rongga uap dalam cairan, zona bebas cairan kecil, yang merupakan konsekuensi dari gaya yang bekerja pada cairan. Proses pengecilan ukuran (globula lemak) dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama berfungsi untuk mengecilkan ukuran globula lemak sehingga menggunakan tekanan yang lebih tinggi (12–25 MPa). Sementara tahap kedua berperan untuk menjaga agar globula lemak yang telah mengecil tidak mengalami pengelompokan (*clustering*). Dengan demikian tekanan pada tahap kedua ini lebih kecil, yaitu sekitar 3–4MPa.



Gambar 9.7 Katup homogenasi (Bylund 2015)

Khususnya untuk produk susu cair, homogenisasi dapat mencegah *creaming* (pemisahan fase lemak dan air). Hasil dari suatu proses homogenisasi dapat diperiksa dengan menggunakan indeks homogenisasi. Indeks ini disebut dengan NIZO dan umumnya diterima oleh industri. Nilai NIZO yang diperlukan bervariasi tergantung pada umur simpan susu yang diharapkan, misalnya 70% untuk susu pasteurisasi dan 80% untuk susu UHT atau yang memiliki umur simpan lama. Selain NIZO terdapat juga metode USPH yang umum diadopsi oleh industri pangan.

9.5.4 Ekstraksi

Secara harfiah, istilah “ekstraksi” dapat diartikan sebagai unit operasi “menarik” sesuatu dari suatu matriks. Ekstraksi dapat juga diartikan sebagai proses pemisahan bahan pangan yang diinginkan dari matriks pengikatnya. Secara umum ekstraksi dapat dilakukan menggunakan pelarut (*solvent*) atau tidak. Operasi ekstraksi tanpa menggunakan pelarut dapat dilakukan dengan pengepresan (*mechanical expression*). Sebagai contoh, ekstraksi minyak sawit dari matriks buah sawit dan sukrosa dari matriks batang tebu atau umbi *beet* menggunakan *filter press*. Ekstraksi menggunakan pelarut dapat dibedakan menjadi dua golongan besar, yaitu (a) ekstraksi padat-cair (*solid-liquid extraction*), dan (b) ekstraksi cair-cair (*liquid-liquid extraction*).

Dalam ekstraksi padat-cair, zat terlarut diekstraksi dari fase padat (*solid*) dengan bantuan pelarut. Sebagai contoh ekstraksi zat terlarut kopi dari bubuk kopi menggunakan air, ekstraksi minyak nabati dari biji matahari dengan pelarut organik, dan ekstraksi protein dari kedelai menggunakan air untuk produksi isolat protein kedelai. Mekanisme ekstraksi ini meliputi pembasahan permukaan padatan oleh pelarut, penetrasi pelarut ke dalam pori-pori padatan, pelarutan ekstrak dalam pelarut, transfer zat terlarut dari dalam ke luar padatan dan dispersi zat terlarut pada *bulk solvent*.

Dalam ekstraksi cair-cair, zat terlarut diekstrak dari suatu larutan dengan menggunakan pelarut. Contohnya adalah ekstraksi penisilin dari medium fermentasi menggunakan butanol sebagai pelarut, dan ekstraksi terpenoid teroksidasi dari minyak esensial jeruk menggunakan etanol. Ekstraksi jenis ini juga dikenal dengan istilah partisi (*partition*).

Dalam pelaksanaannya, proses ekstraksi sering dilakukan dengan proses tekanan mekanik (*mechanical pressure*), enzimatik, kimiawi, melibatkan penambahan pelarut (*solvent*) dalam sebuah sistem fluida superkritik (*supercritical fluid extraction*, SFE) atau pelarut yang diakselerasi (*accelerated solvent extraction*, ASE), atau pemanfaatan gelombang mikro (*microwave assisted extraction*, MAE).

Sebelum menjelaskan tentang unit-unit operasi dalam proses ekstraksi, maka perlu diketahui faktor yang memengaruhi keberhasilan ekstraksi. Untuk menghasilkan ekstrak bahan pangan yang berkualitas, maka kontrol proses ekstraksi perlu dilakukan terhadap luas area kontak, waktu kontak, tahapan, dan pemanfaatan sifat bahan seperti kondisi asam-basa atau hidrofilik-lipofilik. Namun demikian, dalam proses ekstraksi dari bahan padat, kontrol proses ekstraksi lebih ditentukan oleh daya penggerak (*driving force*) dan resistensi matriks yang menghambat difusi bahan yang akan diekstrak.

Proses ekstraksi konvensional memerlukan pelarut dalam volume yang besar dan waktu pengerjaan yang lama. Di tingkat laboratorium, untuk melakukan ekstraksi metode Soxhlet, sebanyak 10–30 g sampel membutuhkan 300–500 mL pelarut dengan waktu ekstraksi berkisar 24–48 jam. Kebutuhan pelarut dan percepatan waktu ekstraksi dapat ditekan dengan penggunaan metode ekstraksi yang lebih baru, seperti sonikasi, SFE, ASE, dan MAE

(**Gambar 9.8**). Proses ekstraksi dengan metode sonikasi dapat dilakukan dalam waktu yang sangat cepat, yaitu 30–60 menit, namun proses ini tetap memerlukan pelarut dalam volume yang besar. SFE, ASE, dan MAE dapat dilakukan secara cepat dengan penggunaan pelarut yang lebih sedikit.

Kemampuan pelarutan dari pelarut yang digunakan pada SFE menentukan rendemen hasil ekstraksi maupun rasio antara pelarut dan sampel padatan. Kemampuan pelarut pada SFE untuk melarutkan senyawa yang ingin diekstrak dapat diperhitungkan dengan menggunakan “parameter solubilitas” (δ), yang terkait dengan tekanan kritis (P_c) dan densitas dari pelarut dalam bentuk gas (ρ_g) dan cair (ρ_l) (persamaan 9.10):

$$\delta = 1.25P_c^{0.5} \left(\frac{\rho_g}{\rho_l} \right) \quad (9.10)$$

Pada tekanan yang rendah, densitas dari gas juga rendah, sementara densitas dari cairan (*liquid*) umumnya independen terhadap tekanan. Dengan demikian, pada tekanan yang rendah nilai parameter solubilitas juga rendah. Densitas dari gas meningkat seiring dengan kenaikan tekanan, dan pada titik kritis akan mencapai nilai maksimum yang mana densitasnya mendekati densitas cairan. Zat yang diinginkan diekstraksi dari padatan menggunakan SFE pada suhu dan tekanan, yaitu solubilitas fluida yang digunakan maksimum. Kebanyakan peralatan SFE pada skala industri ataupun laboratorium bersifat *batch*. Karena rendahnya kelarutan fluida yang digunakan dalam SFE, maka rasio pelarut dengan bahan yang diekstrak menjadi sangat tinggi, sehingga sangat penting untuk mengalirkan kembali (*recycle*) fluida yang baru digunakan dari proses ekstraksi sebelumnya. Sistem peralatan SFE dapat dibagi menjadi dua wilayah, yaitu wilayah tekanan tinggi (dari kompresor hingga ke katup ekspansi) dan wilayah tekanan rendah (dari katup ekspansi hingga ke kompresor) (**Gambar 9.8A**).

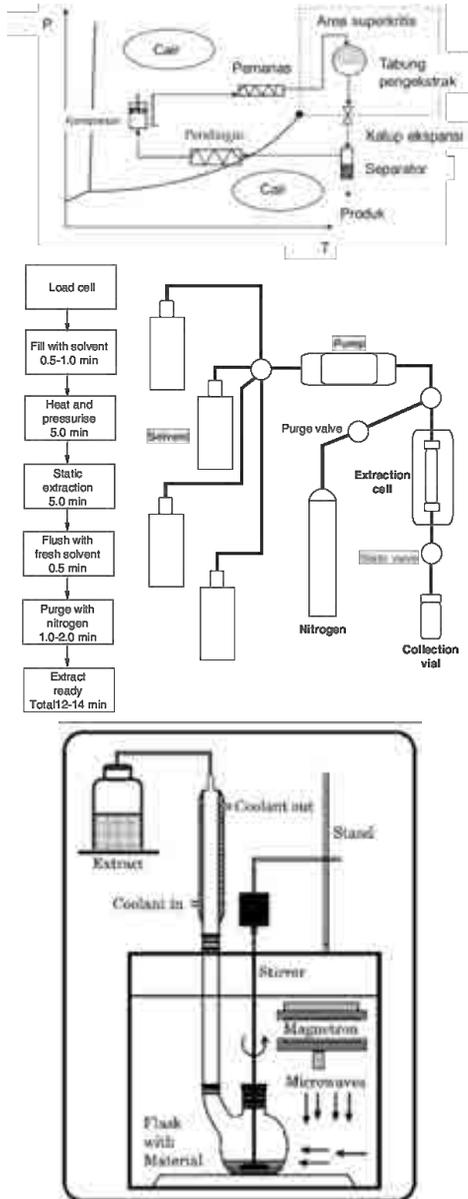
Kompresor bertujuan untuk meningkatkan tekanan karbondioksida (CO_2) di atas tekanan superkritis, yakni minimal 72,8 bar. Pemanas bertujuan untuk meningkatkan suhu dari CO_2 , mencapai suhu kritis yakni sekitar 31°C. Ketika kondisi superkritis tercapai, maka CO_2 mengalami perubahan fase menjadi superkritis (kombinasi sifat gas dan cairan), sehingga dapat

digunakan untuk mengekstraksi komponen yang dalam padatan (terdapat pada tabung pengestrak). Untuk meningkatkan aplikasi CO₂, terutama untuk mengekstraksi senyawa polar, maka dapat ditambahkan pelarut lain dalam jumlah yang sedikit *co-solvent*, *modifier*, *enhancer* atau *entrainer*. Sebagai contoh, untuk meningkatkan rendemen, pada ekstraksi kafein dengan menggunakan CO₂ ditambahkan 5% etanol, pada ekstraksi likopen dari kulit tomat ditambahkan air, dan pada ekstraksi minyak kanola ditambahkan etanol. Ketika senyawa yang diinginkan sudah terekstrak, maka katup ekspansi bekerja untuk menurunkan tekanan, sehingga CO₂ mengalami perubahan fase menjadi gas dan zat yang terekstrak dengan mudah dipisahkan. Gas CO₂ yang terpisahkan didinginkan dan digunakan kembali untuk proses ekstraksi selanjutnya (**Gambar 9.8A**).

Pada ASE, sampel disimpan dalam tabung di sebuah siklus aliran pelarut yang tertutup (**Gambar 9.8B**). Pemanasan pelarut dilakukan pada suhu yang terkontrol (50–200°C) dan tekanan yang dapat diatur (1500–20000 psi). Volume pelarut berkisar 15–40 mL dan jumlah siklus pelarut dapat ditentukan dengan waktu ekstraksi sekitar 15 menit per siklus. Dalam satu mesin ASE, beberapa sampel dapat diekstrak sekaligus, sehingga menghemat lebih banyak waktu pengerjaan.

MAE menggunakan gelombang mikro (*microwave*) untuk melepaskan komponen pangan dari matriks pengikatnya (**Gambar 9.8C**). Gelombang mikro menyebabkan gesekan antar molekul pelarut dan H₂O (*molecular friction*) di dalam matriks, sehingga bahan pangan yang diekstrak menjadi panas. Gesekan molekul menyebabkan dinding sel menjadi lemah atau rusak, sehingga komponen pangan dapat keluar dari matriks bahan pangan.

Lebih lanjut, MAE hanya memerlukan pelarut dalam jumlah yang sedikit, bahkan dalam beberapa aplikasi, MAE tidak memerlukan pelarut sama sekali. Waktu yang dibutuhkan untuk MAE berkisar 20–30 menit dengan kebutuhan pelarut 1:10 lebih sedikit dibandingkan ekstraksi metode Soxhlet. Dalam pemanfaatannya, ekstraksi menggunakan gelombang mikro harus memperhatikan daya yang diberikan ke dalam sistem, untuk menghindari kerusakan lebih lanjut dari senyawa yang diekstraksi. Terutama jika senyawa tersebut memiliki sifat dielektrik yang juga mengalami gesekan ketika diaplikasikan pada gelombang mikro.



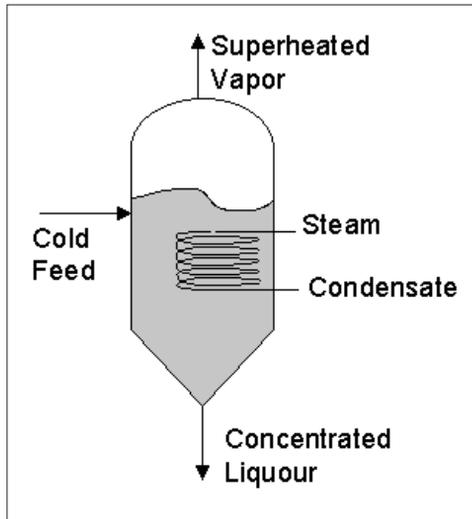
Gambar 9.8 Diagram beberapa metode ekstraksi: SFE (A); ASE (B); MAE (C)

Sumber: Shahid *et al.* (2015); Wei *et al.* (2005); Abdul-Mottaleb dan Sarker (2012)

9.5.5 Evaporasi

Evaporasi merupakan unit operasi yang bertujuan untuk meningkatkan konsentrasi padatan dari suatu larutan. Fenomena peningkatan fraksi padat dapat dicapai melalui pendidihan air yang terdapat dalam larutan. Istilah evaporasi, pengeringan dan distilasi seringkali digunakan untuk merujuk hal yang sama. Namun secara prakteknya, ketiga unit operasi ini sangat berbeda. Pada proses pengeringan, pengurangan kadar air terjadi pada bahan yang wujud awalnya didominasi oleh padatan. Sementara pada distilasi, unit proses untuk memisahkan campuran pelarut berdasarkan titik didih. Namun demikian, ketiga unit operasi ini memiliki persamaan, yaitu penggunaan panas untuk mendidihkan pelarut (air atau lainnya).

Evaporator adalah alat yang digunakan dalam proses evaporasi (**Gambar 9.9**). Prinsip kerja evaporator adalah pemanasan larutan dengan unit pindah panas (*heat exchanger*) pada titik didih pelarut. Dengan demikian, antara medium pemanas dan larutan yang dipekatkan tidak bercampur. Hal ini penting untuk dipahami, sehingga memudahkan perhitungan kebutuhan (medium) panas untuk meningkatkan fraksi padatan dari suatu larutan hingga ke level tertentu. Pelarut (air) yang menguap dilepaskan ke lingkungan atau disedot ke dalam sistem kondensor untuk dikumpulkan dan digunakan kembali pada proses berikutnya (terutama pada *multi-effect evaporator*). Dalam sistem yang kontinu atau berkelanjutan, terdapat unit yang menyuplai larutan baru dan unit yang mengumpulkan produk akhir terkonsentrasi. Dalam industri pangan, evaporasi (khususnya dalam pembuatan sari buah) dilakukan dengan tabung (*calandria*) pada kondisi vakum sehingga penguapan air dapat dilakukan pada rentang suhu 50–70°C. Hal ini bertujuan untuk menghindari kerusakan yang lebih tinggi pada komponen yang dipekatkan.



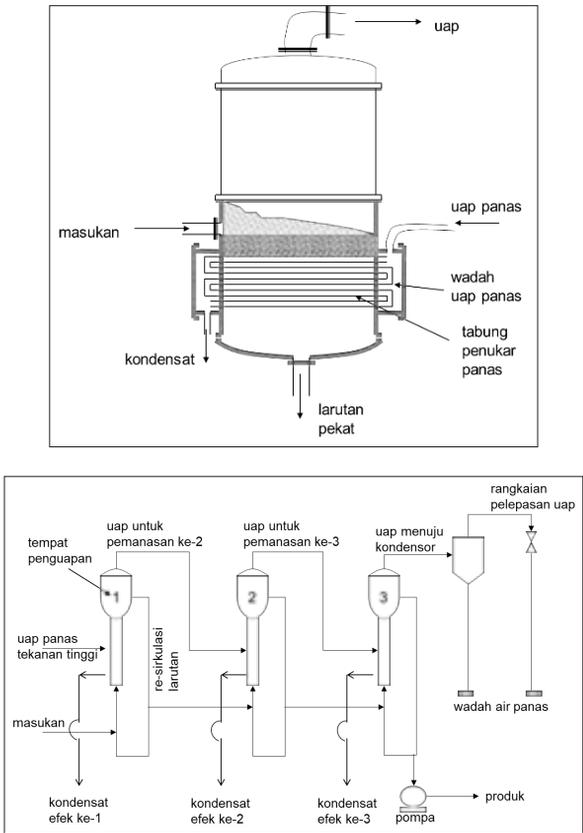
Gambar 9.9 Skema Evaporator

Sumber: Price (1996) <http://facstaff.cbu.edu/rprice/lectures/evap1.html>

Performa evaporator ditentukan oleh tiga parameter utama, yaitu kapasitas evaporator dalam bentuk volume pelarut yang diuapkan per satuan waktu (*evaporation rate*), konsumsi panas dalam bentuk daya listrik atau volume uap yang digunakan per satuan waktu (*steam consumption*), dan keekonomian alat yang merupakan perbandingan antara jumlah pelarut yang diuapkan dengan banyaknya konsumsi uap (*steam economy*). Evaporator terdapat dua jenis yaitu, evaporator efek tunggal (*single-effect evaporator*) dan efek berganda (*multi-effect evaporator*) (**Gambar 9.10**).

Kondisi termal dalam evaporator perlu diperhatikan untuk menghasilkan performa keekonomian yang lebih baik. Hal ini terkait dengan efisiensi pindah panas antara uap yang diberikan kepada larutan yang dievaporasi. Selain itu, kualitas uap sebagai medium pemanas penting untuk diperhatikan. Tidak jarang kualitas uap berubah-ubah seiring dengan penggunaan *boiler*. Penurunan kualitas uap juga dapat terjadi karena buruknya insulasi pada pipa penyuplai uap, dan *steam trap* yang tidak bekerja dengan baik. Pada industri pangan, kualitas uap minimal 85%, untuk mendapatkan entalpi (kandungan panas) yang cukup dengan jumlah uap yang minimum. Dalam sistem kontinu,

peningkatan performa evaporator dapat dilakukan dengan pemanasan awal (*preheating*) larutan yang akan dipekatkan. Selain itu, untuk meningkatkan efisiensi unit operasi evaporasi, tidak jarang proses ini dilangsungkan dalam beberapa *calandria* (*multi-effect evaporator*). Pada *multi-effect evaporator* kondisi vakum lebih besar (tekanan absolut semakin lebih kecil) pada *calandria* yang kedua dan seterusnya. Hal ini untuk menjamin proses penguapan pelarut (air) masih terus terjadi pada *calandria* ke dua dan seterusnya.



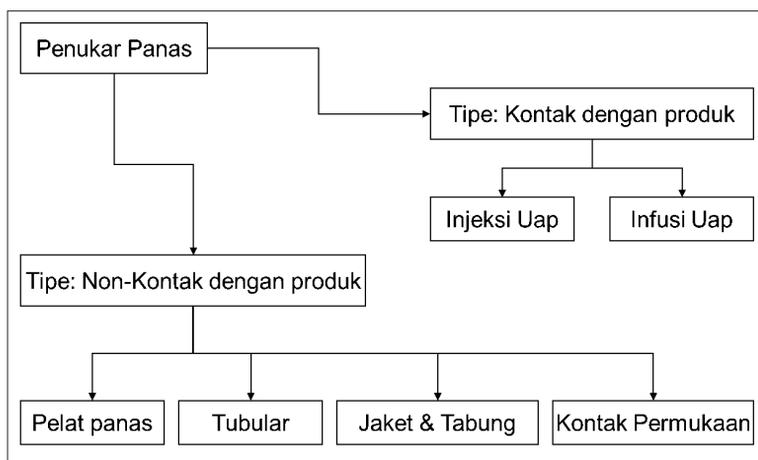
Gambar 9.10 Evaporator efek tunggal (a) dan efek berganda (b)

9.5.6 Alat Penukar Panas

Alat penukar panas (*heat exchanger*) merupakan salah satu utilitas yang digunakan dalam proses pemanasan ataupun pendinginan. Alat ini memfasilitasi perpindahan panas dari medium pemanas ke bahan yang ingin dipanaskan atau dari produk yang telah mengalami pemanasan ke medium pendingin. Berdasarkan arah alirannya, penggunaan alat penukar panas dapat bersifat *counter flow* dan *parallel (co-counter) flow*. Pada *counter flow*, antara medium pemanas dan bahan yang dipanaskan (berlaku juga untuk pendinginan) memiliki arah yang berlawanan. Sementara untuk *parallel flow*, media pemanas memiliki arah yang sama dengan bahan yang dipanaskan. Baik lewat *counter* ataupun *parallel flow* kita dapat mengamati bahwa perbedaan suhu antara medium pemanas dan bahan yang dipanaskan (medium pendingin dengan bahan yang didinginkan) berubah-ubah di sepanjang alat penukar panas. Oleh karena itu, untuk menghitung luas atau area yang dibutuhkan dari suatu alat penukar panas harus memperhitungkan perbedaan suhu dalam bentuk perbedaan suhu rata-rata logaritmik (*log mean temperature difference* atau T_{LMTD}).

Berdasarkan sifat perpindahan panasnya, alat penukar panas bekerja dengan beberapa prinsip, yaitu (1) antara medium pemanas kontak dengan produk, misalnya berupa injektor uap dan infusi uap dan (2) antara medium pemanas (pendingin) tidak kontak dengan produk, misalnya pelat panas, tabung/tubular, kombinasi jaket dan tabung, dan sistem kontak permukaan (**Gambar 9.11**). Profil suhu produk dengan alat penukar panas injektor uap atau infusi uap secara cepat mengalami kenaikan. Proses sterilisasi sistem UHT banyak menggunakan injektor uap sebagai alat penukar panas. Proses pencampuran antara medium pemanas dan produk yang dipanaskan terjadi melalui aliran di dalam pipa. Oleh karena itu, efisiensi pencampuran sangat tergantung pada bilangan Reynolds (Re) ataupun kecepatan alir produk di dalam pipa. Dalam alat penukar panas injeksi uap, penurunan tekanan pada bagian akhir proses perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya penguapan pada produk yang dipanaskan. Penggunaan alat penukar panas injeksi uap atau infusi uap harus memperhatikan penambahan volume produk akhir

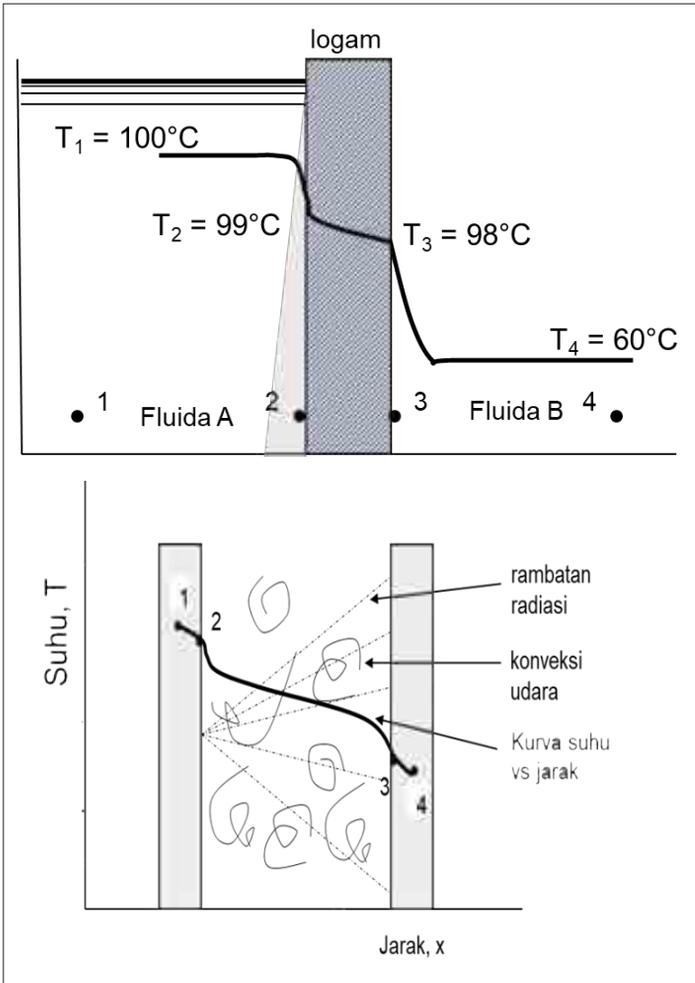
yang berasal dari penggunaan medium pemanas uap. Selain itu, jenis uap yang digunakan umumnya merupakan uap kuliner (*culinary steam*) yang aman untuk dikonsumsi.



Gambar 9.11 Beberapa tipe alat penukar panas

Cara kerja alat penukar panas adalah dengan mekanisme konduksi, konveksi, dan rambatan radiasi. Alat penukar panas dapat menggunakan medium air, uap maupun udara. Ilustrasi pertukaran panas dapat dilihat pada **Gambar 9.12**. Pada penukar panas non-kontak dengan mekanisme konduksi dan konveksi (**Gambar 9.12A**), fluida A (medium pembawa panas) bersuhu 100°C kontak dengan logam pembatas antara medium pembawa panas (fluida A) dan bahan yang dipanaskan (fluida B). Pada titik kontak permukaan fluida A dengan logam, suhu sedikit turun menjadi 99°C , dan pada titik kontak permukaan fluida B (bahan yang dipanaskan) dengan logam, suhu turun menjadi sekitar 98°C . Titik terjauh (*coldest point*) bahan yang dipanaskan bersuhu 60°C . Dalam hal ini kombinasi pindah panas konveksi-konduksi dan koveksi terjadi secara simultan.

Gambar 9.12B memberikan ilustrasi perpindahan panas pada penukar panas non-kontak dengan mekanisme konveksi dan radiasi. Udara di sekitar elemen panas menghantarkan panas ke bahan yang dipanaskan (konveksi udara). Elemen pemanas memancarkan panas radiasi ke bahan yang dipanaskan (rambatan radiasi).



Gambar 9.12 Ilustrasi perpindahan panas dengan mekanisme konduksi, konveksi, dan rambatan radiasi. (A) Penukar panas non-kontak mekanisme konduksi; (B) Penukar panas non-kontak mekanisme konveksi dan radiasi

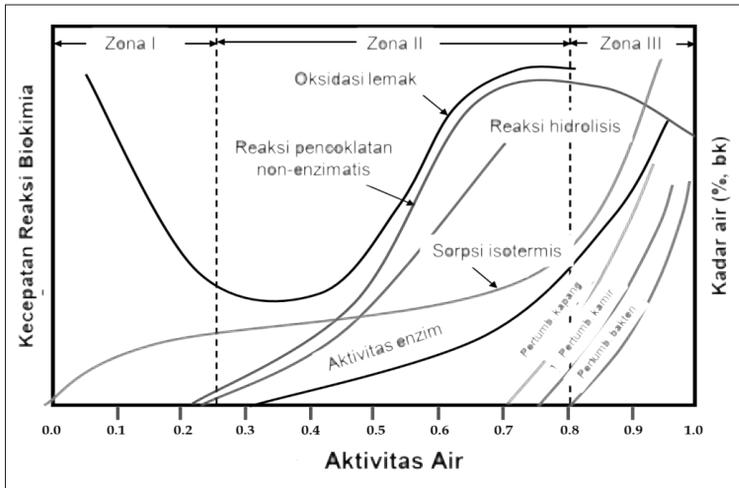
9.5.7 Pengeringan

Pembahasan mengenai pengeringan berikut mencakup penjelasan secara garis besar mengenai prinsip pengeringan, laju pengeringan, dan jenis-jenis alat pengering.

Prinsip Pengeringan

Pengeringan dapat didefinisikan sebagai penguapan air atau cairan lain dari larutan, suspensi, atau campuran padat-cair lainnya untuk membentuk padatan kering. Apabila cairan yang dimaksud adalah air (H_2O), maka prosesnya dapat disebut secara eksklusif sebagai dehidrasi. Pengeringan adalah proses rumit yang melibatkan perpindahan panas dan massa secara simultan. Pengeringan terjadi sebagai akibat dari penguapan cairan dengan cara pemanasan bahan baku basah, butiran, *filter cakes*, dan sebagainya. Berdasarkan mekanisme perpindahan panas yang digunakan, jenis pengeringan dikategorikan menjadi kontak dengan elemen pemanas (konveksi), tidak kontak dengan elemen pemanas (konduksi), radiasi (radiasi) dan pengeringan dielektrik atau gelombang mikro (*microwave*).

Kelembapan relatif memainkan peranan penting di dalam penentuan umur simpan produk hasil proses pengeringan. Kelembapan relatif dihitung dari aktivitas air produk yang dikeringkan. Air yang bebas (zona III) akan dimanfaatkan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Air yang terikat secara kovalen (zona II) di dalam bahan pangan akan berperan terhadap reaksi pencokelatan, oksidasi, sorpsi isoteremis, dan aktivitas enzim. Air yang terikat secara ionik (zona I) akan berperan dalam proses autooksidasi. Pengeringan bertujuan untuk menghilangkan air bebas dan air terikat kovalen, serta sebagian air terikat ionik (**Gambar 9.13**). Proses pengeringan yang berhasil dan tepat dapat mencegah perubahan bahan pangan oleh sebab kelembapan relatifnya yang rendah.



Gambar 9.13 Hubungan antara aktivitas air, dan berbagai reaksi biokimia dalam sistem pangan

Laju Pengeringan

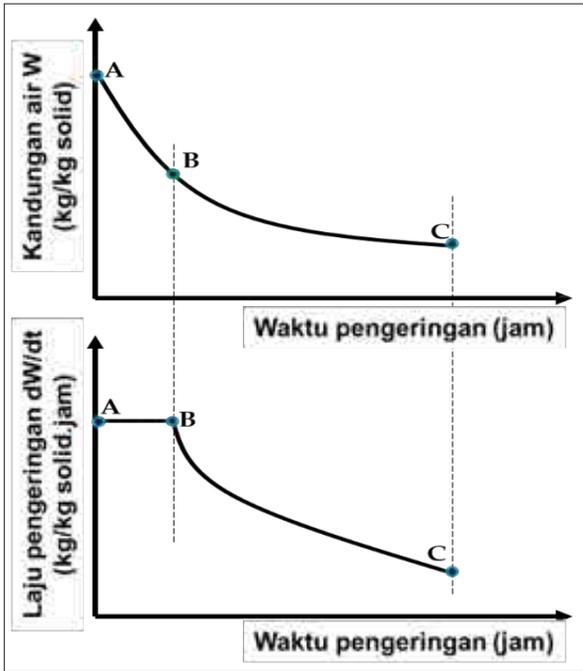
Perpindahan panas dan perpindahan massa adalah dua aspek penting dalam proses pengeringan. Panas ditransfer ke produk untuk menguapkan cairan, dan massa dilepaskan dalam bentuk uap atau gas ke lingkungan sekitarnya. Kecepatan pengeringan ditentukan oleh serangkaian faktor yang memengaruhi perpindahan panas dan massa, di antaranya adalah luas permukaan bahan yang dikeringkan, suhu pengeringan, kecepatan aliran udara/medium, kelembapan udara, tekanan, dan waktu pengeringan. Pengeringan padatan secara umum dipahami mengikuti tiga tahapan, yakni periode penyesuaian (*settling*), periode laju konstan (*constant rate*) dan periode di mana laju pengeringan mengalami penurunan (laju jatuh atau *falling rate*). Mengingat periode *settling* terjadi secara cepat, maka pengeringan sering dianggap terdiri atas dua periode. Kedua zona (*constant rate* dan *falling rate*) dibatasi oleh sebuah kondisi yang disebut sebagai titik kritis. Kandungan air pada titik ini disebut juga dengan kadar air kritis (*critical moisture content*).

Pada grafik kadar air versus laju pengeringan dan kadar air versus waktu (**Gambar 9.14**), bagian AB mewakili periode laju konstan. Di zona laju konstan, uap air menguap dari permukaan jenuh pada kecepatan yang

dipengaruhi oleh difusi dari permukaan melalui lapisan tipis udara stasioner yang bersentuhan dengan air atau pelarut yang akan diuapkan. Periode laju konstan sangat dipengaruhi oleh suhu udara, kelembapan dan kecepatan perpindahan uap dari dalam bahan ke permukaan bahan yang dikeringkan. Selama periode laju konstan, air yang terikat dalam matriks bahan bergerak ke permukaan dengan kecepatan yang cukup untuk mempertahankan saturasi uap jenuh di permukaan bahan.

Pada akhir periode laju konstan, (titik B, **Gambar 9.14**), kurva pengeringan mencapai titik kritis. Pada titik kritis, penurunan linier mengalami perubahan kecepatan yang ditandai dengan pelandaian konstanta kemiringan (*slope*). Pada tahap ini, laju jatuh pengeringan terjadi. Segmen BC disebut periode laju jatuh tahap pertama, uap air mencapai permukaan pada kecepatan dan volume yang menurun. Karena permukaan bahan tidak lagi jenuh, suhu permukaan bahan akan cenderung naik di atas suhu bola basah (*wet-bulb temperature*). Segmen CD pada **Gambar 9.14** disebut periode laju jatuh tahap kedua, dan kecepatan pengeringan sepenuhnya dikendalikan oleh difusi uap. Kemiringan kurva pada periode laju jatuh kedua ditentukan oleh kekuatan kapiler atau oleh efek osmotik pada bahan yang dikeringkan.

Laju pengeringan untuk material seperti biji-bijian, dedaunan, batang tumbuhan, bubur *pulp*, atau konsentrat ekstrak dalam sistem kontinu dapat diukur dengan parameter kelembapan relatif dalam sebuah sistem pengering. Cara ini lebih praktis dan efektif dibandingkan dengan mengukur berat bahan yang sedang dikeringkan. Beberapa permodelan pengeringan dapat diterapkan berdasarkan kelembapan relatif yang secara terus menerus dimonitor dari dalam alat pengering. Salah satu model pengukuran laju pengeringan yang paling sederhana adalah model eksponensial Lewis yang memanfaatkan rasio kelembapan (*moisture ratio*). Model lain yang dapat diterapkan untuk mendapatkan korelasi (r) yang lebih baik antara waktu pengeringan terhadap $\ln(-\ln(MR))$ adalah model Page. Penjelasan kedua model ini dapat dilihat pada persamaan (9.11 s/d 9.14). Untuk mengukur MR digunakan persamaan (9.11) yang terdiri MR sebagai rasio kelembapan, M_i sebagai nilai kelembapan pada detik ke- i , M_e sebagai nilai kelembapan pada kondisi setimbang, dan M_0 sebagai nilai kelembapan awal.



Gambar 9.14 Pengeringan dilihat dari waktu terhadap kadar air (atas), kadar air terhadap laju pengeringan (bawah). Keterangan: Segmen AB mewakili periode pengeringan dengan laju konstan, sedangkan segmen BC adalah periode laju jatuh (*falling rate*). Sumber: Parikh (2014)

$$MR = \frac{M_i - M_e}{M_0 - M_e} \quad (9.11)$$

Model Lewis dapat dilihat pada persamaan (9.12). Setelah persamaan (9.3) diturunkan, maka, nilai logaritma natural dari MR akan berbanding lurus dengan kemiringan ($-k$) dikalikan dengan waktu pengeringan (Persamaan 9.13). Model Page didapatkan dengan menurunkan persamaan (9.4) lebih lanjut, sehingga diperoleh persamaan (9.14)

$$MR = e^{-k \cdot t} \quad (9.12)$$

$$\ln(MR) = -k \cdot t \quad (9.13)$$

$$\ln(-\ln(MR)) = \ln(k) + n \cdot t \quad (9.14)$$

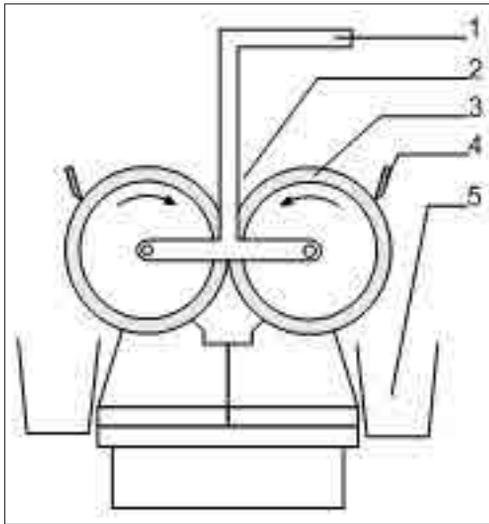
Jenis Alat Pengering

Tipe-tipe alat pengering yang digunakan di industri pangan didisain berdasarkan jenis bahan dan tujuan proses yang ingin dicapai. Bahan pangan padat dapat dikeringkan menggunakan tipe pengering kabinet (*tray dryer*) dan *fluidized bed dryer*, sedangkan bahan pangan cair atau pasta dapat dikeringkan dengan menggunakan *drum dryer* dan *spray dryer*. Alat pengering juga dapat dibedakan menjadi pengering tekanan atmosfer (misal *tray dryer* dan *fluidized bed dryer*) dan pengering vakum (misal oven vakum dan *freeze dryer*). Dalam pengering tekanan atmosfer, panas yang diperlukan untuk penguapan ditransfer dengan aliran udara yang disirkulasikan. Udara menampung dan membawa air yang diuapkan. Dalam pengering tekanan vakum, bahan yang dikeringkan diletakkan dalam ruangan tertutup dan ruang pengering diturunkan tekanannya sehingga titik didih air menurun. Oleh karena itu, suhu pengeringan dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah. Panas untuk penguapan ditransfer dengan cara radiasi atau konduksi dari permukaan panas.

Pengering oven dan *fluid bed dryer* adalah tipe pengering yang dapat digunakan untuk mengeringkan bahan berbentuk padat. Udara panas berasal dari *heater* dan dibawa oleh udara ke ruang pengering. Di ruang pengering terjadi proses pengeringan bahan oleh panas yang dibawa udara tersebut. Pada *fluid bed dryer*, udara panas yang berasal dari *heater electric* dialirkan dengan bantuan kipas dan bergerak dengan tipe vertikal. Udara panas digerakan dengan kecepatan yang tinggi sehingga menggerakkan partikel bahan yang dikeringkan. Proses tersebut mengakibatkan seluruh permukaan bahan bersentuhan dengan udara pemanas.

Drum drying termasuk dalam tipe pengeringan secara konduksi, yaitu medium panas yang digunakan adalah uap air (*steam*) yang dialirkan melalui penukar panas atau permukaan logam (**Gambar 9.15**). *Drum* berputar dengan tenaga penggerak motor, dipanaskan dari bagian dalam dengan menggunakan *steam*. Panas permukaan *drum* mencapai suhu 120–170°C. Bahan yang akan dikeringkan disebarakan secara merata pada permukaan atas *drum*. *Drum* yang berdekatan dan berputar berlawanan arah membentuk lapisan tipis pada

permukaan *drum*. Sebelum mencapai putaran penuh, bahan mengering dan dikikis oleh pisau yang berada di sepanjang permukaan *drum* dengan arah melintang. Produk akhir ditampung di bawah permukaan *drum*.



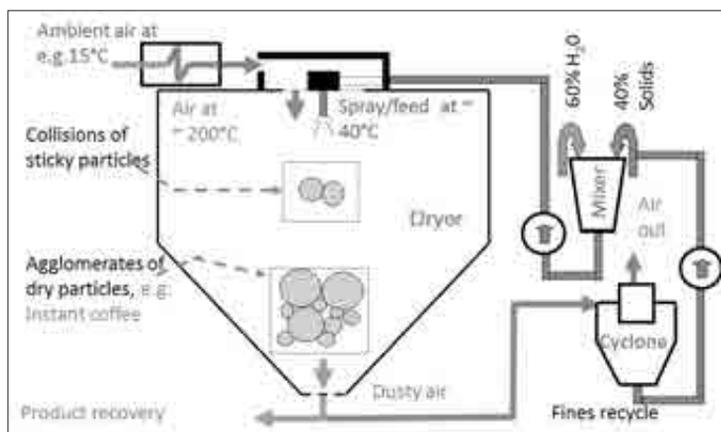
Gambar 9.15 Pengering *drum* (*drum dryer*)

Salah satu produk pangan yang secara komersial diproduksi dengan menggunakan pengering *drum* adalah bubur instan. Pengering *drum* merupakan pengering kontak lapis tipis pada permukaan *drum* yang panas. Pada pengeringan *drum*, bahan baku disebar secara merata pada permukaan silinder panas yang bergerak untuk menguapkan air dari produk. Panas pada silinder berasal dari *steam*. Tekanan *steam* akan menentukan kecepatan penguapan air selama perputaran silinder. Setelah waktu kontak yang ditentukan, produk yang telah kering dilepas dari silinder oleh pisau pengerik (*doctor blade*). Proses pengeringan menghasilkan produk berupa lapisan tipis kering yang selanjutnya digiling menjadi tepung.

Pengering *drum* juga digunakan untuk mengeringkan bahan berwujud larutan/suspensi. Efisiensi proses pengeringan dengan alat ini sangat dipengaruhi oleh total padatan dalam suspensi. Makin tinggi total padatan dalam suspensi, maka semakin mudah bahan ini dikeringkan. Total padatan

optimal untuk proses pengeringan menggunakan pengering *drum* sekitar 60%. Pengeringan *drum* relatif lebih murah dan lebih sederhana, tetapi panas dari silinder seringkali menyebabkan karamelisasi gula yang mengakibatkan produk berwarna kecokelatan.

Alat pengering tipe semprot (*spray dryer*) digunakan untuk mengeringkan suatu larutan, campuran atau produk cair lainnya menjadi bentuk *powder* pada kadar air mendekati kesetimbangan dengan kondisi udara pada tempat produk keluar (**Gambar 9.16**). Selain digunakan untuk mengeringkan bahan pangan, juga digunakan untuk mengeringkan bahan kimia dan produk farmasi. Kopi instan dan susu bubuk umumnya dikeringkan dengan *spray dryer*.



Gambar 9.16 Pengering semprot (*spray dryer*)

Berdasarkan kontak udara panas dengan bahan yang dikeringkan, *spray dryer* dapat dibagi atas beberapa jenis, yaitu pengering dengan sistem roda atomisasi, pengering dengan aliran sejajar (paralel) dan pengering aliran bercampur. Berdasarkan bentuk aliran bahan yang dikeringkan, *spray dryer* dapat dikelompokkan menjadi atomisasi tekanan tinggi dan sentrifugal. Pada *spray dryer* bertekanan tinggi, bahan cair yang dikeringkan ditekan melalui "nozzle" di bawah pengaruh tekanan tinggi. Pencampuran bahan dengan udara kering agar berbentuk pola semprotan yang dikehendaki dapat dikontrol. Pada *spray dryer* sentrifugal, pembentukan partikel halus dilakukan dengan tekanan rendah yang disertai putaran sekitar 20.000 rpm.

9.5.8 Blansir, Pasteurisasi, dan Sterilisasi

Proses termal merupakan proses yang paling umum dilakukan untuk mengolah pangan, meningkatkan keamanan pangan, dan memperpanjang masa simpan dari produk pangan. Terdapat beberapa istilah dalam pengolahan dengan panas yang membedakannya satu sama lain, yaitu pencairan (*thawing*), blansir (*blanching*), pasteurisasi (*pasteurization*), sterilisasi (*sterilization*), pemasakan (*cooking*), penguapan (*evaporation*), penggorengan (*frying*), pembakaran/pengovenan (*baking/oven*), penyangraian (*roasting*), dan seterusnya.

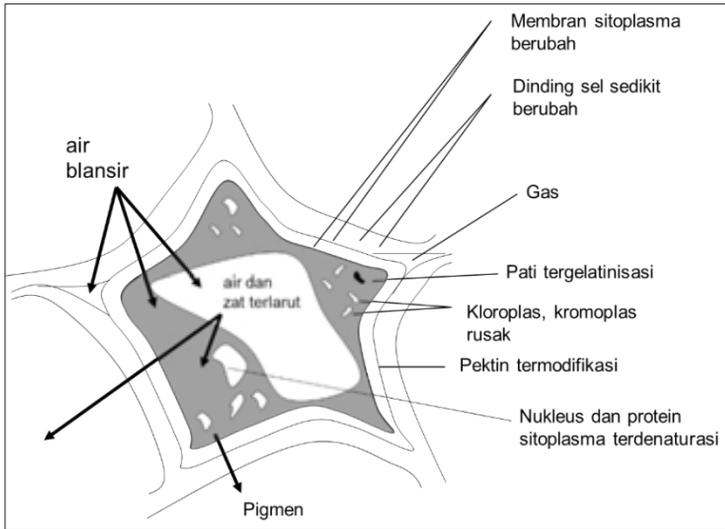
Fokus dari subbab ini adalah pasteurisasi, sterilisasi, dan salah satu perlakuan pemanasan awal yaitu blansir. Tujuan fundamental dari proses termal adalah mengurangi aktivitas mikrobiologis, menurunkan atau memusnahkan aktivitas enzimatis, dan mengubah sifat fisikokimia dari pangan olahan. Perbedaan utama dari blansir, pasteurisasi, dan sterilisasi adalah pada suhu dan lama waktu proses termal yang diberikan pada bahan pangan.

Blansir

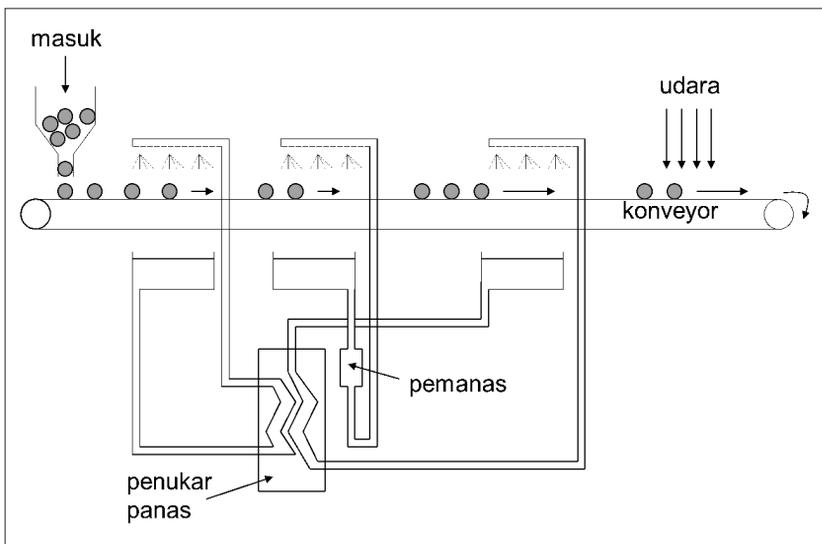
Tujuan utama dari blansir adalah untuk memberikan perlakuan awal dan mematikan aktivitas enzimatis dari buah-buahan dan sayuran sebelum proses lanjutan dilakukan. Blansir juga berfungsi mengurangi jumlah kontaminasi mikroba pada permukaan bahan, melunakkan jaringan buah dan sayur sehingga lebih mudah untuk disimpan dalam kemasan, dan menghilangkan udara dari sela-sela sel sebelum produk dikalengkan. Enzim yang menjadi target deaktivasi adalah dari kelompok lipoksigenase, polifenoloksidase, poligalakturonase, klorofilase, serta sebagian enzim katalase dan peroksidase. Enzim ini dapat menurunkan kualitas bahan pangan selama proses pengolahan berlangsung. **Gambar 9.17** menyajikan perubahan membran sel tanaman sebagai akibat proses blansir.

Implementasi unit operasi blansir dapat bervariasi, misalnya dengan perendaman buah dan sayur di air panas (suhu 70–100°C), penyemprotan buah dan sayur dengan air atau uap panas di atas ban berjalan, atau pemanasan

bahan pangan di dalam sistem gelombang mikro (*microwave heat*). **Gambar 9.18** menyajikan skema proses blansir dengan penyemprotan uap panas dalam sistem kontinu.



Gambar 9.17 Pengaruh blansir pada membran sel tanaman



Gambar 9.18 Ilustrasi skema kerja alat blansir skala industri

Efektivitas dan efisiensi proses blansir perlu untuk ditetapkan. Terdapat dua kondisi tidak ideal dalam proses blansir, yaitu kekurangan (*under blanching*) dan kelebihan (*over blanching*). Salah satu marka yang paling sering digunakan untuk mendeteksi kecukupan blansir adalah enzim peroksidase, dikarenakan peroksidase relatif lebih tahan panas dibandingkan enzim lainnya dan mudah dideteksi dalam satu sistem operasi pengolahan pangan yang kontinu. Teknik deteksi aktivitas peroksidase adalah dengan penambahan guaikol dan hidrogen peroksida pada sampel buah dan sayur yang telah diblansir. Apabila guaikol berubah warna menjadi kecokelatan, maka enzim peroksidase masih aktif.

Pasteurisasi

Pasteurisasi adalah proses termal yang bertujuan untuk mematikan enzim dan organisme patogen yang menyebabkan kerusakan atau kebusukan pangan. Panas yang diberikan dalam proses pasteurisasi biasanya mendekati 100°C, dengan faktor yang dipengaruhi oleh kondisi pangan, seperti pH, jumlah mikroba awal, jenis enzim atau kontaminan, dan sifat fisik dari bahan pangan. **Tabel 9.2** menyajikan tujuan proses pasteurisasi dan kondisinya untuk jenis pangan dengan pH yang berbeda. Pasteurisasi meningkatkan umur simpan produk pangan selama beberapa hari, hingga beberapa bulan, bergantung kebutuhan yang diperlukan dan suhu penyimpanan bahan.

Tidak semua proses panas bertujuan sama. Sekalipun pengolahan pada suhu yang lebih tinggi seperti sterilisasi dapat diterapkan di hampir semua produk pangan, namun industri pangan tetap melakukan pasteurisasi untuk produk yang hanya memerlukan umur simpan lebih pendek karena produk tersebut cepat terjual di pasaran. Selain itu, pasteurisasi diterapkan untuk mengurangi kerusakan mutu pangan akibat proses panas yang tinggi, misalnya mutu sensoris dan vitamin yang tidak tahan panas.

Sterilisasi komersial

Sebelum membahas lebih dalam tentang sterilisasi, perkembangan proses termal menghasilkan setidaknya tiga metode pemanasan, bergantung pada suhu yang diterapkan. Pasteurisasi dapat dilakukan pada suhu rendah durasi lama atau pada suhu tinggi durasi singkat (*high temperature short time*, HTST).

Sterilisasi dapat dilakukan pada suhu ultra-tinggi (*ultra high temperature*, UHT). Penggunaan metode pemanasan yang berbeda memiliki masing-masing keunggulan. Sebagai contoh pada produk susu, semakin tinggi suhu proses termal semakin singkat waktu kontak, sehingga kerusakan thiamin, vitamin C, vitamin B12, dan denaturasi protein dapat direduksi.

Tabel 9.2 Tujuan pasteurisasi pada beberapa produk pangan

| Komoditas | Tujuan Utama | Tujuan Sekunder | Kondisi minimum |
|------------|--|---|--|
| pH < 4,5 | | | |
| Jus Buah | Inaktivasi enzim | Destruksi jamur, dan organisme pembusuk | 65°C 30 menit; 77°C 1 menit; 88°C 15 detik; |
| Sirup | Destruksi kapang, <i>Lactobacillus sp.</i> , <i>Saccaromyces sp.</i> | | 65–68°C 20 menit; 72–75°C 1–4 menit pada 900–1000 kPa |
| pH > 4,5 | | | |
| Susu | Destruksi patogen <i>Brucella</i> , <i>Mycobacterium</i> | Destruksi organisme pembusuk dan enzim | 63°C 30 menit; 71,5°C 15 detik; |
| Telur cair | Destruksi patogen <i>Salmonella</i> | Destruksi mikroba pembusuk | 64°C 2,5 menit; 60°C 3,5 menit; |
| Es krim | Destruksi patogen | Destruksi mikroba pembusuk | 65°C 30 menit; 71°C 10 menit; 80°C 15 detik; |

Sterilisasi komersial didefinisikan sebagai proses perlakuan panas untuk mematikan seluruh mikroorganisme, termasuk kelompok termofilik penghasil spora, sehingga peluang pertumbuhan mikroorganisme ini sangat rendah. Produk pangan disimpan di wadah tahan panas seperti kaleng dan *retort pouch* untuk selanjutnya diberikan kombinasi perlakuan pemanasan pada tekanan tinggi selama waktu tertentu dengan maksud untuk mematikan bakteri indikator penyebab kebusukan. Kelompok bakteri utama yang sering dijadikan indikator kecukupan sterilisasi komersial adalah *Bacillus* dan *Clostridium* (Tabel 9.3).

Alat yang digunakan untuk proses sterilisasi komersial disebut retort. Variasi jenis retort sangat beragam, dimulai skala rumah tangga yang sederhana seperti presto hingga skala industri yang mampu memuat beberapa ton produk. Dilihat dari prosesnya, retort terbagi menjadi dua, yaitu sistem *batch* dan sistem kontinu. Jenis retort dilihat dari posisi operasionalnya ada dua, yaitu vertikal dan horizontal. Contoh retort vertikal dapat dilihat pada **Gambar 9.19A**.

Cara kerja retort pada umumnya sama, yaitu menggunakan uap panas pada tekanan tinggi (121°C , ± 2 atm) untuk memanaskan produk pangan selama waktu tertentu. Perlu diperhatikan bahwa referensi kecukupan suhu pada proses sterilisasi diukur pada titik terendah (*coldest point*) yang diambil dari nilai rata-rata beberapa probe termokopel yang tersebar di dalam produk yang disterilisasi. Tahapan sterilisasi dimulai dengan *come up time* (CUT), yaitu waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu yang memberikan efek sterilisasi. CUT diupayakan sesingkat mungkin, sehingga cara mempersingkat CUT adalah dengan memberikan pemanasan awal pada produk. Tahap kedua adalah waktu proses (*processing time*), yaitu waktu proses yang dihitung sebagai waktu sterilisasi. Tahap terakhir disebut sebagai periode pendinginan (*cooling period*), yaitu saat uap didorong keluar sistem retort dan air dingin disemprotkan ke produk untuk mempercepat proses pendinginan (**Gambar 9.19B**).

Tabel 9.3 Mikroorganisme penting dalam sterilisasi pangan

| Kelompok Mikroorganisme | Spesies | Deskripsi |
|------------------------------------|--|---|
| Bakteri termofilik pembentuk spora | <i>Flat sours: Bacillus stearothermophyllus</i> | Resisten pada suhu tinggi, penghasil asam, tidak memproduksi gas, ditemukan pada pangan tinggi gula, garam, dan rempah-rempah |
| | Termofilik anaerobik: <i>Clostridium thermosaccharolyticum</i> | Resisten pada suhu tinggi, penghasil asam, produksi gas (CO_2), |
| | Penghasil Sulfida: <i>Desulfotomaculum nigrificans</i> | Resisten pada suhu tinggi, produksi gas (H_2S) |

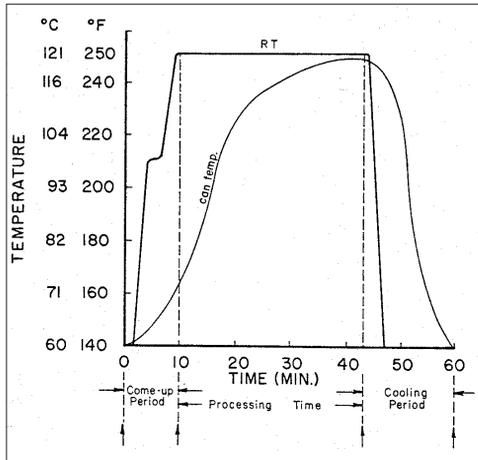
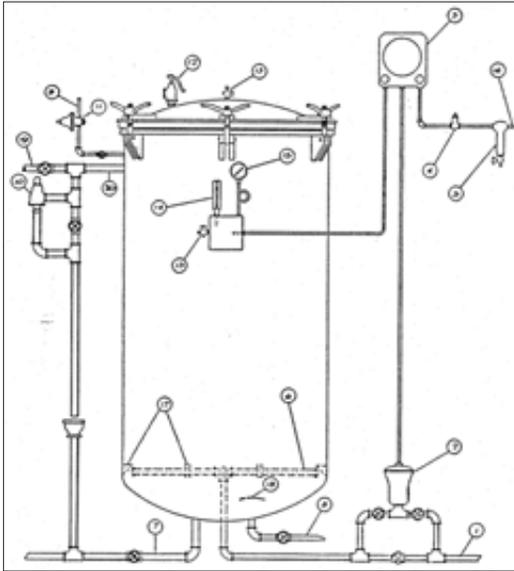
Tabel 9.3 Mikroorganisme penting dalam sterilisasi pangan (lanjutan)

| Kelompok Mikroorganisme | Spesies | Deskripsi |
|-----------------------------------|---|---|
| Bakteri mesofilik pembentuk spora | <i>Clostridium sporogenes</i> , <i>Clostridium botulinum</i> | Resisten pada suhu tinggi, produksi gas (H ₂ S), penghasil racun (botulin) |
| | <i>Bacillus spp</i> : <i>B. polymyxa</i> , <i>B. macerans</i> , dst | Resistensi sedang, penghasil asam, |
| Bakteri bukan pembentuk spora | Variatif | Terdeteksi pada proses sterilisasi kurang/gagal. |

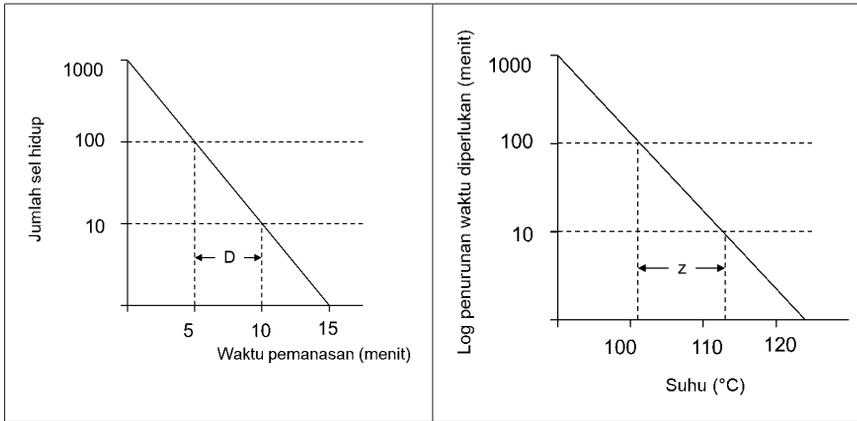
Kecukupan Panas dalam Pasteurisasi dan Sterilisasi

Peranan dari teknologi pangan dalam penentuan proses pasterurisasi dan sterilisasi adalah menjaga keseimbangan antara kecukupan panas untuk mematikan mikroorganisme, sekaligus untuk memastikan kualitas zat gizi dan sensori bahan pangan masih terjaga. Parameter penting dalam pengolahan panas, baik untuk pasterurisasi dan sterilisasi adalah suhu, waktu, dan tekanan. Penurunan logaritmik jumlah mikroba per satuan waktu yang diterapkan disebut dengan *decimal reduction time* (nilai D), sehingga satu nilai D berarti waktu yang diperlukan untuk menurunkan 90% dari kontaminan awal atau enzim yang menjadi indikator proses panas (**Gambar 9.20**).

Selain nilai D, perhitungan akan kecukupan proses termal juga mengenal nilai z. Nilai z adalah jumlah kenaikan panas yang diperlukan untuk memberikan efek perubahan kelipatan 10 dalam reduksi waktu pemanasan. Formula yang digunakan untuk menghitung nilai D dan nilai z pada Gambar 9.20 terdapat pada persamaan (9.15) dan (9.16).



Gambar 9.19 *Retort* vertikal dan proses pindah panas dalam sterilisasi: Bagan *retort* vertikal (A); Pindah Panas di dalam proses sterilisasi (B)



Gambar 9.20 Ilustrasi nilai D dan nilai z dalam proses termal

$$D = \frac{t}{\log N_0 - \log N} \quad (9.15)$$

$$z = \frac{(T - T_R)}{\log(F_R / F)} \quad (9.16)$$

Untuk persamaan (9.15), nilai N_0 adalah jumlah kontaminan atau enzim awal, N adalah jumlah kontaminan atau enzim akhir, t adalah waktu keseluruhan proses termal, dan D = nilai D yang dicari. Untuk persamaan (9.16), Nilai T adalah suhu pengukuran, T_R adalah suhu referensi, F adalah waktu inaktivasi atau destruksi, dan F_R adalah waktu inaktivasi atau destruksi referensi. Contoh nilai z dan nilai D pada beberapa komponen nutrisi pangan dapat dilihat pada **Tabel 9.4**.

Tabel 9.4 Contoh nilai z dan nilai D pada beberapa komponen pangan

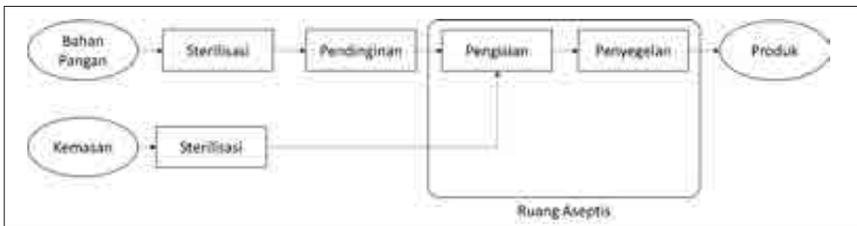
| Komponen | Nilai z (°C) | Nilai D_{121} (menit) |
|-------------------------------------|----------------|-------------------------|
| Tiamin (puree wortel) | 25 | 158 |
| Lisin (kedelai) | 21 | 786 |
| Peroxidase (pea) | 37,2 | 3,0 |
| <i>Bacillus stearothermophyllus</i> | 7–12 | 4,0–5,0 |

Selain nilai D (D -value) dan z (z -value), terdapat simbol penting lainnya dalam penentuan kecukupan panas pasteurisasi dan sterilisasi, yaitu nilai F . *Food and Drug Administration* (FDA) mendefinisikan nilai F sebagai jumlah menit

yang diperlukan untuk membunuh populasi mikroorganisme yang diketahui dalam pangan tertentu dalam kondisi tertentu. Bila menggunakan suhu standar $121,1^{\circ}\text{C}$, maka disebut nilai F_0 . Nilai F_0 ini umumnya menerapkan nilai $12D$, yaitu pengurangan mikroorganisme sebanyak 12 siklus logaritmik dari spesies spora mesofilik yang paling tahan panas. Misalnya, jika terdapat kontaminan awal 10.000 mikroba penghasil spora dalam pangan kalengan dan proses $12D$ diberikan, maka setelah sterilisasi, jumlah mikroba dimaksud menjadi 10^{-8} . Artinya, satu spora hidup per seratus juta (10^8) kaleng. Apabila nilai D_{240} adalah 1 menit, maka nilai F_{240} untuk proses tersebut adalah 12 menit.

Proses Aseptis

Pengemasan aseptik merupakan alternatif pengalengan konvensional dalam produksi produk makanan kemasan yang stabil di pasaran. Kata “aseptik”, berasal dari kata Yunani *septicos*, berarti tidak adanya mikroorganisme pembusuk. Teknologi pengemasan aseptik secara fundamental berbeda dari sistem pengolahan pangan tradisional. Proses pengalengan mensterilkan wadah yang diisi dan disegel secara komersial, sementara dalam proses aseptis produk yang sudah disterilisasi diisi ke dalam wadah yang disterilkan. Pengisian dilakukan secara kedap udara dalam lingkungan yang steril secara komersial dan kemasan kemudian disegel (**Gambar 9.21**). Pengemasan aseptik menawarkan keuntungan bagi proses kontinu di dalam pabrik, misalnya, biaya distribusi lebih rendah, umur simpan lebih lama, pengurangan biaya penyimpanan dingin, dan pengurangan penggunaan pengawet.



Gambar 9.21 Diagram proses aseptis

Sterilitas bahan pengemas dan perangkat dalam proses aseptis merupakan faktor utama dalam sistem pengemasan aseptis. Untuk itu, bahan pengemas dan bahan yang digunakan membuat perangkat pengisian aseptis harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu tidak mengakumulasi bahan atau kotoran, tidak korosif, kompatibel dengan bahan pangan, tidak bersifat toksik dan menimbulkan bahaya fisik, tidak bereaksi dengan produk atau menurunkan kualitas produk, tidak berbahaya untuk dioperasikan, ramah lingkungan, ekonomis dan reliabel.

9.6 Ringkasan

1. Unit operasi adalah aktivitas di dalam suatu proses pengolahan pangan yang terkait dengan perubahan fisik dan mekanis dari bahan/produk yang diproses. Proses pengolahan produk pangan di industri dapat melibatkan berbagai unit proses.
2. Setiap unit proses dapat melibatkan fenomena perpindahan (*transport phenomena*) yang meliputi perpindahan massa (*mass transport*), perpindahan panas/energi (*heat transfer*) dan perpindahan momentum (*momentum transfer*). Ketiga jenis perpindahan ini harus dapat dikuantifikasi dan dioptimasi dengan baik sehingga dapat mengefisienkan penggunaan waktu, biaya dan tenaga karyawan pada setiap unit proses.
3. Untuk mencapai mutu produk yang diinginkan, maka parameter proses yang berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan harus dikendalikan, di antaranya suhu, tekanan, laju alir volumetrik, level volume, dan pH.
4. Sifat-sifat fisik produk pangan berpengaruh atas disain unit proses yang dilakukan, seperti densitas, viskositas, sifat fluida (Newtonian dan non-Newtonian) dan aliran fluida (laminar, transisi, dan turbulen).
5. Berbagai unit operasi yang diaplikasikan di industri pangan di antaranya adalah operasi pembesaran ukuran, pengecilan ukuran, homogenisasi, ekstraksi, evaporasi, penukar panas, pengeringan, dan proses pemasanan (blansir, pasteurisasi, sterilisasi komersial sistem *batch* dan kontinu (proses aseptis).

9.7 Pustaka

- Abdul-Mottaleb M, Sarker S. 2012. Accelerated solvent extraction for natural products isolation. *Methods in molecular biology* (Clifton NJ.) 864:75–87.
- Earle RL. 1983. *Unit Operations in Food Processing*. NZIFST (Inc.) ISBN: 0-08-025537-X.
- Fellows PJ. 2016. *Food Processing Technology 4th Edition*. Woodhead Publishing. eISBN: 978-008-1005-23-1.
- Gösta B. 2015. *Dairy Processing Handbook*. Lund Tetra Pak Processing Systems.
- Hackett BW. 2018. The essentials of continuous evaporation. *Chemical engineering progress* - May 2018. American Institute of Chemical Engineers, New York. ISSN: 0360-7275, 1945–0710.
- Islam MN, Rahman F. 2019. Production and modification of nanofibrillated cellulose composites and potential applications. *Green Composites for Automotive Applications*. 115–141.
- Lopez-Avila V. 2000. Extraction: Microwave-Assisted Extraction. *Encyclopedia of Separation Science*. 1389–1398.
- Mahbubul IM. 2019. Preparation of nanofluid. *Preparation, characterization, properties and application of nanofluid*, 15–45. doi:10.1016/b978-0-12-813245-6.00002-2.
- McCabe WL, Smith JC, Harriott P. 1993. *Unit Operations of Chemical Engineering, 5th edition*. Hal 463–489. ISBN: 0-07-044844-2. Mcgraw-hill,.
- Parikh DM. 2014. *Solids Drying: Basics and applications*. Current issue chemical engineering essentials for the CPI professional edition 1 April, 2014. [[https:// www.chemengonline.com/solids-drying-basics-and-applications](https://www.chemengonline.com/solids-drying-basics-and-applications)] .
- Rahmadi A, Setiawan H, Santoso A, Agus F, Murdianto W. 2016. Laju pengeringan bahan herbal dengan prototipe pengering hibrid tenaga matahari dan listrik. *Prosiding Seminar Nasional 2016 PATPI Makassar*, Sulawesi Selatan, 18–20 Agustus 2016.

- Rahmadi A, Agus F, Mudianto W, Setiawan H, Santoso A, Octalina R. 2017. *Desain Alat Pengereng Berbasis Arduino*. Mulawarman University Press. ISBN: 978-602-6834-20-1.
- Shahid M, Yusuf M, Mohammad F. 2015. Plant phenolics: a review on modern extraction techniques. *Recent Progress in Medicinal Plants: Vol. 41- Analytical and Processing Techniques*. Studium Press LLC, USA. ISBN: 978-162-6990-78-4.
- Sitanggang AB, Hunaefi D, Adawijah DR., Purnomo EH, Syamsir E, Kusnandar F, Wulandari N, Hariyadi, P. 2019. *Landasan Teknik Pangan*. IPB Press. ISBN: 978-602-440-739-1.
- Singh RP, Heldman DR. 2009. *Introduction to Food Engineering: Principle and Practice 4th Edition*. Academic Press. ISBN: 978-0-12-370900-4.
- Singh RK, Singh N. 2005. Quality of packaged foods. *Innovations in Food Packaging*, 24-44.
- Syah D. 2012. *Pengantar Teknologi Pangan*. IPB Press. ISBN: 978-979-493-365-7.
- Wei PC, May CY, Ngan MA, Chuah CH. 2005. Supercritical fluid extraction of palm carotenoids. *American Journal of Environmental Sciences*. 1(4): 264-269.

Latihan

Petunjuk: Untuk memahami materi pada Bab 9 ini, kerjakan soal berikut. Pilih satu jawaban yang benar.

1. Dalam Hukum Stoke, diketahui V adalah kecepatan sedimentasi partikel, R adalah radius partikel, μ adalah viskositas cairan (likuid), ρ_p dan ρ_L adalah den-sitas partikel dan likuid, dan g adalah percepatan gravitasi. Berdasarkan Hukum Stoke tersebut, mana pernyataan di bawah ini yang tidak benar:
 - a. V berbanding kuadrat dengan R
 - b. Nilai μ dapat berubah tergantung tekanan dan suhu
 - c. ρ_p dapat lebih besar atau kecil dari ρ_L
 - d. Nilai μ berbanding lurus dengan g

2. Dalam proses pasteurisasi, fungsi dari pemanasan awal adalah: (jawaban dapat lebih dari satu)
 - a. Mematikan semua enzim di dalam produk
 - b. Memberikan perlakuan pendahuluan untuk mencegah *heat shock* pada produk
 - c. Melarutkan pestisida yang menempel di permukaan produk
 - d. Mengubah warna bahan baku menjadi lebih pucat
3. Ekstraksi bahan dapat dilakukan secara modern menggunakan metode ASE, MAE, dan SFE. Metode ini memiliki keuntungan antara lain: (jawaban dapat lebih dari satu)
 - a. SFE dapat diterapkan untuk ekstraksi padatan
 - b. SFE dapat bekerja dengan berbagai jenis pelarut
 - c. MAE dapat difungsikan untuk banyak sampel sekaligus, sementara ASE tidak.
 - d. Siklus pelarut dapat dilakukan secara otomatis dengan ASE
4. Alat penukar panas dapat bekerja dengan beberapa prinsip pindah panas. Di antara prinsip yang benar dapat proses pindah panas dari alat penukar panas adalah: (jawaban dapat lebih dari satu)
 - a. Konveksi dapat terjadi tanpa perantara medium
 - b. Minyak lebih unggul digunakan sebagai medium penghantar panas dibandingkan air, karena memiliki titik uap yang lebih tinggi.
 - c. Rambatan radiasi lebih efisien menghantarkan panas dibandingkan konduksi panas dari logam
 - d. Perbedaan suhu dalam alat penukar panas non-kontak di permukaan logam pembatas medium pemanas dan produk sangat bergantung dari tebal logam.

5. Proses aseptis memiliki beberapa prasyarat bahan kemasan sebagai berikut, kecuali:
 - a. Tidak bersifat toksik dan korosif
 - b. Dapat didaur ulang
 - c. Tidak bereaksi dengan produk atau menurunkan kualitas produk
 - d. Ringan dan tidak tembus cahaya
6. Manakah di antara di bawah ini yang tidak termasuk sifat fisik pangan:
 - a. Warna
 - b. Tekstur
 - c. Tegangan permukaan
 - d. Nilai total kapang-khamir
7. “Dalam proses pengeringan, fenomena perpindahan panas dan massa terjadi secara simultan”. Apakah pernyataan ini:
 - a. Benar
 - b. Salah
8. Dalam proses evaporasi berganda (*multi-effect evaporator*):
 - a. Uap disuplai ke dalam setiap *calandria*.
 - b. Uap sebagai medium pemanas bercampur dengan bahan (larutan) yang dipanaskan.
 - c. Kondisi vakum pada *calandria* kedua dan selanjutnya harus lebih besar dibandingkan dengan *calandria* pertama untuk memfasilitasi proses penguapan pelarut.
 - d. *Steam economy* dihitung berdasarkan banyaknya uap yang dihasilkan pada *calandria* akhir dibagi dengan jumlah uap yang diberikan pada *calandria* pertama.

9. Pada proses homogenisasi susu:
 - a. Tahapan kedua memiliki tekanan yang lebih tinggi daripada tahapan yang pertama
 - b. Dilakukan pada suhu diatas 100 °C
 - c. *Homogenizer* bertekanan digunakan secara kontinu
 - d. Ukuran globula lemak akan semakin membesar
10. Proses sterilisasi susu UHT:
 - a. Dapat menggunakan alat penukar panas-kontak (*direct heating*) maupun non kontak (*indirect heating*)
 - b. Produk mengalami proses pemanasan menggunakan *retort*
 - c. Perhitungan kecukupan panas dilakukan berdasarkan suhu awal produk ketika memasuki *holding tube*
 - d. Kombinasi suhu dan waktu mampu untuk membunuh semua mikroorganisme baik dalam bentuk spora ataupun sel vegetatif

Tugas Mandiri (*Challenge Questions*)

1. Dalam proses sterilisasi produk kaleng yang berisi bahan pangan bentuk padatan dan cairan, perbedaan prinsip pindah panas akan menentukan lokasi titik terdingin pengukuran kecukupan panas. Jelaskan penyebabnya.
2. Pilih satu jenis produk pangan yang diproduksi di industri pangan, kemudian identifikasi unit proses dan unit operasi yang diterapkan dalam memproduksi produk tersebut!
3. Cari satu contoh proses produksi yang menggunakan proses pengeringan dengan *drum dryer*.

INDEKS

- | | | | |
|------|--|------|---|
| 8 | 1,3-DCP (1,3-dikloropropanol) | 6, 7 | Aktivitas air (a _w) |
| 6 | 12,13-Epoxytricothecanes | 5 | Aktivitas enzim |
| 8 | 3-MCPD (3-monokloropropanadiol) | 2 | Alanin |
| 7 | <i>A. parasiticus</i> | 3 | Albumin |
| 7 | <i>A. sojae</i> | 6 | Aldosa |
| 7 | <i>A. xylinum</i> | 6 | Alfa amilase |
| 6 | AAS (<i>atomic absorption spectrophotometer</i>) | 7 | Alga |
| 5 | Absorpsi | 4 | Alginat |
| 3 | ACC (<i>1-aminocyclopropane carboxylic acid</i>) | 9 | Aliran laminar |
| 3 | Aceteugenol | 9 | Aliran transisi |
| 7 | <i>Acetobacter aceti</i> | 9 | Aliran turbulen |
| 5 | ADA (<i>American Dietetic Association</i>) | 8 | ALOP (<i>appropriate level of protection</i>) |
| 3 | Adenosin nukleotida | 3 | Alpukat |
| 4, 8 | ADI (<i>Acceptable Daily Intake</i>) | 5 | ALT (<i>alanin transaminase</i>) |
| 3 | ADP (<i>adenosin triphos-phate</i>) | 3, 6 | Amilopektin |
| 5 | Adrenalin | 3, 6 | Amilosa |
| 6, 8 | Aflatoksin | 3 | Aminopeptidase |
| 8 | Aflatoksin B1, B2 | 5 | AMPK (<i>adenosine monophosphate-activated protein</i>) |
| 8 | Aflatoksin G1, G2 | 7 | <i>Amylomyces rouxii</i> |
| 8 | Aflatoksin M1 | 8 | Anaerob fakultatif |
| 1 | Ahli pangan | 6 | Analisis kimia |
| 1 | Ahli teknologi pangan | 7 | Analisis mikrobiologi |
| 2, 6 | Air | 4 | Analisis risiko |
| 6 | Air bebas | 8 | Antibiotik |
| 6 | Air kristal | 4 | Antibuih |
| 6 | Air terikat | 4 | Antikempal |
| 8 | Akrlamida | 7 | Antimikroba |
| 3 | Aktin | 4, 6 | Antioksidan |
| | | 3 | Antitriptin |

| | | | |
|------|---|------|---|
| 6 | Antosianin | 6 | Asam-basa Lewis |
| 6 | AOAC (<i>Association of Official Analytical Chemists</i>) | 8 | <i>Ascaris lumbricoides</i> |
| 3 | Apel | 9 | ASE (<i>accelerated solvent extraction</i>) |
| 3 | Arabinoxylan | 4 | Asesulfam-K |
| 8 | Aromatik hidrokarbon | 5, 7 | Asetil-KoA |
| 4 | Asam 5'- inosinat | 3 | Asparagus |
| 6 | Asam amino | 4 | Aspartam |
| 5, 6 | Asam amino esensial | 7, 8 | <i>Aspergillus flavus</i> |
| 3 | Asam arakidonat | 7 | <i>Aspergillus oryzae</i> |
| 3, 4 | Asam asetat | 8 | <i>Aspergillus parasiticu</i> |
| 4 | Asam askorbat | 5 | AST (<i>Aspartat transaminase</i>) |
| 3 | Asam fitat | 6 | ATA (<i>alimentary toxic aleukia</i>) |
| 3 | Asam folat | 3, 5 | ATP (<i>adenosin triphosphate</i>) |
| 3 | Asam heksa-dekate-traenoik | 3 | ATP-ase |
| 6 | Asam jengkolat | 6 | Autooksidasi lemak |
| 3 | Asam laktat | 3 | Avidin |
| 6 | Asam lemak | 3 | Ayam broiler |
| 6 | Asam lemak bebas | 3 | Babi |
| 6 | Asam lemak esensial | 8 | <i>Bacillus cereus</i> |
| 6 | Asam lemak jenuh | 7 | <i>Bacillus subtilis</i> (B. natto) |
| 3, 6 | Asam lemak omega-3 | 3 | Bahan hewani |
| 3, 6 | Asam lemak omega-6 | 3 | Bahan nabati |
| 6 | Asam lemak tidak jenuh | 4 | Bahan pengkarbonasi |
| 6 | Asam lemak trans | 4 | Bahan tambahan pangan |
| 3 | Asam linoleat | 8 | Bahaya biologi |
| 3 | Asam linolenat | 8 | Bahaya fisik |
| 3 | Asam malat | 8 | Bahaya kimia |
| 5 | Asam nukleat | 2 | Bakteri |
| 3 | Asam oleat | 7 | Bakteri basil |
| 3 | Asam palmitat | 2 | Bakteri Gram negatif |
| 3 | Asam pektat | 2 | Bakteri Gram positif |
| 3 | Asam sianida | 7 | Bakteri kokus |
| 3 | Asam sitrat | 7 | Bakteri spiral |
| 3, 6 | Asam stearat | 6, 7 | BAL (bakteri asam laktat) |
| 3 | Asam stearidonik | | |

- | | | | |
|------|--|------|--|
| 7 | BAM (<i>bacteriological analytical method</i>) | 3 | Buah zaitun |
| 8 | BaP (benzo-a-piren) | 3 | Buncis |
| 3 | Barley | 3 | Bunga kol |
| 4 | Batas maksimal | 7 | Busuk asam |
| 3 | Beras | 3 | C3G (<i>cyanidin-3-glu-coside</i>) |
| 3 | Beta glukan | 5 | C6Pase (<i>glucose 6-phosphatase</i>) |
| 3, 8 | Beta karoten | 3 | Cabe |
| 8 | Beta-apo-8'-karotenal | 4, 8 | CAC (<i>Codex Alimentarius Commission</i>) |
| 3 | Betalain | 6 | Cadmium (Cd) |
| 4 | BHA (<i>butylated hydroxyl-anisole</i>) | 5 | Cairan ekstraseluler |
| 4 | BHT (<i>butylated hydroxyl-toluene</i>) | 5 | Cairan empedu |
| 6 | Bilangan asam | 8 | <i>Campylobacter jejuni</i> |
| 6 | Bilangan iod | 8 | <i>Campylobacter</i> spp. |
| 6 | Bilangan para-anisidin | 3 | Cangkang telur |
| 6 | Bilangan peroksida | 7 | CAP (<i>controlled atmosphere packaging</i>) |
| 9 | Bilangan Reynolds | 1 | Capaian pembelajaran |
| 2, 5 | Biokimia molekuler | 8 | CCP (<i>critical control point</i>) |
| 5 | Biokimia pangan | 8 | CDT (<i>Cytolethal distending toxin</i>) |
| 2 | Biologi | 8 | Cemaran kimia |
| 2 | Biologi molekuler | 8 | Cemaran fisik |
| 2 | Biologi sel | 8 | Cemaran mikrobiologi |
| 6 | <i>Birefringence</i> | 3 | Cengkeh |
| 8 | Biru berlian FCF | 2, 7 | CFU (<i>colony forming unit</i>) |
| 9 | Blansir | 5 | Cholesterol ester hydrolase |
| 9 | <i>Boiler</i> | 3 | <i>Chuck</i> |
| 6, 8 | Botulin | 3 | <i>Chuck tender</i> |
| 1, 4 | BPOM (Badan Pengawas Obat dan Makanan) | 4 | CI (<i>color index</i>) |
| 6 | <i>Brabender amilograph</i> | 5 | Ciguatoksin |
| 6 | <i>Bread staling</i> | 7, 8 | <i>Clostridium botulinum</i> |
| 3 | Brokoli | 8 | <i>Clostridium perfringens</i> |
| 6 | Bronsted-Lowry | 9 | <i>Clostridium thermosaccharolyticum</i> |
| 3 | Buah | 4 | CMC (<i>carboxy methyl cellulose</i>) |

| | | | |
|------|---|---------|--|
| 3 | Cokelat | 6 | Disakarida |
| 8 | Cokelat HT | 3 | DMA (<i>dimethylamine</i>) |
| 4, 8 | CPPB (Cara Pengolahan Pangan yang Baik) | 2, 5, 7 | DNA (<i>deoxiribonukleic acid</i>) |
| 3 | <i>Cream</i> | 3 | Domba |
| 6 | CRM (<i>certified reference material</i>) | 8, 5 | DON (<i>deoksivalenol</i>) |
| 8 | <i>Cronobacter</i> spp | 8 | EAEC(<i>Enteroaggregative E. coli</i>) |
| 8 | <i>Cryptosporidium</i> | 3 | EC (<i>epicatechin</i>) |
| 2 | CUT (<i>come up time</i>) | 8 | ECEH (<i>Enterohemorrhagic E. coli</i>) |
| 7 | Dadih | 3 | ECG (<i>epicatechin gallate</i>) |
| 8 | DAEC (<i>Diffusely Adherent E. coli</i>) | 8 | <i>Echinococcus granulosus</i> |
| 3 | Daging | 8 | <i>Echinococcus multilocularis</i> |
| 8 | DALYs (<i>Disability Adjusted Life Years</i>) | 4 | EDI (<i>Estimated Daily Intake</i>) |
| 3, 5 | Daya cerna | 3 | EGC (<i>epigallocatechin</i>) |
| 3 | DE (derajat esterifikasi) | 3 | EGCG (<i>epigallocatechin gallate</i>) |
| 5 | Deaminasi Non-oksidatif | 3 | EIEC(<i>Enteroinvasive E. coli</i>) |
| 5 | Deaminasi oksidatif | 8 | Eksistensi |
| 5 | Dekstrinase | 8 | Ekstrak anato |
| 3 | Dekstrin | 2 | Ekstraksi |
| 6 | Denaturasi | 9 | Ekstraksi cair-cair |
| 9 | Densitas | 9 | Ekstraksi padat-cair |
| 6 | Derajat ketengikan | 9 | Ekstruder |
| 3 | DHA (<i>docosahexaenoic acid</i>) | 3 | Elastisitas |
| 3, 5 | Diabetes melitus | 6 | Elektronegatif |
| 5 | Diabetes melitus | 2, 7 | ELISA (<i>Enzyme-linked immunosorbent assay</i>) |
| 9 | Diagram alir | 3, 9 | Emulsi |
| 9 | Diagram blok | 2 | Enantiomer |
| 2 | Diagram fase | 3 | Endomisium |
| 4 | Digliserida asam lemak | 3 | Endosperma |
| 2 | Dinding sel | 8 | Enkistasi |
| 4 | Dinitrogen monooksida | 9 | Entalpi |
| 3 | Dioscorin | 8 | <i>Enterobacter sakazakii</i> |
| 4 | Dipati fosfat | 6, 7 | Enterotoksin |
| | | 2 | Enzim |
| | | 3 | EPA (<i>eicosapentanoic acid</i>) |

- 8 EPEC (*Enteropatho-genic E. coli*) 9 Fluida non-Newtonian
- 3 Epimisiium 9 Fluida pseudoplastik
- 8 Eritrosin 2 Fluida superkritis
- 7, 8 *Escherichia coli* 9 *Fluidized bed dryer*
- 3 Esterifikasi 5 FMN (*flavin adenine mononucleotide*)
- 3 Estrogen 5 FNFC (*Food with Nutrient Function Claim*)
- 8 ETEC (*Enterotoxigenic E. coli*) 5 Fortifikasi
- 4 Etil metil selulosa 2 Fosfat
- 3 Eugenol 3 Fosfatidil etanol-amin
- 9 Evaporasi 3 Fosfatidil kolin
- 9 Evaporator efek berganda 3 Fosfatidil serin
- 9 Evaporator efek tunggal 3, 5 Fosfolipase
- 6 F-AAS (*Flame AAS*) 3, 5 Fosfolipid
- 5 FAD (*flavin adenine dinucleotide*) 3 Fosfor
- 6 FAME (*fatty acid methyl ester*) 5 FOSHU (*Food for Specified Health Use*)
- 8 FDA (*Food and Drug Administration*) 3 Fotooksidasi
- 2 Fenil 2 Fotosintesis
- 3, 6 Fenilalanin 3 Fruktan
- 6 Fenolase 3 Fruktooligosakarida
- 7 Fermentasi alami 6 Fruktosa
- 7 Fermentasi alkohol 8 FSO (*Food Safety Objective*)
- 7 Fermentasi kapang 6 FTIR (*Fourier Transform Infra Red spectroscopy*)
- 7 Fermentasi pangan 8 Fumonisin
- 5 FFC (*Food with Functional Claim*) 7, 5 GABA (*Gamma-Amino-Butyric Acid*)
- 1 FIFSTA (*Federation of Institutes of Food Science and Technology of ASEAN*) 6 Galaktosa
- 9 *Filter press* 3 Gambas
- 1,2 Fisika 3 Gandum
- 3 Flatulensi 3 Gandum durum
- 6 Flavonoid 3 Gandum keras
- 9 Fluida dilatan 3 Gandum lunak
- 9 Fluida Newtonian 8 GAP (*Good Agricultural Practics*)

| | | | |
|---------|--|---------|---|
| 1 | GAPMMI (Gabungan Pengusaha Makanan dan Minuman) | 3 | Glisin |
| 4 | Garam pengemulsi | 3 | Globula |
| 4 | Gas untuk kemasan | 3 | Globulin |
| 7 | Gastroenteritis | 5 | GLP (<i>glucagon-like peptide</i>) |
| 6 | GC (<i>Gas Chromatography</i>) | 5 | Gluconeogenesis |
| 8 | GCP (<i>Good Cooking Practice</i>) | 5 | Glukagon |
| 8 | GDP (<i>Good Distribution Practice</i>) | 6 | Glukoamilase |
| 6 | Gelasi | 4 | Glukono delta lakton |
| 4 | Gelatin | 6 | Glukosa |
| 6 | Gelatinisasi pati | 5 | Glukosa basal |
| 2 | Gelombang elektromagnetik | 5 | Glukosa darah |
| 9 | Gelombang mikro | 5 | GLUT (<i>glucose transporter type</i>) |
| 2 | Genetika | 3 | Gluten |
| 5 | Gerak peristaltis | 3 | Glutenin |
| 5 | GERMAS (Gerakan Masyarakat Hidup Sehat) | 4, 7, 8 | GMP (<i>good manufacturing practices</i>) |
| 8 | Germinasi | 6 | GMP (<i>guanosine 5'-monophosphate</i>) |
| 6 | GF-AAS (<i>Graphite Furnace-AAS</i>) | 6 | Goitrogen |
| 8 | GFP (<i>Good Farming Practice</i>) | 4 | Gom xanthan |
| 8 | GHP (<i>Good Hygienic Practices</i>) | 6 | Gossipol |
| 8 | <i>Giardia</i> spp | 6 | Granula pati |
| 2 | Gigus karbonil | 4, 7 | GRAS (<i>Generally Recognized as Safe</i>) |
| 5 | GIP (<i>glucose-dependent insulintropic polypeptide</i>) | 8 | GRP (<i>Good Retailing Practice</i>) |
| 5 | Gizi | 4 | GSFA (<i>General Standard for Food Additives</i>) |
| 3 | Gliadin | 2, 6 | Gugus amin |
| 3, 5 | Glikogen | 2 | Gugus fungsional |
| 3, 5 | Glikogenolisis | 2 | Gugus hidroksil |
| 5 | Glikolipid | 2 | Gugus karboksil |
| 2 | Glikolisis | 2, 6 | Gugus karbonil |
| 3 | Glikosida | 6 | Gula alkohol |
| 4 | Glikosida steviol | 3, 6 | Gula pereduksi |
| 3, 5, 6 | Gliserol | 8 | HA (heterosiklik amin) |
| | | 8 | HAA (heterosiklik aromatik amin) |

- | | | | |
|------|--|---------|---|
| 8 | HACCP (<i>Hazard Analysis Critical Control Points</i>) | 7 | HTST (<i>High temperature short time</i>) |
| 1 | Halal | 9 | Hukum Fourier |
| 5 | Hati (<i>liver</i>) | 9 | Hukum Newton |
| 8 | HAV (Hepatitis A) | 9 | Hukum Ohm |
| 8 | HBGV (<i>health based guidance value</i>) | 9 | Hukum <i>Power Law</i> |
| 5 | HDL (<i>high density lipo-protein</i>) | 9 | Hukum Stoke |
| 7 | HEFP (<i>high electric field pulse</i>) | 4 | Humektan |
| 3, 6 | Hemaglutinin | 8 | HVP (<i>hydrolysed vegetable protein</i>) |
| 3 | Hemiselulosa | 3 | Hypoxanthin |
| 3 | Hemoglobin | 6 | ICP-MS (<i>Inductively Coupled Plasma-Mass Spectroscopy</i>). |
| 8 | HEV (Hepatitis E) | 1 | IFT (<i>Institute of Food Technologists</i>) |
| 5 | Hidrofilik | 3 | Ikan |
| 2 | Hidrogen (H) | 3 | Ikan air laut |
| 2 | Hidrokarbon | 3 | Ikan air tawar |
| 3 | Hidroksiprolin | 3 | Ikatan elektrostatik |
| 6 | Hidroperoksida | 6 | Ikatan glikosidik |
| 8 | Hijau FCF | 3 | Ikatan hidrogen |
| 7 | Hipertermofilik | 2, 6 | Ikatan koordinat |
| 5 | Histamin | 2 | Ikatan kovalen |
| 8 | HIV (<i>human immune-deficiency virus</i>) | 2 | Ikatan peptida |
| 9 | HLB (<i>hydrophylic-lipophylic balance</i>) | 3 | Ikatan sulfidril |
| 6 | HMF (<i>5-hidroksimetil furfural</i>) | 2 | Ilmu dasar |
| 5 | HMG-KoA (Hidroksimetilglutaril-KoA) | 5 | Ilmu gizi |
| 3, 9 | Homogenisasi | 1 | Ilmu pangan |
| 5 | Hormon | 1 | Ilmu pangan terapan |
| 3 | Hormon giberelin | 7 | ILP (<i>intense light pulse</i>) |
| 5 | Hormon Pertumbuhan | 5 | Imunomodulator |
| 6 | HPLC (<i>high performance liquid chromatography</i>) | 4 | Imunotoksisitas |
| 1 | HPP (<i>high pressure processing</i>) | 3, 5 | Indeks glikemik |
| 5 | HSL (<i>hormone sensitive lipase</i>) | 8 | Indigotin |
| | | 1, 9 | Industri pangan |
| | | 1, 3, 5 | Ingridien |

| | | | |
|------|---|------|--|
| 5 | Ingridien fungsional | 6 | Kadar karbohidrat (<i>by difference</i>) |
| 3 | Inosin monofosfat | 6 | Kadar lemak |
| 4 | INS (<i>International Number System</i>) | 6 | Kadar protein |
| 5 | Insulin | 5 | Kadar trigliserida |
| 2 | Integral | 4 | Kajian risiko (<i>risk assessment</i>) |
| 6 | Interaksi hidrifilik | 3 | Kakao |
| 6 | Interaksi hidrofobik | 4 | Kalium glukonat |
| 3 | Iodin (I) | 4 | Kalium laktat |
| 6 | ISA (isoterm sorpsi air) | 1,2 | Kalkulus |
| 3, 6 | Isoleusin | 3 | Kalkun |
| 5 | Isomaltase | 5 | Kalori |
| 6 | Isomerisasi | 3 | Kalsium (Ca) |
| 4 | Isopropil sitrat | 4 | Kalsium alginat |
| 1 | IUFOST (<i>International Union of Food Science and Technology</i>) | 4 | Kalsium asetat |
| 3 | Jagung | 4 | Kalsium fosfat |
| 3 | Jagung waxy | 4 | Kalsium glukonat |
| 1 | Jaminan mutu pangan | 4 | Kalsium karbonat |
| 5 | Jantung koroner | 3 | Kalsium kaseinat |
| 4 | JECFA (<i>The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives</i>) | 4 | Kalsium klorida |
| 6 | Jembatan garam | 3 | Kalsium oksalat |
| 3 | Jeruk | 4 | Kalsium oksida |
| 7 | <i>K. marxianus</i> var. <i>lactis</i> | 2 | Kamir |
| 3 | Kacang almond | 5 | Kantung empedu |
| 3 | Kacang gude | 2 | Kapang |
| 3 | Kacang hijau | 3 | Karagenan |
| 3 | Kacang merah | 8 | Karamel II |
| 3 | Kacang tanah | 8 | Karamel III |
| 3 | Kacang tunggak | 8 | Karamel IV |
| 6 | Kadar abu | 6 | Karamelisasi |
| 6 | Kadar air | 8 | Karbamat |
| 5 | Kadar gula darah | 5, 6 | Karbohidrat |
| | | 5 | Karbohidrat kompleks |
| | | 5 | Karbohidrat sederhana |
| | | 5 | Karbohidrat tercerna |
| | | 5 | Karbohidrat tidak tercerna |

| | | | |
|------|---------------------------|------|--|
| 2 | Karbon (C) | 1 | KKNI (Kerangka Kualifikasi Nasional Indonesia) |
| 4 | Karbondioksida | 8 | KLB (kejadian luar biasa) |
| 3, 5 | Kardiovaskular | 7 | <i>Kleuveromyces marxianus</i> |
| 8 | Karmin | 3 | Klimakterik |
| 8 | Karmoisin | 3 | Klor (Cl) |
| 6 | Karoten | 8 | Kloramfenikol |
| 3 | Karotenoid | 2 | Klorofil |
| 8 | Karsinogenik | 8 | Klorofil tembaga kompleks |
| 4 | Karsinogenisitas | 3 | <i>Knuckle</i> |
| 3 | Kasein | 6 | Koagulasi |
| 3 | Katabolisme | 6 | Kobalt (Co) |
| 3 | Katalase | 6 | Koefisien keragaman |
| 6 | Katalisator | 3 | Kolagen |
| 4 | Kategori pangan | 5 | Kolesterol |
| 3 | Kayu manis | 1 | Kompetensi inti |
| 1 | Keamanan pangan | 6 | Kompleks amilosa-lipid |
| 3 | Kecipir | 6 | Komponen bioaktif |
| 6 | Kecokelatan enzimatis | 6 | Komponen toksik |
| 6 | Kecokelatan non-enzimatis | 1, 2 | Komunikasi lisan |
| 3 | Kedelai | 8 | Komunikasi risiko |
| 6, 7 | Kelembaban relatif (RH) | 1, 2 | Komunikasi tulisan |
| 7 | Keracunan pangan | 2 | Konduksi |
| 3 | Kerang | 9 | Konduktivitas |
| 7 | Kerusakan mikrobiologi | 8 | Kontaminan |
| 5 | Kesehatan | 3 | Kontraksi otot |
| 2 | Kesetimbangan kimia | 2 | Konveksi |
| 6 | Ketosa | 3 | Kopi |
| 5 | Kilomikron | 3 | Kopi arabika |
| 1, 2 | Kimia analitik | 3 | Kopi robusta |
| 1, 2 | Kimia anorganik | 3 | Kreatin |
| 1, 2 | Kimia fisik | 6 | Kromatogram |
| 1, 2 | Kimia organik | 2 | Kromosom |
| 1, 6 | Kimia pangan | 3 | Kubis |
| 2 | Kinetika reaksi | 7 | Kultur starter |
| 3 | Kiwi | 8 | Kuning FCF (<i>sunset yellow</i>) |

| | | | |
|------|---|------|--|
| 8 | Kuning kuinolin | 3 | Lisozim |
| 3 | Kuning telur | 7, 8 | <i>Listeria monocytogenes</i> |
| 4, 8 | Kurkumin | 4 | LOAEL (<i>lowest observed adverse effect level</i>) |
| 6, 9 | Kurva ISA | 3 | Lobak |
| 4 | Kurva respons dosis | 3 | Lobster |
| 7 | <i>L. cremoris</i> | 1 | Louis Pasteur |
| 7 | <i>L. plantarum</i> | 5 | LPL (<i>lipoprotein lipase</i>) |
| 7 | <i>Lactobacillus bulgaricus</i> | 2 | LPS (<i>lipopolysaccharide</i>) |
| 7 | <i>Lactobacillus plantarum</i> | 7 | LTLT (<i>low temperature long time</i>) |
| 3 | Lada | 6 | Luteoskirin |
| 9 | Laju alir | 5 | <i>Lycopene</i> |
| 3 | Laktalbumin | 3 | Lysosome |
| 3 | Laktase | 9 | MAE (<i>microwave assisted extraction</i>) |
| 3 | Laktoglobulin | 3 | Magnesium (Mg) |
| 6 | Laktosa | 4 | Magnesium hidroksida |
| 5 | Lambung | 4 | Magnesium karbonat |
| 6 | Latirogen | 3 | Maizena |
| 5 | LCAT (<i>Lecithin cholesterol acyl-transferase</i>) | 4 | Malam |
| 6, 8 | LD ₅₀ | 5 | Malnutrisi |
| 5 | LDL (<i>low density lipoprotein</i>) | 6 | Maltosa |
| 5, 6 | Lemak | 8 | Manajemen risiko |
| 3 | Lembaga | 3 | Mangan (Mn) |
| 3 | Lemon | 4 | Manitol |
| 4 | Lesitin | 7 | MAP (<i>modified atmosphere packaging</i>) |
| 3 | Leukoantosianin | 2 | Meiosis |
| 3, 6 | Leusin | 8 | MeIQx (<i>2-amino-3,8-dimethylimidazo[4,5-f]quinoxaline</i>) |
| 3 | Lignin | 2 | Mekanika fluida |
| 4 | Lilin kandelila | 2 | Membran sel |
| 5 | Lipid | 2, 5 | Membran sitoplasma |
| 5 | Lipofilik | 3 | Membran vitelin |
| 3 | Lipolisis | 8 | Merah allura |
| 5 | Lipoprotein | | |
| 3 | Lipovitellin | | |
| 3, 6 | Lisin | | |
| 3 | Lisosom | | |

- | | | | |
|------|--|------|---|
| 6, 8 | Merkuri (Hg) | 4 | Natrium karbonat |
| 7 | Mesofilik | 4 | Natrium laktat |
| 3, 5 | Metabolisme | 3 | Natrium silikat |
| 8 | <i>Metal detector</i> | 4 | Natrium sorbat |
| 3, 6 | Metionin | 4 | Natrium tripolifostat |
| 6 | Metode Kjeldahl | 8 | NDBA (<i>N-nitrosodibutyl-amine</i>) |
| 6 | Metode soxhlet | 8 | NDEA (<i>N-nitrosodiethyl-amine</i>) |
| 7, 8 | Mikotoksin | 8 | NDMA (<i>N-nitrosodimethyl-amine</i>) |
| 1,2 | Mikrobiologi dasar | 8 | NEC (<i>necrotizing enterocolitis</i>) |
| 7 | Mikrobiologi pangan | 7 | <i>Neurospora sitophila</i> |
| 8 | Mikroorganisme patogen | 2 | N-glikosilamin |
| 3 | <i>Millet</i> | 1 | Nicholas Appert |
| 3 | Minyak atsiri | 2 | Nilai D |
| 3 | Miofibril | 2, 9 | Nilai Fo |
| 3 | Mioglobin | 9 | Nilai NIZO |
| 3 | Miosin | 2 | Nilai sterilitas |
| 2 | Mitochondria | 2 | Nilai z |
| 2 | Mitosis | 4 | Nitrogen (N) |
| 6 | Molibdenum (Mb) | 8 | NMOR (<i>N-nitroso-morpholine</i>) |
| 7 | <i>Monascus purpureus</i> | 8 | N-nitrosamin |
| 5 | Monoasilgliserol | 4, 8 | NOAEL (<i>no observed adverse effect level</i>) |
| 4 | Monoglisierida | 8 | NOEL (<i>no observed effect level</i>) |
| 4 | Mononatrium L-Glutamat | 3 | Non-klimakterik |
| 6 | Monosakarida | 8 | Norovirus |
| 7 | MPN (<i>most probable number</i>) | 8 | NPIP (<i>N-nitrosopiperidine</i>) |
| 2, 5 | mRNA (<i>messenger RNA</i>) | 8 | NPYR (<i>N-nitrosopyrr-olidine</i>) |
| 4 | MSG (monosodium glutamat) | 8 | NTHZ (<i>N-nitrosothia-zolidine</i>) |
| 4 | Mutagenisitas | 3 | Nukleotida |
| 1 | Mutu pangan | 5 | Nutrasetikal |
| 3, 5 | NADH (<i>nicotinamide adenine dinucleotide hydrogen</i>) | 3 | Oat |
| 3 | Nanas | 5 | Obesitas |
| 3 | Natrium (Na) | 4 | Oektin |
| 4 | Natrium alginat | 6 | Okratoksin (<i>Ochratoxin</i>) |
| 4 | Natrium benzoat | | |
| 4 | Natrium dihidrogen sitrat | | |

| | | | |
|------------|---|------|--|
| 8 | Okratoksin A | 1 | Pasteurisasi |
| 5 | Oksidasi glukosa | 6 | Pati |
| 2 | Oksigen | 1 | PATPI (Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia) |
| 6 | Olein | 6, 8 | Patulin |
| 3 | Oleoresin | 8 | PBB (<i>polybrominated biphenyl</i>) |
| 6 | Oligosakarida | 8 | PC (<i>performance criterion</i>) |
| 5 | O-methylate catechin | 6, 8 | PCB (<i>polychlori-nated biphenyl</i>) |
| 7 | OMFP (<i>oscillating magnetic field pulse</i>) | 8 | PCDD (<i>polychlorinated dibenzo-p-dioxins</i>) |
| 8 | Opisthorchiidae | 8 | PCDF (<i>polychlorinated dibenzofurans</i>) |
| 2 | Ordo reaksi | 7 | PCR (<i>polymerase chain reaction</i>) |
| 8 | Organofosfat | 3 | Peach |
| 8 | Organoklorin | 3 | Pektin |
| 3 | Oryzanol | 3 | Pektinesterase |
| 8 | Osmotoleran | 4 | Pelapis |
| 3 | Ovalbumin | 9 | Pemanggangan |
| 3 | Ovomucin | 4 | Pemanis |
| 3 | <i>Oyster</i> | 9 | Pemasakan |
| 3 | <i>Oyster blade</i> | 4 | Pembawa (<i>carrier</i>) |
| 7 | <i>P. acidilactici</i> | 3, 4 | Pembentuk gel |
| 7 | <i>P. camembertii</i> | 4 | Pembuih |
| 7 | <i>P. nalgiovence</i> | 4 | Pengamatan efek negatif |
| 7 | <i>P. pentosus</i> | 4 | Pengatur keasaman |
| 5 | P3FNI (Perhimpunan Penggiat Pangan Fungsional dan Nutrasetikal Indonesia) | 4 | Pengawet |
| 6, 8 | PAH (polisiklik aromatik hidrokarbon) | 4 | Pengembang |
| 3 | Pala | 2 | Pengembangan produk |
| 9 | Panas spesifik | 3, 4 | Pengemulsi |
| <i>All</i> | Pangan | 3, 4 | Pengental |
| 6 | Pangan asam rendah | 4 | Pengeras |
| 5 | Pangan fungsional | 2, 9 | Pengering beku |
| 5 | Pankreas | 9 | Pengering drum |
| 8 | Parasit cacing | 9 | Pengering kabinet |
| 8 | Parasit intraseluler obligat | 9 | Pengering semprot |
| | | 9 | Pengering vakum |

- | | | | |
|---------|---|------|-------------------------------------|
| 2 | Pengeringan | 6 | Pigmen gossipol |
| 9 | Penggorengan | 3 | Pililinan |
| 6 | Penghambat protease | 3 | Pir |
| 4 | Penguat rasa | 8 | Piretroid sintetis |
| 7 | <i>Penicillium camemberti</i> | 3 | Pisang |
| 7 | <i>Penicillium roquefortii</i> | 8 | PO (<i>performance objective</i>) |
| 4 | Peningkat volume | 6 | Polifenol |
| 3, 4 | Penstabil | 3 | Polifenol oksidase |
| 9 | Penukar panas | 6 | Polihidroksil |
| 7 | Penyakit bawaan pangan | 6 | Polimerisasi |
| 9 | Penyangraian | 3 | Polimerisasi kondensasi |
| 5 | PEPCK (<i>phosphoenolpyruvate carboxy-kinase</i>) | 5 | Poli-peptida |
| 6 | Peptida | 6 | Polisakarida |
| 4 | Peretensi warna | 4 | Polisorbat 20 |
| 1 | PERGIZI PANGAN | 8 | Ponceau 4R |
| 3 | Perikarp | 3 | Post mortem |
| 3 | Perimisium | 3 | <i>Post-rigor</i> |
| 4 | Perisa | 7 | Potensi redoks |
| 4 | Perisa alami | 5 | Prekursor |
| 4 | Perisa artifisial | 3 | <i>Pre-rigor</i> |
| 4 | Perisa identik alami | 9 | Pressure homogenizer |
| 4 | Perlakuan tepung | 1 | Produksi pangan |
| 1 | PERMI (Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia) | 3 | Prolamin |
| 3 | Peroksidase | 3 | Prolin |
| 9 | Perpindahan massa | 4 | Propana |
| 9 | Perpindahan momentum | 4 | Propelan |
| 2, 9 | Perpindahan panas | 4 | Propil galat |
| 1 | PBB (Perserikatan Bangsa-Bangsa) | 4 | Propilen glikol |
| 4 | Pewarna | 4 | Propilen glikol alginat |
| 2, 6, 7 | pH | 5 | Proses pencernaan |
| 8 | PhIP (<i>2-amino-1-methyl-6-phenylimidazo[4,5-b]pyridine</i>) | 5, 6 | Protein |
| 3 | Pigmen | 6 | Protein fibrilar |
| | | 6 | Protein konjugasi |
| | | 3 | Protein sarkoplasmik |
| | | 3 | Proteinase |

| | | | |
|------|--|------|--|
| 3 | Proteolisis | 2, 5 | Respirasi |
| 7, 8 | Protozoa | 2 | Retort |
| 6 | Proyeksi Fischer | 3, 6 | Retrogradasi |
| 6 | Proyeksi Haworth | 1 | Revolusi industri 4.0 |
| 7 | Psikrofilik | 2 | Rheologi |
| 7 | Psikrotropik | 7 | <i>Rhizopus oligosporus</i> |
| 8 | PTMI (<i>Provisional tolerable monthly intake</i>) | 3 | Riboflavin |
| 8 | PTWI (<i>Provisional tolerable weekly intake</i>) | 8 | Riboflavin 5'-natrium fosfat |
| 6 | Pululan | 2 | Ribosom |
| 3 | Putih telur | 3 | <i>Rigor-mortis</i> |
| 3 | Quinon | 2, 5 | RNA (<i>ribonucleic acid</i>) |
| 7 | <i>Rhizophus oryze</i> | 7 | Roti |
| 5 | Raaksi anabolisme | 6 | RSD (<i>relative standard deviation</i>) |
| 2 | Radiasi | 3 | Rump |
| 4, 6 | Radikal bebas | 3 | Rumput laut |
| 8 | Radioaktif | 3 | Rusa |
| 8 | Radionukleotida | 6 | RVA (<i>Rapid visco analyzer</i>) |
| 3 | Rafinosa | 3 | Rye |
| 2, 7 | Ragi | 7 | <i>S. pastorianus</i> |
| 5 | RBP (<i>retinol binding protein</i>) | 7 | <i>S. thermophilus</i> |
| 2 | Reaksi adisi | 7 | <i>S. uvarum</i> |
| 3 | Reaksi autolisis | 2, 7 | <i>Saccharomyces cerevisiae</i> |
| 6 | Reaksi autooksidasi | 7 | <i>Saccharomyces ellipsoides</i> |
| 2 | Reaksi eliminasi | 4 | <i>Safety factor</i> |
| 5 | Reaksi enzimatik | 5 | <i>Saliva</i> |
| 2 | Reaksi esterifikasi | 8 | <i>Salmonella enterica</i> |
| 6 | Reaksi hidrogenasi | 7, 8 | <i>Salmonella</i> sp. |
| 6 | Reaksi hidrolisis | 8 | <i>Salmonella</i> Typhi |
| 5 | Reaksi katabolisme | 6 | <i>Salting-in</i> |
| 6 | Reaksi Maillard | 6 | <i>Salting-out</i> |
| 2 | Reaksi oksidasi | 5 | Saluran pencernaan |
| 2 | Reaksi polimerisasi | 3 | SAM (<i>S-adenosylme-thionine</i>) |
| 2 | Rekayasa proses pangan | 3 | Sapi |
| 2 | Replikasi DNA | 3, 6 | Saponin |
| | | 3 | Sarkolema |

| | | | |
|------|--|------|--|
| 3 | Sarkomer | 3 | <i>Silverside</i> |
| 3 | Sarkoplasma | 6 | Simpangan baku |
| 7 | <i>Sauerkraut</i> | 3 | Simplisia |
| 3 | Sayuran | 3, 5 | <i>Sinamaldehyd</i> |
| 5 | SCFA (<i>short chain fatty acid</i>) | 8 | Sinar iradiasi |
| 3 | <i>Seafood</i> | 6 | Sineresis |
| 5 | Sekresi eskternal | 2 | Sistem buffer |
| 5 | Sekresi internal | 5 | Sistem imun |
| 4 | Sekuestran | 5 | Sistem pencernaan |
| 2 | Sel | 5 | Sistem sirkulasi |
| 2 | Sel eukariot | 5 | Sistem saraf |
| 2 | Sel prokariotik | 9 | Sistem terbuka |
| 5 | Sel tubuh | 9 | Sistem terisolasi |
| 3 | Selada | 9 | Sistem tertutup |
| 3, 5 | Selenium (Se) | 3 | SNI (Standar Nasional Indonesia) |
| 6 | Selulosa | 3 | Sorgum |
| 5 | sel- β | 6 | Spektroskopi UV-Vis |
| 3 | Semangka | 8 | SPS (<i>Sanitary and Phytosanitary Measures</i>) |
| 5 | Senyawa bioaktif | 5 | SRBI (<i>scavenger receptor class B type I</i>) |
| 5 | Senyawa fitokimia | 3 | Stakiosa |
| 3 | Serat kasar | 8 | <i>Staphylococcus aureus</i> |
| 5 | Serat larut air | 2 | Stereoisomer |
| 6 | Serat pangan | 6 | Sterigmatosistin |
| 5 | Serat Tidak Larut Air | 2 | Steril komersial |
| 3 | Serealia | 3 | Strawberi |
| 8 | <i>Shigella boydii</i> | 2 | Struktur atom |
| 8 | <i>Shigella dysenteriae</i> | 5, 6 | Struktur kuarterner |
| 8 | <i>Shigella sonnei</i> | 2 | Struktur polar |
| 6 | Sianogen | 5, 6 | Struktur sekunder |
| 2 | Sifat koligatif | 5, 6 | Struktur tersier |
| 9 | Sifat termal | 5, 5 | Struktur primer |
| 6 | Sikasin | 6 | Suhu awal gelatinisasi |
| 2 | Siklus Calvin | 9 | Suhu bola basah |
| 5 | Siklus Krebs | | |
| 5 | Siklus urea | | |

| | | | |
|------|---|------|---|
| 6 | Sukrosa | 3 | Tokotrienol |
| 6 | Sulfur | 8 | Toksikoinfeksi |
| 2, 3 | Susu | 8 | Toksin endogenus |
| 3 | Tabel komposisi | 4 | Toksisitas |
| 8 | <i>Taenia solium</i> | 3 | Tomat |
| 3 | Tanin | 3 | Topside |
| 8 | Tartrazin | 5 | Transaminasi |
| 6 | TBA (<i>thiobarbituric acid</i>) | 5 | Transdeaminasi |
| 4 | TBHQ (<i>tertiary butylhydroquinone</i>) | 3, 6 | Treonin |
| 8 | TDI (<i>tolerable daily intake</i>) | 8 | <i>Trichinella</i> spp |
| 3 | Teh | 4 | Trietil sitrat |
| 3 | Teh hijau | 3 | Trigliserida |
| 3 | Teh hitam | 3 | Trimetilamin |
| 3 | Teh oolong | 3, 6 | Triptofan |
| 3 | Teh putih | 8 | Trofozoit |
| 9 | Tekanan | 9 | Tunak (<i>steady state</i>) |
| 1 | Teknologi pangan | 2 | Turunan |
| 3 | Telur | 3 | TVBN (<i>total volatile basic nitrogen</i>) |
| 6 | Tembaga (Cu) | 8 | TWI (<i>tolerable weekly intake</i>) |
| 7 | Tempe | 3 | Ubi gadung |
| 3 | Tepung terigu | 3 | Ubi garut |
| 2 | Termodinamika | 3 | Ubi jalar |
| 7 | Termofilik | 3 | Ubi kayu |
| 3 | <i>Thallus</i> | 3 | Ubi kentang |
| 9 | Tidak tunak (<i>unsteady state</i>) | 3 | Ubi kimpul |
| 6 | Timbal (Pb) | 3 | Ubi suweg |
| 8 | Tindakan koreksi | 3 | Ubi talas |
| 6 | Titik didih | 7 | UHP (<i>ultrahigh hydrostatic pressure</i>) |
| 6 | Titik isoelektrik | 7, 9 | UHT (<i>ultra high temperature</i>) |
| 8 | Titik kritis | 2 | Umur simpan |
| 6 | TLC (<i>thin-layer chromatography</i>), | 9 | Unit operasi |
| 3 | TMAO (<i>tri-methylamine oxide</i>) | 3 | USDA (<i>United States Department of Agriculture</i>) |
| 3 | TMAOase (<i>trimethylamine oxide demethylase</i>) | 5 | Usus besar |
| 3 | Tokoferol | | |

- | | | | |
|---------|--|---------|---|
| 5 | Usus halus | 3 | <i>Whole milk</i> |
| 3, 6 | Valin | 3 | Wortel |
| 8 | <i>Vibrio cholera</i> | 8 | WTO (<i>World Trade Organization</i>) |
| 8 | <i>Vibrio parahaemolyticus</i> | 3 | Xantofil |
| 2, 7 | Virus | 3 | Xylan |
| 8 | Virus hepatitis | 6 | Xylitol |
| 8 | Virus Hepatitis | 8 | <i>Yersinia enterocolitica</i> |
| 2, 9 | Viskositas | 8 | YLD (<i>Years Life with Disability</i>) |
| 6 | Viskositas <i>breakdown</i> | 8 | YLL (<i>Years of Life Lost</i>) |
| 6 | Viskositas puncak | 7 | Yoghurt |
| 6 | Viskositas setback | 3, 6 | Zat besi (Fe) |
| 5 | Vitamin | 5 | Zat gizi |
| 3, 5, 6 | Vitamin A | 3, 5, 6 | Zat gizi makro |
| 3, 5, 6 | Vitamin B1 (thiamin) | 3, 5, 6 | Zat gizi mikro |
| 3, 5, 6 | Vitamin B12 (kobalamin) | 5 | Zat non-gizi |
| 3, 5, 6 | Vitamin B2 (riboflavin) | 6 | Zearalenon |
| 3, 5, 6 | Vitamin B3 (niacin) | 3 | Zeng (Zn) |
| 3, 5, 6 | Vitamin B5 (asam pantotenat) | | |
| 3, 5, 6 | Vitamin B6 (piridoksin) | | |
| 3, 5, 6 | Vitamin B7 (Biotin) | | |
| 3, 5, 6 | Vitamin B9 (asam folat) | | |
| 3, 5, 6 | Vitamin C (asam askorbat) | | |
| 3, 5, 6 | Vitamin D | | |
| 3, 5, 6 | Vitamin E | | |
| 3, 5, 6 | Vitamin K | | |
| 5 | Vitamin larut air | | |
| 5 | Vitamin larut air | | |
| 5 | Vitamin larut lemak | | |
| 5 | Vitamin larut lemak | | |
| 5 | VLDL (<i>Very low density lipoprotein</i>) | | |
| 2 | Waktu tinggal (<i>residence time</i>) | | |
| 3 | Waluh | | |
| 3 | <i>Whey protein concentrate</i> | | |
| 3 | <i>Whey protein isolate</i> | | |
| 8 | WHO (<i>World Health Organization</i>) | | |

KONTRIBUTOR

Ambar Rukmini, ProfDr. (Bab 4). Divisi Teknologi Pangan dan Gizi, Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Widya Mataram Yogyakarta; Sarjana (Pengolahan Hasil Pertanian UGM), Magister (Ilmu dan Teknologi Pangan, UGM), Doktor (Ilmu Pangan, UGM); ambar_rukmini@widyamataram.ac.id.

Anton Rahmadi, Dr. (Bab 9). Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman; Sarjana (Teknologi Pangan, IPB), Magister (Ilmu Pangan, University of New South Wales, Australia), Doktor (Farmakologi/Pangan Fungsional, Western Sydney University, Australia); arahmadi@unmul.ac.id.

Ardiansyah, Dr. (Bab 5). Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie; Ahli Muda (Supervisor Jaminan Mutu Pangan, IPB); Sarjana (Teknologi Pangan dan Gizi, Universitas DJuanda); Magister (Ilmu Pangan, IPB), Doktor (Science of Food Function and Health, Tohoku University, Jepang); ardiansyah.michwan@bakrie.ac.id.

Azis Boing Sitanggang, Dr.-Ing. (Bab 9). Divisi Rekayasa Proses Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Institut Pertanian Bogor (IPB University); Sarjana (Teknologi Pangan, IPB), Magister (Chemical Engineering and Materials Science, Yuan Ze University, Taiwan), Doktor (Chemical and Process Engineering, Technische Universität Berlin, Jerman); boing.lipian@apps.ipb.ac.id.

Didah Nur Faridah, Dr. (Bab 6). Divisi Kimia Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University); Sarjana (Teknologi Pangan IPB), Magister (Ilmu Pangan, IPB), Doktor (Ilmu Pangan, IPB); didah_nf@apps.ipb.ac.id.

Eko Hari Purnomo, Dr. (Bab 2). Divisi Rekayasa Proses Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University); Sarjana (Teknologi Pangan, IPB), Magister (Rekayasa Proses Pangan, The University of New South Wales, Australia), Doktor (Physics of Complex Fluids, University of Twente, Belanda); h.purnomo@apps.ipb.ac.id.

Endang Sutriswati Rahayu, Prof Dr. (Bab 7). Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada; Sarjana (Pengolahan Hasil Pertanian, UGM), Magister (Ilmu Pangan, UGM), Doktor (Agrochemistry, The University of Tokyo, Jepang); endangsrahaya@ugm.ac.id.

Eni Harmayani, Prof. Dr. (Bab 5). Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada; Sarjana (Pengolahan Hasil Pertanian, UGM), Magister (Food Science and Human Nutrition, Colorado State University Fort Collins, AS), Doktor (Food Science and Human Nutrition, Colorado State University Fort Collins, AS); eniharmayani@ugm.ac.id.

Feri Kunandar, Dr. (Bab 1, 2). Divisi Kimia Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University); Sarjana (Teknologi Pangan, IPB), Magister (Ilmu Pangan, UPM Malaysia), Doktor (School of Applied Science, University of Newcastle, Australia); fkusnandar@apps.ipb.ac.id.

Hanifah Nuryani Lioe, Prof Dr. (Bab 8). Divisi Kimia Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University); Sarjana (Teknologi Pangan, IPB), Magister (Ilmu Pangan, IPB), Doktor (Kagoshima University dengan afiliasi University of the Ryukyus, Jepang); hanifahlio@apps.ipb.ac.id.

Harsi D. Kusumaningrum, Prof Dr. (Bab 2). Divisi Mikrobiologi Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University); Sarjana (Wageningen University, Belanda), Doktor (Ilmu Pangan, Wageningen University, Belanda); h_kusumaningrum@apps.ipb.ac.id.

- Lily Arsanti Lestari, Dr.** (Bab 5). Divisi Pangan Fungsional dan Nutrasetikal, Departemen Gizi Kesehatan, Fakultas Kedokteran, Kesehatan Masyarakat, dan Keperawatan, Universitas Gadjah Mada; Sarjana (Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, UGM), Magister (Ilmu dan Teknologi Pangan, UGM); Doktor (Ilmu Kedokteran dan Kesehatan, UGM); lily_al@ugm.ac.id.
- Nur Aini, Dr.** (Bab 3). Program Studi Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman; Sarjana (Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, UGM), Magister (Ilmu Pangan, UGM); Doktor (Ilmu Pangan, IPB); nur.aini@unsoed.ac.id.
- Nur Hidayat, Dr.** (Bab 2). Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya. Sarjana (Mikrobiologi Pertanian, UGM), Magister (Teknologi Hasil Perkebunan, UGM), Doktor (Ilmu-ilmu Pertanian, UB); nhidayat@ub.ac.id.
- Nuri Andarwulan, ProfDr.** (Bab 4). Divisi Kimia Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University); Sarjana (Teknologi Pangan, IPB), Magister (Ilmu Pangan, IPB), Doktor (Ilmu Pangan, IPB); andarwulan@apps.ipb.ac.id.
- Ratih Dewanti-Hariyadi, Prof Dr.** (Bab 8). Divisi Mikrobiologi Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University); Sarjana (Teknologi Pangan, IPB), Magister (Food Science, University of Wisconsin-Madison, AS), Doktor (Food Microbiology, minor Bacteriology, University of Wisconsin-Madison, AS); ratihde@apps.ipb.ac.id.
- Umar Santoso, ProfDr.** (Bab 1, 6). Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada; Kimia Pangan; Sarjana (Pengolahan Hasil Pertanian, UGM), Magister (Ilmu Pangan, Tokyo University of Agriculture, Jepang); Doktor (Ilmu Pangan, Tokyo University of Agriculture, Jepang); umar_santoso@yahoo.com.

Winiati P. Rahayu, Prof Dr. (Bab 1, 7). Divisi Mikrobiologi Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor (IPB University); Sarjana (Teknologi Hasil Pertanian, IPB), Magister (Ilmu Pangan, IPB), Doktor (Ilmu Pangan, IPB); wpr@apps.ipb.ac.id.

Yudi Pranoto, Prof Dr. (Bab 3). Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada; Sarjana (Pengolahan Hasil Pertanian, UGM); Magister (Teknologi Hasil Perkebunan, UGM); Doktor (Food Bioprocess Technology, Asian Institute of Technology, Thailand); Post-doctor (Biopolymer Technology, Korea University, Korea); pranoto@ugm.ac.id.



Perspektif Global ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN

Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI)

Buku “Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan” membahas prinsip ilmu dan teknologi pangan secara komprehensif berdasarkan kompetensi inti yang harus dikuasai oleh mahasiswa yang belajar ilmu dan teknologi pangan atau bidang lain yang relevan. Pembahasan pada setiap bab merupakan penjabaran cakupan kajian di bidang ilmu dan teknologi pangan untuk pendidikan teknologi pangan yang direkomendasikan oleh PATPI dan *Institute of Food Technologists* (IFT). Ilmu-ilmu dasar yang diperlukan serta perkembangan ilmu dan teknologi pangan terkini, termasuk tantangan dan peluangnya di era Revolusi Industri 4.0 juga di bahas.

Buku ditulis oleh para pakar dari berbagai perguruan tinggi di Indonesia dan praktisi di bidang ilmu dan teknologi pangan yang sesuai dengan bidangnya masing-masing, sehingga kajian yang disajikan merupakan informasi yang kredibel sebagai rujukan bagi mahasiswa, dosen, para praktisi dan masyarakat bidang ilmu dan teknologi pangan.



PT Penerbit IPB Press

Jalan Taman Kencana No. 3, Bogor 16128

Telp. 0251 - 8355 158 E-mail: penerbit.ipbpress@gmail.com

 Penerbit IPB Press  @IPBpress  ipbpress  www.ipbpress.com

Pangan

ISBN : 978-623-256-220-2



9 786232 562202