

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:**

Makhhub 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](mailto:penerbit.ipbpress@gmail.com)  
[www.ipbpress.com](http://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 Serealiala .....	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
<b>Bab 8 Keamanan Pangan</b>	
<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
<b>Bab 9 Unit Operasi di Industri Pangan</b>	
<i>Azis Boing Sitanggang 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

# 5

## Biokimia Pangan, Gizi dan Kesehatan

*Ardiansyah (Univ. Bakrie), Eni Harmayani (UGM),  
Lily Arsanti Lestari (UGM)*

### 5.1 Pendahuluan

Pangan atau makanan 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. Bahan pangan seperti yang telah diketahui tersusun dari berbagai macam senyawa organik dan anorganik yang kemudian dapat dikelompokkan menjadi senyawa/ komponen sederhana sampai kompleks. Senyawa penyusun bahan pangan tersebut dikenal sebagai zat gizi yang terdiri dari karbohidrat, protein, lipida, vitamin, mineral dan air.

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

Makanan yang masuk ke dalam tubuh merupakan sumber energi yang esensial, selain sumber zat gizi dan sumber fitokimia lainnya. Makanan 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 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; senyawa tersebut adalah senyawa fitokimia. Senyawa fitokimia dari bahan pangan memegang peranan penting dalam memberikan efek kesehatan. Pengertian fitokimia adalah suatu bahan dari tanaman (*phyto* 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. 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 makanan dan minuman adalah untuk memberi makan kepada tubuh kita agar kita dapat melakukan aktivitas sehari-hari dari energi yang diperoleh dari makanan. Memberi makan dapat diartikan juga sebagai cara untuk memberikan sumber makanan kepada berjuta-juta sel atau organ/jaringan yang ada di dalam tubuh kita. Makanan yang kita konsumsi

melewati banyak perubahan bentuk atau struktur sehingga dihasilkan bentuk yang paling sederhana sehingga dapat diserap ke dalam darah. Selanjutnya akan ditransportasikan ke seluruh sel yang memerlukan. Proses perubahan makanan 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 dari air, lemak, karbohidrat, protein dan asam nukleat. Semua sel mengandung komponen sel yang sama, terdiri dari 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 terutama prekursor bermacam senyawa ionik dan ribosom.

Membran sel terdiri dari lapisan senyawa lipida (fosfolipid) dan molekul protein sehingga sering disebut dengan lapisan lipoprotein. Fosfolipid terdiri dari 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 intrinsik (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 eukariotik. Ukuran sel prokariotik jauh lebih kecil dibandingkan sel eukariotik. *Deoxyribonucleic acid* (DNA) sel eukariotik dilingkupi membran inti, sementara DNA prokariot tidak dilingkupi 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.

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 diluar 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 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 fungsi maupun struktur, seperti ditunjukkan pada **Gambar 5.1**. Reaksi anabolisme merupakan proses pembentukan atau penyusunan atau sintesis senyawa organik sederhana seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}$  dan lain-lain menjadi senyawa makromolekul yang lebih kompleks seperti mononukleotida, asam amino, gula sederhana dan asam lemak/glisерol. 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

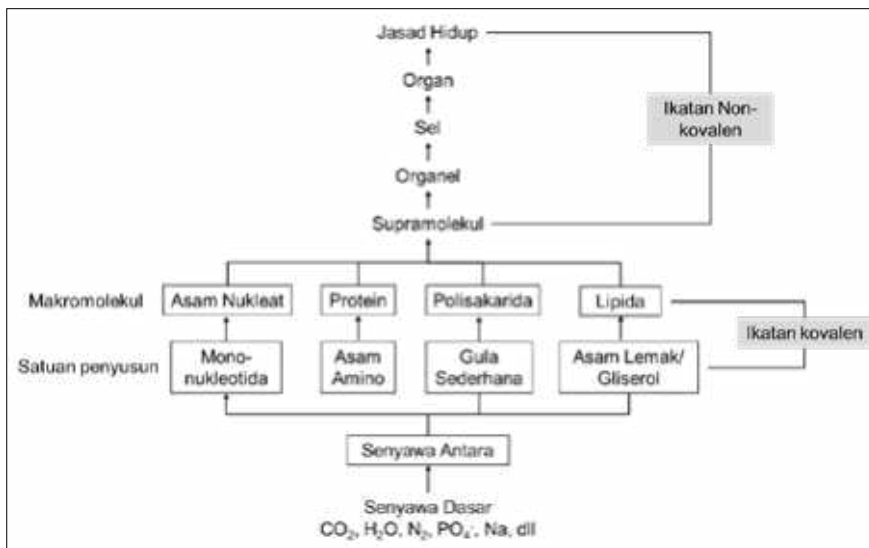
Dalam melaksanakan fungsinya di dalam tubuh, komponen bahan makanan atau zat gizi saling terkait antara satu komponen dengan komponen lainnya, sehingga terjadi saling ketergantungan. Adanya gangguan atau hambatan pada metabolisme zat gizi memberikan dampak pada gangguan atau hambatan metabolisme zat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

### 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 ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ). 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.



Gambar 5.1 Organisasi molekuler makhluk hidup (Modifikasi Devlin, 2006)

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 responnya 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, sepersepuh 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 seperti: 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 dengan protein nabati yang tidak mengandung semua asam amino yang kita butuhkan, untuk melengkapi asam amino yang kita butuhkan kita perlu mengonsumsi beberapa makanan nabati agar kita memperoleh asam amino yang lengkap yang kita butuhkan.

Beberapa sumber protein yang sangat baik baik antara lain meliputi, 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 mobil, 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 3 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, 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 derivat 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 ditranspor 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 pengelihatn kita. Jika kita mengalami defisit vitamin A, 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. Bila tubuh tidak mendapat cukup sinar matahari, vitamin D perlu dipenuhi melalui makanan. Bahan makanan yang kaya dengan vitamin D ialah 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 semakin tinggi kandungan vitamin K-nya. Bahan makanan lain yang mengandung vitamin K dalam jumlah lebih kecil adalah susu, daging, telur, sereal, buah-buahan, dan sayuran lain. Kekurangan vitamin K menyebabkan darah tidak dapat menggumpal, sehingga bila ada luka atau pada operasi terjadi pendarahan.

### 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, oleh karena itu 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 hanya terdapat di dalam pangan nabati, yaitu sayur dan 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. Defisit vitamin C memberi gejala penyakit skorbut. Kerusakan terutama terjadi pada jaringan rongga mulut, pembuluh darah kapiler dan jaringan tulang. Vitamin C bisa di dapatkan dari buah-buahan seperti jeruk, nanas, dan buah dengan rasa asam lainnya. Defisit vitamin C menyebabkan penyakit skorbut atau sering kita bilang sariawan.

Sumber utama vitamin B adalah beras dan sereal. Defisit vitamin B menyebabkan penyakit beri-beri. Vitamin B bisa kita dapatkan dari beras atau sereal. Pada beras, vitamin B ada pada selaputnya. Itulah alasannya kenapa kalau kita mencuci beras jangan terlalu bersih, karena kandungan vitamin B yang ada pada beras akan hilang. Defisit vitamin B mengakibatkan terjadinya beri-beri.

### 5.3.6 Mineral

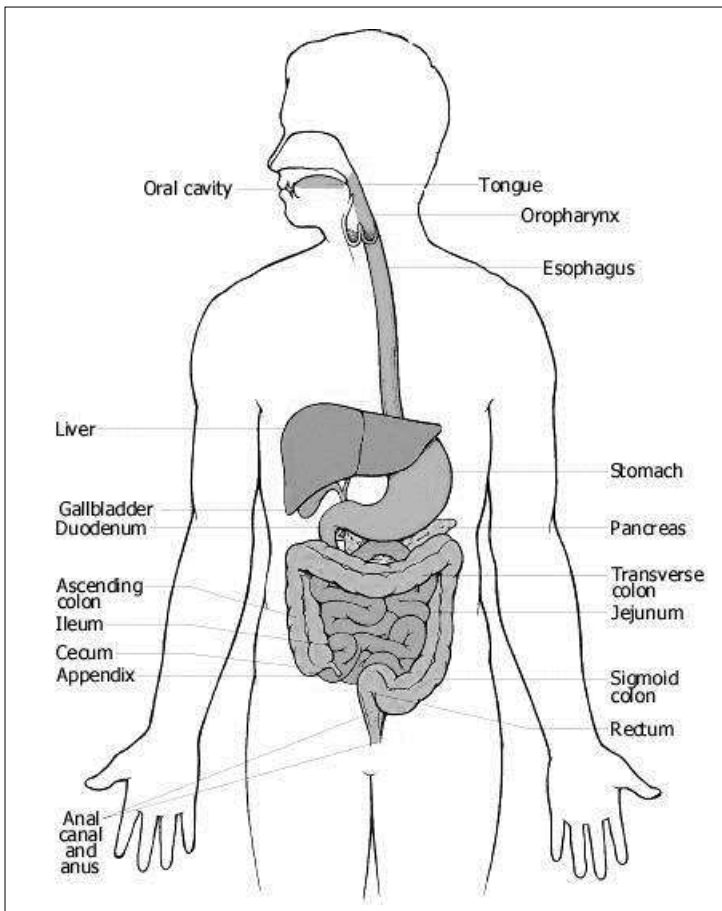
Mineral merupakan bagian dari tubuh dan memegang peran penting dalam pemeliharaan fungsi tubuh, baik pada tingkat sel, jaringan, organ maupun fungsi tubuh secara keseluruhan. Kalsium, fosfor, dan magnesium adalah bagian dari tulang, besi dari hemoglobin dalam sel darah merah dan iodium dari hormon tiroksin. 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. Fungsi dari 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. Hingga saat ini di kenal sebanyak 24 mineral yang dianggap esensial.

## 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, makanan dipecah menjadi bagian kecil melalui proses pengunyahan. 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 dari 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 $\text{NaHCO}_3$ dan enzim pencernaan
Hati (liver)	Elaborasi asam empedu
Kantung empedu	Penyimpanan empedu
Usus halus	Tahapan akhir proses pencernaan dan penyerapan zat gizi dan elektrolit
Usus besar	Penyerapan elektrolit

Sumber: Hoffer, 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.

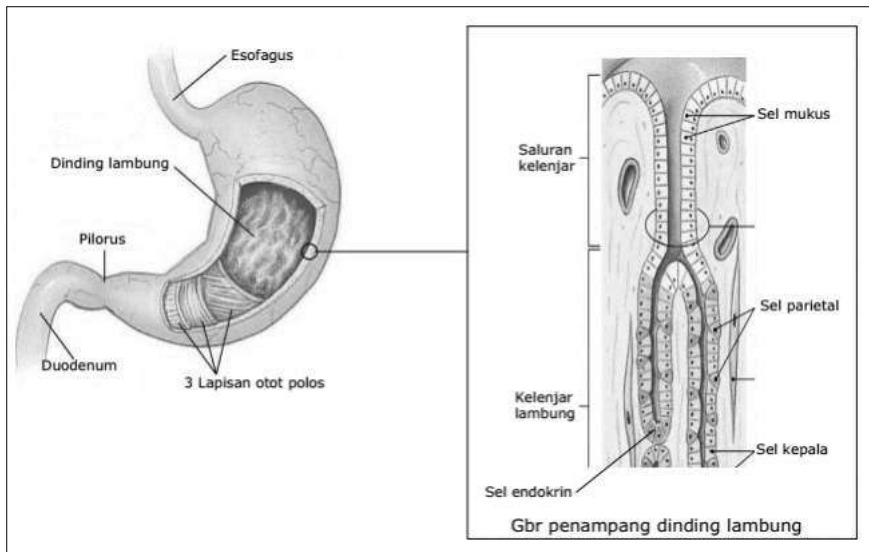
Setelah melalui rongga mulut, makanan yang berbentuk bolus akan masuk ke dalam faring. Faring adalah saluran yang memanjang dari bagian belakang rongga mulut sampai ke permukaan kerongkongan. Pada pangkal

faring terdapat katup pernapasan yang disebut epiglotis. Epiglotis 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.

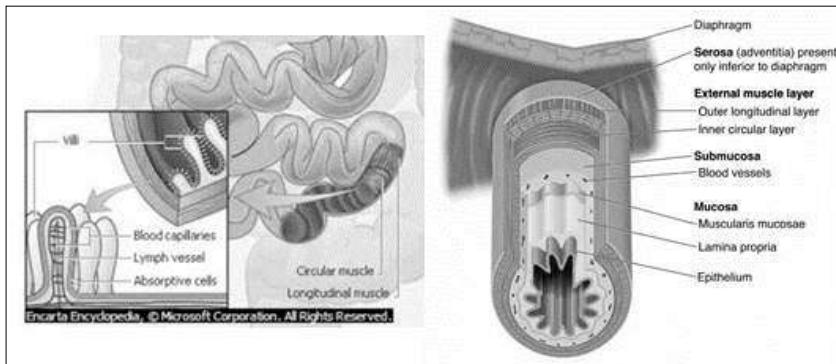
Selanjutnya makanan masuk ke dalam organ lambung. Lambung adalah ruang berbentuk kantung yang berbentuk huruf J yang terletak antara esofagus dan korpus (**Gambar 5.3**). Di dalam lambung, makanan dicerna secara kimia. Dinding lambung berkontraksi, menyebabkan gerak peristaltik. Gerak peristaltik dinding 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.

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



Gambar 5.3 Anatomi lambung (Hopfer, 2006)



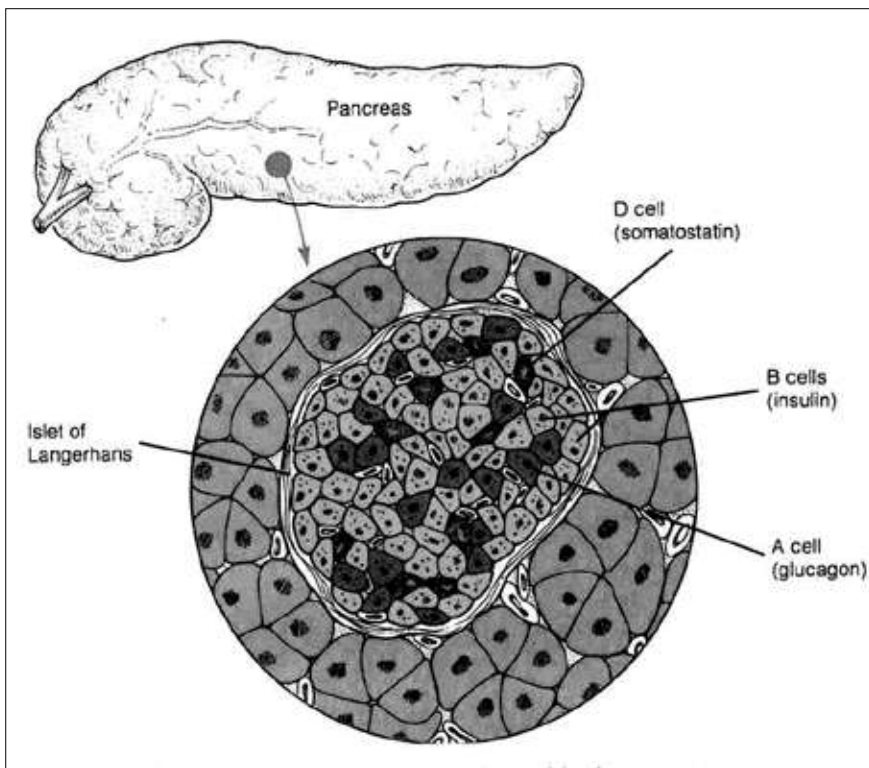
Gambar 5.4 Anatomi usus halus (Mañas *et al.*, 2003)

Pankreas tersusun atas 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 yaitu antara lain: (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 mempengaruhi hormon insulin. Selanjutnya, pada saat kadar glukosa turun, hormon glukagon merangsang perubahan

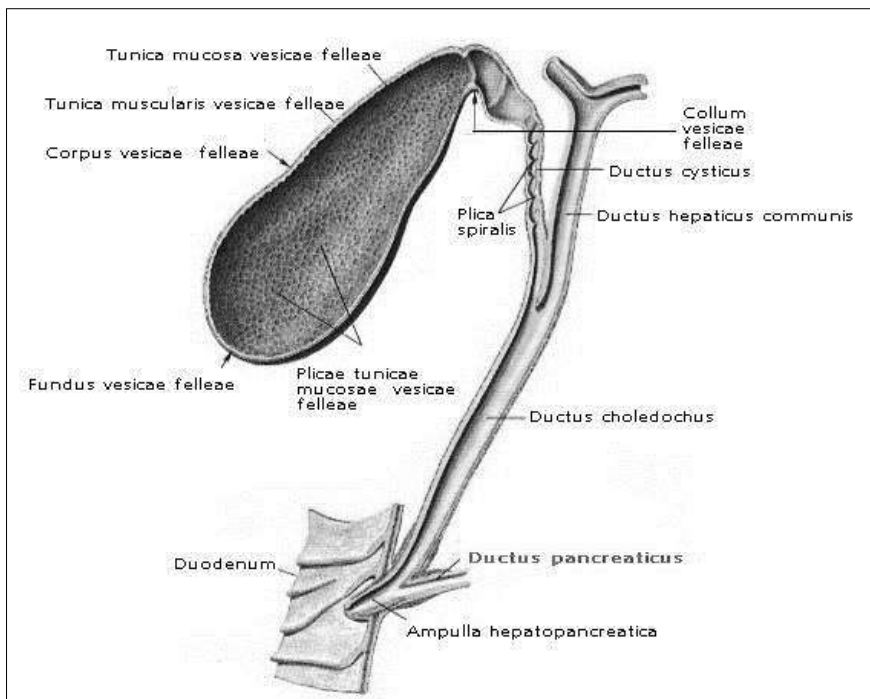
glikogen kembali menjadi glukosa dan menjaga kadar glukosa dalam kisaran normal; (2) metabolisme lemak yaitu memecah cadangan lemak menjadi yang dapat digunakan jaringan; (3) metabolisme protein yang terdiri dari tiga proses yaitu deaminasi asam amino, transaminasi dan sistesis protein darah; (4) pemecahan eritrosit dan pertahanan tubuh; (5) produksi panas, hati menggunakan banyak energy, 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 diantara 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)

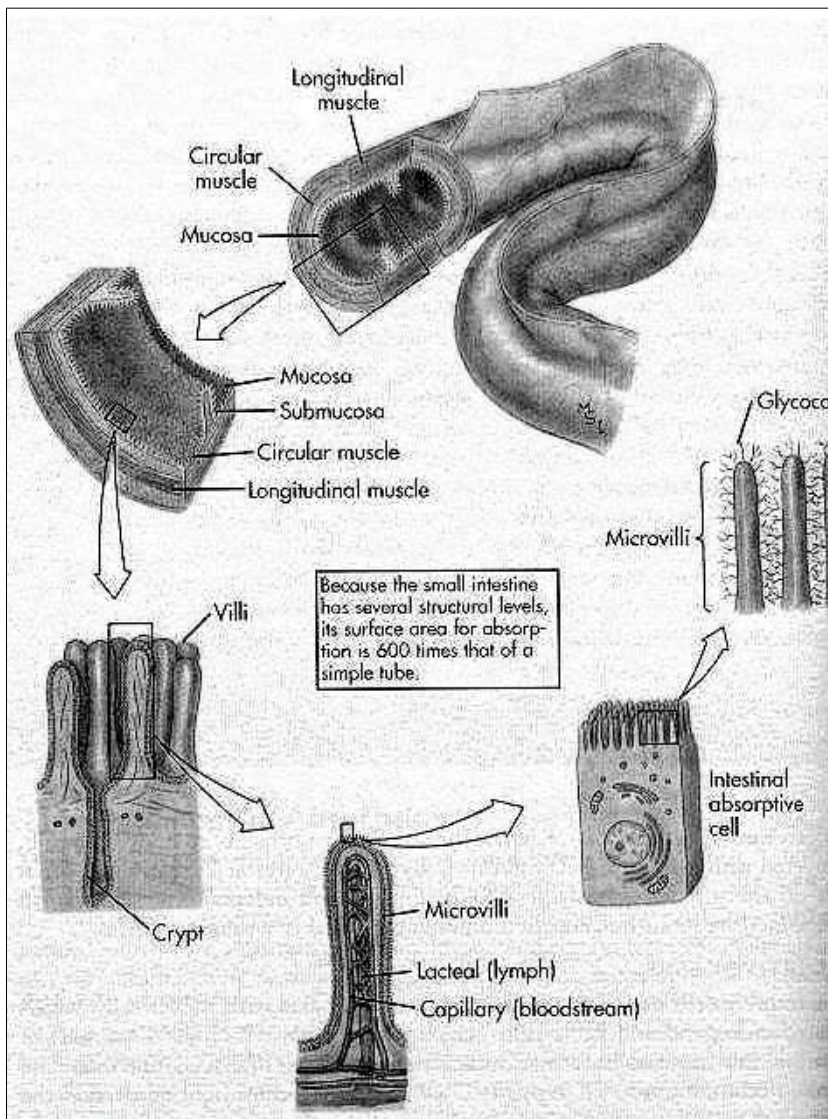
Proses penyerapan (absorpsi) dalam metabolisme adalah proses di mana hasil pencernaan ditransportasikan melalui dinding usus dan kemudian dialirkan oleh darah atau limfa. Sebagian besar zat gizi dan komponen aktif ditransportasikan menuju aliran darah, lalu sebagian kecil lainnya pertamanya masuk ke 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**).

Pada permukaan usus halus khususnya pada duodenum dan jejunum 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 dengan demikian akan 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 *mucus* 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.





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

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. Pada kedua proses ini memerlukan senyawa pembawa protein (protein *carrier*) yang mengambil/membawa komponen pada sisi luar (usus) atau sisi mucosal pada suatu sel penyerap dan kemudian mentransportasikannya melewati sel dan atau melepaskannya pada sisi dalam (serosal), yang kemudian selanjutnya mentransportasikannya ke dalam darah. Pada 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 Mekanisme 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 yang merupakan karbohidrat kompleks yang tidak dapat dicerna dan 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  $\alpha$ -amilase yang memecah pati dan glikogen dengan cara memutus ikatan  $\alpha$ -1,4 antara residu glukosa secara acak menjadi  $\alpha$ -dekstrin. Enzim  $\alpha$ -amilase pada saliva dan pankreas tidak dapat menghidrolisis ikatan  $\alpha$ -1,6, ikatan  $\alpha$ -1,4 pada terminal dan ikatan  $\alpha$ -1,4 di sebelah percabangan. Selanjutnya karbohidrat dicerna di saluran cerna oleh enzim  $\alpha$ -amilase pankreas yang serupa dengan amilase pada saliva dan memecah polimer glukosa menghasilkan maltosa, maltotriosa, dan oligosakarida; enzim oligo 1,6 glukosidase ( $\alpha$  dekstrinase = isomaltase) yang melepaskan residu glukosa dari cabang oligosakarida; enzim sukrase yang mengkonversi sukrosa menjadi fruktosa dan glukosa; enzim

laktase yang mengkonversi laktosa menjadi glukosa dan galaktosa; serta enzim maltase yang mengkonversi 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, dll), 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 gram 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 mempengaruhi 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 membran 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 sensitive 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 absorpsi, 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 dari polimer glukosa dengan ikatan  $\beta$ -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 (soluble fiber) air dapat larut dalam air hangat dan membentuk gel dengan cara menyerap air. Contoh serat larut adalah pektin, gum, musilase, glukon, dan alga. Serat larut mudah difermentasikan dan mempengaruhi 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 dari asetat, butirat, dan propionat. Pada otot dan hepar, SCFA dapat meningkatkan oksidasi asam lemak melalui peningkatan aktivasi jalur AMPK (adenosine monophosphate-activated protein kinase) 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,

*Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia (PATPI)*

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*) di dalam air panas atau air dingin. Contoh serat pangan tidak larut adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Serat ini dapat memperbesar volume feses dan mengurangi waktu transit feses 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 (Kyrou et al., 2018). GIP adalah hormon yang dikeluarkan oleh saluran pencernaan (*incretin*) sebagai respon terhadap konsumsi zat gizi. GIP bekerja pada sel- $\beta$  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 suplai 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  $\alpha$  dan lebih memilih asam lemak rantai panjang. Proses pencernaan ini menghasilkan  $\beta$ -monoasilgliserol (2 monoasilgliserol) dan asam lemak bebas. Produk akhir pencernaan trigliserida adalah 72%  $\beta$ -monoasilgliserol, 6%  $\alpha$ -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 ada 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  $\alpha$ , 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  $\beta$ -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 sinthetase membentuk asil Ko-A. Asil Ko-A mengesterifikasi  $\beta$ -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  $\alpha$ -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, 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**.

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).

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

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 hidrosimetilglutaril-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 kilomikron 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 dari 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 amini dari suatu asam amino menjadi asam  $\alpha$ -keto. Semua asam amino terlibat dalam reaksi transaminase kecuali treonin dan lisin. Vitamin B6 diperlukan dalam reaksi ini Sebagai ko-enzim. Kebanyakan transaminase membutuhkan  $\alpha$ -keto glutarat dan glutamat. Transaminase merupakan enzim sitosolik dan mitokondria. Beberapa enzim transaminase yang penting adalah sebagi berikut:

#### *Aspartat transaminase*

Enzim aspartat transaminase (AST) ini mangkatalisis transfer gugus amino ke  $\alpha$ -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  $\alpha$ -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  $\text{NH}_3$  (deaminasi). Terdapat D- dan L- asam amino oksidase yang mengoksidasi D- dan L- asam amino menjadi asam  $\alpha$ -keto yang sesuai dan gugus amino dilepaskan sebagai amonia ( $\text{NH}_4^+$ ). 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  $\alpha$ -amino dari serin dan treonin (asam amino yang mengandung gugus hidroksil) dapat secara langsung dikonversi menjadi  $\text{NH}_3$  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  $\alpha$ -amino menjadi amonia membutuhkan aksi glutamat transaminase dan glutamat dehidrogenase. 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 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 mengkatalisasi 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<sub>2</sub>, asam lemak rantai panjang dan rantai pendek, glukosa, H<sub>2</sub>S, 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<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O 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 makan 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, dan 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 respon gen sehingga dapat dipahami bagaimana pangan

mempengaruhi 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 ingriden dalam pangan berkontribusi pada cita rasa, aroma dan tekstur. Selain itu 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 regulasi: sistem sirkulasi (*circulatory system regulation*), sistem syaraf (*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 nutrisi 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, dan 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. Di bawah sistem review 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 ingridien 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; kadang-kadang dalam konsentrasi lebih tinggi atau terdapat pada pangan yang secara normal tidak mengandungnya; (3) secara saintifik menunjukkan efek positif pada fungsi target diluar 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, pangan terkait dengan kadar gula darah, pangan terkait tekanan darah, pangan terkait dengan kesehatan gigi, pangan terkait absorpsi mineral, pangan terkait dengan osteogenesis, dan pangan terkait dengan 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 ( $\beta$ -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 ( $\gamma$  (gamma)-aminobutyric acid , GABA; 12.3 mg/hari); teh hijau (O-methylate catechin; 34 mg/hari); barley ( $\beta$ -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, dan E yang dapat mempengaruhi sistem imun, 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 trilyun meliputi 5.3% dari luaran ekonomi dan tumbuh 12.8% antara 2015 hingga 2017 (Bodeker dan Hoare, 2018). 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 orang tua sebelum dan saat konsepsi diketahui mempengaruhi 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 dimasa 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, 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](http://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 didalam suatu sel yang sangat penting dalam kehidupan manusia, dimana sel tersebut dapat berkembang dengan baik dengan bantuan reaksi kimia seperti tambahan karbohidrat, lemak, asam nukleat, protein dan air.



2. Tubuh manusia membutuhkan 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 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. Fungsi sekunder pangan adalah sebagai penghasil cita rasa atau sebagai pemberi kepuasan sensori, misalnya, untuk memberikan kenikmatan dan kelezatan. Fungsi tersier pangan adalah pangan sebagai regulasi biologis.
9. 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.
10. Pangan fungsional sebagai makanan (sagar/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. Di antara senyawa bioaktif yang secara ilmiah terbukti memiliki efek fungsional bagi kesehatan adalah  $\beta$ -cryptoxanthin, isoflavone (aglycon), GABA, DHA/EPA, procyanidin, o-methylate catechin,  $\beta$ -glucan, dan lycopene.

## 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.
- [AACC] American Association of Cereal Chemists. 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46(3): 112–129.
- Behall, K.M., Daniel J. Scholfield, D.J., Hallfrisch, J.G., Helena, G.M. Elmståh, L. 2006. Consumption of both resistant starch and  $\beta$ -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, A.K., Venema, K., Dirk-Jan Reijngoud, D.J, Bakke, B.M.. 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, T.M. 2006. Eukaryotic Cell Structure. In *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, A.P. 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, J.J. 1998. Glucagon-like peptide 1 promotes satiety and suppresses energy intake in humans. *Journal of Clinical Investigation*. 101(3): 515– 520.
- Grimble, R.F. 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, V.D., 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, J.E., 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  $\gamma$ -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, C.L., Weedall, A., Sivaraman, S., Pelluri, L., Barber, T.M., Menon, V., Randeva, H.S., Tedla, M., Weickert, M.O. 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, E.M., 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, M.M. 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, P.J., Ritter, J.M. 1999. LDL particle size: an important drug target? *British Journal of Clinical Pharmacology*. 48(2): 125-133.
- Sajilata, M. G., Singhal, R.S., Kulkarni, P. R. 2006. Resistant starch - A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 5(1): 1-17.
- Schofield, J.D., Liu, Y., Balakrishna, P.R., Malik, R.A., Soran, H. 2016. Diabetes dyslipidemia. *Diabetes Therapy*. 7(2): 203-219.
- Smith, C. M., Marks, A.D., Lieberman, M.A. 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, S.L. Marcos, A., Gross, M.G. 2002. Functional foods and the immune system: A review. *European Journal of Clinical Nutrition*. 3(s3): S29-33.
- Waly, M.I. 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 vitamin
  - 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.  $\alpha$  amilase
  - b.  $\alpha$  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.  $\beta$ -cryptoxanthin
  - b. isoflavone (aglycon)
  - c. GABA
  - d. Semua tersebut di atas

### 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.



# 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.lipan@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.

# Perspektif Global ILMU DAN TEKNOLOGI PANGAN

Wahana Forum 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](mailto:penerbit.ipbpress@gmail.com)

Penerbit IPB Press @IPBpress ipbpress [www.ipbpress.com](http://www.ipbpress.com)

