

ILMU BIOMEDIK UNTUK KESEHATAN MASYARAKAT

EDITOR Febrial Hikmah, S.Si., M.Biomed.



PENULIS

Febrial Hikmah, S.Si., M.Biomed., Luluk Hermawati, S.Pd., M.Biomed.
Gita Wideani, S.Si., M.Biomed., Rizky Kusuma Wardani, S.Si., M.Biomed.
Ns. Diah Ayu Aguspa Dita, S.Kep., M.Biomed., apt. Nenden Nurhasanah M.Farm.
Putri Rahayu Ratri, S.Si., M.Biomed., dr. Yani Kurniawan, M.M., M.Biomed.
Zahara Fadilla, S.Si., M.Si., Nikki Aldi Massardi, S.Si, M.Biomed.
apt. Gina Aulia, M.Farm., Ns. Rustiana Tasya Ariningpraja, S.Kep., M.Biomed., AIFO.

ILMU BIOMEDIK UNTUK KESEHATAN MASYARAKAT

Febrial Hikmah, S.Si., M.Biomed.
Luluk Hermawati, S.Pd., M.Biomed.
Gita Wideani, S.Si., M.Biomed.
Rizky Kusuma Wardani, S.Si., M.Biomed.
Ns. Diah Ayu Aguspa Dita, S.Kep., M.Biomed.
apt. Nenden Nurhasanah M.Farm.
Putri Rahayu Ratri, S.Si., M.Biomed.
dr. Yani Kurniawan, M.M., M.Biomed.
Zahara Fadilla, S.Si., M.Si.
Nikki Aldi Massardi, S.Si, M.Biomed.
apt. Gina Aulia, M.Farm.
Ns. Rustiana Tasya Ariningpraja, S.Kep., M.Biomed., AIFO.

ILMU BIOMEDIK UNTUK KESEHATAN MASYARAKAT

Penulis:

Febrial Hikmah, S.Si., M.Biomed.

Luluk Hermawati, S.Pd., M.Biomed.

Gita Wideani, S.Si., M.Biomed.

Rizky Kusuma Wardani, S.Si., M.Biomed.

Ns. Diah Ayu Aguspa Dita, S.Kep., M.Biomed.

apt. Nenden Nurhasanah M.Farm.

Putri Rahayu Ratri, S.Si., M.Biomed.

dr. Yani Kurniawan, M.M., M.Biomed.

Zahara Fadilla, S.Si., M.Si.

Nikki Aldi Massardi, S.Si, M.Biomed.

apt. Gina Aulia, M.Farm.

Ns. Rustiana Tasya Ariningpraja, S.Kep., M.Biomed., AIFO.

ISBN: 978-623-09-8419-8

Tebal: xi + 196 hlm., 21 x 14.5 cm

Januari 2024

Editor: **Febrial Hikmah, S.Si., M.Biomed.**

Penata Letak: **Liska Rahmayana**

Penata Sampul: **Adiktiya Harahap**

Penerbit:

PT. ADIKARYA PRATAMA GLOBALINDO

Dusun Tegalsari RT 001/RW 004, Desa Jumoyo, Kec. Salam

Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah

HP/WA: 08989999951, Email: apppers@gmail.com

Website: www.adpraglobalindo.my.id

ANGGOTA IKAPI

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

Dilarang memperbanyak isi buku ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb.

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas karunia nikmat sehat kami dapat menyelesaikan buku yang berjudul Ilmu Biomedik Untuk Kesehatan Masyarakat. Buku ini membahas mengenai peranan ilmu biomedik dalam kesehatan masyarakat, sel dan genetika, homeostasis tubuh, digesti dan metabolisme tubuh, respirasi dan kardiovaskuler, koordinasi dan gerak, reproduksi dan perkembangan, imunitas tubuh terhadap bakteri, jamur dan virus, parasit, vektor dan penyebarannya, patologi dasar, farmakologi dasar, serta pemeriksaan kesehatan dasar. Buku ini dirancang khusus untuk mahasiswa S1 Kesehatan Masyarakat berdasarkan kurikulum tahun 2021 namun tidak menutup kemungkinan untuk digunakan kalangan rumpun ilmu kesehatan lain, seperti Kedokteran, Keperawatan, Kebidanan, Rekam Medis, dan Ortotik Prostetik. Penulisan dan penyusunan dirasa masih belum sempurna. Oleh sebab itu, saran dan masukan yang membangun kami terima demi kesempurnaan penulisan dan penyusunan buku ini. Semoga dapat dimanfaatkan dan dipahami dengan baik.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Penulis

Ilmu Biomedik Untuk Kesehatan Masyarakat

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB 1. PERANAN ILMU BIOMEDIK DALAM KESEHATAN MASYARAKAT	1
A. Sejarah Ilmu Biomedik	1
B. Cakupan Ilmu Biomedik	3
C. Ilmu Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat	4
D. Tugas dan Peran Ahli Kesehatan Masyarakat	4
E. Bahan Kajian Biomedik dalam Kurikulum Kesehatan Masyarakat	6
DAFTAR PUSTAKA	11
BIODATA PENULIS	12
BAB 2. SEL DAN GENETIKA	13
A. Pengertian dan Sejarah Sel	13
B. Sel Prokariotik dan Eukariotik	14
C. Struktur Sel	16
D. Siklus dan Pembelahan Sel	17
E. Mitosis dan Meiosis	19
F. Kromosom, DNA dan RNA	23
G. Prinsip Genetika Mendel	26

H. Prinsip Genetika Non-Mendelian.....	26
I. Penyakit Mutasi Gen dan Kromosom.....	27
DAFTAR PUSTAKA.....	30
BIODATA PENULIS	31
BAB 3. HOMEOSTASIS TUBUH.....	32
A. Definisi dan Konsep Homeostasis Tubuh	32
B. Lengkung Refleks dan Komunikasi Sel.....	36
C. Kelenjar Eksokrin dan Endokrin	37
D. Pengaturan Keseimbangan Asam Basa.....	39
DAFTAR PUSTAKA	42
BIODATA PENULIS	43
BAB 4. DIGESTI DAN METABOLISME TUBUH	44
A. Sistem Digesti.....	44
B. Organ Aksesori Digesti.....	49
C. Metabolisme Tubuh Setelah Makan (Kenyang).....	51
D. Metabolisme Tubuh Ketika Lapar (Puasa).....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	56
BIODATA PENULIS	58
BAB 5. RESPIRASI DAN KARDIOVASKULER	59
A. Definisi Respirasi	59
B. Anatomi dan Fisiologi Sistem Respirasi	60
C. Mekanika Pernapasan	63
D. Sistem Kardiovaskuler	65

E. Homeostasis Tubuh Saat Olahraga	70
DAFTAR PUSTAKA.....	73
BIODATA PENULIS.....	74
BAB 6. KOORDINASI DAN GERAK.....	75
A. Koordinasi Sistem dalam Homeostasis Tubuh	75
B. Karakteristik dan Klasifikasi Neuron	76
C. Sistem Saraf Pusat dan Tepi.....	78
D. Mekanisme Potensial Aksi Membran	86
E. Koordinasi Gerak Tubuh.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	91
BIODATA PENULIS.....	92
BAB 7. REPRODUKSI DAN PERKEMBANGAN.....	93
A. Sistem Reproduksi Pria.....	93
B. Sistem Reproduksi Wanita	95
C. Siklus Menstruasi	100
D. Spermatogenesis dan Oogenesis.....	104
E. Embriogenesis dan Kehamilan.....	108
F. Kontrasepsi	110
DAFTAR PUSTAKA.....	112
BIODATA PENULIS.....	114
BAB 8. IMUNITAS TUBUH PADA BAKTERI, JAMUR DAN VIRUS	115
A. Definisi Imunitas Tubuh.....	115

B. Komponen dan Mekanisme Sistem Imunitas Nonspesifik dan Spesifik.....	117
C. Immunoglobulin	119
D. Imunitas Tubuh pada Bakteri, Jamur dan Virus	120
E. Vaksin.....	123
DAFTAR PUSTAKA.....	126
BIODATA PENULIS	128

BAB 9. PARASIT, VEKTOR DAN

PENYEBARANNYA.....	129
A. Definisi dan Klasifikasi Parasit	129
B. Hubungan Parasit-Hospes	136
C. Vektor.....	137
D. Mekanisme Penularan Parasit.....	138
E. Siklus Hidup Parasit.....	140
DAFTAR PUSTAKA.....	144
BIODATA PENULIS	145

BAB 10. PATOLOGI DASAR.....

A. Definisi Patologi.....	146
B. Proses Terjadinya Kerusakan Sel.....	147
C. Macam Kematian Sel.....	149
D. Mekanisme Inflamasi dan Reparasi Jaringan	151
E. Neoplasma dan Kanker.....	151
F. Gangguan Digestif dan Metabolisme.....	153
G. Gangguan Respirasi dan Kardiovaskuler.....	154
H. Gangguan Koordinasi dan Gerak.....	155

I. Gangguan Reproduksi dan Perkembangan	156
J. Gangguan Imunitas	157
DAFTAR PUSTAKA.....	158
BIODATA PENULIS.....	160
BAB 11. FARMAKOLOGI DASAR.....	161
A. Definsi Farmakologi.....	161
B. Sumber Obat	162
C. Farmakokinetik	165
D. Farmakodinamik.....	169
DAFTAR PUSTAKA.....	171
BIODATA PENULIS.....	172
BAB 12. PEMERIKSAAN KESEHATAN DASAR.....	173
A. Definsi dan Tujuan Pemeriksaan Kesehatan Dasar	173
B. Pemeriksaan Tanda-Tanda Vital dan Antropometri.....	176
C. Pemeriksaan Penunjang atau Diagnostik.....	182
DAFTAR PUSTAKA.....	191
BIODATA PENULIS.....	196

BAB 1

PERANAN ILMU BIOMEDIK DALAM KESEHATAN MASYARAKAT

Febrial Hikmah, S.Si., M.Biomed.

2020biomedic@gmail.com

A. Sejarah Ilmu Biomedik

Istilah **biomedik** atau **biomedis** (*biomedicine* atau *biomedical*) pertama kali muncul dalam tulisan penulis Amerika dan Inggris pada tahun 1920. Sejak awal, penelitian biomedik mengacu pada jenis pengobatan yang lebih erat kaitannya dengan eksperimen dan laboratorium dibandingkan pengalaman dokter. *American Illustrated Medical Dictionary* mendefinisikan biomedik sebagai pengobatan klinis berdasarkan prinsip-prinsip fisiologi dan biokimia, dan bukan keahlian yang diperoleh dokter melalui observasi klinis. Setelah Perang Dunia ke-II, biomedik semakin sering diartikan sebagai pengobatan modern berdasarkan keahlian laboratorium dibandingkan dengan pengobatan tradisional yang dikaitkan dengan pengalaman klinis dan kecerdasan masing-masing dokter. Meskipun laboratorium telah berfungsi sebagai standar bagi para reformis medis sejak akhir abad kesembilan belas, baru setelah tahun 1945 kedokteran berbasis laboratorium, yang diidentifikasi dengan biomedik, mulai memberikan dampak yang kuat pada

praktek klinis. Ketika biomedik tumbuh secara sosial dan politik, biomedik dikaitkan dengan pengobatan ortodoks yang berlawanan dengan pengobatan alternatif, pengobatan ilmiah yang berlawanan dengan pengobatan klinis atau tradisional, dan pengobatan Barat yang berlawanan dengan pengobatan nonBarat.

Sejarah bidang kedokteran merupakan subbidang ilmu biomedik karena telah dilakukan terobosan tentang cara mengobati penyakit dan membantu sistem kekebalan tubuh. Pada tahun 1928, seorang ilmuwan Inggris **Alexander Fleming** menemukan **antibiotik penisilin** pertama. Hal tersebut merupakan terobosan besar dalam bidang biomedik karena memungkinkan pengobatan terhadap infeksi bakteri. Pada tahun 1926, alat pacu jantung buatan, pertama kali berhasil dibuat oleh dokter Australia Dr. Mark C. Lidwell. Tahun 1930, penelitian antibiotik menjadi lebih luas dan vaksin mulai dikembangkan. Pada tahun 1935, vaksin polio diperkenalkan oleh Dr. Maurice Brodie. Beliau menggunakan vaksin poliomyelitis yang sudah mati, kemudian diuji pada simpanse, diri sendiri dan beberapa anak. Uji coba virus vaksin Brodie berjalan buruk karena virus polio menjadi aktif pada banyak subjek uji manusia. Banyak subjek yang mengalami efek samping fatal, melumpuhkan dan menyebabkan kematian. Tahun 1941, pengobatan hormonal pertama untuk kanker prostat diterapkan oleh ahli urologi dan peneliti kanker Charles B. Huggins. Tahun 1950, banyaknya inovasi teknologi di segala bidang, namun yang terpenting adalah banyak terobosan yang mengarah pada pengobatan modern. Tahun 1953, Dr. Jonas Salk mengumumkan penyelesaian vaksin polio pertama yang berhasil membunuh virus. Vaksin diuji pada sekitar 1,6 juta anak-anak Kanada, Amerika dan

Finlandia pada tahun 1954. Kemudian vaksin tersebut diumumkan aman pada tahun 1955.

B. Cakupan Ilmu Biomedik

Ilmu biomedik merupakan sekumpulan ilmu yang menerapkan sebagian dari ilmu alam untuk mengembangkan pengetahuan, intervensi atau teknologi yang berperan dalam perawatan kesehatan atau kesehatan masyarakat. **Disiplin ilmu** yang mencakup ilmu biomedik, antara lain biologi kesehatan, fisiologi manusia, nutrisi dan metabolisme manusia, genetika dan biologi molekuler, mikrobiologi, virologi klinik, epidemiologi klinik, epidemiologi genetik, teknik biomedik, farmakologi, serta patologi penyakit manusia. Banyaknya cabang ilmu dasar yang menaungi ilmu biomedik, hal ini mendorong aktivitas akademisi untuk melakukan penelitian yang berkaitan dengan keilmuan di atas. Ilmu biomedik merupakan fokus utama pendanaan penelitian biosains di abad ke-21. Ilmu biomedik berfokus kepada penanganan masalah kesehatan yang belum terpecahkan dengan pendekatan klinis. Hubungannya dengan berbagai penyakit yaitu mengembangkan bahan yang tepat untuk mengobati, mencegah dan juga meregenerasi kerusakan akibat penyakit. Isu terkait kesehatan, seperti covid-19, menjadi perhatian tersendiri bagi ilmu biomedik untuk dilakukan penelitian dan menemukan berbagai jawaban dari masalah kesehatan.

C. Ilmu Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat

Ikatan Ahli Kesehatan Masyarakat Indonesia (IAKMI) dan **Asosiasi Institusi Perguruan Tinggi Kesehatan Masyarakat (AIAKMI)** dalam Naskah Akademik Pendidikan Kesehatan Masyarakat mendefinisikan **kehatan masyarakat**, yaitu kombinasi dari ilmu pengetahuan, keterampilan, moral dan etika, yang diarahkan pada upaya pemeliharaan dan peningkatan kesehatan semua orang, memperpanjang hidup melalui tindakan kolektif, atau tindakan sosial, untuk mencegah penyakit dan memenuhi kebutuhan menyeluruh dalam kesehatan, dengan menggunakan strategi pemberdayaan masyarakat untuk hidup sehat secara mandiri. Bidang ilmu yang berkembang dalam kesehatan masyarakat tidak terlepas dari penyebab penyakit dan perilaku sehat. Bidang tersebut terus meluas menjadi berbagai pembagian, antara lain **epidemiologi, biostatistik, kesehatan lingkungan dan kesehatan kerja, gizi, administrasi kebijakan kesehatan, serta pendidikan kesehatan dan ilmu perilaku.**

D. Tugas dan Peran Ahli Kesehatan Masyarakat

Cakupan isi dari buku Ilmu Biomedik untuk Kesehatan Masyarakat tidak terlepas dari keahlian yang seharusnya dimiliki oleh ahli kesehatan masyarakat. Berbagai peran dalam masyarakat dari ahli kesehatan masyarakat, antara lain konsultan, wirausahawan, pendidik, penyuluh, pemberdaya masyarakat, peneliti, bahkan manajer. Keterampilan khusus bagi ahli kesehatan masyarakat apabila lulus sarjana kesehatan masyarakat (SKM), antara lain:

1. Menerapkan pengkajian dan analisis situasi di bidang kesehatan masyarakat pada kegiatan tingkat primer dengan pendekatan interdisiplin (*analysis and assessment skill*).

Peranan Ilmu Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat

2. Menerapkan kebijakan dan perencanaan kesehatan bidang kesehatan masyarakat pada kegiatan tingkat primer dengan pendekatan interdisiplin kesehatan (*policy development and program planning skill*).
3. Komunikasi secara efektif sesuai untuk kegiatan promotif dan preventif di bidang kesehatan masyarakat (*communication skill*).
4. Penyesuaian budaya setempat dalam kegiatan promotif dan preventif di bidang kesehatan masyarakat (*culture competency/ local wisdom skill*).
5. Melaksanakan pemberdayaan masyarakat pada kegiatan promotif dan preventif di bidang kesehatan masyarakat (*community dimensions of practice*).
6. Menerapkan prinsip-prinsip perencanaan dan pengelolaan sumber daya/dana di bidang kesehatan masyarakat pada kegiatan di tingkat layanan kesehatan primer dengan pendekatan interdisiplin (*resource/financial planning and management skill*).
7. Menerapkan kepemimpinan dan berpikir sistem di bidang kesehatan masyarakat pada tingkat kegiatan di pelayanan kesehatan primer dengan pendekatan interdisiplin (*leadership and system thinking/ total system skill*).
8. Menerapkan prinsip-prinsip pengelolaan kewirausahaan di bidang kesehatan masyarakat (*entrepreneurial skill*).

Selain keterampilan khusus, sarjana kesehatan masyarakat juga memiliki kewajiban pengetahuan, antara lain:

1. Penguasaan dasar/prinsip ilmu kesehatan masyarakat pada tingkat sintesis yang menjadi instrumen dalam meningkatkan kesehatan masyarakat setinggi-tingginya, mencakup ilmu yang berkaitan dengan epidemiologi, biostatistik dan kependudukan,

administrasi/manajemen dan kebijakan kesehatan, serta ilmu sosial dan perilaku, dengan mempertimbangkan fungsi kesehatan masyarakat yang esensial.

2. Penguasaan dasar/prinsip ilmu kesehatan masyarakat pada tingkat sintesis yang menjadi substansi dalam meningkatkan kesehatan masyarakat setinggi-tingginya, mencakup ilmu yang berkaitan dengan kesehatan lingkungan, keselamatan dan kesehatan kerja, ilmu gizi, dan kesehatan reproduksi, dengan mempertimbangkan fungsi kesehatan masyarakat yang esensial.

E. Bahan Kajian Biomedik dalam Kurikulum Kesehatan Masyarakat

Berdasarkan kurikulum Program Studi Kesehatan Masyarakat tahun 2021, berbagai bahan kajian dalam mata kuliah Biomedik meliputi 3 poin utama, antara lain biokimia gizi (biologi medik); anatomi, fisiologi dan patologi; serta mikrobiologi, parasitologi dan farmakologi. Subbahan kajian biokimia gizi (biologi medik), meliputi:

1. Metabolisme (katabolisme dan anabolisme). Membandingkan prinsip metabolisme katabolisme dan anabolisme.
2. Metabolisme air. Menjelaskan metabolisme air, menjaga keseimbangan air, asidosis dan alkalosis.
3. Metabolisme karbohidrat. Menjelaskan metabolisme karbohidrat, pemecahan dan pembentukan, peran enzim atau hormon pada metabolisme.
4. Metabolisme lemak. Menjelaskan metabolisme lemak, pemecahan dan pembentukan, peran enzim atau hormon pada metabolisme lemak, dan melakukan praktek pengukuran persen lemak tubuh.

Peranan Ilmu Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat

5. Metabolisme protein. Menjelaskan metabolisme protein, pemecahan dan pembentukan, dan peran enzim atau hormon pada metabolisme protein.
6. Metabolisme vitamin. Menjelaskan metabolisme vitamin, pemecahan dan pembentukan, peran enzim atau hormon pada metabolisme vitamin.
7. Metabolisme mineral. Melakukan pemeriksaan metabolisme mineral, pemecahan dan pembentukan, peran enzim atau hormon pada metabolisme mineral.
8. Bioenergetika. Menelaah tahapan dan proses bioenergetika, menjelaskan kebutuhan dan tahapan metabolisme bioenergetika, membandingkan metabolisme bioenergetika glukosa, gluconeogenesis dan ketogenesis, menjelaskan hormon dalam bioenergetika, menguraikan peran ATP, penggunaan dan mekanisme penyimpanan energi.
9. Sistem hormon, imunitas dan enzim. Menganalisis fungsi dan mekanisme kinerja hormon, imunitas dan enzim.
Subbahan kajian anatomi, fisiologi dan patologi, meliputi:
 1. Struktur dan fungsi normal sel. Menjelaskan struktur dan fungsi normal sel (biologi sel dan prinsip genetika).
 2. Pengukuran kesehatan dasar. Praktek pengukuran Kesehatan dasar (pengukuran tekanan darah, pemeriksaan hemoglobin, glongan darah, asam urat, kolesterol, trigliserida, glukosa darah, berat badan, tinggi badan, dan antropometri).
 3. Homeostasis. Menjelaskan homeostasis tubuh (konsep homeostasis dan lengkung refleks, komunikasi antarsel, kelenjar endokrin dan eksokrin).
 4. Sistem pencernaan. Menjelaskan organ-organ, cara kerja dan proses yang terjadi dalam pencernaan makanan.

Peranan Ilmu Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat

5. Sistem otot rangka. Menjelaskan organ-organ, cara kerja dan proses yang terjadi dalam otot rangka.
6. Sistem respirasi. Menjelaskan organ-organ, cara kerja dan proses yang terjadi dalam sistem respirasi.
7. Sistem koordinasi (otak dan persarafan). Menjelaskan organ-organ, cara kerja dan proses yang terjadi dalam sistem persarafan.
8. Sistem panca Indera. Menjelaskan organ-organ, cara kerja dan proses yang terjadi dalam sistem panca indera.
9. Sistem peredaran darah dan kardiovaskuler. Menjelaskan organ-organ, cara kerja dan proses yang terjadi dalam sistem peredaran darah dan kardiovaskuler.
10. Sistem reproduksi. Menjelaskan anatomi dan fisiologi organ-organ reproduksi dan urinaria, dan cara menjaga hygiene.

Subbahan kajian mikrobiologi, parasitologi, patologi dan farmakologi, meliputi:

1. Jamur. Melakukan praktek identifikasi jenis jamur dan cara penularan serta siklus hidupnya.
2. Bakteri. Melakukan praktek identifikasi jenis bakteri dan cara penularan serta siklus hidupnya.
3. Virus. Menelaah jenis-jenis virus dan cara penularan serta siklus hidupnya.
4. Parasit. Melakukan praktek identifikasi jenis parasit dan cara penularan serta siklus hidupnya.
5. Entomologi. Melakukan praktek identifikasi jenis entomologi dan cara penularan serta siklus hidupnya.
6. Patologi. Menjelaskan pengertian patologi atau ilmu penyakit umum, menjelaskan proses terjadinya kerusakan jaringan, inflamasi dan reparasi, hiperplasia, neoplasma dan kanker, tipe,

ciri-ciri, dan proses terjadinya penyakit-openyakit genetik dan gangguan perkembangan, serta penyakit-penyakit imunologis, menjelaskan patologi berbagai sistem tubuh manusia.

7. Farmakologi. Menjelaskan pengertian farmakologi, konsep farmakokinetika dan farmakodinamika obat, menjelaskan bagaimana proses sampainya obat di Masyarakat serta tahapan pada uji coba subklinik dan klinik obat (epidemiologi obat), menyebutkan dan menjelaskan penggolongan obat-obatan (O, G, W dan obat herbal) sesuai peraturan perundangan yang berlaku, menjelaskan rantai obat dari produksi, distribusi, hingga penggunaannya serta mekanisme dan prosedur pengawasan dan pengendalian obat (MESO), menjelaskan proses pengadaan, penerimaan obat pada unit Yankes, serta cara penyimpanan, pola dan mekanisme pendistribusian obat pada unit yankes, menjelaskan konsep (tujuan, kriteria dan langkah-langkah) pembuatan Daftar Obat Esensial Nasional (DOEN).

Banyaknya bahan kajian yang harus dipenuhi dalam mata kuliah biomedik pada Kurikulum Sarjana Kesehatan Masyarakat, dengan demikian pembagian mata kuliah biomedik dipecah menjadi dua semester dengan mata kuliah biomedik dasar dan lanjutan. Dalam buku ini tertuang komponen biomedik dasar dengan materi utama, antara lain peranan ilmu biomedik dalam kesehatan masyarakat; sel dan genetika; homeostasis tubuh; digesti dan metabolisme tubuh; respirasi dan kardiovaskuler; koordinasi dan gerak; reproduksi dan perkembangan; imunitas tubuh terhadap bakteri, jamur dan virus; parasit, vektor dan penyebarannya; patologi dasar; farmakologi dasar; dan pemeriksaan kesehatan

Peranan Ilmu Biomedik dalam Kesehatan Masyarakat

dasar. Penjelasan dasar dan beberapa contoh dirangkum dalam bab-bab selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Asosiasi Institusi Pendidikan Tinggi Kesehatan Masyarakat Indonesia (AIPTKMI). (2022). *Panduan Kurikulum Nasional: Program Studi Sarjana Kesehatan Masyarakat Tahun 2021*. UI Publishing. Depok: 12-252.
- Berrigde, V., Gorsky, M., & Mold, A. (2011). *Public Health in History*. McGraw-Hill. New York: 1-229.
- Ganguly, N. K., Croft, S., Singh, L., Sinha, S., & Balganes, T. (2014). *Biomedicine and Biotechnology: Public Health Impact*. BioMed Research International. Vol 2014: 2.
- Lowy, I. (2011). *Historiography of Biomedicine: Bio, Medicine and In Between*. Focus,102(1):116-22.
- Mancinelli, S., Liotta, G., & Gialoreti, L. E. (2016). *Biomedicine and Prevention: a Public Perspective*. Biomedicine & Prevention.
- Quirke, V. & Gaudilliere, J. P. (2008). *The Era of Biomedicine: Science, Medicine, and Public Health in Britain and France after the Second World War*. Medical History,52:441-52.

BIODATA PENULIS

Febrial Hikmah, S.Si., M.Biomed., lahir di Jakarta, 10 Februari 1989. Telah menyelesaikan pendidikan S1 pada tahun 2011 di Universitas Indonesia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Studi Biologi. Lulus pendidikan S2 Ilmu Biomedik tahun 2015 di Universitas Indonesia, Fakultas Kedokteran. Saat ini aktif sebagai dosen dengan mengampu mata kuliah Biomedik, Biokimia dan Biologi Molekuler, dan Mikrobiologi. Beberapa buku yang sudah diterbitkan, yaitu Biomedik Untuk Mahasiswa Kesehatan, Parasitologi (Helmintologi dan Protozoologi) dan Sitohistoteknologi.



BAB 2

SEL DAN GENETIKA

Luluk Hermawati, S.Pd., M.Biomed.
lulukhermawati.bio@gmail.com

A. Pengertian dan Sejarah Sel

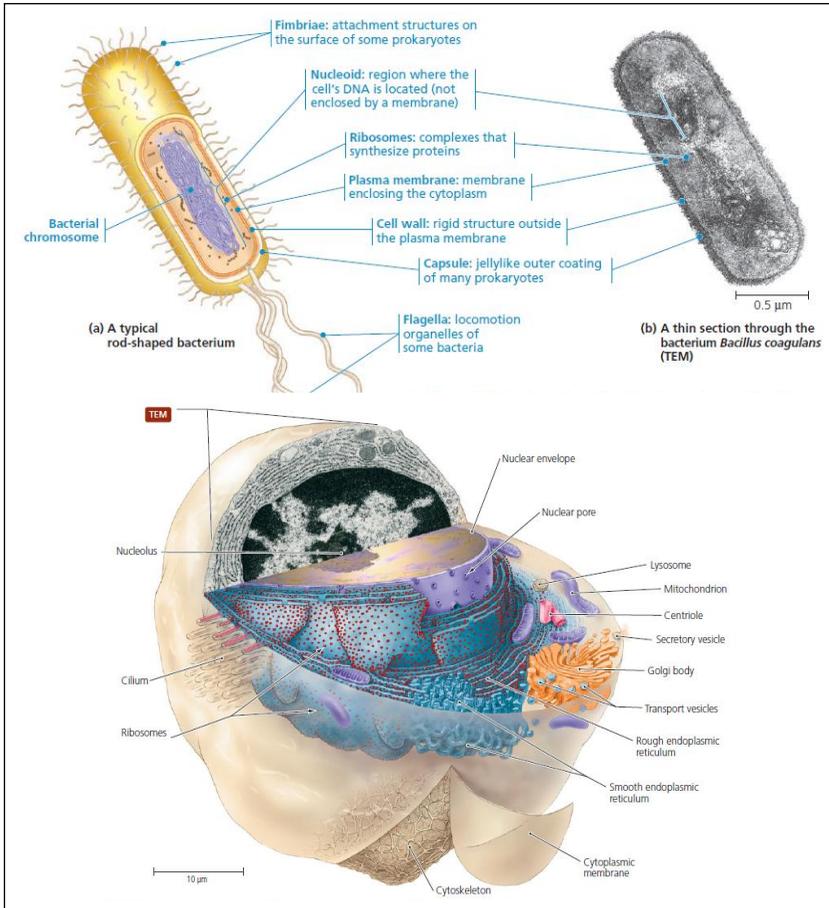
Sel adalah bagian terkecil dari struktur dan fungsi makhluk hidup. Sel merupakan unit dasar kehidupan, memiliki berbagai struktur dan organel sesuai dengan jenis dan fungsi mereka dalam organisme. Organisme uniseluler, seperti bakteri, hanya memiliki beberapa organel. Sementara organisme multiseluler, seperti manusia, memiliki banyak jenis sel dengan berbagai organel yang berbeda sesuai dengan perannya dalam tubuh. Penemuan sel tidak terlepas dari perjalanan sejarah para ilmuwan. **Robert Hooke** (1665) seorang ilmuwan Inggris pertama yang mengamati sel di bawah mikroskop dan menggambarkan sel sebagai suatu struktur kecil yang ia temukan di dalam potongan kulit kayu. **Antonie van Leeuwenhoek** (1674-1723) menciptakan mikroskop yang lebih kuat dan mengamati berbagai mikroorganisme, termasuk bakteri dan protozoa. **Matthias Schleiden** (1838), seorang ilmuwan botani Jerman, menyatakan bahwa semua tumbuhan terdiri dari sel. **Theodor Schwann** (1839), seorang zoologis Jerman, menjelaskan sel adalah unit dasar semua makhluk hidup, termasuk tumbuhan

dan hewan. Rudolf Virchow (1855), seorang dokter patologi Jerman menyatakan prinsip *omnis cellula e cellula*, sel berasal dari sel yang sudah ada sebelumnya. Hal ini menguatkan pandangan sel adalah unit dasar kehidupan dan organisme terbentuk dari sel.

B. Sel Prokariotik dan Eukariotik

Sel dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama, yaitu sel prokariotik dan eukariotik, berdasarkan struktur dan karakteristik sel, ada atau tidaknya membran inti sel serta keberadaan organel-organel bermembran. Perbedaan keduanya secara struktur dapat dilihat pada Gambar 2.1. Penjelasan karakteristik sel prokariotik dan eukariotik, antara lain:

1. **Sel prokariotik** tidak memiliki membran inti sel (nukleoid), struktur genetik berupa DNA berbentuk lingkaran (sirkuler) yang terletak di sitoplasma, tidak memiliki organel bermembran seperti mitokondria, retikulum endoplasma, dan aparatus Golgi, lebih sederhana dari segi struktur dibandingkan sel eukariotik dan ditemukan pada sel bakteri.
2. **Sel eukariotik** memiliki membran inti sel (nukleus), struktur genetik berupa DNA linear dan terkemas bersama protein histon membentuk kromosom, memiliki banyak organel yang terbungkus oleh membran, seperti mitokondria, retikulum endoplasma, aparatus Golgi, dan lisosom, struktur sel lebih kompleks dan memiliki banyak spesialisasi untuk fungsi yang berbeda-beda, ditemukan pada semua organisme multiseluler (hewan, tumbuhan, fungi) dan beberapa organisme uniseluler (protista).



Gambar 2.1 Perbedaan sel prokariotik (atas) dan eukariotik (bawah). Sel prokariotik tersusun atas komponen sederhana, seperti fimbriae, nukleoid, ribosom, dinding sel, kapsul dan flagel. Sedangkan sel eukariotik tersusun atas komponen lebih kompleks, seperti inti sel bermembran (nukleus) dan organel bermembran (mitokondria, retikulum endoplasma, aparatus Golgi) (sumber gambar: Campbell & Reece, 2016).

C. Struktur Sel

Sel terdiri dari struktur dan organel yang saling terkait berperan penting dalam menunjang fungsinya. Berikut merupakan komponen utama penyusun sel, antara lain:

1. **Membran sel** berperan melindungi sel dari lingkungan eksternal, mengatur keluar masuknya zat dan berpartisipasi dalam interaksi sel (reseptor).
2. **Sitoplasma** berperan sebagai tempat berlangsungnya sebagian besar aktivitas sel, seperti metabolisme dan sintesis protein.
3. **Inti sel** mengandung materi genetik (DNA) yang berperan dalam mengatur aktivitas sel dan pewarisan sifat.
4. **Ribosom** berperan sebagai tempat sintesis protein dengan menggunakan informasi genetik yang diberikan oleh mRNA.
5. **Retikulum endoplasma kasar** berperan dalam penyimpanan sementara protein sebelum dimodifikasi, dengan permukaan membrannya terdapat banyak ribosom.
6. **Retikulum endoplasma halus** berperan dalam sintesis lipid, detoksifikasi dan penyimpanan ion kalsium.
7. **Aparatus Golgi** berperan sebagai tempat modifikasi, pengemasan, dan pengiriman makromolekul ke tempat yang dibutuhkan dalam atau di luar sel.
8. **Mitokondria** berperan sebagai tempat produksi energi dalam bentuk ATP melalui respirasi seluler.
9. **Lisosom** hanya terdapat pada sel hewan, mengandung enzim-enzim yang digunakan untuk mencerna molekul yang tidak dibutuhkan lagi, zat asing serta organel yang rusak.
10. **Vakuola** hanya terdapat pada sel tumbuhan, berperan menyimpan air, garam, pigmen, dan bahan-bahan lainnya dalam sel tumbuhan terutama hasil fotosintesis.

11. **Kloroplas** terdapat pada sel tumbuhan dan alga, berperan sebagai tempat terjadinya fotosintesis, yaitu produksi karbohidrat menggunakan energi matahari.
12. **Dinding sel** terdapat pada sel tumbuhan (selulosa), fungi (kitin) dan bakteri (peptidoglikan), berperan dalam memberi dukungan struktural dan kekuatan pada sel terutama terhadap tekanan osmotik air.
13. **Flagela** dan **silia** terdapat pada sel protozoa dan bakteri, berperan dalam pergerakan sel atau memindahkan bahan di sekitar sel.
14. **Peroksisom** mengandung enzim peroksidase yang terlibat dalam mengubah hidrogen peroksida menjadi oksigen dan air, serta membantu proses detoksifikasi lainnya.
15. **Sentrosom** berperan dalam pembentukan kutub pembelahan selama pembelahan sel.
16. **Sitoskeleton** berperan dalam memberikan bentuk sel (rangka sel), terdiri atas mikrofilamen, filamen intermediet dan mikrotubulus.

D. Siklus dan Pembelahan Sel

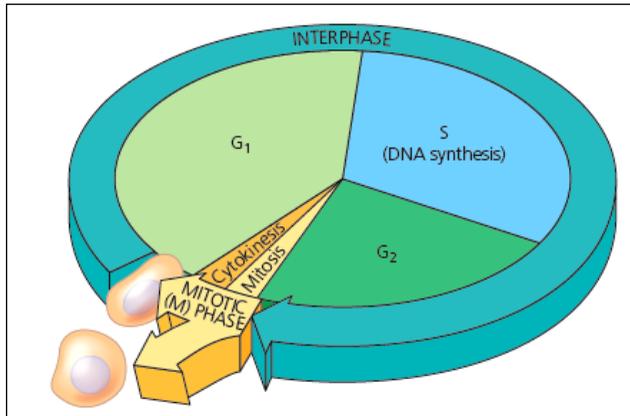
Siklus sel merupakan serangkaian tahapan yang terjadi pada sel mulai persiapan hingga sel tersebut membagi diri menjadi dua sel anak. Proses ini penting untuk pertumbuhan, perbaikan, dan reproduksi organisme. Siklus sel terdiri dari beberapa tahap utama yang berurutan, antara lain interfase (persiapan), mitosis atau meiosis (pembelahan inti) dan sitokinesis (pembelahan sitoplasma) (Gambar 2.2). Berikut merupakan gambaran singkat dari siklus sel:

1. **Interfase (persiapan)** adalah fase panjang dalam siklus sel yang terjadi sebelum pembelahan sel sebenarnya dimulai. Fase

ini dibagi menjadi tiga tahap, yaitu G1, S (Sintesis DNA), dan G2. Selama **G1** sel tumbuh dan mempersiapkan diri untuk replikasi DNA dengan cara memperbanyak metabolisme dan sintesis protein. **S (Sintesis DNA)** merupakan fase replikasi DNA sehingga menghasilkan jumlah kromosom identik dua kalinya. **G2** merupakan tahap dimana sel tumbuh semakin membesar akibat jumlah kandungan sel dua kali jumlahnya. Fase ini terjadi penyempurnaan kekurangan komponen sebelum pembelahan.

2. **Mitosis dan meiosis (pembelahan inti)** adalah proses pembelahan inti dimana kromosom akan terbentuk dan terpisah sama banyaknya (identik) pada kedua kutub pembelahan sel. Proses tersebut terdiri atas empat tahap, yaitu profase, metafase, anafase dan telofase. Tahap **profase**, **kromatin** terkondensasi menjadi struktur yang terlihat di bawah mikroskop disebut **kromosom**. Inti sel menghilang dan benang spindel mulai terbentuk. Tahap **metafase**, kromosom mencapai posisi tengah sel yang disebut **lempeng metafase** dan terikat pada benang spindel. Tahap **anafase**, setiap salinan kromosom yang direplikasi atau kromatid saudara, dipisahkan dan ditarik ke arah berlawanan ke kutub sel. Terakhir **telofase**, kromatid saudara mencapai kutub sel, inti baru terbentuk di sekitarnya dan kromosom mengendur kembali menjadi bentuk yang kurang terkondensasi (kromatin). Pada meiosis, keempat tahap tersebut terjadi sebanyak dua kali namun tanpa adanya interfase yaitu **meiosis I** dan **meiosis II**.
3. **Sitokinesis (pembelahan sitoplasma)** adalah tahap dimana sitoplasma membagi menjadi dua yang sama banyaknya beserta organel penyusunnya. Sel hewan termasuk manusia, membran

sel menyempit di tengah sel, membentuk lengkungan ke dalam yang akhirnya sel berpisah menjadi dua identik. Sedangkan sel tumbuhan, vesikel berisi dinding sel yang terbentuk di tengah sel dan tumbuh hingga memisahkan sel. Dua sel anak yang identik secara genetik telah terbentuk pada rangkaian mitosis. Satu sel anak memasuki interfase (G₁) kembali untuk mempertahankan kepuncaannya dan sel anak yang lain akan mengalami diferensiasi menjadi sel tubuh. Berbeda dengan mitosis, pada meiosis satu sel anak yang lain akan berdiferensiasi menghasilkan empat sel gamet yang bervariasi.



Gambar 2.2 Siklus sel. Terdapat tiga tahapan utama dalam siklus sel, yaitu interfase (G₁, Sintesis DNA, G₂), mitosis dan sitokinesis (sumber gambar: Campbell & Reece, 2016).

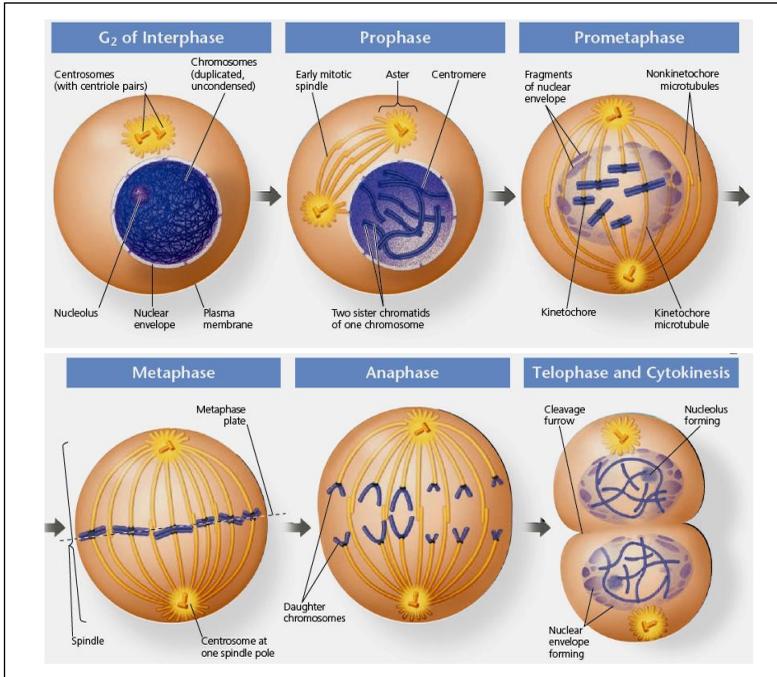
E. Mitosis dan Meiosis

Mitosis dan **meiosis** merupakan jenis pembelahan sel yang terjadi dalam tubuh organisme untuk berbagai tujuan. Proses

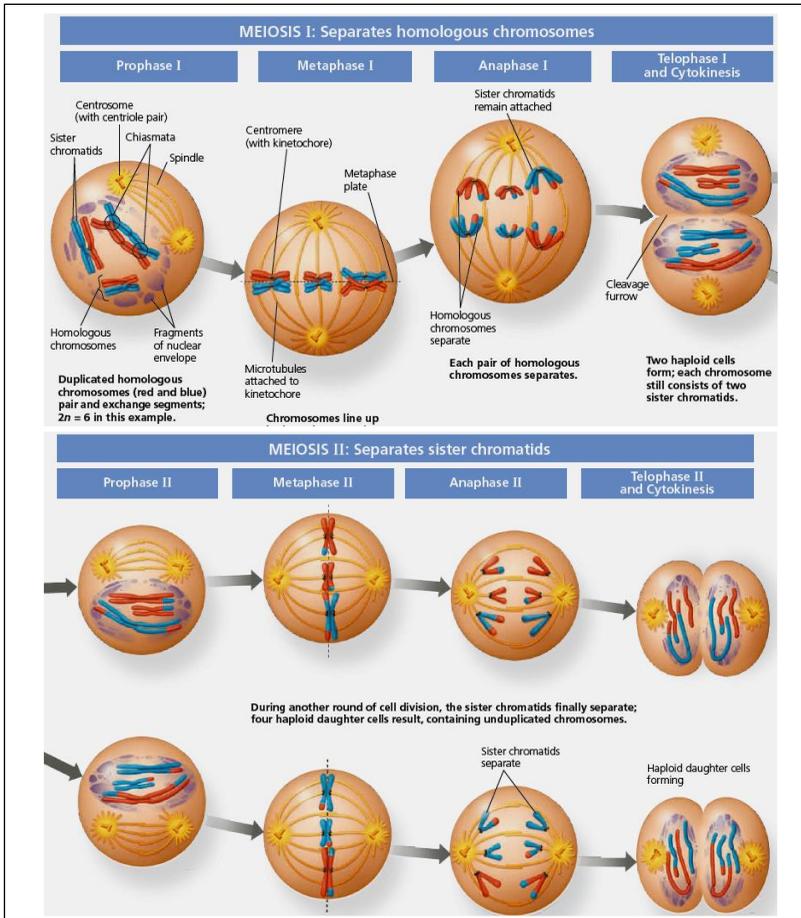
tahapan, tujuan dan hasil pembelahan mitosis dan meiosis berbeda. Namun keduanya memiliki peran penting dalam kehidupan dan perkembangan organisme. Mitosis berkontribusi pada pertumbuhan dan perbaikan, sementara meiosis berperan dalam reproduksi dan penghasilan keturunan yang memiliki variasi genetik. Berikut adalah perbedaan utama antara pembelahan mitosis dan meiosis:

1. **Mitosis** bertujuan untuk pertumbuhan, perbaikan dan pergantian sel tubuh yang rusak dan telah mati. Mitosis pembelahan yang umum terjadi dalam sebagian besar **sel tubuh**. Proses tersebut menghasilkan **dua sel anak identik** dengan kromosom **diploid** sama dengan sel induknya. Pada manusia diploid meliputi 46 buah atau 23 pasang kromosom. Mitosis melibatkan **satu putaran pembelahan sel**, meliputi profase, metafase, anafase, dan telofase diikuti sitokinesis. Mitosis **tidak melibatkan *crossover*** genetik antara kromosom homolog (Gambar 2.3).
2. **Meiosis** memiliki tujuan khusus yaitu pembentukan **sel-sel reproduktif (sperma dan sel telur)** dan menghasilkan keturunan baru. Meiosis menghasilkan **empat sel anak** bersifat **haploid** (setengah jumlah kromosom induk). Pada manusia haploid meliputi 23 buah kromatid. Meiosis melibatkan **dua putaran pembelahan sel (meiosis I dan meiosis II)** dengan fase-fase khusus, seperti profase I, metafase I, anafase I, dan telophase I diikuti sitokinesis. Dilanjutkan profase II, metafase II, anafase II, dan telophase II diikuti sitokinesis. Meiosis melibatkan ***crossover genetik*** antara kromosom homolog yang terjadi hanya sekali pada tahap profase I, yang menghasilkan variasi genetik. Sel anak

memiliki kombinasi unik alel-alel dari kedua orang tua dan berperan dalam **diversitas genetik** (Gambar 2.4).



Gambar 2.3 Mitosis. Setelah akhir interfase (G₂), dilanjutkan dengan mitosis yang terdiri atas 4 tahap, yaitu profase, metafase (prometafase), anafase, telofase diikuti dengan sitokinesis. Terlihat jelas pada gambar, kromatin membentuk kromosom pada profase diikuti terbentuknya benang spindel dan kutub sentrosom. Kromosom sejajar satu bidang pada metafase dan kromosom mulai tertarik ke arah kutub berlawanan pada anafase. Telifase membentuk lekukan pembelahan diikuti dengan sitokinesis sehingga menghasilkan dua sel anak identik (sumber gambar: Campbell & Reece, 2016).



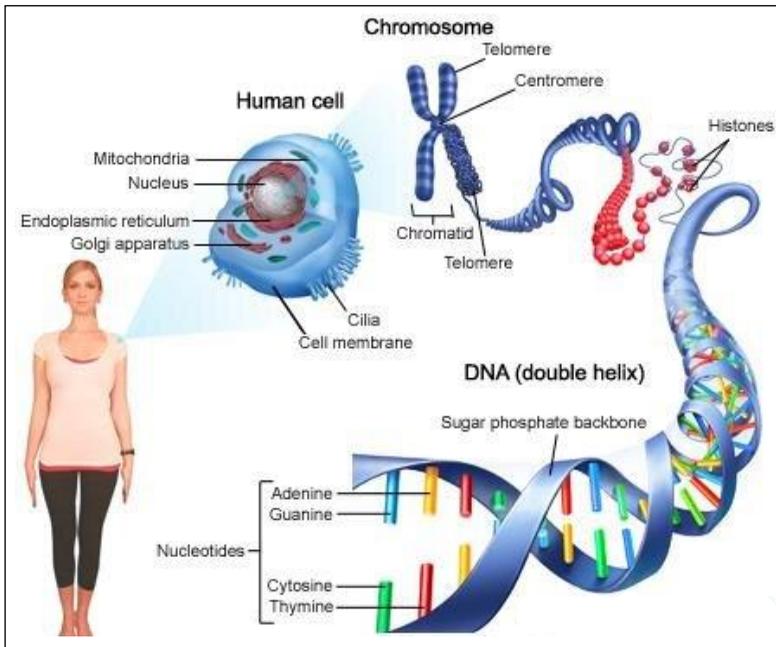
Gambar 2.4 Meiosis. Pembelahan sel terjadi dua kali, meiosis I dan meiosis II, dengan rangkaian tahapan serupa dengan mitosis, yaitu profase, metafase, anafase, telophase diikuti dengan sitokinesis. Secara spesifik, tidak adanya interfase pada meiosis dan terjadi proses pindah silang (*crossover*) yang mengakibatkan empat sel anak yang terbentuk bervariasi (sumber gambar: Campbell & Reece, 2016).

F. Kromosom, DNA dan RNA

Kromosom adalah struktur yang terdapat dalam inti sel yang tersusun atas DNA dan protein histon (Gambar 2.5). Kromosom terdiri dari dua jenis, yaitu kromosom tubuh (autosomal) dan kromosom sex (gonosomal). **Kromosom autosomal** manusia terdiri atas **22 pasang atau 44 buah** dalam sel tubuh. Kromosom autosomal mengandung gen-gen yang mengatur berbagai sifat dan karakteristik individu, termasuk sifat-sifat seperti warna mata, warna rambut, dan banyak sifat lainnya. **Kromosom gonosomal** terlibat dalam **penentuan jenis kelamin** individu. Manusia memiliki satu pasang kromosom gonosomal dalam sel tubuh, yaitu kromosom **X dan Y** untuk pria dan dua kromosom **X** untuk wanita. Kromosom gonosomal mengandung gen-gen yang mengatur perkembangan karakteristik seksual sekunder, seperti organ kelamin dan beberapa sifat lain yang berkaitan dengan jenis kelamin.

DNA (*deoxyribonucleic acid*) merupakan materi genetik yang mengkode informasi untuk pewarisan sifat dan regulasi berbagai fungsi dalam organisme, seperti pertumbuhan, perkembangan dan reproduksi semua makhluk hidup. DNA merupakan materi genetik utama dalam sel-sel semua organisme, baik prokariotik maupun eukariotik. DNA memiliki struktur **ganda heliks** yang berbentuk seperti tangga putar atau *double helix*. Struktur ini terdiri dari **dua rantai panjang gula deoksiribosa** dan **fosfat** yang saling mengikat disebut **ikatan fosfodiester**. Kedua untai dihubungkan oleh pasangan **basa nitrogen**, yaitu **adenin=timin** dan **guanin≡sitosin** (Gambar 2.5). Pasangan basa ini membentuk tangga dalam heliks ganda dan menyimpan informasi genetik. DNA mengandung instruksi untuk **sintesis protein** dan **pewarisan sifat**. Ketika sel membelah, DNA harus

direplikasi sehingga setiap sel anak menerima salinan lengkap dari materi genetiknya. **Replikasi DNA** terjadi di dalam nukleus pada sel manusia, bertujuan membuat salinan DNA identik sebelum pembelahan sel (fase S interfase). Replikasi DNA memiliki perangkat enzim yang saling berkontribusi, seperti helikase, primase, DNA polimerase dan ligase.



Gambar 2.5 Struktur kromosom. Kromosom pada manusia terletak di dalam nukleus, terdiri atas protein histon dan DNA yang dikemas bersama. DNA tersusun atas dua rantai panjang dengan komponen penyusun berupa nukleotida, yaitu gula, fosfat dan basa nitrogen purin (adenin, guanin) dan pirimidin (sitosin dan timin) (sumber gambar: Campbell & Reece, 2016).

RNA (ribonucleic acid) adalah molekul biologis yang bertanggung jawab atas transmisi informasi genetik, pengaturan gen, dan sintesis protein. RNA tersusun atas untaian nukleotida **rantai tunggal** dengan **ribosa** sebagai gula penyusunnya. RNA memiliki **urasil (U)** sebagai basa nitrogen pengganti timin (T). RNA berperan dalam proses transkripsi, translasi dan regulasi gen di dalam tubuh. **Transkripsi** merupakan proses pembuatan salinan **mRNA** dari DNA sebagai cetakan. Pada sel eukariotik termasuk manusia, mRNA yang terbentuk dalam struktur pre-mRNA. Proses selanjutnya, pre-mRNA dibentuk menjadi mRNA yang matang melalui proses **splicing**, yaitu pembuangan intron dan menyambungkan bagian ekson. **Intron** merupakan daerah yang tidak memiliki kode genetik untuk ditranslasikan, sedangkan **ekson** merupakan daerah yang memiliki kode genetik untuk ditranslasikan. RNA juga merupakan molekul yang digunakan dalam proses **translasi (penerjemahan)**. Informasi genetik yang terdapat dalam mRNA diubah menjadi urutan asam amino dalam **protein**. Beberapa jenis RNA, seperti **RNA ribosom (rRNA)** dan **RNA transfer (tRNA)**, berperan dalam **regulasi ekspresi gen** dan **sintesis protein**. **rRNA** merupakan komponen utama ribosom sebagai tempat dimana sintesis protein terjadi dan **tRNA** merupakan molekul yang membawa asam amino ke ribosom selama translasi sehingga membantu dalam pembentukan protein. Regulasi gen juga melibatkan **RNA interferensi (RNAi)** yang merupakan mekanisme penting dalam mengontrol ekspresi gen dan melawan infeksi virus.

G. Prinsip Genetika Mendel

Prinsip genetika oleh **Gregor Mendel** dikenal sebagai **hukum Mendel** atau genetika Mendel. Mendel merupakan biologis Austria yang melakukan eksperimen pada tanaman kacang polong pada abad ke-19, dan penelitiannya menghasilkan pemahaman dasar tentang pewarisan sifat genetika. Hukum genetika Mendel terdiri atas hukum genetika Mendel I dan II. Hukum genetika Mendel I atau **hukum pemisahan bebas (*law of segregation*)** berdasarkan prinsip ini, setiap individu memiliki dua alel (versi gen) untuk setiap sifat yang diwariskan, satu dari ibu dan satu dari ayah. Ketika sel gamet dibentuk, alel-alel ini terpisah (*segregasi*) dalam pembelahan meiosis sehingga setiap gamet hanya membawa satu alel untuk setiap sifat. Misalnya, jika ada alel dominan (A) dan alel resesif (a) yang mengatur warna bunga, keturunan akan membawa satu dari keduanya, yang kemudian akan dipisahkan selama pembentukan gamet. Hukum Mendel II atau **hukum penggabungan bebas (*law of independent assortment*)** berdasarkan prinsip ini, alel-alel yang mengatur berbagai sifat diwariskan secara independen satu sama lain saat pembentukan gamet. Artinya, bagaimana alel untuk satu sifat dipisahkan dan dikombinasikan dalam gamet tidak memengaruhi cara alel untuk sifat lain dipisahkan dan dikombinasikan. Ini berlaku jika sifat-sifat tersebut berada di kromosom yang berbeda atau lokasi berbeda pada kromosom yang sama.

H. Prinsip Genetika Non-Mendelian

Prinsip genetika Mendelian merupakan dasar dari genetika klasik, sementara prinsip genetika **non-Mendelian** menggambarkan kompleksitas lebih lanjut dalam pewarisan sifat

dan interaksi genetik. Kedua jenis prinsip ini bersama-sama menyusun dasar genetika modern. Beberapa prinsip genetika non-Mendelian, antara lain:

1. **Alel letal (mematikan)** adalah alel yang jika homozigot (dua salinan) akan menyebabkan kematian embrionik.
2. **Interaksi alel ganda (epistasis)** terjadi ketika alel pada satu lokus gen mempengaruhi ekspresi alel pada lokus gen lain.
3. **Poligen (pewarisan poligenik) merupakan sifat-sifat kompleks** seperti tinggi badan, warna kulit, dan resistensi terhadap penyakit biasanya dipengaruhi oleh beberapa gen yang berinteraksi bersama.
4. **Alel Mendel tak pasti (*incomplete dominance*)** merupakan alel tidak sepenuhnya dominan atau resesif, dan ketika heterozigot, mereka menghasilkan fenotip yang berada di antara kedua alelnya.
5. **Alel bersamaan (*codominance*)** dimana kedua alel pada gen terlihat dalam fenotip yang sama ketika heterozigot
6. **Pengaruh gen lingkungan (genetika lingkungan)**, seperti diet dan paparan lingkungan, dapat mempengaruhi ekspresi gen.
7. **Alel berwarna berganda (*multiple alleles*)** dimana beberapa gen memiliki lebih dari dua alel yang mungkin dalam populasi, contoh gen golongan darah ABO.

I. Penyakit Mutasi Gen dan Kromosom

Penyakit mutasi gen atau kromosom adalah kelompok penyakit genetik yang disebabkan oleh perubahan atau kelainan dalam sekuens DNA atau struktur kromosom. Mutasi ini dapat mengganggu sintesis protein, regulasi genetik atau fungsi

kromosom. Penyakit mutase ini dapat bersifat resesif maupun dominan. Jika alel pembawa penyakit bersifat resesif (aa), maka adanya status *carrier* pada gen yang bersifat heterozigot (Aa). Sebaliknya pada dominan, penyakit akan muncul apabila seseorang memiliki alel (AA atau Aa) dan tidak ada istilah *carrier* (pembawa). Persilangan penyakit resesif dapat terjadi ketika pasangan yang memiliki gen mutan resesif untuk penyakit tertentu memiliki anak. Dalam kasus ini, anak akan menerima dua alel mutan, yang menyebabkan perkembangan penyakit genetik tersebut. Ini merupakan contoh persilangan penyakit autosomal resesif, dimana gen penyakit terletak pada kromosom autosomal dan memanifestasikan penyakit hanya ketika dua alel mutan hadir dalam homozigot. Berikut adalah beberapa contoh penyakit genetik yang disebabkan oleh mutasi gen atau kromosom:

1. **Fenilketonuria (PKU)** adalah penyakit yang disebabkan oleh mutasi gen pengkode **enzim fenilalanin hidrosilase**. Enzim ini diperlukan untuk mengurai asam amino fenilalanin. Pada individu dengan PKU, fenilalanin tidak dapat diuraikan dengan baik, sehingga menumpuk dalam darah. Apabila tidak diobati akan bersifat neurotoksik hingga gangguan perkembangan intelektual.
2. **Anemia sel sabit** adalah penyakit yang disebabkan oleh mutasi pada **gen hemoglobin**. Hemoglobin berperan membawa oksigen dalam eritrosit menuju sel tubuh. Mutasi ini mengubah bentuk eritrosit menjadi bentuk sabit, yang bisa menyumbat pembuluh darah dan menyebabkan berbagai komplikasi.
3. **Kistik fibrosis** adalah penyakit genetik yang disebabkan oleh mutasi dalam **gen CFTR (*Cystic Fibrosis Transmembrane***

Conductance Regulator). Mutasi ini menghasilkan produksi lendir yang tebal dan lengket, yang mengganggu fungsi paru-paru, saluran pencernaan, dan organ lainnya.

4. **Sindrom Down** adalah gangguan genetik yang disebabkan oleh adanya satu kromosom ekstra pada pasangan **kromosom 21 (trisomi 21)**. Hal ini mengakibatkan sejumlah karakteristik fisik dan perkembangan intelektual yang khas.
5. **Sindrom Turner** adalah gangguan genetik yang terjadi pada wanita ketika salah **satu dari dua kromosom X hilang** atau mengalami mutasi. Ini menyebabkan ciri-ciri fisik khas dan masalah kesehatan tertentu.
6. **Hemofilia** adalah kelompok penyakit genetik yang mengganggu **pembekuan darah**. Ada beberapa jenis hemofilia yang disebabkan oleh mutasi dalam gen yang mengkode faktor pembekuan darah.
7. ***Duchenne Muscular Dystrophy (DMD)*** adalah penyakit mutasi genetik terutama pada **gen *dystrophin***. Mutasi ini mengakibatkan hilangnya atau disfungsi distropin, yang menyebabkan kerusakan otot progresif dan kelemahan fisik.
8. **Huntington's disease** adalah penyakit genetik yang disebabkan oleh ekspansi berulang dari urutan DNA dalam **gen *Huntingtin***. Ini mengakibatkan kerusakan sel saraf dalam otak dan gangguan neurodegeneratif yang progresif.
9. **Sindrom Edwards** adalah kelainan kromosom yang disebabkan oleh adanya tiga salinan dari **kromosom 18 (trisomi 18)**. Ini mengakibatkan masalah perkembangan serius dan biasanya menyebabkan kematian sebelum lahir atau dalam beberapa tahun pertama kehidupan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Molecular Biology of the Cell*. Garland Science.
- Alberts, B., et. al. (2017). *Essential Cell Biology*. Garland Science.
- Becker, W. M., Kleinsmith, L. J., & Hardin, J. (2017). *The World of the Cell*. Pearson.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2016). *Biology*. Pearson.
- Clément, P. (2007). *Introducing the cell concept with both animal and plant cells: a historical and didactic approach*. *Science & Education*, 16, 423-440.
- Cooper, G. M. (2000). *The Cell: A Molecular Approach*. ASM Press.
- Griffiths, A. J. F., et al. (2020). *An Introduction to Genetic Analysis*. W. H. Freeman.
- Griffiths, A. J. F., Wessler, S. R., Lewontin, R. C., Carroll, S. B., & Doebley, J. (2014). *Introduction to Genetic Analysis*. W. H. Freeman.
- Hartl, D. L., & Jones, E. W. (2017). *Genetics: Analysis of Genes and Genomes*. Jones & Bartlett Learning.
- Lewin, B., Krebs, J. E., & Goldstein, E. S. (2014). *Lewin's GENES XII*. Jones & Bartlett Learning.
- Lodish, H., Berk, A., & Zipursky, S. L. (2008). *Molecular Cell Biology*. W. H. Freeman.
- Pierce, B. A. (2019). *Genetics: A Conceptual Approach*. W. H. Freeman.
- Plopper, G. E. (2016). *Cell Biology*. Jones & Bartlett Learning.
- Pollard, T. D., & Earnshaw, W. C. (2007). *Cell Biology*. Saunders.
- Strachan, T., & Read, A. P. (2011). *Human Molecular Genetics*. Garland Science.

BIODATA PENULIS

Luluk Hermawati, S.Pd., M.Biomed., lahir pada 22 Januari 1991



di Blora, Indonesia, lulusan S2 Ilmu Biomedis dari Universitas Indonesia. Ia adalah seorang ibu yang penuh dedikasi terhadap dua anaknya, Ashlan dan Arkaan, yang menjadi sumber kebahagiaan dan inspirasinya. Ia seorang pelancong sejati yang gigih menjelajahi berbagai tempat menarik di dalam dan

luar negeri, merasakan keberagaman budaya dan keindahan alam. Sebagai seorang pecinta kuliner bersemangat, Luluk selalu pecinta kuliner, selalu bersemangat untuk mengenal dan mencicipi masakan nusantara dan internasional, menghubungkan makanan dengan budaya dan tradisi setiap tempat yang dikunjunginya. Kecintaannya pada pengetahuan tercermin dalam hobinya membaca berbagai genre, dari sastra hingga ilmu pengetahuan, dan aktif berdiskusi untuk memperluas wawasannya. Luluk juga memiliki jiwa organisasi yang kuat, terlibat dalam kegiatan pendidikan dan sosial, dan menjadi inspirasi bagi keluarga dan komunitasnya. Baginya, hidup adalah petualangan, pengetahuan, dan kebaikan.

BAB 3

HOMEOSTATIS TUBUH

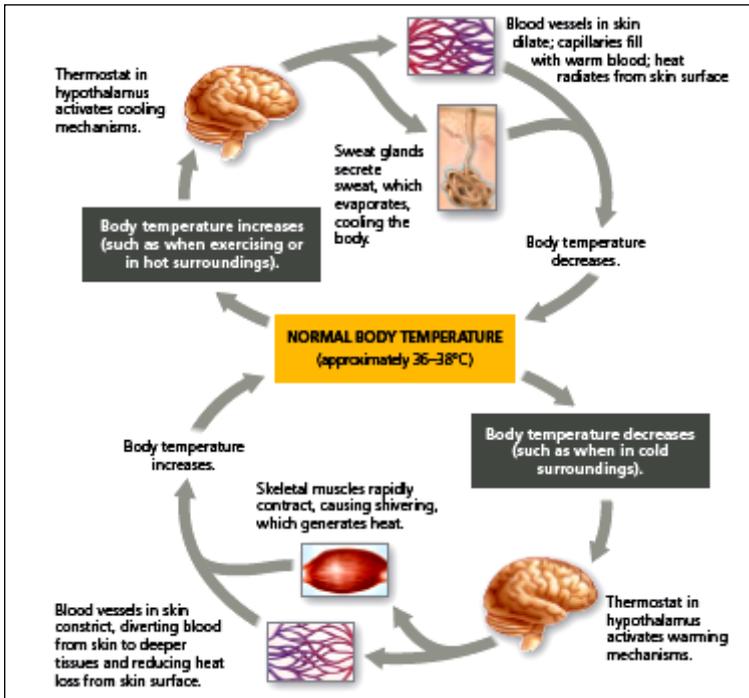
Gita Wideani, S.Si., M.Biomed.
gita.wideani@gmail.com

A. Definisi dan Konsep Homeostasis Tubuh

Salah satu konsep yang sangat penting bagi tubuh adalah homeostasis. **Homeostasis** adalah kemampuan makhluk hidup dalam menjaga dan mengatur keseimbangan lingkungan tubuh terhadap perubahan lingkungan. Tujuan utama homeostasis adalah mempertahankan kondisi yang optimal bagi kelangsungan hidup dan fungsi tubuh yang normal. Pengaturan keseimbangan tersebut dapat mempengaruhi aktivitas sel. Proses fisiologis terjadi apabila adanya perubahan lingkungan (*stress*), mengakibatkan penyesuaian lingkungan internal melalui pelepasan sinyal-sinyal kimia hingga adanya suatu respons. Pada manusia, sinyal kimia pengendali homeostasis dapat diregulasi oleh sistem endokrin (hormon) dan sistem saraf otonom. Salah satu contoh yaitu dalam pengaturan suhu tubuh manusia. Suhu lingkungan yang tinggi mengakibatkan kenaikan suhu pada bagian termostat di hipotalamus, memicu mekanisme pendinginan melalui pelebaran pembuluh darah dan diproduksinya keringat. Mekanisme demikian mengakibatkan panas tubuh dapat berevaporasi ke luar tubuh. Sebaliknya pada

Homeostasis Tubuh

suhu lingkungan yang rendah, memicu mekanisme pemanasan pada termostat di hipotalamus, memicu penyempitan pembuluh darah sehingga panas tubuh tidak berevaporasi ke luar. Selain itu, mekanisme pemanasan suhu juga dibantu dengan kontraksi otot rangka secara cepat yang disebut sebagai menggigil (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Homeostasis tubuh terhadap perubahan suhu lingkungan. Saat suhu tubuh meningkat maka termostat mengaktifkan mekanisme pendinginan melalui vasodilatasi dan berkeringat. Sedangkan saat suhu tubuh menurun maka termostat mengaktifkan mekanisme pemanasan melalui vasokonstriksi dan menggigil (sumber gambar: Campbell & Reece, 2016).

Homeostasis Tubuh

Homeostasis fisiologis tubuh melalui empat tahap, yaitu pengaturan diri, kompensasi, umpan balik negatif dan umpan balik positif. **Pengaturan diri** (*self regulation*) umumnya terjadi otomatis pada kondisi normal, contohnya regulasi fungsi organ tubuh. **Kompensasi** terjadi apabila adanya ketidakseimbangan atau ketidaknormalan kondisi tubuh. Hal ini seperti pada pengontrolan terhadap peningkatan suhu tubuh melalui produksi keringat. Mekanisme pelebaran pupil mata saat mengalami ancaman juga menjadi salah satu mekanisme kompensasi ini. **Umpan balik negatif** (*feedback negative*) sebagai respons kondisi abnormal. Tubuh melakukan mekanisme ini secara otomatis untuk kembali dalam rentang normal. Sebagai contoh, pada kondisi peningkatan tekanan darah, akan menurunkan rangsangan saraf simpatik dan meningkatkan parasimpatik. Denyut jantung dan kekuatan kontraksi menurun, pembuluh darah dilatasi dan tekanan darah turun dalam kondisi rentang normal kembali. **Umpan balik positif** (*feedback positive*) sebagai respons koreksi ketidakseimbangan tubuh. Salah satu contoh, dalam kondisi kurangnya asupan oksigen dalam jaringan atau hipoksia, maka denyut jantung mengalami peningkatan sehingga oksigen secara cepat dialirkan ke sel tubuh. Mekanisme tubuh umpan balik positif juga terkait ketika kondisi sakit.

Tubuh manusia memiliki banyak sistem yang bekerja sama untuk mempertahankan homeostasis, termasuk sistem saraf, sistem endokrin, dan sistem pernapasan. Misalnya, ketika suhu tubuh meningkat, sistem termoregulasi tubuh akan bekerja untuk mengatur suhu agar kembali ke tingkat normal. Demikian pula, jika kadar glukosa darah meningkat, hormon insulin akan dilepaskan untuk mengaturnya kembali ke tingkat normal.

Homeostasis Tubuh

Keseimbangan cairan tubuh juga diregulasi dari homeostasis ini, seperti keseimbangan elektrolit, tekanan darah, dan pH darah yang optimal. Jika ada ketidakseimbangan dalam salah satu parameter ini, tubuh akan merespons dengan mekanisme yang dirancang untuk memulihkan keseimbangan. Dalam mengeksekusi fungsinya, sistem homeostasis yang kompleks ini melibatkan berbagai organ dan jaringan di dalam tubuh. Tubuh melakukan banyak mekanisme pengaturan, seperti umpan balik negatif, untuk menjaga keseimbangan internal. Dalam memahami mekanisme tubuh terdapat beberapa **konsep homeostasis** yang harus diperhatikan, antara lain:

1. Kondisi stabil homeostasis bertujuan untuk menjaga kondisi internal tubuh agar tetap relatif stabil, meskipun terjadi perubahan di lingkungan eksternal.
2. Sistem homeostasis dapat mendeteksi perubahan dalam lingkungan atau kondisi internal dan merespons untuk mempertahankan keseimbangan.
3. Sistem homeostasis menggunakan mekanisme umpan balik untuk mengatur proses biologis. Umpan balik positif berperan dalam memperkuat perubahan dan umpan balik negatif berperan mengkompensasi atau membatasi perubahan.
4. Salah satu aspek utama homeostasis adalah pengaturan suhu tubuh agar tetap dalam rentang yang optimal untuk mendukung fungsi sel dan enzim.
5. Homeostasis memastikan konsentrasi zat kimia penting, seperti glukosa, oksigen, ion-ion, dan hormon dalam darah tetap dalam batas yang diperlukan.
6. Sistem homeostasis mengontrol tingkat pH dalam cairan

tubuh untuk memastikan suasana yang tepat bagi reaksi biokimia.

7. Mengatur tekanan darah untuk memastikan aliran darah yang memadai ke seluruh tubuh.
8. Menjaga keseimbangan antara air dan elektrolit untuk mendukung fungsi sel.

B. Lengkung Refleks dan Komunikasi Sel

Sistem homeostasis tubuh dikendalikan oleh beberapa mekanisme, termasuk mekanisme umpan balik negatif dan komunikasi antar sel. Salah satu contoh mekanisme yang terkait dengan homeostasis adalah lengkung refleks atau refleks pada sistem saraf. **Lengkung refleks** melibatkan respons otomatis yang timbul sebagai tanggapan terhadap rangsangan eksternal tertentu. Biasanya terdiri dari tiga komponen dasar, yaitu reseptor, pusat pengendali, dan efektor. **Reseptor** merupakan struktur sensitif yang mendeteksi rangsangan dan mengirimkan sinyal ke pusat pengendali. **Pusat pengendali** menerima sinyal tersebut dan memprosesnya. Kemudian, pusat pengendali mengirim sinyal motorik ke **efektor**, yang merupakan organ atau jaringan yang bertanggung jawab atas respons fisik.

Komunikasi sel penting dalam menjaga homeostasis. Sel-sel dalam tubuh berkomunikasi melalui berbagai mekanisme, seperti sinyal kimia dan sinyal listrik. Beberapa jenis komunikasi antarsel termasuk komunikasi melalui **jembatan sel (*gap junctions*)**, pengiriman sinyal melalui molekul **transduksi sinyal**, dan pengiriman sinyal melalui **sistem saraf atau sistem endokrin**. Komunikasi antarsel ini penting dalam mengirimkan informasi dan koordinasi aktivitas seluruh tubuh, memungkinkan tubuh

untuk merespons rangsangan eksternal dan menjaga keseimbangan internalnya.

C. Kelenjar Eksokrin dan Endokrin

Kelenjar Eksokrin merupakan jenis kelenjar yang berperan mengeluarkan produk, dapat berupa zat buangan dan enzim, melalui saluran ke organ dalam atau permukaan tubuh. Seperti, kelenjar keringat yang mengeluarkan keringat untuk membantu mengatur suhu tubuh. Kelenjar minyak pada kulit berperan dalam mengeluarkan sebum untuk menjaga kelembaban kulit. Kelenjar pencernaan, seperti pankreas, dapat mengeluarkan enzim pencernaan ke dalam saluran pencernaan untuk membantu mencerna makanan. Kelenjar eksokrin berperan penting dalam menjaga homeostasis tubuh manusia, melalui pengeluaran berbagai zat ke permukaan epitel melalui saluran.

Kelenjar endokrin merupakan jenis kelenjar yang berperan melepaskan hormon langsung ke dalam aliran darah, tanpa menggunakan saluran (*ductless*). Dengan demikian banyaknya pembuluh darah berada dekat dengan kelenjar ini. Sistem endokrin dan sistem saraf saling terkoordinasi dalam menjaga banyak kegiatan fisiologis tubuh. Berbagai kelenjar yang penting di dalam tubuh manusia beserta hormon yang dihasilkannya, antara lain:

1. **Kelenjar pineal** salah satunya menghasilkan hormon melatonin yang berperan dalam pengaturan ritme biologis.
2. **Hipotalamus** menghasilkan hormon yang berperan dalam *releasing* dan *inhibiting* hormon pada kelenjar hipofisis.
3. **Kelenjar hipofisis (*pituitary*)** terbagi menjadi hipofisis posterior yang mampu menghasilkan hormon oksitosin yang merupakan hormon rasa cinta, dan vasopresin atau ADH

(*antidiuretic hormone*) yang berperan dalam meregulasi air pada ginjal. Hipofisis anterior menghasilkan berbagai hormon, seperti *follicle stimulating hormone* (FSH) dan *lutinizing hormone* (LH) yang berperan dalam menstimulasi ovarium dan testis; *thyroid stimulating hormone* (TSH) yang menstimulasi kelenjar tiroid untuk menghasilkan hormon pertumbuhan; *adrenocorticotrophic hormone* (ACTH) menstimulasi kelenjar adrenal korteks; *growth hormone* (GH) menstimulasi pertumbuhan dan metabolisme; dan prolaktin menstimulasi kelenjar mammae untuk menghasilkan ASI.

4. **Kelenjar tiroid** menghasilkan hormon tiroid (T3 dan T4), berperan dalam proses metabolisme tubuh serta hormon kalsitonin yang berperan dalam menurunkan kadar kalsium di dalam darah.
5. **Kelenjar paratiroid** menghasilkan hormon paratiroid (PTH) yang berperan dalam meningkatkan kadar kalsium darah.
6. **Kelenjar adrenal** terbagi menjadi medula adrenal yang menghasilkan hormon adrenalin (epinefrin dan norepinefrin) berperan dalam meningkatkan kadar glukosa darah pada kondisi cekaman (*stress*) jangka pendek. Korteks adrenal menghasilkan hormon kortikosteroid (kortisol) yaitu hormon *stress* jangka panjang yang terdiri atas glukokortikoid (meningkatkan kadar glukosa darah) dan mineralokortikoid (reabsorpsi natrium dan ekskresi kalium).
7. **Pankreas** terdiri atas sel beta yang menghasilkan hormon insulin. Hormon ini berperan dalam menurunkan kadar glukosa di dalam darah. Sel alfa menghasilkan hormon glukagon yang berperan dalam meningkatkan kadar glukosa di dalam darah.
8. **Ovarium** pada wanita menghasilkan hormon estrogen dan

progesterone, berperan mengatur siklus menstruasi, kehamilan dan karakteristik sekunder wanita.

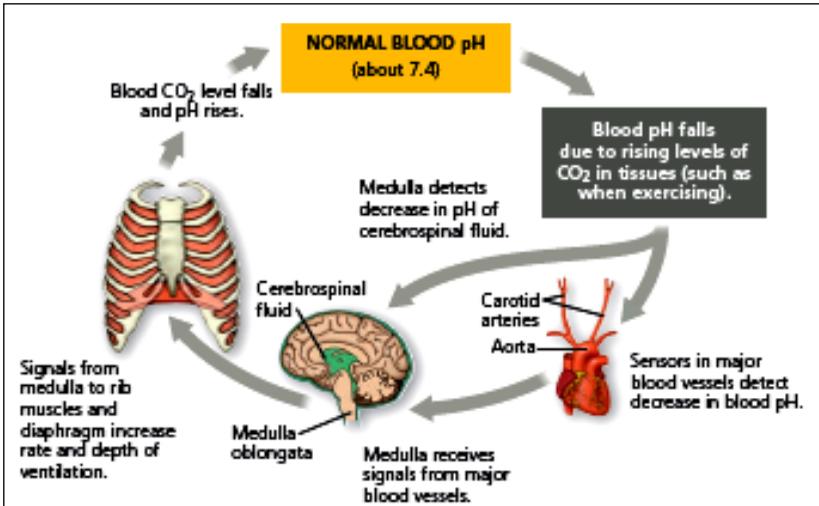
9. **Testis** pada pria menghasilkan hormon androgen (testosteron) yang berperan dalam spermatogenesis dan karakteristik sekunder pria.

D. Pengaturan Keseimbangan Asam Basa

Keseimbangan asam basa adalah suatu keadaan konsentrasi ion hidrogen (H^+) yang dihasilkan sama dengan konsentrasi H^+ yang dikeluarkan sel. Keseimbangan asam basa umumnya berkaitan dengan asam lemah dan basa lemah, serta garamnya dalam ilmu kimia. Hal ini berhubungan erat dengan tinggi atau rendahnya konsentrasi H^+ atau OH^- . Derajat keasaman (pH) normal pada darah manusia yaitu pada rentang antara **7,35 sampai dengan 7,45**. Keseimbangan asam basa harus dipertahankan tubuh dengan tujuan fungsi organ dan metabolisme berjalan optimal. Organ yang paling berperan dalam mengatur keseimbangan asam basa tersebut adalah **paru-paru** dan **ginjal**. Paru-paru berperan dalam proses pelepasan karbondioksida (CO_2), sedangkan ginjal berperan dalam proses pelepasan asam (H^+). Beberapa prinsip yang perlu diketahui terlebih dahulu dalam memahami mekanisme pengaturan keseimbangan asam basa, antara lain kondisi dimana pH darah $<7,35$ disebut **asidosis** sedangkan **alkalosis** pada kondisi pH $>7,45$. Asidosis terjadi apabila komponen asam meningkat atau berkurangnya jumlah komponen basa, dan sebaliknya keadaan alkalosis. **CO_2** berperan sebagai komponen asam dan respiratorik dengan nilai normal adalah 40 mmHg. **Bikarbonat (HCO_3^-)** berperan sebagai komponen basa dan metabolik dengan nilai normal adalah 24 mEq/L.

Keseimbangan antara produksi dan pembuangan H^+ harus setara untuk menjaga homeostasis pH darah. Kelebihan asam (H^+) akan dibuang melalui ginjal dalam urin. Mekanisme pengaturan keseimbangan asam basa dalam cairan ekstraseluler dan intraseluler melibatkan darah, sel-sel, dan paru-paru. Rentang normal konsentrasi H^+ darah sekitar 0,00004 mEq/L (40 nEq/L). Pengaturan keseimbangan asam basa juga dilakukan oleh paru-paru. Kondisi aktivitas fisik, seperti berolahraga, menyebabkan meningkatnya kadar CO_2 di dalam darah. Hal tersebut membuat pH darah menurun. Penurunan pH dapat dideteksi oleh sensor pada pembuluh darah **arteri karotid** pada jantung dan terdeteksi oleh medula adanya penurunan pH pada **cairan serebrospinal**. Medula menangkap sinyal dari pembuluh karotid dan cairan serebrospinal, memberikan sinyal kepada otot tulang rusuk untuk meningkatkan laju diafragma dan pertukaran udara di paru-paru, istilah ini yang kita sebut sebagai **hiperventilasi** atau ngos-ngosan (Gambar 3.2). Kadar CO_2 akan menurun dalam darah dan pH naik kembali pada rentang normal. Rentang 6,8 sampai 8 merupakan batas bawah dan atas pH dimana seseorang masih dapat hidup lebih dari beberapa jam. Asam dihasilkan dari proses metabolisme sel, menyebabkan pH intraseluler lebih rendah dibandingkan ekstraseluler. Kondisi hipoksia dapat menurunkan pH akibat berkumpulnya asam intraseluler. Sedangkan pH urin normal memiliki rentang 4,5 sampai 8,0, hal ini sangat bergantung pada kondisi pH cairan ekstraseluler.

Homeostasis Tubuh



Gambar 3.2 Homeostasis asam basa melalui sistem pernapasan. pH darah akan menurun (asam) saat tingginya CO₂ di dalam darah, seperti saat berolahraga. Mekanisme tubuh untuk mengembalikan pH pada rentang normal melalui mekanisme hiperventilasi (sumber gambar: Campbell & Reece, 2016).

DAFTAR PUSTAKA

- Abramowitz M. (2014). *Acid-Base Balance and Physical Function*. Clinical Journal of the American Society of Nephrology;9(12):2030-2032.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2016). *Biology*. Pearson.
- Fencel V, Jabor A, Kazda A, & Figge J. (2000). *Diagnosis of Metabolic Acidbase Disturbances in Critically Ill Patients*. Am J Respir Crit Care Med. Dec;162(6):2246-51.
- Ganong. W. F. (2005). *Review of Medical Physiology*. 23 ed. United-States America. McGraw-Hill Companies inc.
- Guyton, A. C. & Hall. J. E. (2006). *Textbook of Medical Physiology*. 11 ed. Philadelphia, Pennsylvania: Elsevier.
- Kellum J. A. (1999). *Diagnosis and Treatment of Acid-Base Disorders*. In: *Textbook of Critical Care*, W.B. Saunders Co, Philadelphia, PA. Grenvik A, Shoemaker PK, Ayers S, Holbrook (eds). pp839-853.
- Martini F., Nath J. L. & Bartholomew E. F. (2012) *Fundamental of anatomy and physiology*. 9th edition. Benjamin Cummings.
- Morfei J. (1999). *Stewart's Strong Ions Difference Approach to Acid-Base Analysis*. Respir Care;44(1):45-52.
- Sherwood, L. (2010). *Human Physiology: From Cells to Systems*. 7 ed. Canada: Nelson Education, Ltd.
- Silverthorn, D.U. (2010). *Human Physiology: an Integrated Approach*. 5 ed. San Fransisco: Pearson Education.
- Tortora & Derrickson, B. (2006). *Principles of Anatomy and Physiology*. 11th edition, John Wiley and Sons, Inc.

BIODATA PENULIS

Gita Wideani, S.Si., M.Biomed., lahir di Serang, tanggal 26 Januari 1990. Penulis telah menyelesaikan studi strata satu di Program Studi Biologi Universitas Indonesia (2011) dan menyelesaikan strata dua di Program Studi Ilmu Biomedik di Universitas Indonesia pada tahun 2018. Saat ini penulis mengajar pada Prodi DIV Teknologi Laboratorium Medis (TLM) di STIKes KESOSI Jakarta.



BAB 4

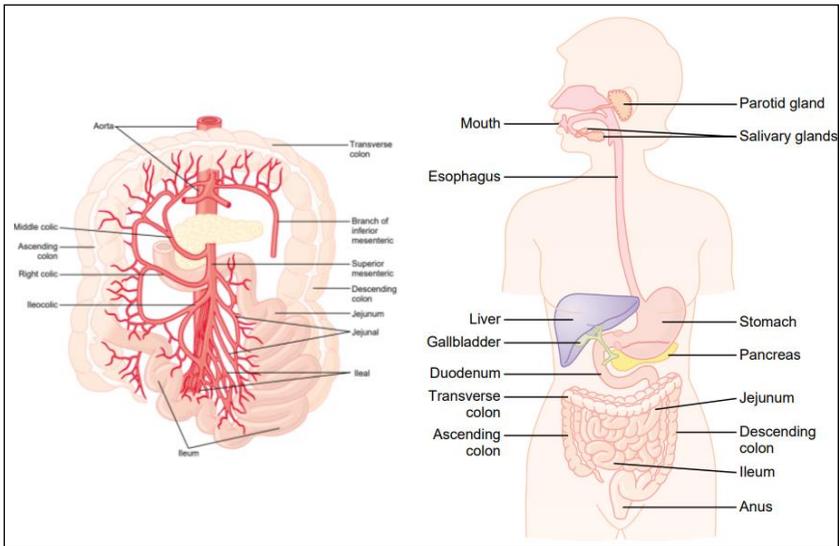
DIGESTI DAN METABOLISME TUBUH

Rizky Kusuma Wardani, S.Si., M.Biomed.
rizkykwardani@gmail.com

A. Sistem Digesti

Saluran digesti (**pencernaan**) mempunyai panjang mencapai 5 meter, terdiri dari organ digesti dan organ aksesori. Makanan diterima dan dicerna menjadi energi kemudian dikeluarkan melalui anus. **Organ digesti** meliputi rongga mulut, kerongkongan dan lambung (digesti atas) serta usus halus dan usus besar (digesti bawah). **Organ aksesori** meliputi kelenjar ludah, pankreas, hati dan kandung empedu. Organ aksesori akan menyekresi zat yang akan dikirim ke lumen saluran digesti dan membantu proses pencernaan dan penyerapan. Makanan akan dicerna oleh berbagai enzim dimulai dari dalam mulut, kemudian lambung hingga usus halus. Zat nutrisi yang merupakan komponen paling sederhana akan masuk ke dalam pembuluh darah untuk diedarkan ke dalam sel tubuh. Makanan akan melalui organ digesti sekaligus dilakukan pemrosesan secara berurutan dimulai di rongga mulut, kerongkongan (esofagus), lambung (maag), usus halus (intestinal), usus besar (kolon) dan anus (rektum). Rangkaian sistem digesti dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Digesti dan Metabolisme Tubuh



Gambar 4.1 Organ digesti. Makanan mulai dicerna dari mulut hingga usus besar dan zat sisa yang tidak diserap akan dikeluarkan melalui anus. Sepanjang usus halus hingga usus besar, banyak pembuluh darah yang berperan menerima serapan nutrisi untuk diedarkan ke seluruh sel tubuh (sumber gambar: Guyton & Hall, 2006).

Mulut merupakan organ pertama yang berperan dalam proses digesti makanan. Makanan dicerna secara **mekanik** dengan cara dikunyah gigi. Enzim yang dihasilkan bersama saliva akan membantu proses digesti secara **kimiawi**. **Kelenjar saliva** menyekresi saliva sekitar 1 L/hari yang terdiri dari 99,5% air berperan dalam melarutkan makanan. Kerja kelenjar saliva dipengaruhi oleh sistem saraf parasimpatis dan simpatis. Saliva menyekresi enzim **α -amilase (ptialin)** sebagai enzim utamanya

yang berperan dalam menghidrolisis amilum atau pati (polisakarida) pada ikatan α 1-4 glikosida menjadi karbohidrat yang lebih sederhana. Selain α -amilase, juga terdapat lipase yang diproduksi oleh kelenjar serosa di lidah dan bagian belakang mulut. **Lipase** ini menghidrolisis triasilgliserol atau trigliserida (lipid) makanan di lambung, namun aktivitasnya berkurang seiring bertambahnya usia.

Kerongkongan memiliki panjang sekitar 25 cm, makanan yang bercampur dengan saliva (bolus) bergerak dari rongga mulut ke kerongkongan yang disebut sebagai **proses menelan**. Pada kerongkongan dan seluruh saluran digesti terdapat katup (sfingter) yang memungkinkan terjadinya perpindahan makanan dari satu bagian saluran digesti kebagian lainnya. Tekanan sfingter akan menurun saat kita menelan makanan, sehingga makanan berpindah dari kerongkongan ke lambung.

Lambung saat kosong (istirahat) memiliki volume sekitar 50 mL dan mampu mengembang sehingga dapat menampung 1-1,5 L makanan. Proses digesti difasilitasi oleh cairan lambung yang diproduksi dalam jumlah besar oleh kelenjar di badan lambung. Lambung dilapisi sel epitel yang mengandung jutaan kelenjar lambung. Konstituen utama cairan lambung meliputi air, elektrolit, asam klorida (HCl), enzim, dan lendir. Tingginya konsentrasi **HCl** dalam lambung membuat **pH lambung asam**. HCl dalam lambung berperan dalam membunuh bakteri yang tertelan bersamaan dengan makanan (**agen bakterisida**), mengaktifasi **zimogen (pepsinogen)**, **mendenaturasi protein** (membuka konformasi sehingga lebih mudah dihidrolisis), dan **memecah nutrisi** dari kompleks organik. Setelah bolus makanan memasuki lambung, maka bolus akan bercampur dengan cairan lambung dan membentuk kimus semi cair kental. Kimus dicerna dalam lambung

dengan **gerak peristaltik** akan dilepaskan secara berkala ke usus dua belas jari atau duodenum. Kondisi lambung yang asam menyebabkan hanya **enzim proteolitik** yang dapat bekerja dengan optimal. Protein dalam makanan diubah menjadi asam amino oleh serangkaian enzim pemecah protein. **Pepsin** merupakan enzim proteolitik utama di lambung. Pepsinogen disekresikan dalam bentuk butiran yang distimulasi oleh asetilkolin, asam atau keduanya. Pepsinogen diubah menjadi pepsin, yaitu suatu protease yang aktif dalam lingkungan **pH <5 (optimal pH 3,5)** atau dapat aktif oleh pepsin yang telah terbentuk sebelumnya. Pepsin menghidrolisis ikatan peptida bagian dalam protein (**endopeptidase**). Enzim α -amilase yang berasal dari rongga mulut akan terdenaturasi oleh rendahnya pH lambung dan menjadi tidak aktif. Enzim lipase dari mulut akan mengkatalisis hidrolisis triasilgliserol menjadi asam lemak rantai pendek dan sedang (≤ 12 atom karbon) serta gliserol.

Usus halus merupakan tempat utama digesti dan penyerapan nutrisi. Lapisan mukosa usus halus mempunyai luas permukaan sekitar 300 m^2 , memungkinkan terjadinya penyerapan nutrisi secara maksimal. Sebagian besar enzim pencernaan dihasilkan sel mukosa usus tertanam dalam **brush border**. Enzim tersebut menghidrolisis sebagian nutrisi yang sudah dicerna, terutama karbohidrat dan protein. **Pankreas** menyekresikan **bikarbonat** dan **α -amilase** ke usus halus. Bikarbonat akan meningkatkan pH dari bolus makanan yang berasal dari lambung. Selain α -amilase, aktivitas **disakaridase** (seperti laktase, sukrase, maltase dan isomaltase) terjadi di mikrovili sel mukosa usus. Disakaridase akan menghidrolisis disakarida menjadi monosakarida yang kemudian diserap oleh tubuh. **Laktase** mengkatalisis pemecahan laktosa menjadi galaktosa dan glukosa,

sukrase mengkatalisis pemecahan fruktosa dan glukosa, **maltase** mengkatalisis pemecahan maltosa menjadi dua glukosa, dan **isomaltase** menghidrolisis ikatan α 1-6 isomaltosa, disakarida dari pemecahan amilopektin menjadi dua glukosa. Sedangkan lipid makanan bersifat hidrofobik, sehingga perlu diemulsifikasi dahulu oleh **garam empedu** agar lebih mudah dicerna. **Emulsifikasi** meningkatkan luas permukaan lipid makanan yang meningkatkan ikatan antara lipid dengan enzim pencernaan. Enzim pemecahan lemak makanan adalah **esterase** yang memecah ikatan ester dalam triasilgliserol (**lipase**), fosfolipid (**fosfolipase**) dan kolesterol ester (**kolesterol esterase**). Lipase pankreas akan mengkatalisis hidrolisis triasilgliserol menjadi asam lemak bebas dan gliserol. Asam lemak dan gliserol disintesis kembali membentuk triasilgliserol di dalam sel epitel usus. **Triasilgliserol** yang bersifat hidrofobik diangkut dalam bentuk **lipoprotein**. Sel usus juga mengemas triasilgliserol bersama dengan protein, fosfolipid dan kolesterol dalam bentuk **kilomikron**. Kilomikron disekresikan ke dalam sistem limfatik dan masuk ke dalam darah melalui duktus torasikus. **Proenzim atau zimogen** disekresikan oleh pankreas dan mencerna protein dan polipeptida. Zimogen diubah menjadi enzim aktifnya di usus halus. **Enteropeptidase** disekresikan oleh sel *brush border* usus halus untuk mengaktifkan tripsin dari tripsinogen. Tripsin akan mengaktifkan kimotripsin (bentuk aktif dari kimotripsinogen), elastase (bentuk aktif dari proelastase) dan karboksipeptidase (bentuk aktif dari prokarboksipeptidase). **Tripsin** mengkatalisis pemutusan ikatan peptida yang terikat dengan asam amino yang bersifat basa (lisin, arginin). **Kimotripsin** mengkatalisis pemutusan ikatan peptida yang terikat dengan asam amino yang bersifat aromatik (fenilalanin, tirosin dan triptofan)

serta ikatan peptida terikat dengan metionin, asparagin dan histidin. **Elastase** menghidrolisis polipeptida menjadi fragmen yang lebih kecil (alanin, glisin dan serin). **Karboksipeptidase A** menghidrolisis peptida pada asam amino hidrofobik, dan **karboksipeptidase B** menghidrolisis asam amino basa bebas sebagai produk akhir (arginin dan lisin).

Panjang **usus besar** sekitar 1,5 m dengan diameter yang lebih besar dari usus halus. Nutrisi yang tidak terserap di usus halus akan menuju usus besar. Epitel kolon menyerap natrium, klorida dan air lebih efektif dibandingkan mukosa usus halus. Sekitar 90-95% natrium dan air yang masuk ke dalam kolon diserap. Penyerapan natrium dipengaruhi oleh hormon, antara lain **hormon antidiuretik (ADH)** mampu menurunkan penyerapan natrium, sebaliknya hormon **glukokortikoid** dan **mineralokortikoid** mampu meningkatkan penyerapan natrium di kolon. Lendir disekresi oleh mukosa kolon melindungi dinding usus dari aktivitas bakteri serta menyediakan media untuk mengikat feses menjadi satu. **Bikarbonat** menyediakan lingkungan basa yang membantu menetralkan asam yang dihasilkan oleh bakteri kolon. **Mikroflora usus** memecah sisa karbohidrat dan protein yang belum tercerna di usus halus. Proses ini terjadi secara anaerobik yang disebut juga fermentasi. Fermentasi menghasilkan asam lemak rantai pendek dan gas. Hasil fermentasi yang tidak terserap oleh kolon akan dikeluarkan sebagai feses melalui anus.

B. Organ Aksesori Digesti

Terdapat organ yang tidak berperan langsung dalam pencernaan tetapi turut memfasilitasi proses pencernaan dan penyerapan nutrisi di usus halus. Organ tersebut adalah kelenjar

ludah, pankreas, hati dan kantung empedu. Penjelasan peran organ tersebut dalam pencernaan dan penyerapan nutrisi akan dijelaskan sebagai berikut.

1. **Kelenjar ludah** mengeluarkan saliva ke dalam rongga mulut. Makanan akan bercampur dengan saliva selama pengunyahan. Saliva mengandung air, lendir dan enzim α -amilase. Saliva mempunyai fungsi, antara lain membersihkan gigi, melembabkan dan melumasi makanan, melarutkan molekul sehingga makanan dapat dicicipi, mencerna makanan secara enzimatik dan memecah polisakarida menjadi sakarida sederhana.
2. **Pankreas** merupakan organ yang mengeluarkan hormon pencernaan, enzim pencernaan dan bikarbonat. Pankreas menyekresi getah pankreas yang distimulasi oleh hormon dan sistem saraf parasimpatis. **Hormon sekretin** merangsang pankreas untuk mengeluarkan air, bikarbonat dan enzim pankreas. Enzim yang disekresi oleh pankreas mencerna makromolekul, antara lain karbohidrat, protein dan lemak. Pankreas menyekresi enzim protease seperti tripsinogen, kimotripsinogen, proelastase, prokarboksipeptidase dan kolagenase ke duodenum. Enzim α -amilase, lipase dan kolipase juga disekresi oleh pankreas untuk mencerna karbohidrat dan lemak.
3. **Hati** merupakan organ internal terbesar dalam tubuh dan tempat metabolisme utama terjadi. Hati terletak pada rongga perut sebelah kanan atas di bawah diafragma, hati terbagi menjadi dua lobus besar dan dua lobus kecil. Hati mempunyai banyak fungsi yang penting bagi metabolisme. Adapun fungsi hati, antara lain sintesis dan menyimpan glikogen sesuai

kebutuhan, sintesis garam empedu, sintesis protein plasma, sintesis kolesterol, trigliserida dan lipoprotein, memecah produk limbah dan zat beracun.

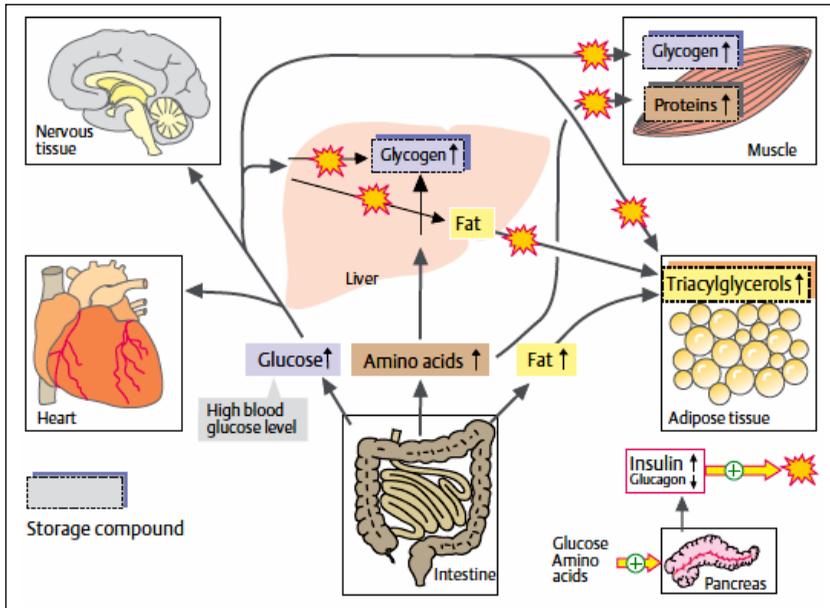
4. **Kantung empedu** merupakan organ kecil dengan kapasitas sekitar 40-50 mL yang terletak di permukaan hati. Kantung empedu menyimpan empedu yang disintesis oleh hati, yang akan disekresikan saat pencernaan lipid di usus halus. **Hormon kolesistokinin** merangsang kantung empedu untuk melepaskan empedu ke lumen usus, sebaliknya **hormon somatostatin** menghambat sekresi empedu. **Empedu** adalah cairan berwarna kuning kehijauan yang terdiri atas asam empedu, garam, kolesterol, fosfolipid dan pigmen empedu yang dilarutkan dalam larutan basa. Asam dan garam empedu membentuk sebagian besar empedu yang berperan sebagai detergen untuk mengemulsi lipid. Asam dan garam empedu bersama fosfolipid menyerap lipid dengan membentuk kompleks kecil berbentuk bola yang disebut **misel**.

C. Metabolisme Tubuh Setelah Makan (Kenyang)

Konsentrasi glukosa darah merupakan faktor utama dalam meregulasi kadar glukosa darah dan hormon. Kadar glukosa darah setelah makan akan meningkat dan merangsang **sel beta pankreas** menyekresi **insulin** (Gambar 4.2). Sebaliknya, kadar **glukagon** akan menurun sebagai respons kadar glukosa darah yang meningkat tersebut. Makanan diserap oleh usus halus masuk ke aliran **vena porta hepatika** menuju hati. Glukosa yang masuk sel hati sebagian besar akan dioksidasi menjadi energi **ATP** melalui respirasi seluler dan sisanya menjadi polisakarida kembali sebagai glikogen, disebut **glikogenesis**. **Glikogen** akan disimpan di dalam **sel hati** dan **otot**,

Digesti dan Metabolisme Tubuh

namun apabila berlebih maka glukosa tersebut akan diubah menjadi **triasilgliserol** dalam pengemasan **lipoprotein**. Proses pembentukan triasilgliserol di hati disebut **lipogenesis**.



Gambar 4.2 Metabolisme tubuh setelah makan (kenyang). Kadar glukosa, asam amino dan lipid di dalam darah yang meningkat akan merangsang pankreas untuk menyekresikan insulin. Insulin yang tinggi memicu sel hati dan otot meningkatkan penyimpanan energi dalam bentuk glikogen. Penyimpanan triasilgliserol di dalam sel adiposa. Glukosa sebagai sumber energi utama sistem kardiovaskuler dan saraf otak (sumber gambar: Koolman & Roehm, 2005).

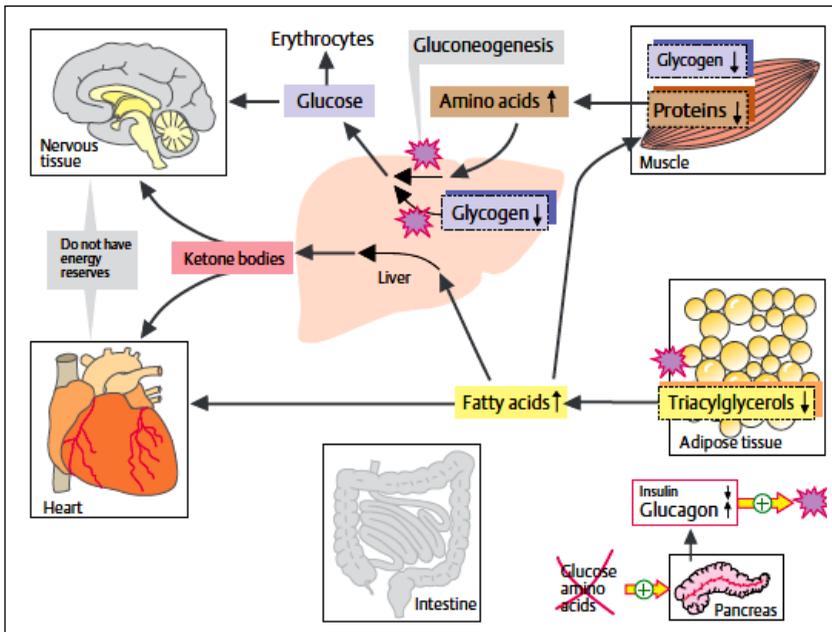
Triasilgliserol dikemas di dalam sel hati dalam bentuk **very low-density lipoprotein (VLDL)** kemudian diedarkan dalam sirkulasi darah menuju ke sel adiposa. Lipogenesis diregulasi oleh beberapa enzim, antara lain **lipoprotein lipase (LPL)**. LPL terikat pada sel endotel kapiler di otot dan adiposa, berperan menghidrolisis triasilgliserol menjadi gliserol dan asam lemak. Sekresi LPL distimulasi akibat rangsangan insulin terhadap sel adiposa. Penyerapan asam amino di usus halus setelah makan, terutama akan diedarkan ke seluruh tubuh untuk disimpan kembali menjadi protein. **Biosintesis protein** terutama terjadi pada sel hati dan otot. Namun, hanya sebagian kecil saja dioksidasi menghasilkan energi ATP di hati. Proses biosintesis protein ini melalui rangkaian tahap, yaitu **transkripsi** dan **translasi** yang diatur oleh DNA sebagai materi genetik pusat sel.

D. Metabolisme Tubuh Ketika Lapar (Puasa)

Kadar glukosa darah akan meningkat hingga 1 jam setelah makan, kemudian setelahnya menurun seiring dengan konversi glukosa darah menjadi ATP. Kadar glukosa darah kembali dalam **kondisi puasa**, sekitar rentang 80-100 mg/dL, setelah 2 jam makan. Kadar glukosa darah yang menurun tersebut, menyebabkan sekresi insulin menurun namun meningkatkan kadar glukagon dalam darah. **Sel alfa pankreas** akan menstimulasi **glukagon** dalam kondisi rendah glukosa atau puasa tersebut (Gambar 4.3). Hati merespons glukagon dengan melepaskan glukosa ke dalam darah agar kembali normal melalui pemecahan glikogen, disebut **glikogenolisis**. Glukosa tidak hanya dihasilkan dari proses glikogenolisis, namun hati juga memecah senyawa lain, seperti asam laktat, gliserol dan asam amino menjadi sumber glukosa, terutama

saat puasa lebih dari 4 jam. Proses pemecahan senyawa lain selain glikogen menjadi sumber glukosa darah disebut **glukoneogenesis**. Asam laktat didapatkan dari produk glikolisis di dalam sel darah merah dan otot. Gliserol dihasilkan dari pemecahan triasilgliserol di adiposa, disebut **lipolisis**. Selain gliserol, asam lemak menjadi sumber ATP utama dalam kondisi puasa dengan hasil oksidasi lainnya berupa **CO₂** dan **H₂O**, disebut **beta oksidasi**. Asam lemak diubah menjadi senyawa intermediet **asetil KoA** sebelumnya di dalam sel hati kemudian menjadi ATP. Proses pemecahan tersebut memerlukan oksigen dalam jumlah cukup. Namun, sebagian besar asetil KoA tersebut tidak masuk dalam siklus Krebs's dalam jalur respirasi seluler aerob, tetapi diubah menjadi badan keton, disebut **ketogenesis**. Badan keton bersifat asam dan dapat menurunkan pH darah, sehingga kelebihan badan keton ini akan dibuang melalui urin. Senyawa badan keton terdiri atas tiga macam yaitu **asetoasetat**, **β-hidroksibutirat** dan **aseton**. Asam amino berasal dari pemecahan protein di dalam sel hati. **Asam amino glukogenik** yang akan dikonversi menjadi glukosa untuk menjaga kadar glukosa darah saat puasa lebih dari 8 jam. Sebelumnya asam amino diubah menjadi senyawa intermediet, antara lain asam piruvat dan senyawa dalam siklus Kreb's. Selain itu, sebagian kecilnya asam amino dapat diubah menjadi senyawa intermediet asetil KoA dan badan keton, disebut **asam amino ketogenik**. Asam amino didegradasi membentuk **amoniak**, bersifat toksik pada tubuh, sehingga hati mengubah amoniak menjadi urea dalam mekanisme yang disebut **siklus urea**. **Urea** bersifat tidak toksik dan lebih larut dalam air, kelebihanannya akan disekresikan melalui urin dalam ginjal. Apabila kita tidak mengkonsumsi makanan selama 12 jam, maka masuk ke **kondisi basal tubuh**. Seseorang

dianggap berada dalam keadaan basal jika berpuasa semalaman atau tidak mengonsumsi makanan sejak makan malam.



Gambar 4.3 Metabolisme tubuh ketika lapar (puasa). Kadar glukosa di dalam darah yang menurun akan merangsang pankreas untuk menyekresikan glukagon. Glukagon yang tinggi memicu sel hati untuk memecah glikogen menjadi glukosa dalam menjaga kadar glukosa darah tetap rentang normal. Sel saraf otak dan eritrosit memanfaatkan glukosa sebagai sumber energi utama. Sedangkan sistem kardiovaskuler dan otak (tidak utama) memanfaatkan badan keton dari pemecahan asam lemak, sebagai sumber energi sampingan (sumber gambar: Koolman & Roehm, 2005).

DAFTAR PUSTAKA

- Abumrad, N. A., Nassi, F., & Marcus, A. K. I. V. A. (2016). *Digestion and Absorption of Dietary Fat, Carbohydrate, and Protein. Fordtran's Gastrointestinal and Liver Disease*.
- Bender, D. A., & Cunningham, S. M. (2021). *Introduction to Nutrition and Metabolism*. CRC Press.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2015). *Biochemistry*. New York: WH Freeman and Company.
- Brody, T. (1999). *Nutritional Biochemistry*. San Diego: Academic Press.
- Gropper, S. S., & Smith, J. L. (2013). *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. Cengage Learning.
- Guyton, A. C. & Hall, J. E. (2006). *Textbook of Medical Physiology*. Philadelphia: Elsevier Inc.
- Koolman, J. & Roehm, K. H. (2005). *Color Atlas of Biochemistry*. 2nd ed. New York: Thieme Stuttgart.
- Mahan, L. K., & Raymond, J. L. (2016). *Krause's Food & the Nutrition Care Process*. Elsevier Health Sciences.
- Puri, D. (2011). *Textbook of Medical Biochemistry*. 3rd ed.. Puri D (Ed.). New Delhi: Elsevier.
- Rodwell, V. W., Bender, D., Botham, K. M., Kennely, P. J. & Weil, P. A. (2015). *Harper's Illustrated Biochemistry*. McGraw-Hill.
- Rosenthal, M. D., & Glew, R. H. (2011). *Medical Biochemistry: Human Metabolism in Health and Disease*. John Wiley & Sons.
- Sensoy, I. (2021). *A Review on the Food Digestion in the Digestive Tract and the Used in Vitro Models*. Current research in food science, 4, 308-319.

Digesti dan Metabolisme Tubuh

Smith, C., Marks, A. D., & Lieberman, M. (2005). *Marks' Basic Medical Biochemistry: a Clinical Approach*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

BIODATA PENULIS

Rizky Kusuma Wardani, S.Si., M.Biomed., lahir di kota Salatiga, Jawa Tengah 6 Juni 1986. Jenjang Pendidikan S1 Kimia Murni ditempuh di Universitas Diponegoro, Semarang lulus tahun 2009 dan Pendidikan S2 Ilmu Biomedik peminatan Biokimia di Universitas Indonesia, Jakarta lulus tahun 2016. Saat ini mengajar di Jurusan Gizi Poltekkes Kemenkes Palangka Raya.



BAB 5

RESPIRASI DAN KARDIOVASKULER

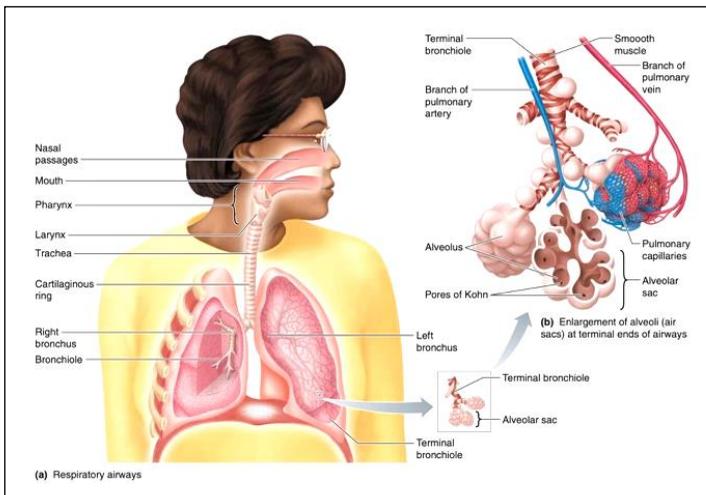
Ns. Diah Ayu Aguspa Dita, S.Kep., M.Biomed.
diahayuaguspada@unib.ac.id

A. Definisi Respirasi

Kata **respirasi** memiliki banyak makna dalam bidang fisiologi. **Respirasi selular** merujuk pada reaksi intraselular antara **oksigen (O₂)** dan **glukosa** menghasilkan **ATP**, **karbon dioksida (CO₂)** dan **air (H₂O)**. **Respirasi eksternal** merupakan pertukaran antara udara dengan lingkungan dan sel tubuh. Secara garis besar, respirasi eksternal atau sistem respirasi, terdiri dari empat proses, yaitu pertukaran udara antara atmosfer dan paru-paru (ventilasi), dilanjutkan dengan pertukaran O₂ dan CO₂ antara paru-paru dan kapiler darah, transpor di dalam darah, dan pertukaran antara darah dan sel. Ventilasi atau bernapas terdiri dari dua proses yaitu inspirasi dan ekspirasi. **Inspirasi** merupakan proses masuknya udara menuju paru-paru, sementara **ekspirasi** merupakan proses keluarnya udara dari paru-paru. Mekanika terjadinya satu siklus ventilasi dikenal dengan istilah **mekanika pernapasan**.

B. Anatomi dan Fisiologi Sistem Respirasi

Sistem respirasi terdiri atas saluran napas, paru-paru, dan rongga dada atau *thorax* (Gambar 5.1). **Saluran napas** berperan sebagai saluran yang membawa udara dari atmosfer menuju ke tempat pertukaran gas. Udara dari atmosfer akan dibawa masuk ke dalam paru melalui **rongga hidung**, yang selanjutnya menuju ke faring. **Faring** merupakan saluran bersama sistem respirasi dan sistem digesti. Dari faring, udara akan masuk menuju trakea dan diantarkan ke paru-paru.



Gambar 5.1 Anatomi sistem respirasi. a) Saluran napas yang terdiri dari rongga hidung, faring, laring, trakea, bronkus, dan bronkiolus. b) alveolus yang tersusun atas banyak alveoli (kantung udara) (sumber gambar: Sherwood, 2016).

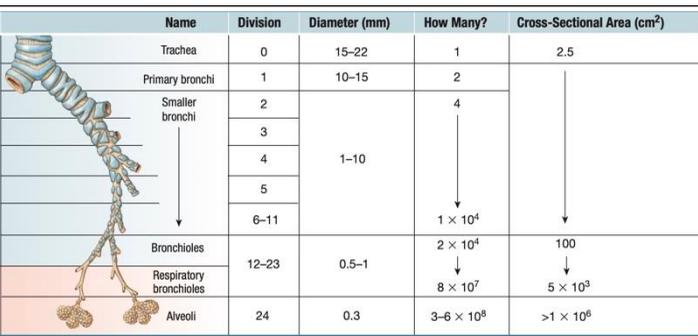
Secara normal udara akan masuk melalui rongga hidung. Akan tetapi, pada beberapa kondisi seperti adanya sumbatan pada

rongga hidung, udara dapat masuk melalui rongga mulut. Faring memiliki suatu mekanisme refleks, menyebabkan trakea tertutup saat menelan sehingga makanan masuk ke **esofagus**. Sebaliknya, esofagus hanya akan terbuka saat proses menelan, sehingga udara tidak masuk menuju lambung selama bernapas. **Laring** berperan sebagai jalur masuk udara menuju ke trakea. Percabangan **trakea** berupa **bronkus kanan** dan **bronkus kiri**. Bronkus selanjutnya bercabang secara progresif menjadi lebih kecil, lebih pendek dan lebih banyak. Cabang terkecil bronkus adalah **bronkiolus terminal** atau **bronkiolus respiratorik**. Terminal bronkiolus bercabang menjadi alveolus. **Alveolus** merupakan suatu lapisan tipis yang menjadi tempat pertukaran gas. Secara anatomi, rongga hidung, mulut, faring, dan laring akan membentuk **traktus respiratorik atas** atau saluran napas bagian atas. Sementara, trakea, bronkus, bronkiolus, alveolus, dan paru akan membentuk **traktus respiratorik bawah** atau saluran napas bagian bawah.

Secara fisiologi, sistem respirasi terbagi menjadi zona konduksi dan zona respiratorik (Gambar 5.2). **Zona konduksi** berperan untuk menghangatkan, melembabkan dan menyaring udara sebelum terjadinya pertukaran udara. Zona konduksi dilapisi oleh mukus dan sel silia yang akan menahan partikel-partikel kotoran yang terhirup. Zona konduksi dan zona respiratorik harus terbuka sehingga udara dapat keluar dan masuk paru-paru. Struktur kaku trakea dan bronkus primer disebabkan adanya cincin kartilago untuk mencegah terjadinya kompresi saluran napas. Akan tetapi bronkiolus tidak memiliki cincin kartilago, namun dindingnya terdiri dari otot polos. Dengan demikian, bronkiolus dikontrol oleh aktivitas sistem saraf simpatis dan parasimpatis. Aktivitas saraf simpatis melalui neuron adrenergik simpatis akan mengaktifkan

Respirasi dan Kardiovaskuler

reseptor β_2 pada otot polos bronkial yang akan menyebabkan **bronkodilatasi**. Sebaliknya, aktivitas saraf parasimpatis melalui neuron kolinergik parasimpatis akan mengaktifkan reseptor muskarinik pada otot polos bronkial, yang akan menyebabkan bronkokonstriksi. Perubahan diameter dari zona konduksi ini akan mempengaruhi perubahan resistensi atau tahanan jalan napas dan selanjutnya akan mempengaruhi laju aliran udara saat proses ventilasi. **Zona respiratorik** merupakan area pertukaran gas. Zona respiratorik ini memiliki struktur yang tidak bersilia dan sedikit otot polos. **Alveoli** merupakan sekelompok kantung dan ductus yang menjadi tempat pertukaran gas. Alveolus tersusun atas sel alveolar tipe I dan sel alveolar tipe 2. Dinding antara alveolus dan kapiler darah pulmonal dibentuk dari **sel alveolar tipe I**, sementara **sel alveolar tipe II** akan menyekresikan surfaktan yang akan berperan dalam penurunan tegangan permukaan alveolus.



System Name	Name	Division	Diameter (mm)	How Many?	Cross-Sectional Area (cm ²)	
Conducting system	Trachea	0	15-22	1	2.5	
	Primary bronchi	1	10-15	2	↓	↓
		Smaller bronchi		2		
		3				
		4				
		5				
		6-11		1×10^4		
	Bronchioles	12-23	0.5-1	2×10^4	100	
Exchange surface	Respiratory bronchioles			8×10^7	5×10^3	
	Alveoli	24	0.3	$3-6 \times 10^8$	$>1 \times 10^6$	

Gambar 5.2 Zona konduksi dan zona respiratorik. Zona konduksi tersusun atas trakea, bronkus primer, hingga bronkiolus. Zona respiratorik tersusun atas bronkiolus respiratori hingga alveoli. Zona respiratorik sebagai tempat pertukaran gas terutama O_2 dengan CO_2 (sumber gambar: Silverthorn, 2019).

Paru-paru merupakan organ yang berisi udara. Paru-paru terbagi menjadi **paru kanan** yang terbagi menjadi tiga lobus, yaitu lobus superior, lobus media, dan lobus inferior dan **paru kiri** yang terbagi menjadi dua lobus, yaitu lobus superior dan inferior. Paru-paru tersusun atas jaringan ikat yang elastis. Perubahan volume paru saat proses ventilasi dipengaruhi oleh perubahan dimensi rongga dada. Rongga dada dibentuk oleh 12 pasang *costae*, yang melengkung dan menempel pada sternum pada bagian anterior dan vertebrae torakal pada bagian posterior. Rongga dada berperan dalam melindungi paru-paru dan jantung. Dasar rongga dada terdapat **diafragma** sebagai pemisah antara rongga dada dan abdomen.

C. Mekanika Pernapasan

Udara cenderung akan bergerak mengikuti gradien tekanan, dari tekanan tinggi menuju tekanan rendah. Udara akan bergerak masuk dan keluar paru selama proses ventilasi mengikuti gradien tekanan yang diciptakan oleh alveolus dan atmosfer selama ventilasi. Tekanan yang penting dalam proses ventilasi, yaitu tekanan atmosfer, tekanan intraalveolus atau tekanan intrapulmonal dan tekanan intrapleural atau tekanan intratorakal. **Tekanan atmosfer** merupakan tekanan yang dihasilkan oleh berat udara di atmosfer pada permukaan bumi sebesar 760 mmHg. **Tekanan intrapulmonal** merupakan tekanan yang berada di dalam alveolus. Udara akan segera bergerak mengikuti gradien tekanan ketika terjadi perbedaan tekanan antara tekanan atmosfer dan tekanan intrapulmonal sampai kedua tekanan tersebut ekuilibrium. **Tekanan intrapleural** merupakan tekanan yang berada di rongga pleura paru sebesar 756 mmHg. Tekanan intrapulmonal dan

tekanan atmosfer dianggap ekuilibrium sebesar 760 mmHg. Kedua tekanan tersebut lebih besar dibandingkan dengan tekanan intrapleural sebesar 756 mmHg. Dengan demikian, tekanan lebih besar untuk mendorong paru ke arah luar dibandingkan ke arah dalam paru. Perbedaan tekanan ini dikenal dengan **tekanan transmural** atau tekanan yang akan mendorong dan meregangkan paru ke arah luar. Dengan adanya tekanan transmural, paru cenderung akan meregang dan mengisi rongga dada. Tekanan intrapulmonal lebih rendah dibandingkan tekanan atmosfer menyebabkan udara masuk selama inspirasi. Sebaliknya, tekanan intrapulmonal harus lebih tinggi dibandingkan tekanan atmosfer sehingga udara dapat keluar paru selama ekspirasi. Tekanan intrapulmonal dipengaruhi oleh volume paru. Semakin tinggi tekanan intrapulmonal, semakin kecil volume paru. Semakin rendah tekanan intrapulmonal, semakin besar volume paru. Perubahan volume paru dipengaruhi oleh aktivitas otot-otot respiratorik dengan mengubah rongga dada.

Otot-otot inspirasi terdiri dari diafragma yang dipersarafi oleh **nervus frenikus** dan **otot interkostalis eskterna** yang dipersarafi oleh **nervus interkostalis** akan berkontraksi saat inspirasi. Saat bernapas dengan tenang, otot-otot inspirasi akan berkontraksi dan memperbesar rongga dada. Ketika diafragma berkontraksi, diafragma akan meningkatkan ukuran vertikal rongga dada. Sementara, ketika dua set otot interkostalis berkontraksi, akan memperbesar rongga dada pada dimensi lateral dan antero-posterior. Sebelum inspirasi, tepat setelah ekspirasi sebelumnya, tekanan intrapulmonal sama dengan tekanan atmosfer. Dengan demikian, tidak ada udara yang keluar atau masuk ke paru. Saat rongga dada membesar, paru juga dipaksa mengembang. Saat paru

mengembang, tekanan intrapulmonal menjadi sedikit lebih rendah dibandingkan tekanan atmosfer. Dengan demikian, udara akan mengalir mengikuti gradien tekanan. Udara akan mengalir masuk ke dalam paru hingga tekanan intrapulmonal sama dengan tekanan atmosfer.

Inspirasi dalam yang bertujuan untuk menghirup udara lebih banyak dapat dilakukan melalui kontraksi diafragma dan otot-otot tulang rusuk mengakibatkan volume rongga dada membesar dibandingkan saat bernapas dengan tenang, menyebabkan paru semakin mengembang. Hal tersebut menyebabkan tekanan intrapulmonal semakin lebih rendah dibandingkan tekanan atmosfer yang selanjutnya menyebabkan peningkatan udara masuk ke paru-paru saat bernapas dalam. Otot-otot inspirasi akan berelaksasi saat akhir inspirasi. Akibatnya, tidak terdapat gaya yang akan memperbesar rongga dada, sehingga paru cenderung akan kembali berada pada ukuran prainspirasi. Hal tersebut terjadi karena paru memiliki sifat rekoil elastik yang cenderung akan kembali ke ukuran semula, mengakibatkan tekanan intrapulmonal menjadi lebih tinggi dibandingkan tekanan atmosfer. Dengan demikian, udara akan mengalir keluar paru. Aliran udara keluar paru akan berhenti saat tekanan intrapulmonal sama dengan tekanan atmosfer.

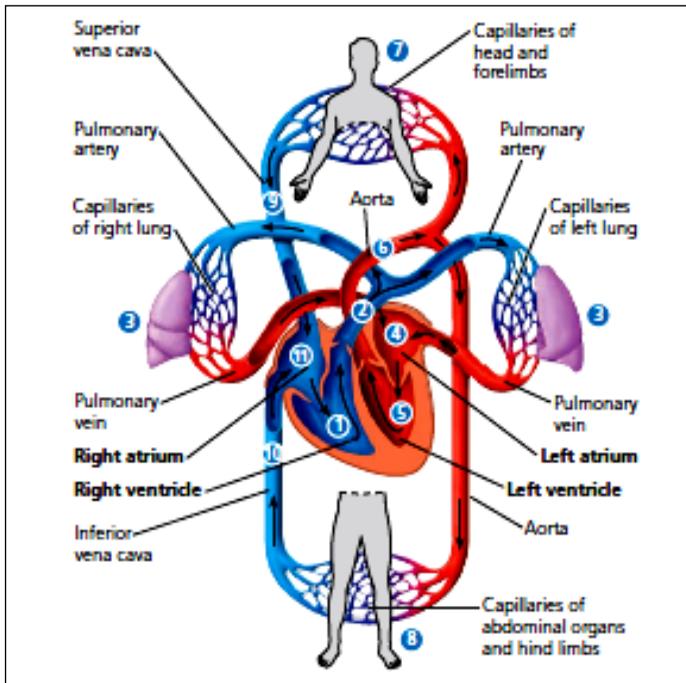
D. Sistem Kardiovaskuler

Sistem kardiovaskuler berperan dalam mengirimkan darah ke berbagai jaringan tubuh, yang didalamnya mengandung nutrisi penting bagi metabolisme sel dan membuang produk hasil metabolik sel. Sistem kardiovaskuler terdiri dari tiga komponen dasar, yaitu jantung, pembuluh darah, dan darah. Dengan adanya

sistem kardiovaskular, darah akan terus-menerus mengalir dari dan menuju jantung melalui dua lengkung sirkulasi, yaitu **sirkulasi pulmonalis** yang merupakan lengkung tertutup pembuluh darah membawa aliran darah antara jantung dan paru-paru, dan **sirkulasi sistemik** terdiri dari lengkung yang membawa darah antara jantung ke seluruh sistem tubuh. Darah dari seluruh tubuh yang membawa lebih banyak CO₂ akan masuk atrium kanan melalui vena kava, baik **vena kava superior** maupun **vena kava inferior**. Darah kemudian masuk ke ventrikel kanan kemudian melalui **arteri pulmonalis** menuju ke paru-paru untuk terjadi pertukaran. Darah teroksigenasi dari paru-paru akan masuk ke atrium kiri melalui vena pulmonalis. Darah mengandung banyak oksigen akan dialirkan masuk menuju ventrikel kiri, melalui **aorta** akan dialirkan ke seluruh jaringan tubuh (Gambar 5.3).

Jantung berperan sebagai pompa yang menimbulkan gradien tekanan pada darah untuk mengalirkan darah menuju jaringan. Jantung memiliki *base* lebar di bagian atas dan meruncing pada bagian apeks. Jantung manusia terbagi menjadi empat ruang, yaitu atrium kanan dan kiri, serta ventrikel kanan dan kiri. **Atrium (serambi)** merupakan ruang yang akan menerima darah kembali ke jantung dan mengalirkannya ke bagian ventrikel. **Ventrikel (bilik)** merupakan ruang yang akan memompa darah dari jantung. Atrium dan ventrikel dipisahkan oleh **septum**, berperan dalam mencegah pencampuran darah dalam jantung. Jantung memiliki empat katup satu arah sehingga aliran darah hanya akan bergerak satu arah, yaitu katup atrioventricular (AV) dan katup semilunar. **Katup atrioventricular (AV)** terdiri dari **katup trikuspid** pada bagian kanan jantung dan **katup bikuspid (katup mitral)** pada bagian kiri jantung. Katup AV merupakan katup yang memisahkan antara

atrium dan ventrikel. Dengan demikian, katup AV akan memastikan darah hanya akan mengalir dari atrium ke dalam ventrikel. **Katup semilunar** merupakan katup yang terletak di pertemuan arteri besar, mencegah darah kembali ke ventrikel.



Gambar 5.3 Sistem kardiovaskuler manusia. Darah dari seluruh tubuh melalui vena kava akan masuk ke dalam atrium kanan menuju ventrikel kanan dan kemudian masuk ke dalam paru-paru melalui arteri pulmonalis. Dari paru-paru, darah kaya oksigen akan masuk ke dalam atrium kiri menuju ventrikel kiri kemudian di pompa ke seluruh tubuh melalui aorta (sumber gambar: Campbell & Reece, 2016).

Pembuluh darah berperan sebagai saluran pembawa darah dari jantung menuju ke berbagai organ di dalam tubuh dan mengembalikan ke jantung. Pada sirkulasi sistemik maupun pulmonal, akan membentuk sistem pembuluh yang tertutup yang terdiri dari arteri, arteriola, kapiler, venula, dan vena. **Arteri** memiliki fungsi sebagai pembuluh darah yang mengantarkan darah dari jantung menuju ke seluruh tubuh. Selain itu, arteri juga sebagai reservoir dalam kondisi relaksasi. Arteri memiliki diameter yang lebih besar dibandingkan pembuluh darah lain. **Arteriola** adalah pembuluh arteri yang diameternya lebih kecil sehingga resistensi yang dihasilkan menjadi lebih besar. Karena resistensinya yang cukup besar, menyebabkan penurunan tekanan darah saat darah mengalir melewati arteriola. Dinding arteriola merupakan otot polos tebal dan dikendalikan oleh saraf simpatis. Ketika dinding lapisan otot polos arteriola berkontraksi, jari-jari arteriola akan mengalami **vasokonstriksi** sehingga akan meningkatkan resistensi dan mengurangi aliran darah yang melaluinya. Sementara ketika dinding lapisan otot polos arteriola berelaksasi, jari-jari arteriola akan mengalami **vasodilatasi** sehingga mampu menurunkan resistensi dan meningkatkan laju aliran darah. **Kapiler** akan bercabang-cabang membawa darah ke seluruh sel. Bahan-bahan dapat dihantarkan ke dalam sel melalui proses **difusi**. Proses difusi dapat terjadi karena kapiler dapat memperkecil jarak difusi dan memaksimalkan luas permukaan. **Venula** secara progresif akan menyatu dan membentuk vena kecil yang keluar dari organ. Venula memiliki aktivitas tonus otot dan resistensi yang kecil. Venula dan arteriola akan membentuk jalur komunikasi yang berperan penting dalam menyamakan aliran masuk dan aliran keluar kapiler di suatu organ. **Vena** memiliki diameter yang lebih besar sehingga resistensi

vena terhadap aliran darah cukup rendah. Karena resistensi vena cukup rendah, vena berperan dalam mengembalikan darah dari jaringan ke jantung. Vena memiliki dinding yang lebih tipis dan sedikit otot polos. Vena sangat mudah teregang dan tidak memiliki kemampuan *recoil elastic*. Oleh karena itu, vena mudah melebar meskipun hanya sedikit terjadi peningkatan tekanan vena.

Darah merupakan media pembawa molekul terlarut seperti oksigen, karbon dioksida, nutrien, produk metabolit, elektrolit, dan hormon yang akan dibawa ke seluruh tubuh. Volume darah normal wanita sekitar 5 L dan sekitar 5,5 L pada pria. Darah terdiri dari plasma darah dan komponen seluler. Tiga jenis sel darah, yaitu sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), dan keping darah (trombosit). **Plasma** merupakan cairan yang berisi 90% air. Plasma berperan sebagai pelarut dan penyimpan nutrisi serta produk hasil metabolisme. **Bahan anorganik** berperan dalam distribusi osmotik cairan antara ekstraseluler dan intraseluler serta menyangga keseimbangan pH. Sementara, **bahan organik** berupa **protein plasma** berperan penting dalam mengatur tekanan osmotik serta menyangga perubahan pH. **Albumin** merupakan protein plasma yang berperan dalam menjaga tekanan osmotik. **Globulin alfa** dan **beta** berperan dalam transportasi bahan yang tidak larut air, sebagai faktor pembekuan darah, serta sebagai prekursor inaktif. **Globulin gama** berperan sebagai antibodi. **Fibrinogen** merupakan protein plasma yang berperan dalam prekursor inaktif untuk pembekuan darah. **Eritrosit** adalah sel dengan struktur **bikonkaf** yang memiliki peran utama untuk membawa oksigen dalam darah. Struktur bikonkaf tersebut memperbesar proses **difusi oksigen**. Eritrosit mengandung hemoglobin yang memiliki dua bagian yaitu **globin** dan **gugus heme**. **Hemoglobin** adalah suatu pigmen berwarna

kemerahan jika berikatan dengan oksigen dan berwarna keunguan jika mengalami **deoksigenasi**. **Leukosit** berperan dalam **imunitas tubuh**. Leukosit dan turunannya akan berinteraksi dengan protein plasma, membentuk sistem imun. Leukosit terdiri dari lima macam, yaitu eosinofil, basofil, neutrofil, monosit, dan limfosit. **Eosinofil** berperan fagosit pada parasite dan respons reaksi alergi. **Basofil** berperan dalam reaksi alergi dengan merilis **histamin** dan membantu membersihkan lemak darah dengan merilis **heparin**. **Neutrofil** berperan sebagai fagosit yang akan menelan patogen. **Monosit** akan menjadi **makrofag** jaringan yang berperan dalam **fagositosis**. **Limfosit** terbagi menjadi dua yaitu **limfosit B** yang akan menghasilkan **antibodi** dan **limfosit T** yang berperan dalam respon imun selular. **Trombosit** merupakan bukan sel, melainkan **fragmen kecil sel** yang dilepaskan dari sumsum tulang yang besar (**megakariosit**). Trombosit banyak mengandung **aktin** dan **miosin**, yang mampu berkontraksi. Trombosit berperan dalam hemostasis atau pembekuan darah.

E. Homeostasis Tubuh Saat Olahraga

Olahraga merupakan salah satu kegiatan terstruktur yang mampu mempengaruhi sistem respirasi dan sistem kardiovaskular. Secara umum, sebenarnya olahraga mengganggu homeostasis tubuh. Perubahan fisiologis tubuh sebagai respons terhadap olahraga merupakan upaya untuk mempertahankan homeostasis tubuh ketika terjadi peningkatan kebutuhan tubuh. Pada sistem kardiovaskular, **denyut jantung atau nadi** akan meningkat. Pada saat olahraga, sel-sel otot akan membutuhkan dan menggunakan oksigen yang jauh lebih besar. Hal ini akibat adanya peningkatan kebutuhan energi saat berolahraga. Dengan demikian, aliran darah

juga harus lebih cepat untuk menyalurkan darah teroksigenasi ke dalam otot aktif saat olahraga. Adaptasi jantung saat olahraga melalui peningkatan kekuatan dan efisiensi jantung sehingga mampu memompa darah lebih banyak setiap kali berkontraksi. Selain denyut nadi, volume sekuncup juga akan meningkat sehingga **curah jantung** akan meningkat sesuai kebutuhan metabolisme saat olahraga. Peningkatan tersebut akan meningkat dimensi jantung secara anatomi, seperti dimensi atrium kanan, **hipertropi** ventrikel kiri, peningkatan massa ventrikel kiri, dan peningkatan volume atrium kiri.

Pada kondisi olahraga, ventilasi akan meningkat hingga 20 kali lipat. Peningkatan ventilasi yang terjadi akibat adanya penurunan **PO₂**, peningkatan **PCO₂** dan peningkatan **H⁺**. Selain perubahan kimia tersebut, peningkatan ventilasi disebabkan karena adanya refleks tubuh, peningkatan suhu tubuh, sekresi hormon epinefrin, dan aktivitas impuls dari korteks serebri. Pada kondisi olahraga, **ekspirasi paksa atau aktif** terjadi akibat adanya kontraksi otot-otot ekspirasi untuk mengurangi volume rongga dada dan paru-paru. **Otot-otot ekspirasi** terdiri dari otot-otot interkostalis interna dan otot abdominalis. Ketika otot abdominalis berkontraksi, terjadi peningkatan tekanan intraabdomen sehingga mendorong diafragma bergerak keatas. Ketika otot interkostalis interna berkontraksi, rusuk akan ditarik turun. Kedua kontraksi tersebut akan menurunkan ukuran rongga dada yang menyebabkan volume paru-paru akan menurun. Selama ekspirasi paksa, tekanan intrapleurale lebih tinggi dibandingkan tekanan atmosfer tetapi tidak terjadi kolaps paru. Hal ini akibat adanya perbedaan gradien tekanan transmural sehingga paru-paru tetap teregang dan mengisi rongga dada. Selama berolahraga, volume plasma darah akan

menurun sesuai dengan kebutuhan metabolisme yang semakin meningkat. Penurunan plasma darah disebabkan karena peningkatan konsentrasi **elektrolit** dalam darah dan **osmolalitas** sehingga berdampak pada aktivasi **kaskade renin-angiotensin-aldosteron**, yang selanjutnya meningkatkan retensi air di ginjal. Olahraga juga dapat menyebabkan **hipervolemia** akibat adanya mekanisme retensi aldosteron-sodium sehingga akan menyebabkan peningkatan albumin. Hipervolemia juga menunjukkan peningkatan volume air dalam tubuh. Peningkatan volume air ini berdampak pada peningkatan produksi keringat dan memungkinkan terjadinya peningkatan evaporasi melalui kulit.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2016). *Biology*. Pearson.
- Convertino, V. A. (2007). *Blood Volume Response to Physical Activity and Inactivity*. *The American Journal of the Medical Sciences*, 334(1), 72-79.
- Convertino, V. A., Brock, P. J., Keil, L. C., Bernauer, E. M., & Greenleaf, J. E. (1980). *Exercise Training-Induced Hypervolemia: Role of Plasma Albumin, Renin, and Vasopressin*. *Journal of Applied Physiology*, 48(4), 665-669.
- Convertino, V. A., Keil, L. C., Bernauer, E. M., & Greenleaf, J. E. (1981). *Plasma Volume, Osmolality, Vasopressin, and Renin Activity During Graded Exercise in Man*. *Journal of Applied Physiology*, 50(1), 123-128.
- Costanzo, L. S. (2018). *Physiology*. 6th ed. Elsevier.
- Hellsten, Y., & Nyberg, M. (2011). *Cardiovascular Adaptations to Exercise Training*. *Comprehensive Physiology*, 6(1), 1-32.
- Mortensen, S. P., et. al. (2005). *Limitations to Systemic and Locomotor Limb Muscle Oxygen Delivery and Uptake During Maximal Exercise in Humans*. *The Journal of Physiology*, 566(1), 273-285.
- Pressler, A., et. al. (2012). *Association of Body Composition and Left Ventricular Dimensions in Elite Athletes*. *European Journal of Preventive Cardiology*, 19(5), 1194-1204.
- Sherwood, L. (2016). *Human Physiology: from Cells to Systems*. 9th ed. Cengage learning.
- Silverthorn, D. U., Ober, W. C., Garrison, C. W., Silverthorn, A. C., & Johnson, B. R. (2019). *Human Physiology: an Integrated Approach*. 8th ed. Vol. 3. Pearson Education Indianapolis, IN.

BIODATA PENULIS

Ns. Diah Ayu Aguspa Dita, S.Kep., M.Biomed., lahir di Desa Gunung Lewat, Kab Lahat, Sumatera Selatan, 6 Agustus 1992. Jenjang Pendidikan S1 Keperawatan ditempuh di Universitas Sriwijaya, Kota Palembang lulus tahun 2013. Pendidikan Profesi Ners juga diselesaikan di Universitas Sriwijaya, lulus tahun 2015. Pendidikan S2 Ilmu Biomedik dengan peminatan Fisiologi Kedokteran, lulus tahun 2017 di Universitas Indonesia. Saat ini menjabat sebagai Ketua Laboratorium Biomedik Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Bengkulu. Saat ini, Diah aktif meneliti terutama pada bidang neurofisiologi dan penyakit neurodegeneratif.



BAB 6

KOORDINASI DAN GERAK

apt. Nenden Nurhasanah M.Farm.
nurhasanah.nenden23@gmail.com

A. Koordinasi Sistem dalam Homeostasis Tubuh

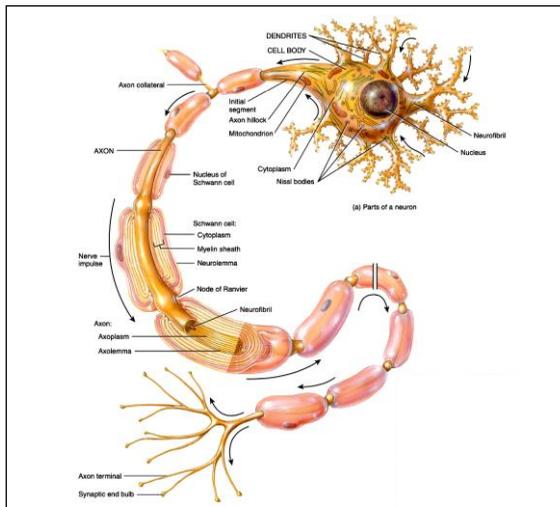
Koordinasi antar sistem tubuh diperlukan untuk menjaga homeostasis, melalui komunikasi antar sistem terutama sistem saraf dan sistem endokrin (hormon). **Sistem saraf** mengendalikan aktivitas otot dan regulasi proses sekresi tubuh, sedangkan untuk fungsi metabolik dikendalikan oleh **sistem endokrin**. Walaupun saling terkait dalam mengatur tubuh, karakteristik sistem saraf dan sistem endokrin sangat berbeda. Sistem saraf bekerja berdasarkan **sinyal listrik** yang **sangat cepat** untuk mengeluarkan neurotransmitter yang akan berikatan dengan reseptor pada membran *postsinaps*. **Neurotransmitter** sebagai pembawa **pesan kimiawi jarak pendek** yang bekerja dekat dengan organ target, sehingga kendalinya memengaruhi otot dan sekresi eksogen. Onsetnya yang sangat cepat dalam hitungan **milidetik** membuat durasi kerja sistem saraf sangat singkat. Sedangkan sistem endokrin menyekresi hormon sebagai mediator. **Hormon** sebagai pembawa **pesan kimiawi jarak jauh** yang dihasilkan oleh kelenjar endokrin, masuk ke dalam aliran darah menuju organ target. Hormon akan

berikatan dengan reseptor sel target yang umumnya jauh dari tempat disekresikannya. Hormon berperan dalam regulasi proses di dalam tubuh yang membutuhkan waktu **lebih lama**, seperti metabolisme, pertumbuhan dan menjaga keseimbangan cairan tubuh. Onset sistem endokrin yang lama hingga hitungan **jam bahkan hari** membuat responnya juga lebih lama dibandingkan sistem saraf.

B. Karakteristik dan Klasifikasi Neuron

Sel saraf atau neuron berperan dalam membangun jaringan antar sistem saraf pusat, menghubungkan seluruh sel tubuh dengan sistem saraf pusat, serta menghubungkan komunikasi antar sel. Secara struktur neuron tersusun atas dendrit, badan sel, akson, sel Schwann, mielin, nodus Ranvier dan ujung akson (sinaps) (Gambar 6.1). **Dendrit** merupakan bagian penerima stimulus melalui aktivasi ligan atau kanal ion. Dendrit berfungsi memproduksi generator atau potensial reseptor pada neuron sensorik, sedangkan pada neuron motorik dan interneuron dendrit berfungsi memproduksi potensial eksitator (*EPSPs*) dan inhibitor *post* sinaps (*IPSPs*). **Badan sel** neuron terdapat nukleus yang dikelilingi sitoplasma termasuk di dalamnya organel lisosom, mitokondria, dan kompleks golgi. **Akson atau neurit** menyebarkan impuls saraf ke neuron lain, sel otot ataupun sel kelenjar. **Sel Schwann** berperan membungkus satu segmen akson antara dua nodus. Sel ini juga menghasilkan mielin dan berperan dalam regenerasi serat saraf pada saraf perifer. **Selubung mielin** merupakan lapisan lipid dan protein yang melapisi akson, berperan dalam menginsulasi akson dan meningkatkan kecepatan konduksi impuls saraf. Pada selubung mielin terdapat celah yang terkait dengan konduksi potensial aksi

dan memfasilitasi cepatnya menghantarkan impuls saraf, disebut **Nodus Ranvier**. Di ujung dari neuron terdapat **ujung akson** yang membentuk sinaps, tempat dimana dua neuron saling berkomunikasi. Sinaps yang berada di ujung akson mempunyai kantung vesikel yang menyimpan neurotransmitter. Neuron memiliki kemampuan menghasilkan rangsangan listrik, merespon stimulus dan mengkonversinya menjadi potensial aksi. **Potensial aksi atau impuls saraf** merupakan sinyal listrik yang menjangar sepanjang permukaan membran neuron. Potensial aksi berasal dari pergerakan ion, antara cairan interstisial dengan bagian dalam neuron melalui kanal ion spesifik pada membran plasma.



Gambar 6.1 Struktur neuron. Neuron tersusun atas dendrit, badan sel, akson, sel Schwann, mielin, nodus Ranvier dan ujung akson (sinaps) (sumber gambar: Tortora & Derrickson, 2016).

Berdasarkan fungsinya neuron terbagi atas neuron sensorik, motorik dan interneuron. **Neuron sensorik (aferen)** berbentuk unipolar dan memiliki reseptor sensorik yang jika teraktivasi akan membentuk potensial aksi pada akson, kemudian membawanya ke sistem saraf pusat melalui saraf kranial atau saraf spinal. **Neuron motorik (eferen)** berbentuk multipolar dan berperan membawa potensial aksi dari saraf pusat ke efektor, seperti otot dan kelenjar, di saraf perifer melalui saraf kranial atau saraf spinal. **Neuron asosiasi (interneuron)** letaknya di dalam saraf pusat antara neuron sensorik dan neuron motorik berbentuk multipolar. Peran interneuron memproses informasi sensorik yang masuk dari neuron sensorik kemudian mengaktivasi neuron motorik sehingga didapati respons motorik.

C. Sistem Saraf Pusat dan Tepi

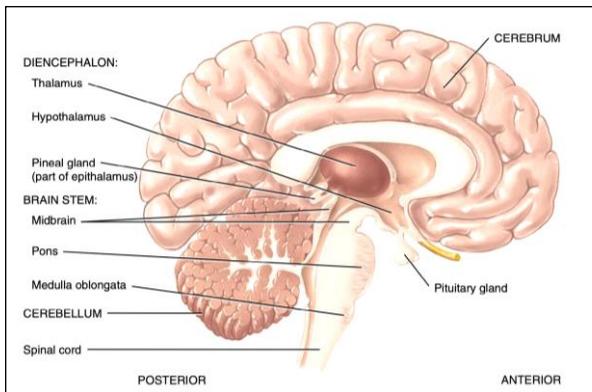
Mekanisme kerja sistem saraf terdiri dari tiga bagian utama, yaitu *input* sensor, sistem saraf pusat, dan *output* motorik. **Reseptor** akan mendeteksi adanya sinyal yang merupakan bagian dari *input sensor*. Kemudian sinyal akan diteruskan ke dalam **sistem saraf pusat** yang menyimpan informasi, berpikir, serta bereaksi atas respons. Bagian luaran atau **output motorik** yang menerima sinyal dari sistem saraf pusat kemudian melakukan gerakan yang dikehendaki. Sistem saraf bertanggung jawab atas **gerak sadar (saraf somatik)** maupun **tidak sadar (saraf otonom)**, seperti gerakan memompa darah oleh jantung, sekresi hormon oleh kelenjar ataupun aktivitas pergerakan saluran pencernaan.

Sistem saraf terdiri atas sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. **Sistem saraf pusat** meliputi **otak dan sumsum tulang belakang**. Otak berperan dalam sistem koordinasi, antara lain

menerima dan memproses informasi sensori, menginisiasi respons, menyimpan memori, bertanggung jawab dalam kemampuan berpikir serta emosi. Secara umum otak tersusun atas empat bagian utama, yaitu batang otak, otak kecil, diensefalon dan otak besar (Gambar 6.2). **Batang otak** terdiri dari medula oblongata, pons dan otak tengah, serta bersambung dengan sumsum tulang belakang. **Medula oblongata (sumsum lanjutan)** berperan dalam meregulasi detak jantung, mengatur diameter pembuluh darah, meregulasi ritme pernapasan bersama pons, memberikan instruksi ke serebelum untuk menyesuaikan aktivitas otot saat mempelajari aktivitas motorik baru, kesadaran, gairah, serta mengkoordinasikan proses muntah, menelan, bersin, batuk dan cegukan. Di bagian ini juga terdapat inti dari saraf kranial VIII, IX, X, XI dan XII. Inti dari saraf kranial V, VI, VII dan VIII terdapat dalam **pons**. Sedangkan inti dari saraf kranial III dan IV terdapat di **otak tengah (midbrain)** yang juga berperan dalam koordinasi gerakan kepala, mata dan badan atas respons dari stimulus auditori (pendengaran). **Otak kecil (serebelum)** mempunyai fungsi dalam mengkoordinasikan otot skeletal, meregulasi postur dan keseimbangan, serta kemampuan berbahasa dan kognitif. Bagian **diensefalon** terdiri dari talamus, hipotalamus dan epitalamus. **Talamus** berperan dalam menyampaikan input sensori ke korteks serebral, mengirimkan informasi dari serebelum ke area motorik pada korteks serebral, serta berperan dalam memelihara kesadaran. **Hipotalamus** berperan dalam mengendalikan dan mengintegrasikan aktivitas sistem saraf otonom. Bagian ini erat kaitannya dengan sistem endokrin karena dapat menghasilkan serta menghambat berbagai kerja hormon. Hipotalamus juga meregulasi emosi dan pola perilaku, meregulasi rasa lapar dan haus, ritme

Koordinasi dan Gerak

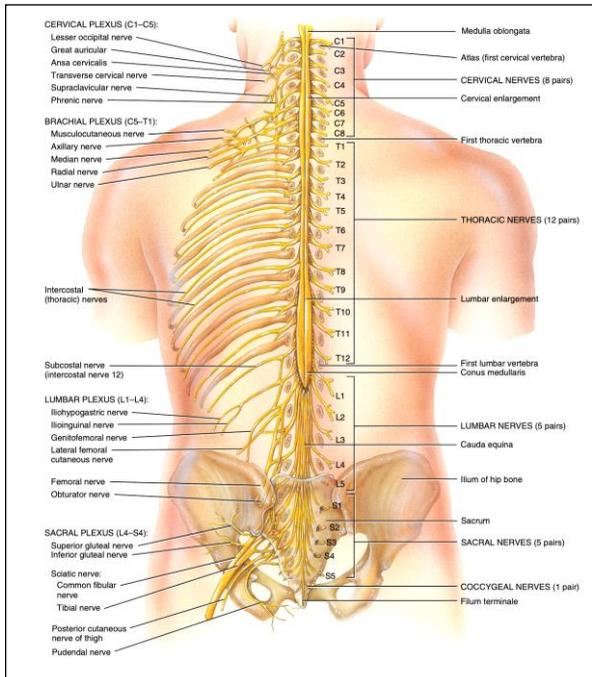
sirkadian, serta suhu tubuh. Bagian **epitalamus** yang terdiri dari **kelenjar pineal**, bertugas untuk menyekresikan hormon melatonin dan inti habenular. **Otak besar (serebrum)** merupakan bagian terbesar dari otak yang terlibat dalam persepsi informasi sensori, mengontrol terjadinya gerak sadar, memori, kecerdasan dan kepribadian. Bagian ini juga menekan gerakan-gerakan yang tidak dikehendaki dan meregulasi tonus otot. Sistem limbik disini bertanggung jawab dalam beragam emosi seperti rasa senang, sakit, takut, patuh, kasih sayang serta marah.



Gambar 6.2 Potongan bagian otak secara sagital. Otak tersusun atas otak besar (serebrum), otak kecil (serebelum), diensefalon, dan batang otak. Diensefalon meliputi talamus, hipotalamus, dan kelenjar pineal bagian dari epitalamus. Batang otak meliputi otak tengah, pons, dan medula oblongata (sumber gambar: Tortora & Derrickson, 2016).

Sumsum tulang belakang merupakan bagian dari sistem saraf pusat yang tersambung dengan bagian medula oblongata hingga superior lumbar vertebra kedua. Sumsum tulang belakang bersama dengan saraf tulang belakang berkontribusi menjaga homeostasis dengan respons yang cepat. Bagian utama dari sumsum tulang belakang, yaitu **segmen servikal, dada, lumbar, sakral, dan tulang ekor**. Setiap segmen diberi keterangan huruf **C, T, L, dan S** (Gambar 6.3). Sumsum tulang belakang menyampaikan informasi dari bagian atas ke bawah (**jalur sensorik**) serta dari bagian bawah ke atas (**jalur motorik**). Di dalam anatomi sumsum tulang belakang, terdapat materi putih dan materi abu-abu yang masing-masing berperan dalam koordinasi. **Materi abu-abu** memiliki inti sensorik yang menerima *input* dari reseptor melalui neuron sensorik, serta inti motorik yang memberikan *output* ke jaringan efektor melalui neuron motorik. Bagian ini merupakan pusat dari refleks spinal yang sangat cepat dan tidak disengaja. Terdapat jalur refleks (*reflex arc*) yang meliputi reseptor sensorik, neuron sensorik, pusat integritas, neuron motorik dan efektor. **Materi putih** merupakan jalur bebas hambatan untuk penyebaran impuls saraf. Melalui jalur tersebut *input* sensorik dibawa ke otak dan *output* motorik dibawa dari otak ke otot rangka serta jaringan efektor yang lain.

Koordinasi dan Gerak



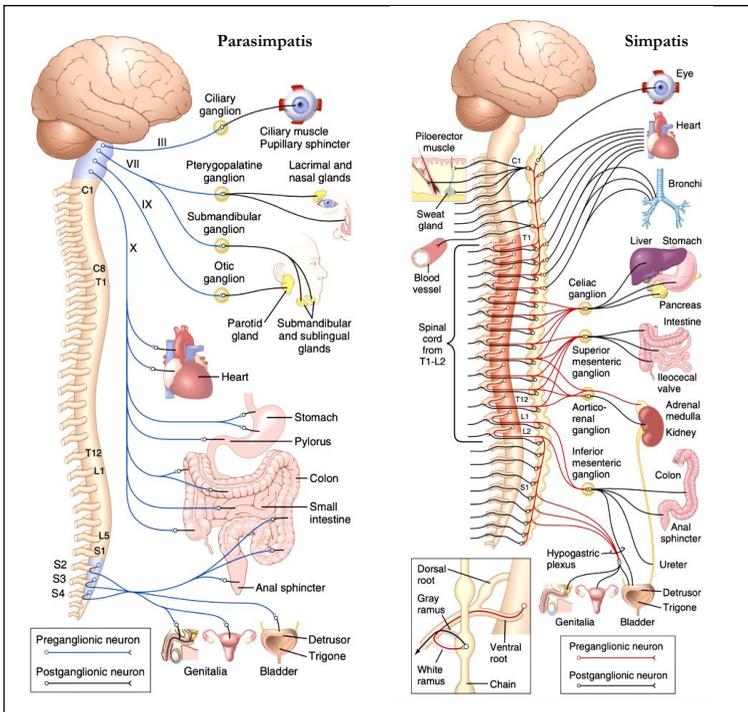
Gambar 6.3 Anatomi sumsum tulang belakang. Segmen C (*cervical*) terdiri atas C1-C8, T (*thoracic*) terdiri atas T1-T12, L (lumbar) terdiri atas L1-L5, dan S (*sacral*) terdiri atas S1-S5. Tulang ekor (*coccygeal*) memiliki 1 pasang saraf (sumber gambar: Tortora & Derrickson, 2016).

Sistem saraf tepi atau perifer berdasarkan tempatnya terbagi menjadi saraf kranial dan saraf spinal. Bagian **saraf spinal** dibagi lagi menjadi sistem saraf somatik dan sistem saraf otonom yang keduanya bekerja melalui jalur refleks. Di dalam **sistem saraf somatik** terdapat **neuron sensorik** yang berperan menyampaikan *input* dari reseptor ke indera somatik, seperti indera peraba, panas,

sakit dan proprioseptif yang terkait posisi serta pergerakan tubuh. Sedangkan **neuron motorik** berkaitan dengan penyampaian dari reseptor ke indera lain, seperti penglihatan, pendengaran, perasa, penciuman dan kesetimbangan. **Sistem saraf otonom** terdiri dari neuron sensorik, pusat integritas di saraf pusat, serta neuron motorik yang terlibat dalam mengatur gerak tidak sadar. Regulasi gerak tidak sadar dari sistem saraf otonom berawal dari impuls saraf yang secara terus-menerus mengalir dari **neuron sensorik** ke pusat integritas saraf pusat. Kemudian impuls dari neuron sensorik menyebar ke berbagai jaringan efektor, memengaruhi aktivitas otot polos, otot jantung dan kelenjar yang lain. Neuron sensorik juga berhubungan dengan interoseptor yaitu **kemoreseptor** yang memantau level karbondioksida darah dan **mekanoreseptor** yang mendeteksi tegangan di dinding organ atau pembuluh darah. **Neuron motorik** bekerja dengan meningkatkan atau menghambat aktivitas yang sedang berlangsung pada jaringan efektor. Sinyal dari sistem saraf pusat ke otot ataupun kelenjar (**sinyal eferen**) ditransmisikan melalui dua bagian penting dari saraf otonom, yaitu **saraf parasimpatis** dan **saraf simpatis** (Gambar 6.4). Kerja dari saraf parasimpatis dan simpatis berlawanan terhadap organ yang sama. Kedua saraf mengendalikan gerakan pupil dan fokus lensa mata. Saat cahaya berlebih maka saraf parasimpatis menstimulasi otot sirkular iris sehingga pupil berkonstriksi, sedangkan saat cahaya redup maka saraf simpatis akan menstimulasi serat meridional dari iris untuk berkontraksi sehingga menyebabkan pupil berdilatasi. Stimulasi saraf parasimpatis menurunkan laju dan kontraksi jantung. Sebaliknya, kerja saraf simpatis meningkatkan kerja jantung secara keseluruhan sehingga terjadi peningkatan laju dan tekanan kontraksi jantung. Tekanan arteri ditentukan oleh

Koordinasi dan Gerak

seberapa besar dorongan darah yang datang dari jantung dan tahanan aliran darah melalui pembuluh darah perifer. Saraf simpatis meningkatkan kedua faktor tersebut sehingga tekanan arteri menjadi tinggi. Sebaliknya, kerja saraf parasimpatis akan menstimulasi saraf vagal sehingga menurunkan kerja jantung dalam memompa darah. Sebagian besar pembuluh darah sistemik yang terletak di visera abdominal serta kulit akan berkonstriksi jika ada stimulasi saraf simpatis. Saraf parasimpatis hampir tidak mempunyai efek langsung terhadap pembuluh darah sehingga pada kondisi tertentu pembuluh darah berdilatasi akibat kerja dari beta adrenergik saraf simpatis.

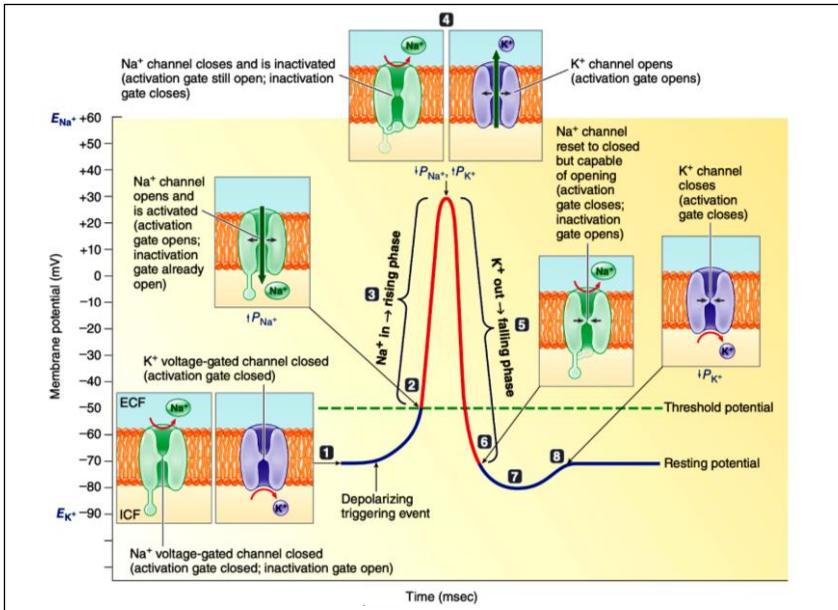


Gambar 6.4 Saraf parasimpatis dan simpatis. Saraf parasimpatis melalui saraf kranial III (pupil, otot siliaris), VII (lakrimal, nasal dan kelenjar submandibularis dan sublingual), IX (kelenjar parotid) dan X (aorta, jantung, lambung, usus halus, kolon). Saraf sakral S2, S3 dan S4 memengaruhi kolon bawah, rektum, kantung kemih dan ureter, dan organ reproduksi. Saraf simpatis berada sepanjang sumsum tulang belakang segmen C1, T1 dan L2. Pengaruh dari saraf simpatis meliputi pembuluh darah, kelenjar keringat, otot piloerektor, mata, jantung, bronkus, hati, lambung, usus halus, kolon, adrenal, ginjal, ureter, kantung kemih, serta organ reproduksi (sumber gambar: Hall & Hall, 2021).

D. Mekanisme Potensial Aksi Membran

Impuls saraf dapat dihantarkan sepanjang membran sel dalam bentuk sinyal listrik, kemudian dikonversi menjadi sinyal kimiawi dalam bentuk neurotransmitter. Pada kondisi normal, konsentrasi ion kalium (K^+) lebih tinggi di dalam membran (intraseluler). Sebaliknya, konsentrasi ion natrium (Na^+) lebih tinggi di luar membran (ekstraseluler). Perbedaan konsentrasi ion pada membran dapat menimbulkan **potensial aksi** (Gambar 6.5). Membran sel dapat mengalami polarisasi, depolarisasi, repolarisasi, dan hiperpolarisasi dalam mekanisme pengantaran impuls. **Polarisasi** merupakan kondisi saat potensial membran bermuatan selain 0 mV. **Depolarisasi** merupakan kondisi saat bagian intraseluler lebih positif saat terjadi potensial aksi. **Repolarisasi** merupakan kondisi membran sel kembali ke fase potensial istirahat setelah berdepolarisasi. **Hiperpolarisasi** merupakan kondisi membran sel menjadi lebih terpolarisasi sehingga bagian intraseluler lebih negatif dibandingkan saat fase istirahat. Pada saat tidak ada impuls yang akan diteruskan disebut **fase istirahat (normal)**, maka potensial aksi tidak terjadi. Gerbang kanal ion Na^+ dan K^+ berada dalam kondisi tertutup, sehingga ion Na^+ dan K^+ tidak bisa melewati kanal. Namun, apabila terdapat impuls yang akan diantarkan, maka kanal Na^+ akan terbuka menyebabkan Na^+ mengalir dengan cepat. Kondisi ini mengubah muatan membran intraseluler dari -70 mV menjadi 0 mV. Jika semua kanal Na^+ teraktivasi, maka muatan membran intraseluler akan menjadi lebih positif disebut **depolarisasi**. Kenaikan potensial membran tersebut menjadi *feedback negative*, menyebabkan tertutupnya kanal ion Na^+ namun terbukanya kanal ion K^+ . Ion K^+ akan bergerak menuju luar membran sel, sehingga muatan intraseluler kembali negatif disebut

repolarisasi. Kondisi depolarisasi pada ujung akson, menstimulasi terbukanya kanal Ca^{2+} dan mengalir masuk ke dalam membran sel. Ion Ca^{2+} akan memicu vesikel neurotransmitter untuk dilepaskan dalam sinaps.



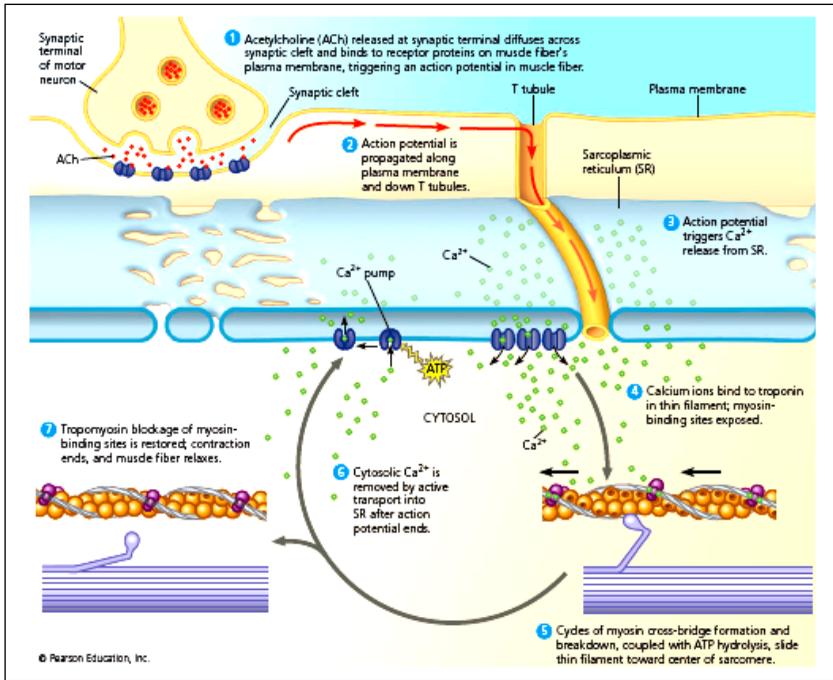
Gambar 6.5 Potensial aksi. 1) Fase istirahat (*resting potential*) semua kanal tertutup. 2,3) Jika ada impuls, gerbang Na^+ terbuka potensial P_{Na^+} meningkat dan kenaikan potensial membran sebesar +30 mV disebut depolarisasi. 4) Puncak potensial aksi, inaktivasi gerbang Na^+ sehingga P_{Na^+} menurun. 5,6) Gerbang K^+ terbuka potensial P_{K^+} meningkat dan penurunan potensial membran menjadi negatif disebut repolarisasi dan 7) hiperpolarisasi. Kemudian kembali ke fase istirahat dimana kedua gerbang tertutup kembali hingga terjadi impuls berikutnya (sumber gambar: Sherwood & Ward, 2016).

E. Koordinasi Gerak Tubuh

Tulang dan otot (muskuloskeletal) merupakan bagian yang penting dalam koordinasi gerak tubuh. Keduanya berkembang secara selaras sejak embriogenesis yang dikendalikan oleh banyak jalur pensinyalan, seperti Wnt dan jalur *bone morphogenic protein* (BMP). Interaksi antara tulang dan otot terjadi secara mekanis dan dipengaruhi **sistem saraf serta endokrin**. Tulang dan otot bergerak berdasarkan stimulus neuron sehingga menghasilkan suatu respons mekanis. Stimulus neuron akan diterjemahkan menjadi sinyal biokimia menghasilkan respons endokrin membentuk hormon. Hormon inilah yang akan mengendalikan banyak pensinyalan terkait koordinasi gerak tubuh. **Tulang** sebagai **alat gerak pasif**, terdiri atas empat kategori yaitu tulang pendek, tulang pipa, tulang pipih dan tulang tidak beraturan. **Tulang pendek** memiliki ukuran yang pendek, seperti karpal, tarsal, patella dan tulang sesamoid. **Tulang pipa** berbentuk bulat tabung seperti pipa, terdapat pada klavikula, humerus, radius, ulna, metacarpal, femur, tibia, fibula, metatarsal dan falanges. **Tulang pipih** berbentuk datar pipih, meliputi tengkorak, mandibula, scapula, sternum dan tulang rusuk. **Tulang tidak beraturan** tidak memiliki bentuk yang khas, seperti vertebra, sacrum, tulang ekor dan tulang hyoid. Tulang yang ada pada rangka manusia memiliki fungsi yang beragam, antara lain mendukung struktur tubuh, membuat tubuh dapat bergerak, melindungi organ dalam, menjaga homeostasis dan keseimbangan asam basa, berperan dalam faktor reservoir dan sitokin pertumbuhan, serta sebagai pendukung hematopoiesis di sumsum tulang. **Otot** sebagai **alat gerak aktif**, melekat pada tulang dengan adanya **tendon** yang merupakan serangkaian jaringan ikat menyelimuti di dalam dan di sekitar otot. Keseluruhan organ otot

dilapisi oleh jaringan ikat disebut **epimisium**. Serabut otot (fasikula otot) tersusun rapat secara selang-seling yang dilapisi jaringan ikat disebut **perimisium**. Serat otot dalam fasikula otot juga dilapisi oleh jaringan ikat disebut **endomisium**. Serat otot tersusun atas **miofibril** yang terdiri dari protein **aktin** dan **miosin**. Protein tersebut membentuk **miofilamen** yang tersusun sepanjang miofibril disebut **sarkomer**.

Gerak tubuh dipengaruhi oleh koordinasi dari sistem saraf melalui potensial aksi sepanjang neuron motorik hingga bagian akhir di serabut otot. Ujung akson neuron akan menyekresikan neurotransmitter berupa asetilkolin. **Asetilkolin** bekerja pada area lokal membran serabut otot untuk membuka gerbang kanal ion Na^+ (depolarisasi), menyebabkan inisiasi potensial aksi di membran sel otot. Kondisi depolarisasi akan membuka gerbang **ion Ca^{2+}** pada membran **retikulum sarkoplasma**, sehingga ion Ca^{2+} yang tersimpan dalam jumlah banyak akan keluar menuju sitoplasma. Ion Ca^{2+} akan menginisiasi gaya tarik menarik antara aktin dengan miosin menyebabkan terjadinya geseran (*sliding*) satu sama lain disebut **proses kontraktile**. Ion Ca^{2+} akan berikatan dengan protein **troponin** menyebabkan **tropomiosin** yang menutupi **situs ikat (*binding site*)** kepala miosin terhadap aktin akan bergeser. Tropomiosin yang bergeser inilah menyebabkan terbukanya situs ikat aktin sehingga dapat mengikat kepala miosin. Dengan bantuan **ATP**, geseran aktin-miosin dapat terjadi membuat sel otot memendek disebut **kontraksi otot** (Gambar 6.6). Dalam waktu singkat setelah proses kontraksi otot terjadi, ion Ca^{2+} di pompa kembali ke retikulum sarkoplasma oleh pompa membran Ca^{2+} . Menurunnya jumlah ion Ca^{2+} dalam sitoplasma menyebabkan otot dalam kondisi **relaksasi**.



Gambar 6.6 Potensial aksi. 1) Asetilkolin (ACh) dirilis oleh ujung sinaps dan berikatan dengan reseptor sel otot, menyebabkan potensial aksi. 2,3) Potensial aksi akan menstimulasi dilepaskannya ion Ca^{2+} dalam retikulum sarkoplasma. 4) Ion Ca^{2+} berikatan dengan troponin pada filamen aktin menyebabkan tergesernya tropomiosin dan *myosin-binding site* terbuka. 5) Miosin bersama aktin membentuk jembatan, dengan bantuan ATP aktin-miosin akan bergerak memendek disebut kontraksi. 6) Ion Ca^{2+} di sitoplasma akan dipompa kembali masuk retikulum sarkoplasma. 7) Mengakibatkan tropomiosin akan menutup *myosin-binding site* menyebabkan relaksasi (sumber gambar: Campbell & Reece, 2016).

DAFTAR PUSTAKA

- Bonetto, A., & Bonewald, L. F. (2019). *Bone and Muscle*. In Basic and Applied Bone Biology (pp. 317–332). Elsevier.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2016). *Biology*. Pearson.
- Chrysafides, S. M., Bordes, S. J., & Sharma, S. (2023). *Physiology, Resting Potential*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538338/>
- Clarke, B. (2008). *Normal Bone Anatomy and Physiology*. In Clinical journal of the American Society of Nephrology : CJASN: Vol. 3 Suppl 3.
- Hall, E. J., & Hall, E. M. (2021). *Guyton and Hall Medical Physiology*. 14th ed.
- Ludwig PE, R. V. V. M. N. Neurons. (2023). *Neuroanatomy, Neurons*. PubMed.
- Marieb, E. N., Wilhelm, P. B., & Mallatt, J. (2017). *Human Anatomy*. 8th ed.
- Sherwood, L., & Ward, C. (2016). *Human Physiology : From Cells to Systems*.
- Thau, L., Reddy, V., Singh Authors Lauren Thau, P., & Singh Affiliations, P. (2022). *Anatomy, Central Nervous System*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542179/>
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2016). *Principles of Anatomy and Physiology*. 13th ed.
- Xiao Feng, P., Hong Juan, Z., jiang, J., & Yin Jia, N. (2018). *The Mechanism of Generation of Nerve Impulse and its Features of Propagation along the Nerve Fiber Cells in Living Systems*. Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering, 5(4).

BIODATA PENULIS

Apt. Nenden Nurhasanah, M.Farm., lahir di Bandung, 6 Mei 1990. Jenjang S1 Farmasi ditempuh di Universitas Jenderal Ahmad Yani di Kota Cimahi dari tahun 2008-2012. Karena ketertarikan penulis terhadap ilmu farmakologi molekuler, maka penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang magister pada tahun 2020 di Universitas Indonesia Kota Depok.



Penulis telah menerbitkan dua artikel penelitian terindeks Scopus dengan tema farmakologi molekuler terkait pendekatan mekanisme analisis secara *in-silico* dan *in-vivo*. Saat ini penulis mengajar di Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Widya Dharma Husada jurusan Farmasi Klinik dan Komunitas.

BAB 7

REPRODUKSI DAN PERKEMBANGAN

Putri Rahayu Ratri, S.Si., M.Biomed.
putri_ratri@polije.ac.id

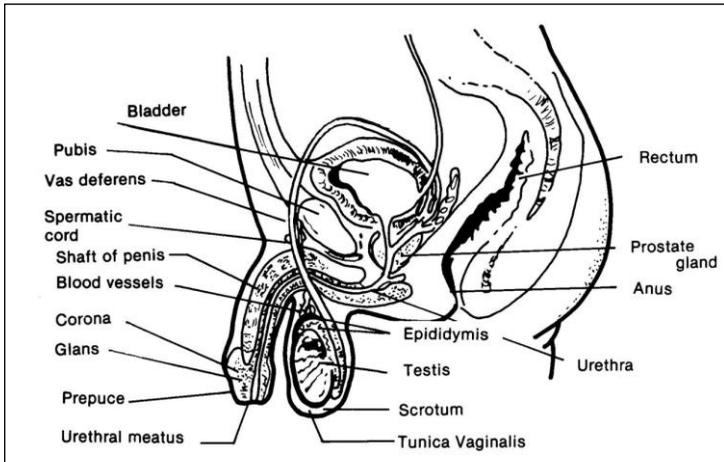
A. Sistem Reproduksi Pria

Sistem reproduksi merupakan sistem yang kompleks dan menarik. Melalui reproduksi makhluk hidup dapat meneruskan keturunannya dan melestarikan jenisnya. Fungsi sistem reproduksi pria dan wanita pada dasarnya sama yaitu menghasilkan hormon seks dan sel gamet. Keduanya didukung oleh organ seksual primer dan organ seksual sekunder. **Sistem reproduksi pria** terdiri atas organ reproduksi yang berkesinambungan satu sama lain. Berdasarkan anatominya organ reproduksi tersebut terbagi menjadi organ reproduksi internal dan organ reproduksi eksternal (Gambar 7.1). **Organ reproduksi internal pria**, terdiri atas testis, saluran-saluran serta kelenjar yang terhubung dengan testis. **Testis** merupakan kelenjar berbentuk oval berukuran panjang 5 x 2,5 cm yang terletak di dalam **skrotum**. Testis berperan dalam menghasilkan **testosteron** dan **spermatozoa**. **Tubulus seminiferus** merupakan saluran yang berada di dalam testis dengan panjang sekitar 70 cm, sebagai tempat produksi spermatozoa (**spermatogenesis**). Selanjutnya spermatozoa disimpan dan

dimatangkan di dalam **epididimis**, terletak di bagian belakang testis. Pematangan spermatozoa dibantu oleh sejumlah protein yang disekresikan oleh epitel epididimis. **Vas deferens** merupakan saluran dengan panjang 45 cm, berperan mengantarkan spermatozoa matang menuju uretra sebagai persiapan untuk ejakulasi. **Uretra** selain berperan sebagai saluran urin juga tempat keluarnya air mani (semen). Keluaran urin dan semen secara bergantian, sehingga tidak tercampur keduanya saat dikeluarkan. Di ujung vas deferens terdapat **vesikula seminalis** yang merupakan kelenjar penghasil sumber energi spermatozoa yaitu **fruktosa**. Selain nutrisi, kandungan semen juga mengandung cairan ejakulat yang dihasilkan oleh **kelenjar prostat**. **Kelenjar bulbouretral atau kelenjar Cowper** juga berperan dalam menambahkan cairan semen yang bening, licin dan bersifat basa. Cairan ini berperan **menetralisir keasaman** yang mungkin timbul akibat sisa tetes urin di uretra.

Organ reproduksi eksternal pria yaitu penis dan skrotum. **Penis** merupakan organ pria untuk melakukan hubungan seksual. Penis mempunyai tiga bagian, yaitu akar, tubuh dan kelenjar. Kelenjar penis terdapat diujung penis, ditutupi oleh lapisan kulit longgar (kulup). Penghilangan kulup ini yang kita kenal dengan sunat. Penis mengandung banyak ujung saraf yang sensitif. Tubuh penis berbentuk silinder dan terdiri dari tiga ruang internal yang tersusun atas jaringan ereksi seperti spons. Jaringan spons mengandung banyak pembuluh darah yang menyebabkan ereksi. **Skrotum** adalah kulit berbentuk kantong longgar yang menggantung di belakang penis, berisi testis, saraf dan pembuluh darah. Skrotum berperan dalam menjaga suhu testis sehingga

sperma berkembang normal. Suhu ideal testis sedikit lebih dingin dibandingkan suhu tubuh.



Gambar 7.1 Organ reproduksi internal dan eksternal pria. Dimulai organ reproduksi internal, berupa testis yang berperan menghasilkan spermatozoa. Spermatozoa akan dimatangkan dalam epididymis kemudian disalurkan melewati vas deferens menuju uretra. Kelenjar prostat berperan menghasilkan nutrisi bagi spermatozoa. Organ reproduksi eksternal berupa penis dan skrotum (sumber gambar: Anonim, 2023).

B. Sistem Reproduksi Wanita

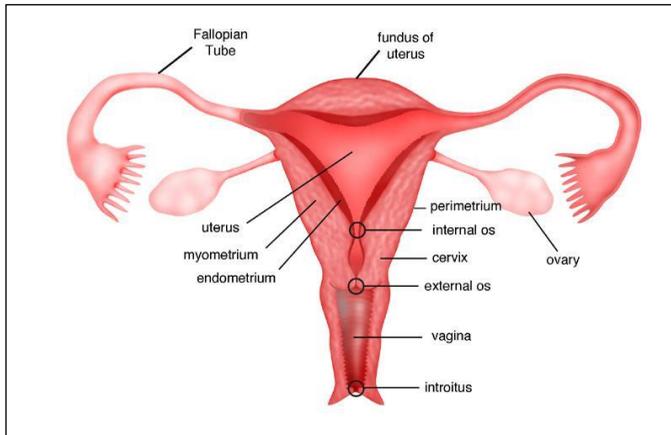
Sama halnya dengan sistem reproduksi pria, wanita juga memiliki sistem reproduksi yang terdiri atas organ internal dan organ eksternal. **Organ reproduksi internal wanita**, terdiri atas vagina, serviks, uterus, tuba falopi dan ovarium (Gambar 7.2). **Vagina** adalah saluran melengkung yang menghubungkan rahim ke

organ reproduksi eksternal. Vagina terletak di antara kandung kemih dan rektum. Vagina tersusun atas otot dan jaringan ikat yang dilapisi dengan jaringan epitel, yang berisi lipatan yang disebut **rugae**. Lipatan ini memungkinkan vagina meregang secara signifikan saat melahirkan. Sel-sel epitel yang melapisi vagina menunjukkan perubahan siklik yang berhubungan dengan estrogen, progesterin, dan androgen. Fungsi dari vagina, antara lain menerima penis laki-laki yang ereksi dan air mani selama hubungan seksual, jalur melalui tubuh wanita yang dilalui bayi saat melahirkan, menyediakan jalur bagi darah menstruasi (menstruasi) dari rahim, untuk keluar dari tubuh, dan mungkin memiliki alat kontrasepsi seperti diafragma atau kondom wanita. **Serviks** terdiri dari saluran serviks dengan bukaan internal di dekat korpus uterus yang disebut **os internal** dan bukaan ke dalam vagina yang disebut **os eksternal**. Lapisan mukosa serviks memiliki empat fungsi, yaitu memberikan pelumasan pada vagina, bertindak sebagai agen bakteriostatik, menyediakan lingkungan basa untuk melindungi sperma dari asam vagina, dan menghasilkan sumbat lendir pada saluran serviks pada masa kehamilan. **Uterus (rahim)** adalah organ berongga dan berotot, memiliki ukuran tebal sekitar 2,5 cm (1 inci), lebar 5 cm (2 inci), dan panjang 7,5 cm (3 inci). Selama kehamilan, rahim dapat meregang dan membesar secara signifikan. Beratnya rahim tidak hamil kira-kira 75 g, ukuran tersebut bisa meningkat menjadi sekitar 907 g. Selama kehamilan, vaskularisasi rahim meningkat sehingga memungkinkan tersedianya darah yang cukup, pasokan untuk pertumbuhannya, dan dapat meregang hingga ukuran yang cukup besar. Setelah kehamilan, hampir seluruhnya kembali ke berat, ukuran, dan bentuk semula. Rahim terbagi menjadi tiga bagian, yaitu **fundus (bagian atas)**, **korpus (badan)** dan **leher rahim**.

Rahim memiliki tiga lapisan, antara lain **perimetrium**, **miometrium**, dan **endometrium**. Fungsi rahim antara lain lapisan endometrium rahim akan meluruh setiap siklus menstruasi apabila tidak terjadi kehamilan, menjadi tempat janin tumbuh dan berkembang hingga siap untuk dilahirkan, dan otot rahim berkontraksi dan leher rahim melebar selama persalinan untuk mengeluarkan janin. **Tuba falopi atau oviduk** merupakan saluran memanjang ke samping dari rahim, satu saluran akan terhubung ke setiap ovarium. Bentuknya kecil, sempit dan panjangnya kira-kira 10 cm (4 inci). Saluran tuba membawa sel telur dari ovarium ke rahim melalui kontraksi silia. Silia pada saluran tuba falopi merupakan tonjolan seperti rambut yang terdapat pada lapisan saluran tuba. Dari ujung tuba falopi terdapat tonjolan kecil seperti jari yang disebut **fimbriae**. Gerakan mereka menyapu sel telur ke dalam tuba, setelah itu sel telur bergerak menuju rahim. Diperlukan waktu sekitar 5 hari bagi sel telur untuk menempuh jarak 10 cm dari ovarium ke rahim. Pembuahan sel telur dengan sperma biasanya terjadi di sepertiga bagian luar tuba falopi. Empat fungsi tuba falopi, yaitu saluran pertemuan sperma dengan sel telur, tempat terjadinya pembuahan, lingkungan bergizi yang aman bagi sel telur atau zigot dan alat angkut ovum atau zigot menuju korpus Rahim. **Ovarium** pada wanita dan testis pada pria mempunyai asal embriologis yang serupa. Sekitar 2 juta sel telur hadir saat lahir. Banyak sel telur yang mengalami degenerasi hingga pubertas, dan tersisa beberapa ribu sel telur. Selama masa reproduksi seorang wanita, hanya sekitar 400 sel telur yang cukup matang untuk dibuahi. Selama setiap siklus menstruasi, satu folikel matang menjadi apa yang disebut **folikel the Graff**, yang berisi sel telur yang dilepaskan setiap bulan selama ovulasi. **Estrogen** yang

Reproduksi dan Perkembangan

dilepaskan oleh ovarium merangsang perkembangan ciri-ciri seksual sekunder, seperti payudara. **Progesteron** bertanggung jawab untuk mempersiapkan dan memelihara lapisan rahim untuk implantasi sel telur. Ovarium mempunyai dua fungsi, yaitu perkembangan, pematangan serta **pengeluaran sel telur (ovulasi)** dan sekresi hormon estrogen dan progesterone.



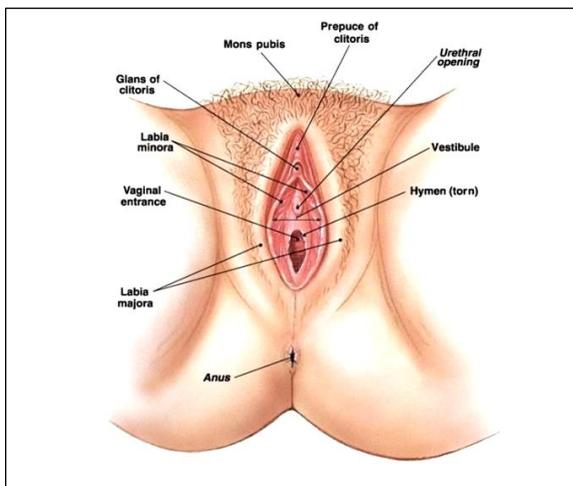
Gambar 7.2 Organ reproduksi internal wanita, terdiri atas ovarium, tuba falopi, uterus, serviks, dan vagina. Ovarium berperan menghasilkan sel telur yang akan dilepaskan menuju tuba falopi. Jika terjadi pembuahan, maka embrio akan berkembang di dalam uterus (sumber gambar: Campbell, et. al. 2010).

Organ reproduksi eksternal wanita, terdiri atas vulva, mons pubis, labia mayor, labia minor, klitoris, vestibulum, uretra, hymen, dan perineum (Gambar 7.3). **Vulva** merupakan alat reproduksi luar wanita terdiri dari mons pubis yang ditumbuhi rambut kemaluan, dua lipatan jaringan disebut labia mayora dan

labia minora, yang mengelilingi ruang yang disebut ruang depan. **Mons pubis** terbentuk di tepi atas simfisis pubis dan berbentuk seperti segitiga terbalik. Letaknya di atas dua tulang kemaluan panggul. Struktur ini terdiri dari jaringan lemak yang terletak di bawah kulit dan sejak masa pubertas, ditutupi dengan jumlah rambut yang bervariasi. Mons pubis mengelilingi jaringan halus dan melindunginya dari cedera. **Labia mayora** adalah dua lipatan jaringan lemak yang membentuk batas lateral vulva. Mereka ditutupi dengan kulit kasar dan rambut kemaluan di bagian luar dan halus dan lembab di bagian dalam, di mana terdapat banyak lubang kelenjar kecil. **Labia minora** adalah lipatan kulit lembut yang kaya akan kelenjar sebaceous. Labia minora lembab dan terdiri dari jaringan ereksi yang mengandung jaringan ikat longgar, pembuluh darah, dan otot tak sadar. Fungsi labia minora adalah untuk melumasi dan kedap air pada kulit vulva serta memberikan sekresi bakterisida yang membantu mencegah infeksi. **Klitoris** adalah struktur kecil dan sensitif, seperti penis, terdiri dari jaringan ereksi, saraf, dan pembuluh darah. Ujungnya ditutupi dengan jaringan yang sangat sensitif. **Vestibulum** adalah cekungan berbentuk perahu yang dikelilingi oleh labia minora dan terlihat ketika labia minora dipisahkan. Vestibulum berisi lubang vagina (introitus), yang terletak di antara alat kelamin luar dan dalam. **Uretra** sebenarnya digunakan untuk buang air kecil. Uretra terhubung ke kandung kemih. Pada wanita, uretra panjangnya 1,5 inci, dibandingkan pria yang panjang uretranya 8 inci. **Hymen atau selaput dara** adalah selaput lendir tipis dan elastis yang menutupi sebagian vagina pada wanita muda. Tampaknya tidak memiliki fungsi atau tujuan fisiologis tertentu. Banyak bentuk yang mungkin terjadi. Variasi normal selaput dara berkisar dari tipis dan elastis

Reproduksi dan Perkembangan

hingga tebal dan agak kaku; atau mungkin juga tidak ada sama sekali. **Perineum** adalah bentangan kulit pendek yang dimulai dari bagian bawah vulva hingga ke anus. Perineum pada beberapa wanita mungkin robek saat melahirkan bayi. Beberapa dokter mungkin memotong perineum (episiotomi) dengan alasan bahwa sobekan tersebut mungkin lebih berbahaya daripada sayatan tepat dengan pisau bedah. Jika dokter memutuskan bahwa pemotongan itu perlu, mereka akan melakukannya.



Gambar 7.3 Organ reproduksi eksternal wanita terdiri dari vulva, mons pubis, labia mayor, labia minor, klitoris, vestibulum, uretra, hymen, dan perineum (sumber gambar: Lowdermik, et. al. 2012).

C. Siklus Menstruasi

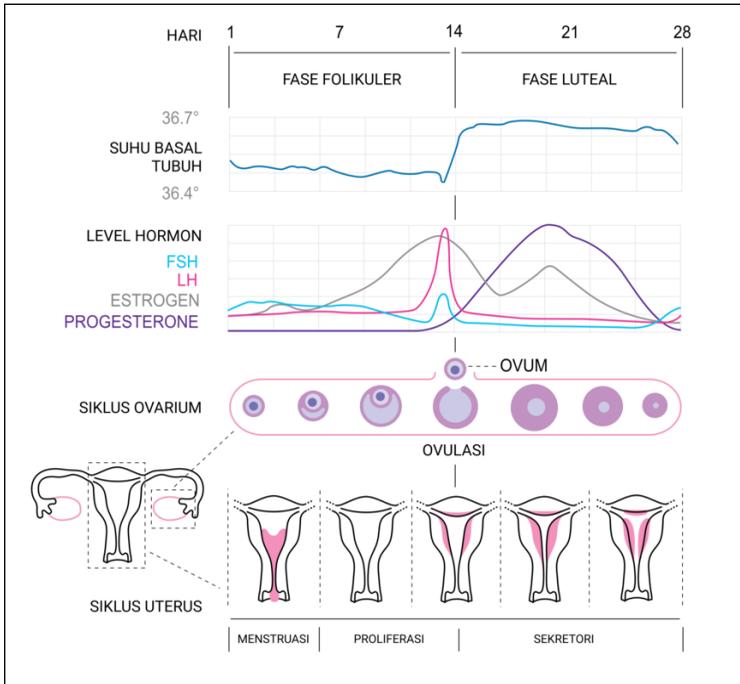
Menstruasi adalah peristiwa luruhnya dinding rahim (**endometrium**) secara siklik dan teratur, sebagai respons terhadap

interaksi hormon yang diproduksi oleh hipotalamus, hipofisis, dan ovarium. Siklus menstruasi terdiri dari dua fase, yaitu **fase folikular** atau **fase proliferasi** dan **fase luteal** atau **fase sekretorik**. Lamanya satu siklus menstruasi adalah jumlah hari antara hari pertama keluarnya darah menstruasi pada satu siklus hingga permulaan menstruasi pada siklus berikutnya. Rata-rata durasi satu siklus menstruasi adalah **28 hari** dengan panjang siklus terbanyak antara 25 hingga 30 hari. Wanita yang mengalami siklus menstruasi yang terjadi dengan interval kurang dari 21 hari disebut **polimenorea**, sedangkan wanita yang mengalami siklus menstruasi memanjang lebih dari 21 hari hingga 35 hari, disebut **oligomenorea**. Volume darah yang hilang selama menstruasi adalah **sekitar 30 mL**. Jumlah darah yang lebih besar dari 80 mL dianggap tidak normal. Siklus menstruasi biasanya paling tidak teratur pada masa-masa kehidupan reproduksi yang ekstrem (**menarche dan menopause**) karena anovulasi dan perkembangan folikel yang tidak memadai. Fase luteal dari siklus relatif konstan pada semua wanita, dengan durasi 14 hari. Variabilitas panjang siklus biasanya berasal dari lamanya siklus yang bervariasi. Fase folikuler dari siklus yang dapat berkisar antara 10 hingga 16 hari. Siklus menstruasi dipengaruhi oleh hormon **FSH (Folicle Stimulating Hormone)** yang dikeluarkan oleh lobus anterior hipofisis. Hormon tersebut merangsang pertumbuhan folikel primer yang dapat berkembang dalam ovarium. **Folikel primer** tersebut kemudian berkembang menjadi **folikel de Graff** sehingga **LH (Luteinizing Hormone)** dilepaskan. Dilepaskannya FSH dan LH dipengaruhi oleh **GnRH (Gonadotropin Releasing Hormone)** yang disalurkan dari hipotalamus ke hipofisis. Sejalan dengan makin matangnya folikel de Graff maka estrogen semakin

Reproduksi dan Perkembangan

banyak dihasilkan. Estrogen berpengaruh terhadap endometrium sehingga endometrium tumbuh dan berpoliferasi (**fase folikular atau fase proliferasi**). Setelah **ovulasi** dibentuklah **corpus rubrum** yang akan menjadi **corpus luteum** di bawah pengaruh hormon LH dan **LTH (Luteotropin Hormone)**. Corpus Luteum menghasilkan **progesteron** yang menyebabkan endometrium bersekresi dan kelenjarnya berlekuk-lekuk atau disebut juga dengan **fase luteal atau fase sekretorik**. Pada fase akhir, endometrium berubah ke arah sel-sel desidua terutama yang berada di seputar pembuluh-pembuluh arteri. Keadaan ini memudahkan adanya **nidasi** atau penempelan embrio pada lapisan endometrium uterus. Fase pada siklus menstruasi terdiri dari dua, yaitu pertama **fase haid (menstruasi)** selama 2-8 hari. Endrometrium meluruh dan keadaan hormon ovarium pada level paling rendah. Kedua **fase proliferasi** sampai hari ke 14 pada waktu endometrium tumbuh kembali. Proliferasi antara hari ke 12 dan ke 14 di mana dapat terjadi pelepasan ovum dari ovarium yang disebut **ovulasi** (Gambar 7.4).

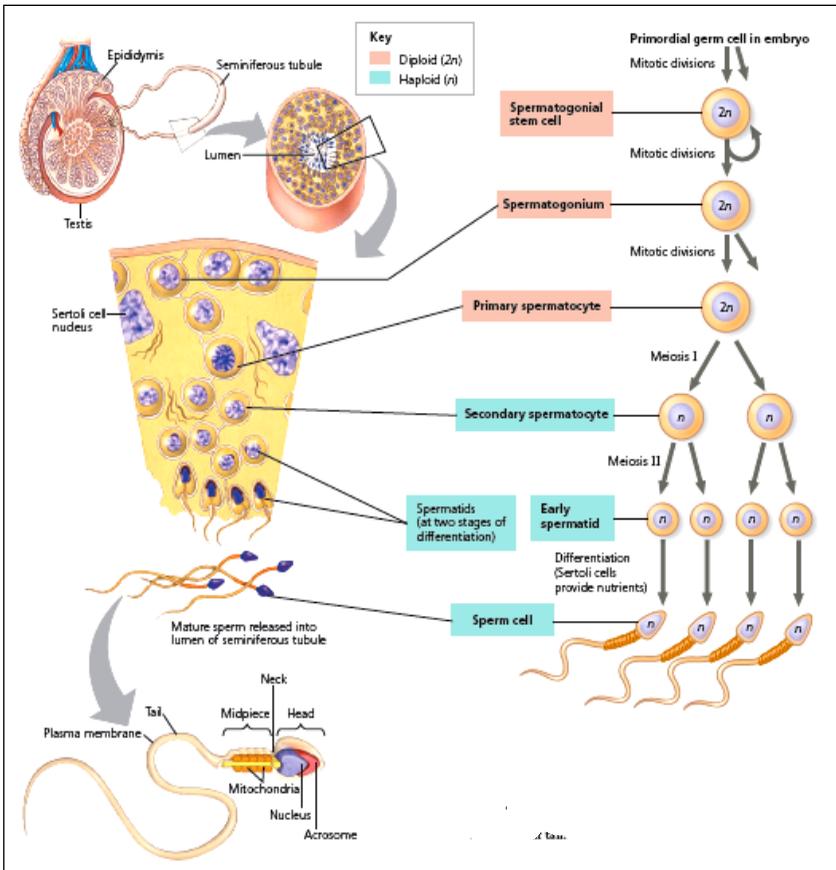
Reproduksi dan Perkembangan



Gambar 7.4 Perubahan hormonal, struktur ovarium, struktur endometrium, dan suhu tubuh wanita selama siklus menstruasi. Saat menstruasi kadar hormon di dalam darah menurun dan suhu basal tubuh juga menurun. Menjelang ovulasi, hormon esterogen meningkat menstimulasi diproduksinya FSH dan LH sehingga ovulasi terjadi (hari ke-14). Endometrium akan luruh jika progesteron menurun kadarnya di dalam darah disebut menstruasi (sumber gambar: Wikipedia, 2021).

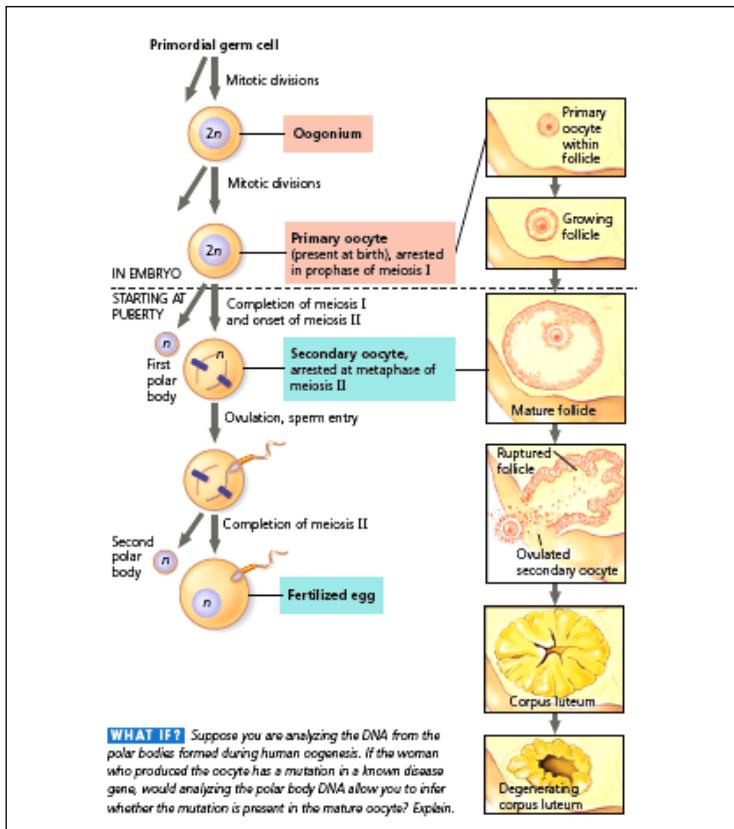
D. Spermatogenesis dan Oogenesis

Spermatogenesis dan **oogenesis** adalah dua jenis pembelahan yang terjadi pada organ reproduksi manusia. Proses pembelahan ini juga disebut **gametogenesis**, terjadi pada sel germinal pada gonad melalui proses meiosis. **Sel germinal diploid (2n)** akan menghasilkan empat **sel gamet haploid (n)**. **Spermatogenesis** adalah proses produksi sel sperma yang berasal dari spermatogonia. Spermatogenesis terjadi pada **tubulus seminiferous** di dalam gonad testis. Setiap spermatogonia menghasilkan **empat spermatozoa haploid**. Spermatogenesis terjadi secara **meiosis**. Spermatogenesis dimulai sejak pria mengalami pubertas. Jutaan sperma diproduksi per hari sepanjang kehidupan pria. **Spermatogonium** atau **spermatogonia** adalah sel germinal spermatogenik yaitu sel induk yang mampu melakukan pembelahan sel. Spermatogonia berdiferensiasi secara mitosis menjadi spermatogonium perantara, yang kemudian menjadi **spermatosit primer (2n)**. Spermatosit primer mengalami pembelahan meiosis I menghasilkan dua **spermatosit sekunder (n)**. Hasil pembelahan meiosis tersebut merupakan sel haploid yang disebut **spermatid**. Spermatid mengalami diferensiasi menjadi spermatozoa disebut **spermiogenesis** (Gambar 7.5). Sperma manusia berkembang sekitar 70 hari, dimana 100 juta sperma diproduksi oleh testis manusia setiap harinya.



Gambar 7.5 Spermatogenesis. *Spermatogonial stem cell* ($2n$) akan membelah menjadi spermatogonium ($2n$) diteruskan menjadi spermatisit primer ($2n$) dalam pembelahan mitosis. Pembelahan meiosis I baru terjadi saat pembelahan spermatisit primer menjadi spermatisit sekunder (n). Spermatisit sekunder akan membelah kembali secara meiosis II menjadi spermatid. Keempat spermatid akan berdiferensiasi menjadi spermatozoa (sumber gambar: Campbell, et. al., 2010).

Oogenesis merupakan proses memproduksi sel telur dari oogonia di **ovarium**. Oogenesis normalnya terjadi sebulan sekali sejak pubertas hingga menopause. Selama perkembangan embrio sekitar 7 juta sel germinal diproduksi oleh ribuan oogonia selama bulan kedua hingga ketujuh embrio. Sel memperbarui diri dan berdiferensiasi menjadi sel telur. **Oogonia** akan membelah secara mitosis menghasilkan **oosit primer (2n)**. Oosit primer akan melalui proses pembelahan sampai tahapan diploten selama proses embrionik. Tahapan tersebut kemudian berhenti sementara hingga wanita masuk masa pubertas. Setelah pubertas oosit primer akan melanjutkan proses pembelahannya secara meiosis dan menghasilkan **oosit sekunder (n)**. Pembelahan meiosis I oosit primer menghasilkan satu oosit sekunder dan satu **badan polar**. Oosit sekunder dilepaskan dari ovarium selama ovulasi. Jika terjadi pembuahan, maka oosit sekunder akan meneruskan pembelahan meiosis II menjadi sel telur yang terfertilisasi (Gambar 7.6).



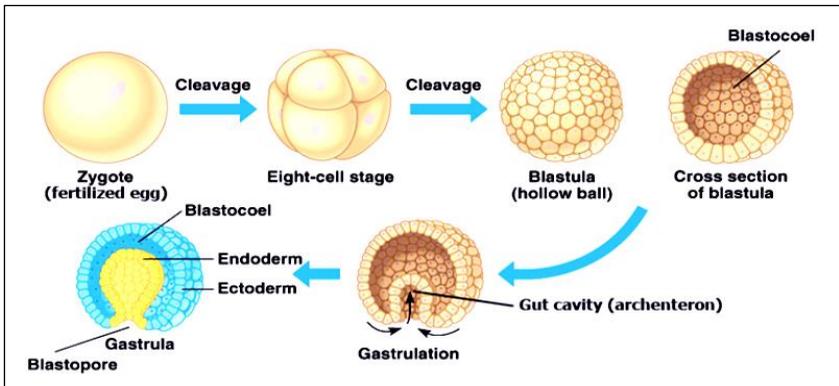
Gambar 7.6 Oogenesis. *Oogonial stem cell* ($2n$) akan membelah menjadi oogonium ($2n$) diteruskan menjadi oosit primer ($2n$) dalam pembelahan mitosis. Pembelahan meiosis I baru terjadi saat pembelahan oosit primer menjadi oosit sekunder (n) dan badan polar pertama. Oosit sekunder mengalami ovulasi. Jika terjadi fertilisasi maka meiosis II akan dilanjutkan membentuk sel telur yang dibuahi dan badan polar kedua (sumber gambar: Campbell, et. al., 2010).

E. Embriogenesis dan Kehamilan

Embriogenesis adalah proses pembentukan dan perkembangan embrio pada tahap awal perkembangan prenatal. Embriogenesis dimulai dengan pembuahan sel telur oleh sel sperma atau yang disebut dengan **fertilisasi**. Sel telur yang telah dibuahi kemudian disebut dengan **zigot**, yang merupakan sel diploid tunggal. Zigot mengalami banyak pembelahan mitosis dan diferensiasi sel yang mengarah ke perkembangan organisme multiseluler. **Cleavage** atau **pembelahan** merupakan rangkaian pembelahan sel yang mengubah satu sel zigot ke tahap embrio multiseluler atau blastula disebut *cleavage* atau segmentasi. Pembelahan mitosis zigot menghasilkan sel anakan yang disebut dengan **sel blastomere**. Sel *blastomere* ini akan membelah membentuk massa kompak yang disebut morula. Pembelahan diakhiri dengan terbentuknya blastula. **Morula** adalah tahap pembelahan tempat blastomer berada tersusun kompak di dalam **zona pelusida** sehingga menghasilkan penampilan seperti buah murbei. Morula terdiri dari yang kecil sekelompok sel internal dikelilingi oleh kelompok yang lebih besar disebut sel luar. Sebagian besar sel luar menjadi sel **trofoblas**. Kelompok sel ini tidak menghasilkan struktur embrio melainkan membentuk jaringan **korion (plasenta)**. Korion berfungsi menyalurkan oksigen dan makanan dari ibu ke janin. **Implantasi** terjadi setelah proses *cleavage* selesai maka embrio akan menempel pada bagian dinding endometrium uterus. Implantasi embrio dilakukan oleh sel-sel trofoblas. Embrio ketika melakukan implantasi berada di dalam tahap blastokista dan proses selanjutnya yaitu gastrulasi dimulai setelah implantasi. Pada masa ini, membran embrionik mulai terbentuk. **Gastrulasi** merupakan peristiwa yang mengubah

Reproduksi dan Perkembangan

blastula berlapis tunggal menjadi gastrula berlapis banyak secara kolektif. Pada proses ini terjadi pembentukan rongga usus primordial yang disebut **gastrokel atau archenteron**. Selain itu, terbentuk tiga lapisan, yaitu **ektoderm (epiblas)**, **mesoderm (meroblas)**, dan **endoderm (hipoblas)**. Ektoderm menghasilkan epidermis, sistem saraf, dan puncak saraf pada vertebrata. Mesoderm menghasilkan banyak jenis sel seperti otot, tulang, dan jaringan ikat. Endoderm menghasilkan sel epitel sistem pencernaan dan sistem pernapasan, dan organ yang berhubungan dengan sistem pencernaan, seperti hati dan pankreas (Gambar 7.7).



Gambar 7.7 Tahapan embriogenesis, meliputi, zigot, morula, blastula dan gastrula. Fertilisasi menghasilkan zigot yang akan membelah menjadi 32-64 sel membentuk morula. Morula mengalami glastulasi membentuk blastula dengan adanya rongga disebut blastocoel. Pada tahap blastula inilah penempelan embrio pada dinding uterus terjadi. Tahap terakhir, gastrula terbentuk dengan diferensiasi lapisan, ektoderm, mesoderm dan endoderm membentuk organ (sumber gambar: Campbell, et. al., 2010).

Kehamilan manusia dimulai dengan implantasi embrio ke dinding rahim sekitar hari ke 6 hingga hari ke 10 pasca ovulasi (hari ke 20–24 dalam siklus 28 hari). Pada hari ke 10, blastokista telah terbungkus seluruhnya di dalam endometrium dan perkembangan embrio telah dimulai. Proses kehamilan terdiri dari tiga tahapan, yaitu pertama **periode diferensiasi (konsepsi sampai minggu ke 12 amenore)** dimana organogenesis (pembentukan organ) berlangsung. Kedua, **periode pertumbuhan (minggu ke 12 hingga 28)** yang ditandai dengan proliferasi sel. Ketiga, **periode penambahan berat badan (minggu ke 28 hingga akhir kehamilan)** selama pematangan fungsional organ terjadi. Rata-rata berat badan bayi baru lahir cukup bulan adalah 3200 g (berat badan normal berkisar antara 2500 hingga 4000 g). Persalinan cukup bulan pada manusia terjadi antara minggu 37 dan 42 penuh. Kehamilan normalnya berlangsung selama 280 hari (40 minggu) setelah haid terakhir jika ovulasi terjadi 14 hari setelah haid terakhir permulaan menstruasi.

F. Kontrasepsi

Kontrasepsi merupakan metode pencegah fertilisasi sehingga kehamilan tidak terjadi, dapat bersifat sementara ataupun permanen. Metode kontrasepsi ada yang bersifat tradisional dan modern. **Metode kontrasepsi tradisional atau sederhana** dibagi menjadi kontrasepsi alamiah tanpa alat dan dengan alat. **Metode kontrasepsi alamiah tanpa alat** seperti metode kalender, suhu basal, pantang berkala, *symptoothermal*, lendir serviks, dan senggama terputus. Sedangkan **metode sederhana dengan alat** seperti barrier intravaginal, kondom, dan spermasida. **Kontrasepsi modern** seperti kontrasepsi hormonal (pil, suntik, implan), alat kontrasepsi

dalam rahim, serta non-hormonal (vasektomi, tubektomi). Pemakaian kontrasepsi dapat bertahan seumur hidup sekali pemasangan, seperti *intrauterine device* (IUD), implan, tubektomi dan vasektomi. **Tubektomi** merupakan metode pengikatan atau pemotongan saluran tuba falopi, sedangkan **vasektomi** pada saluran vas deferens. Keduanya dikenal dengan metode **sterilisasi**. **Kondom** berperan dalam membatasi bertemunya dua sel gamet sehingga tidak terjadi fertilisasi. Selain itu, kondom juga dapat mencegah penularan penyakit menular seksual (PMS). Namun kondom banyak digunakan sebagai alat pengaman yang tidak dibenarkan (seks bebas) karena harganya terjangkau dan mudah didapatkan. **Pantang berkala atau KB kalender** dengan mengetahui masa subur wanita maka dapat diatur kapan hubungan seksual dilakukan. Namun perlu dipastikan dengan benar setidaknya 3 bulan terakhir keteraturan tanggal dan perhitungan hari menstruasi wanita tersebut. **Metode amenorea laktasi (MAL) atau *Lactational Amenorrhea Method* (LAM)** adalah metode kontrasepsi sederhana dengan memanfaatkan masa menyusui. Saat menyusui, kadar hormon prolactin yang tinggi dapat menghambat GnRH pada hipotalamus, sehingga menghambat dilepaskannya hormon penstimulasi ovulasi yaitu FSH dan LH dari hipofisis anterior. **Kontrasepsi hormonal** bertujuan mencegah terjadinya kehamilan berisi hormon estrogen dan progesteron. Saat esterogen dan progesteron meningkat maka FSH dan LH akan dihambat produksinya, menyebabkan tidak terjadinya ovulasi walau tetap terjadi oogenesis di dalam ovarium.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2023). *Male Reproductive System: Obstetrics Pediatrics*. Integrated Publishing Inc. <http://armymedical.tpub.com/MD0584/Male-reproductive-system-Obstetrics-12.htm>.
- Campbell, N. A., et. al. (2010). *Biologi*. 8th ed. Jakarta: Erlangga.
- Carr, B. R. & Wilson J. D. (1987) *Disorders of the Ovary and Female Reproductive Tract*. In: Braunwald E, Isselbacher KJ, Petersdorf RG, et al, eds. *Harrison's Principles of Internal Medicine*. 11th ed. New York: McGraw-Hill.
- Cunningham, F. G., Leveno, K. J., Bloom, L. S., Hauth, J. C., Gilstrap, L. C. & Wenstrom, K. D. (2005). *Williams Obstetrics*. 22nd ed. United States of America: McGraw-Hill Companies. Inc.
- Gilbert, Scott, F. (2017). *Developmental Biology: Spermatogenesis*. 6th ed. U.S. National Library of Medicine.
- Gilbert, Scott, F. (2017). *Developmental Biology: Oogenesis*. 6th ed. U.S. National Library of Medicine.
- Guyton. (1990). *Fisiologi Manusia dan Mekanisme Sakit*. Jakarta: EGC.
- Guyton & Hall. (2011). *Medical Physiology*. 12th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders.
- Lowdermik, D. L., et. al. (2012). *Maternity and Womens Health Care*. 10th ed. St. Louis: Mosby.
- Mahajan T. & Ganguly S., (2018). *Embryogenesis: a Comprehensive Review*. Journal of Entomology and Zoology Studies. 6(11): 1151 – 1153.

Reproduksi dan Perkembangan

- Nurullah, F. A. (2021). *Perkembangan Metode Kontrasepsi di Indonesia*. Continuing Medical Education. 48(3): 166 – 172.
- Selvas's Fertility. (2023). *The Normal Female Anatomy*. Mallaca.
- Syaifuddin, A. (2009). *Fisiologi Tubuh Manusia untuk Mahasiswa Keperawatan*. 2nd ed. Jakarta: Salemba Medika.
- Pearce, EC. (2010). *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Wardani, H. E., (2019). *Bahan Ajar Biomedik*. Malang: Penerbit Wineka Media.
- Wikipedia. (2021). *Siklus Menstruasi*.
http://id.wikipedia.org/wiki/siklus_menstruasi.

BIODATA PENULIS

Putri Rahayu Ratri, S.Si., M.Biomed., lahir di Gunung Kidul pada tahun 1985. Beliau menempuh jenjang Pendidikan S1 di Biologi Fakultas MIPA Universitas Indonesia (tahun 2003-2007) dan melanjutkan jenjang S2 di Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia (tahun 2013-1015) mengambil jurusan Ilmu Biomedik. Saat ini beliau mengabdikan sebagai salah satu dosen pengajar di Politeknik Negeri Jember. Beliau saat ini aktif pada penelitian pangan dan gizi dan aktif melakukan pengabdian masyarakat di bidang gizi dan kesehatan. Beberapa buku yang telah ditulis, antara lain *The Power of Chitosan (Peran Limbah untuk Masyarakat)* pada tahun 2020 dan *Perilaku Hidup Bersih dan Sehat* pada tahun 2021.



BAB 8

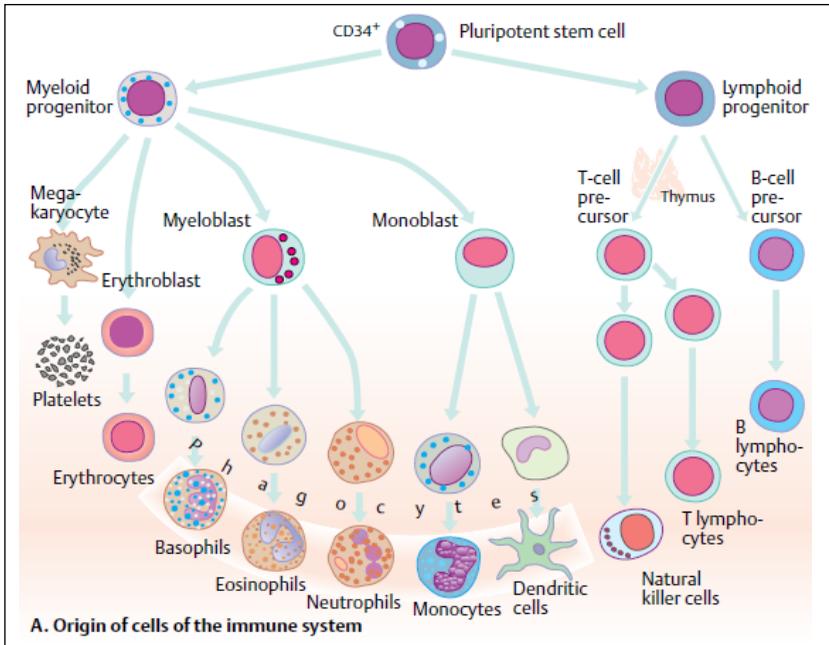
IMUNITAS TUBUH PADA BAKTERI, JAMUR DAN VIRUS

dr. Yani Kurniawan, M.M., M.Biomed.
dryanikurniawan@gmail.com

A. Definisi Imunitas Tubuh

Imunitas adalah sebuah fenomena biologi universal yang berkembang menjadi banyak sistem, didasari pada keunikan genotipe tubuh dari benda asing sejak awal kehidupan hingga kematian. Imunitas berasal dari bahasa Latin, *immunis*, yang memiliki arti bebas dari beban. Para ahli mengartikan imunitas sebagai sistem pertahanan tubuh. **Imunologi** adalah sebuah ilmu pengetahuan makhluk hidup yang mempelajari tentang sistem imun, mekanisme imunologi dan imunopatologi pada manusia, hewan dan makhluk hidup lainnya. Awal abad ke-15, penelitian penyakit infeksi dilakukan oleh bagian mikrobiologi dan meneliti bagaimana tubuh memberikan respons terhadap penyebab infeksi. Kemudian banyak cabang ilmu penyakit memberikan sumbangan tentang perkembangan imunologi sehingga perkembangan imunologi dari segi terapi, pencegahan serta respons terus dipelajari seiring berkembangnya berbagai macam penyakit yang ada. Sistem imunitas terdiri atas banyak komponen baik seluler maupun

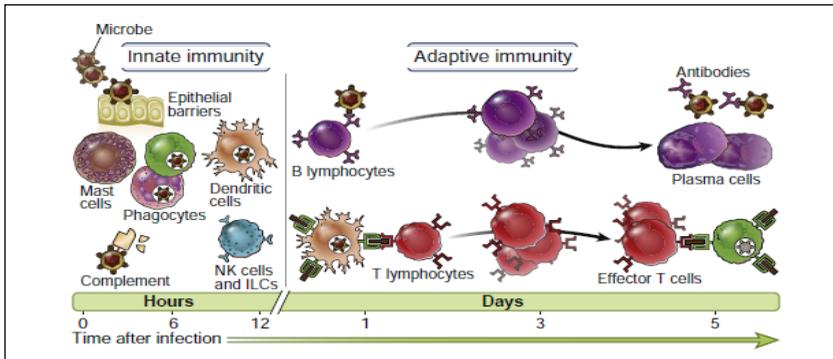
humoral. Komponen seluler meliputi sel-sel fagosit, sel *natural killer* (NK) dan limfosit. Proses pembentukan sel darah putih sebagai komponen sistem imunitas tubuh, berasal dari satu sel punca yang sama dengan sel darah lainnya, yaitu eritrosit dan trombosit pada sumsum tulang, proses ini disebut **hematopoeisis** (Gambar 8.1).



Gambar 8.1. Hematopoeisis. Komponen seluler sistem imunitas terbentuk bersamaan dengan pembentukan sel darah lainnya di dalam sumsum tulang. Sel sistem imunitas tubuh berasal dari sel mioblas dan monoblas yang berdiferensiasi menjadi sel fagosit, meliputi basofil, eosinofil, neutrofil, monosit dan sel dentritik. Selain itu, sel progenitor limfoid berdiferensiasi menjadi sel limfosit B dan limfosit T, dimana limfosit T dimatangkan dalam timus (sumber gambar: Abbas, et. al., 2015).

B. Komponen dan Mekanisme Sistem Imunitas Nonspesifik dan Spesifik

Di sekitar lingkungan kita banyak mengandung berbagai unsur yang bersifat **patogen**, contohnya parasit, jamur, protozoa, virus, dan bakteri. Infeksi pada tubuh berlangsung singkat dan tidak menjadi kerusakan permanen. Hal ini disebabkan adanya sistem imunitas atau sistem pertahanan. Sistem imunitas terdiri dari dua jenis, yaitu imunitas nonspesifik dan imunitas spesifik (Gambar 8.2).



Gambar 8.2 Mekanisme imunitas tubuh terdiri atas imunitas nonspesifik (*innate immunity*) dan spesifik (*adaptive immunity*). Saat terpapar infeksi mikroba, sistem imunitas nonspesifik sebagai komponen pertahanan pertama dengan reaksi hingga 12 jam. Komponen imunitas nonspesifik, meliputi sel mast, sel fagosit, sel dendritik, sel NK, interleukin (IL) dan komplemen. Sistem imunitas spesifik akan merespons dalam hitungan 1-3 hari. Komponen imunitas spesifik, meliputi sel limfosit B dan T. Sel limfosit B akan menghasilkan antibodi sebagai pertahanan antigen ekstraseluler, sedangkan sel limfosit T efektor sebagai pertahanan intraseluler (sumber gambar: Abbas, et. al., 2015).

Sistem imunitas nonspesifik atau **imunitas bawaan (*innate immunity*)** terdiri dari **pertahanan eksternal**, antara lain kulit, jaringan mukosa, kelenjar keringat, air liur, silia, air mata, enzim pencernaan dan flora normal tubuh. **Pertahanan internal** imunitas nonspesifik mengaktifkan proses **fagositosis, inflamasi** (demam, panas, merah, bengkak), **interferon** dan beberapa zat yang dikeluarkan oleh leukosit dan reseptor alami yang dapat berikatan dengan berbagai macam **zat asing atau antigen**. Seluruh elemen sistem ini baik dapat secara langsung mempengaruhi patogen yang masuk atau meningkatkan efektivitas respons tubuh terhadap patogen. Sistem imunitas nonspesifik bekerja secara cepat dan tidak bersifat spesifik. Komponen selulernya, antara lain sel neutrofil, polimorfonuklear, makrofag, sel dendritik dan sel NK. Sel yang berperan dalam fungsi fagositosis adalah sel granulosit, makrofag, dan sel mikroglia (sel di sistem saraf pusat). Fagositosis sel berperan dalam proses destruksi dan eliminasi antigen yang telah masuk ke tubuh melewati pertahanan fisik dan kimiawi.

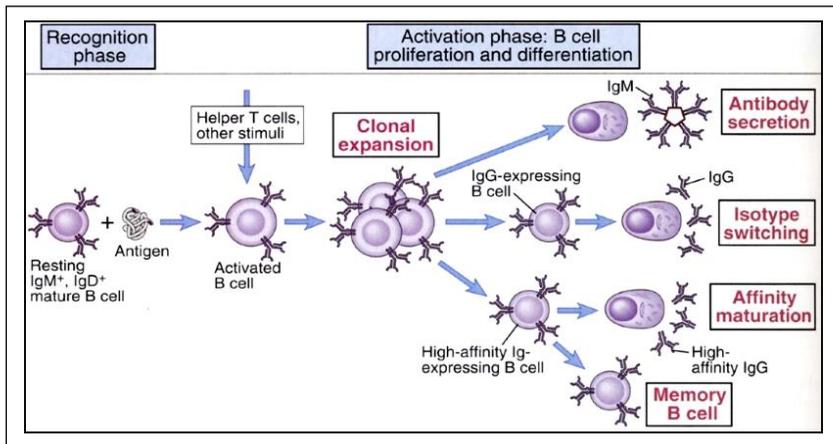
Sistem imunitas spesifik atau **imunitas didapat (*adaptive immunity*)** merupakan sistem pertahanan yang hanya dimiliki makhluk hidup vertebrata. Meskipun setiap individu lahir dengan kemampuan mengaktifkan respons imunitas terhadap antigen, tetapi kemampuan **sel limfosit B** dan **sel limfosit T** dalam melawan benda asing jumlahnya harus diperbanyak. Perbanyak jumlah sel limfosit dengan mengaktifkan ikatan reseptor-antigen. Aktivasi sel limfosit B dan sel limfosit T dibantu oleh **antigen presenting cell (APC)**, menginisiasi beberapa rangkaian kejadian yang mengarah pada proliferasi dan diferensiasi sel limfosit B dan sel limfosit T efektor. Mekanisme hingga terbentuknya respons berlangsung dalam hitungan hari sampai minggu. Respons imunitas

spesifik bersifat lambat dan spesifik. Sel limfosit B akan menghasilkan **immunoglobulin (antibodi)** sehingga bersifat **humoral** dan sel limfosit T, baik sel limfosit T sitotoksik maupun sel limfosit *T helper*, bersifat **seluler**. Ekspansi klonal sel limfosit B dan sel limfosit T mengarah pada fenomena **respons memori**. Adanya memori menyebabkan individu mendapat imunitas untuk menolak dan bertahan terhadap paparan patogen yang pernah masuk ke dalam tubuh. Penemuan respons imunitas spesifik bagian memori mendasari berbagai konsep kedokteran modern. Hal ini dikenali selama beberapa abad dimana banyak orang yang pernah terinfeksi dari penyakit yang mengancam nyawa, seperti cacar air, namun tidak meninggal, dibandingkan individu yang belum pernah terkena infeksi cacar air. Kemudian di tahun 1900-an, konsep vaksinasi atau imunisasi mulai dikenal dimana imunitas dapat diinduksi tidak hanya oleh patogen, tetapi dapat diinduksi melalui produk patogen itu sendiri.

C. Immunoglobulin

Imunoglobulin (Ig) atau antibodi adalah struktur berbentuk Y, terdiri dari 4 rantai polipeptida yaitu dua rantai berat (*heavy chains*) dan dua rantai ringan (*light chains*) dimana setiap rantai mengandung sebuah daerah variabel dan konstan. Terdapat 5 tipe rantai berat, antara lain μ , δ , γ , ϵ , dan α , yang membedakan di daerah C. Pada manusia ada 4 subtipe dari rantai γ dan dua dari rantai α . Kelima perbedaan ini kemudian memunculkan kelas atau isotipe, yaitu **IgM, IgD, IgG, IgE dan IgA**. Setiap isotipe memiliki fungsi fisik dan biologis serta fungsi efektor yang berbeda. Contoh isotipe yang memiliki pertahanan terhadap parasit cacing dan hipersensitivitas adalah IgE. IgA hanya berperan pada imunitas

jaringan mukosa. IgG merupakan antibodi yang memiliki waktu paruh hidup terlama di serum yaitu selama 23 hari dan berperan pada aktivasi komplemen dan opsonisasi. IgG juga berperan dalam perkembangan imunitas neonatal serta umpan balik penghambat sel limfosit B. IgM memiliki ciri khas bentuk paling kuat yaitu pentamer. Aktivasi imunoglobulin dapat dilihat pada Gambar 8.3.



Gambar 8.3 Mekanisme aktivasi imunoglobulin. Antigen mengaktifasi sel limfosit T helper melalui pengenalan oleh APC, yang kemudian mengaktifasi sel limfosit B. Sel limfosit B yang teraktifasi akan mengalami proliferasi dan diferensiasi menjadi beberapa sel plasma dan memori. Sel plasma inilah yang akan menyekresikan immunoglobulin (IgG) (sumber gambar: Abbas, et. al., 2015).

D. Imunitas Tubuh pada Bakteri, Jamur dan Virus

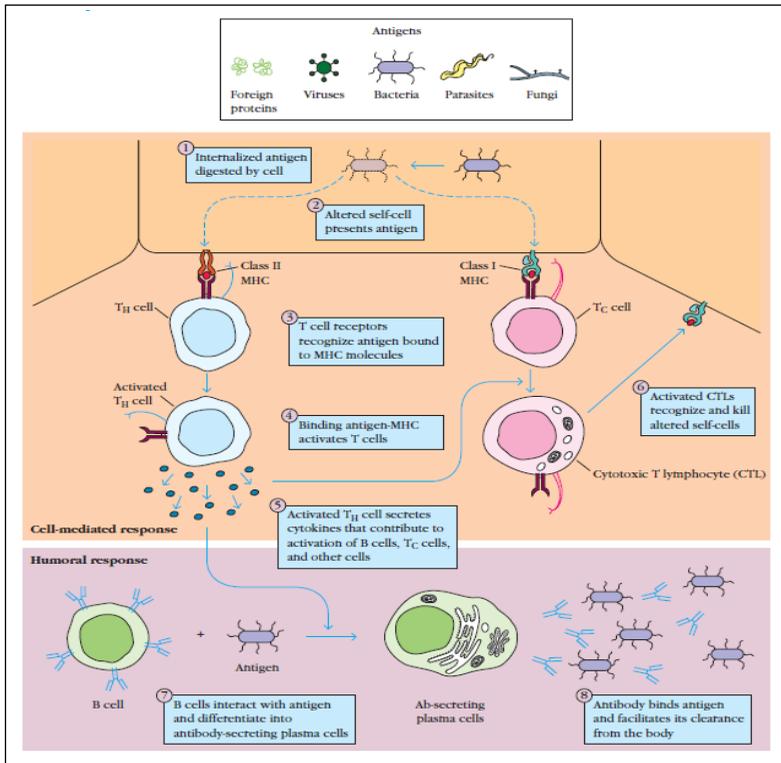
Pada pertengahan abad ke-19, telah jelas bahwa mikroorganisme dapat menyebabkan penyakit. Pengobatan yang

efektif pada saat itu tidak ada, pencegahan dan penyebaran penyakit infeksius tergantung dari kebersihan dan higienitas sendiri. Kemudian pada abad ke-20, prosedur pasif dan aktif vaksinasi telah dikembangkan untuk melawan patogen mencegah penyakit infeksius, yaitu rabies, difteri dan tetanus. Patogen yang berhasil penetrasi ke dalam tubuh, dikenali dan didegradasi oleh sel fagosit, seperti neutrofil, monosit dan makrofag. Bakteri dapat dibagi menjadi dua, yaitu bakteri ekstraseluler dan intraseluler berdasarkan pertahanan hidup dan replikasinya. **Bakteri ekstraseluler** dapat bereplikasi di luar sel tubuh manusia, seperti pada saluran pernapasan dan pencernaan. Bakteri jenis ini dapat memicu inflamasi, seperti penghancuran jaringan pada lokasi infeksi dan juga mampu memproduksi toksin (**endotoksin** dan **eksotoksin**) yang memiliki berbagai macam efek patologis. **Lipopolisakarida (LPS)** adalah endotoksin yang dimiliki oleh bakteri gram negatif. LPS ini merupakan ligan dari reseptor TLR dan aktivator penting makrofag, sel dendritik dan sel endotelial. Beberapa bakteri noninvasif (menggunakan eksotoxin) menyebabkan sakit, seperti tetanus, difteri, dan kolera, toksinnya mampu dinetralsir oleh sistem imunitas tubuh menggunakan antibodi. Respons imunitas terhadap infeksi bakteri ekstraseluler secara umum dimediasi secara lokal dari molekul imunitas efektor dari respons inflamasi. Antibodi dapat juga mengaktivasi mediasi komplemen yang mampu melisis bakteri, menetralsir toksin dan berperan sebagai opsonin untuk meningkatkan fagositosis. Beberapa bakteri menyekresi enzim protease yang berperan mengurangi efektifitas IgA pada sekresi jaringan mukosa. Bakteri juga mampu menghindari fagositosis dengan memproduksi kapsul atau protein yang mampu menghambat *adheren* dari fagosit dengan menyekresi

toksin yang membunuh sel fagosit atau dengan kemampuan untuk bertahan dari fagosit.

Respons imunitas terhadap **infeksi virus** melibatkan **komponen humoral** dan **sel mediasi** (Gambar 8.4). Antibodi mampu menghambat infeksi virus terhadap sel tubuh. Beberapa jenis virus, termasuk virus influenza, molekul reseptornya dapat bermutasi dan menghindari respons humoral antibodi. Sekali infeksi virus telah dikenali, imunitas sel mediasi dapat lebih penting dibandingkan imunitas humoral. Komponen imunitas nonspesifik yang berperan dalam melawan **jamur** adalah **neutrofil**, **makrofag** dan **ILCs (*innate limfoid cells*)**. Pasien dengan neutropenia biasanya sangat erat dengan infeksi jamur oportunistik. Makrofag dan sel dendritik bereaksi terhadap jamur melalui pengenalan oleh reseptor TLR dan reseptor *leptin-like (dectins)* pada komponen β -glukan permukaan jamur. Makrofag dan sel dendritik merilis sitokin yang merekrut dan mengaktifkan neutrofil secara langsung. Sitokin IL-17 secara khusus mampu menstimulasi produksi protein antimikroba perlindungan terhadap infeksi. Sel dendritik juga berperan dalam menstimulasi diferensiasi dari CD4 sel T *helper* menjadi Th17 bermigrasi dari kelembar limfe kemudian kembali ke lokasi infeksi.

Imunitas Tubuh pada Bakteri, Jamur dan Virus



Gambar 8.4 Mekanisme pertahanan sistem imunitas terhadap antigen, terdiri atas respons sel mediasi melalui aktivasi sel limfosit T helper atau sel limfosit T sitotoksik. Respons humoral mengaktivasi sel limfosit B menghasilkan antibodi (sumber gambar: Abbas, et. al., 2015).

E. Vaksin

Vaksinasi adalah proses stimulasi proaktif dari respons imunitas adaptif untuk melawan patogen melalui pemaparan antigen bentuk nonpatogenik. Perkembangan vaksin melawan

infeksi telah menjadi salah satu penemuan terbesar imunologi. Penyakit pertama manusia yang dengan sengaja tereradikasi karena vaksinasi adalah cacar air (*small pox*) dan penyakit kedua adalah polio termasuk penyakit yang lain sampai penyakit yang paling baru adalah covid-19. Beberapa macam vaksin yang digunakan dan dikembangkan, antara lain **vaksin hidup atenuasi (dilemahkan)** bekerja dengan mempertahankan antigenitas patogennya. Vaksin ini menstimulasi produksi antibodi melalui mekanisme netralisasi untuk melawan antigen yang dapat menginfeksi tubuh. Beberapa diberikan secara oral, seperti polio yang memberikan perlindungan pada mukosa usus pada respon IgA. **Vaksin yang mengandung protein dan polisakarida dari patogen** dan mampu bekerja menyerupai vaksin hidup. Beberapa polisakarida antigen tidak dapat menstimulasi sel T *helper*, sehingga perlu protein untuk mengaktifkan untuk memproduksi antibodi dengan afinitas yang tinggi. Vaksin ini disebut juga **vaksin konjugasi**. **Vaksin sintetik** (contoh virus Hepatitis) menstimulasi respons antibodi dengan komponen yang dibuat mirip antigen protein patogen. **Vaksin vektor virus** (dalam uji coba HIV) menstimulasi sel mediasi dan respons imunitas humoral. **Vaksin DNA dan mRNA** menghasilkan pemaparan terhadap beberapa sekuens DNA vektor menghasilkan peningkatan respons imunitas, beberapa virus yang sudah dilakukan pada vaksin jenis ini adalah malaria, AIDS, influenza, Herpesvirus, SARS-Cov (Tabel 8.1).

Tabel 8.1 Perbandingan karakteristik beberapa macam vaksin

Karakteristik	Vaksin Atenuasi	Vaksin Inaktif	Vaksin Protein	Vaksin DNA/RNA
Produksi	Organisame avirulen	Kimiawi	Kimiawi	DNA/ mRNA
<i>Booster</i>	1 kali	>3 kali	1 kali	1 kali
Stabilitas	Kurang	Sedikit	Stabil	Sangat
Imunitas yang dirangsang	Humoral, MHC	Humoral	Humoral, MHC	Humoral, MHC
Reversi	Berubah bentuk virulen	Tidak berubah	Tidak berubah	Tidak berubah

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2016). *Functions and Disorders*.
- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2015). *Cellular and molecular immunology*. 8th ed. Philadelphia: Elsevier.
- Darwin, E., Elvira, D., & Elfi, E. F. (2021). *Imunologi dan Infeksi*.
- Doms, R. W. (2016). Basic Concepts: A Step-by-Step Guide to Viral Infection. *Viral Pathogenesis: From Basics to Systems Biology*. 3rd ed, 29–40.
- Klimov, V. V. (2019). *From Basic to Clinical Immunology*. Tomsk, Springer, 2019, 377 p.
- Kotur, N., et. al. (2021). *Association of Vitamin D, Zinc and Selenium Related Genetic Variants With COVID-19 Disease Severity*. *Frontiers in Nutrition*, 8.
- Leibund Gut-Landmann, S., Wüthrich, M., & Hohl, T. M. (2012). *Immunity to Fungi*. *Current Opinion in Immunology*, 24(4), 449.
- Pollard, A. J., & Bijker, E. M. (2020). *A guide to Vaccinology: from Basic Principles to New Developments*. *Nature Reviews Immunology* 2020 21:2, 21(2), 83–100.
- Rappuoli, R., Mandl, C. W., Black, S., & De Gregorio, E. (2011). *Vaccines for the Twenty-First Century Society*. *Nat. Rev. Immunol.*, 11(12), 865–872.
- Verhoef, J., Van Kessel, K., & Snippe, H. (2019). *Immune Response in Human Pathology: Infections Caused by Bacteria, Viruses, Fungi, and Parasites*. *Nijkamp and Parnham's Principles of Immunopharmacology*, 165.

Yatim, K. M., & Lakkis, F. G. (2015). *A brief journey through the immune system*. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 10(7), 1274–1281.

BIODATA PENULIS

dr. Yani Kurniawan, M.M., M.Biomed., lahir di Jakarta, 14 Januari 1983. Jenjang Pendidikan S1 Kedokteran ditempuh di Fakultas Kedokteran Universitas Tarumanagara, Jakarta lulus tahun 2010. Pendidikan S2 Magister Manajemen Universitas Esa Unggul Jakarta, lulus tahun 2016 dan S2 Ilmu Biomedik di FK Universitas Indonesia lulus tahun 2022. Saat ini menjabat sebagai Dosen Fakultas Kedokteran di Universitas Trisakti.



BAB 9

PARASIT, VEKTOR DAN PENYEBARANNYA

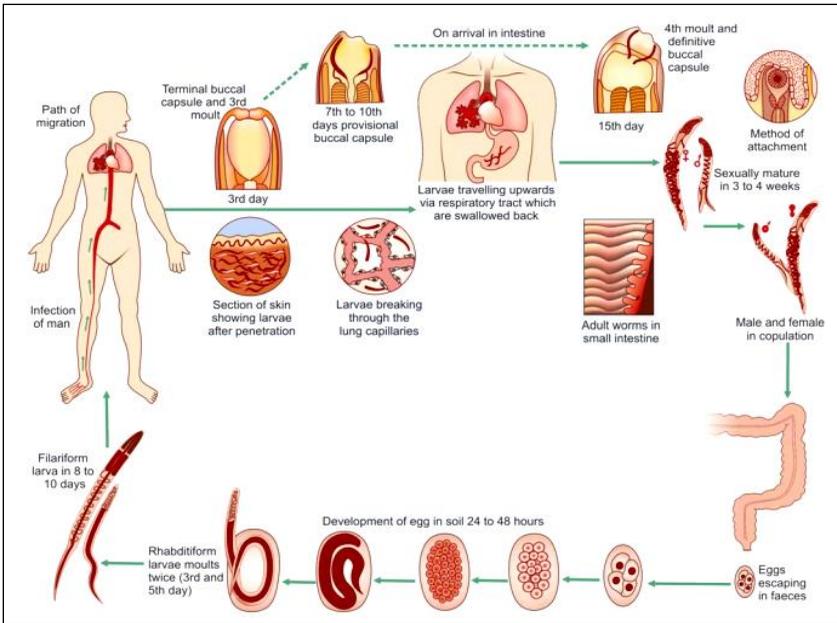
Zahara Fadilla, S.Si., M.Si.
azzahrafa09@gmail.com

A. Definisi dan Klasifikasi Parasit

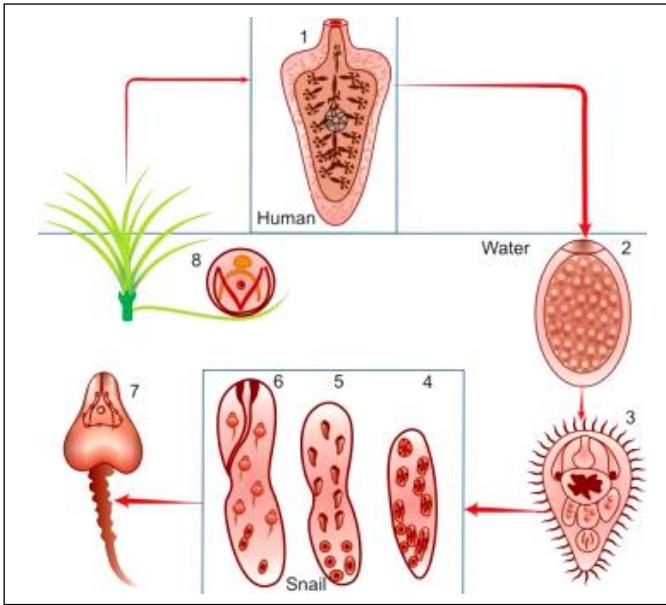
Parasitologi medis merupakan ilmu parasitologi yang khusus mempelajari mengenai parasit yang terkait dengan kesehatan manusia karena dapat menimbulkan penyakit terhadap manusia dan hewan. Parasit yang dapat menginfeksi manusia terdiri atas tiga jenis, yaitu Helminthes (cacing parasit), Protozoa dan Arthropoda. **Parasit** merupakan organisme yang hidup menumpang baik di dalam tubuh atau permukaan tubuh **inang (hospes)** dan memperoleh nutrisi dari tubuh hospes sehingga menimbulkan kerugian pada hospes. Parasit melakukan perkembangbiakan di dalam tubuh hospes. Masuknya parasit pada tubuh hospes dapat menyebabkan penyakit pada hospes bahkan berakibat kematian pada hospes. Parasit yang terkait dengan kesehatan diklasifikasikan menjadi tiga kelompok utama, yaitu Helminthes, Protozoa, dan Arthropoda. Penjelasan rinci ketiga kelompok tersebut dijabarkan sebagai berikut.

Helminthes merupakan kelompok hewan **cacing parasit (metozoa)**. Helminthes yang terkait dengan bidang medis diklasifikasikan menjadi dua filum, yaitu:

1. **Filum Nematelminthes** (Nematoda) termasuk kelompok cacing gilig silindris dan panjang yang memiliki rongga tubuh. Jenis cacing dalam kelompok Nematoda usus yang hidup dalam saluran pencernaan hospes, antara lain *Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus*, *Enterobius vermicularis*, dan *Trichuris trichiura*. Dari kelompok Nematoda jaringan yang hidup di saluran limfatik, antara lain *Brugia malayi*, *Brugia timori* dan *Wuchereria bancrofti*. Siklus hidup dan penularan cacing Nematoda dapat dilihat pada Gambar 9.1.
2. **Filum Platyhelminthes** merupakan kelompok cacing pipih, yang terbagi menjadi 2 kelas yaitu:
 - a. **Kelas Cestoda** merupakan kelompok cacing pipih yang memiliki bentuk seperti daun sehingga tidak memiliki rongga tubuh dengan tubuh bersegmen. Kelompok cacing Cestoda memiliki habitat di saluran pencernaan, seperti *Taenia saginata*, *Taenia solium*, *Hymenolepis diminuta*, *Hymenolepis nana*, *Diphyllobothrium latum* dan *Dipylidium caninum*.
 - b. **Kelas Trematoda** merupakan kelompok cacing pipih yang memiliki bentuk seperti pita panjang sehingga tidak memiliki rongga tubuh dengan tubuh yang bersegmen. Kelompok cacing Trematoda dapat hidup di saluran pencernaan, seperti *Fasciolopsis buski* dan *Metagonimus yokogawai*, pada organ hati, seperti *Clonorchis sinensis*, *Fasciola hepatica* dan *Fasciola gigantica*, serta pada paru-paru, seperti *Paragonimus westermani*. Siklus hidup *Fasciola hepatica* dapat dilihat pada Gambar 9.2.



Gambar 9.1 Siklus hidup cacing tambang (Nematoda). Feses yang terinfeksi telur cacing akan berkembang di dalam tanah selama 24-48 jam. Larva akan berkembang selama 8-10 hari. Manusia yang terinfeksi (makanan) menyebabkan larva berkembang dalam usus halus. Larva dalam usus halus dapat naik menerobos masuk paru-paru. Di dalam usus halus terjadi fertilisasi hingga menghasilkan telur (sumber gambar: Paniker, 2007).



Gambar 9.2 Siklus hidup *Fasciola hepatica* (Trematoda).
1) Cacing dewasa di dalam saluran empedu manusia. 2) Telur dalam feses yang mengkontaminasi air. 3) Mirasidium keluar dan menembus jaringan siput berkembang menjadi 4) sporokista, 5) redia generasi pertama dan 6) redia generasi kedua. 7) Serkaria dilepaskan ke dalam kista air pada tumbuhan air menjadi 8) metaserkaria yang infeksi terhadap inang jika tertelan (sumber gambar: Paniker, 2007).

Protozoa merupakan kelompok organisme eukariotik uniseluler (Gambar 9.3). Dalam bidang medis Protozoa ini dibedakan menjadi tiga filum, yaitu:

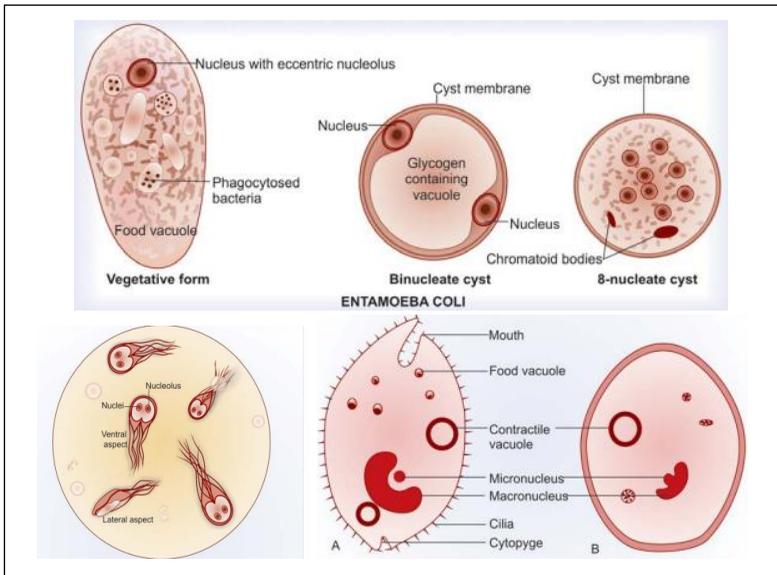
1. **Filum Sarcomastigophora**

a. **Kelas Sarcodina/Lobosea (Rhizopoda)** merupakan kelompok protozoa yang menggunakan **kaki semu (pseudopodia)** sebagai alat geraknya. Jenis Rhizopoda ini hidup pada saluran pencernaan hospes yaitu *Entamoeba histolytica* dan *Entamoeba coli*.

b. **Kelas Zoomastigophora (Flagellata)** merupakan kelompok protozoa yang bergerak menggunakan **bulu cambuk (flagel)**. Jenis Flagellata ini dapat hidup di saluran pencernaan, seperti *Giardia lamblia*, saluran urogenital, seperti *Trichomonas vaginalis*, dan jaringan/darah, seperti *Trypanosoma* spp. dan *Leishmania* spp.

2. **Filum Ciliophora** yang terdiri atas **kelas Kinetofragminophorea (Ciliata)** merupakan kelompok protozoa yang bergerak menggunakan **rambut getar (cilia)**. Hanya ada satu jenis Ciliata yang bersifat parasit yang hidup di saluran pencernaan yaitu *Balantidium coli*.

3. **Filum Apicomplexa (Sporozoa)** merupakan kelompok protozoa yang memiliki siklus hidup kompleks karena memerlukan **dua jenis hospes** yaitu **hospes vertebrata (manusia dan hewan)** dan **hospes invertebrata (Arthropoda)**. Contoh parasit ini adalah dari genus *Plasmodium*, seperti *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium ovale*, *Plasmodium malariae*, *Plasmodium vivax* dan *Toxoplasma gondii*.



Gambar 9.3 Protozoa. Bentuk vegetatif dan kista pada *Entamoeba coli* (atas), *Giardia* di dalam cairan usus dua belas jari (kiri bawah) dan morfologi *Balantidium coli*: trofopozoit (A) dan kista (B) (kanan bawah) (sumber gambar: Paniker, 2007).

Arthropoda termasuk filum yang memiliki jumlah kelompok yang terbesar di dunia. Arthropoda termasuk dalam kelompok invertebrata yang hidup di **permukaan tubuh inang (ektoparasit)**. Ilmu yang mempelajari mengenai Arthropoda, khususnya serangga, disebut entomologi. Berikut klasifikasi filum Arthropoda yang dibedakan menjadi empat kelas, yaitu:

1. **Insekta (serangga)** merupakan kelompok kelas terbesar berdasarkan jumlah spesies. Tubuh terbagi atas tiga segmen, yaitu caput (kepala), toraks (dada) dan abdomen (perut), serta memiliki tiga pasang tungkai. Anggota kelompok insekta ini

yang terkait dengan transmisi penyakit antara lain nyamuk yang dapat mentransmisikan penyakit kepada manusia, seperti dari ordo Diptera, antara lain nyamuk *Aedes aegypti* (penyakit DBD, chikungunya, dan *yellow fever*), *Culex* spp. (filariasis), dan *Anopheles* spp. (malaria). Anggota Diptera lain adalah lalat dari spesies lalat rumah *Musca domestica* dan lalat hijau *Chrysomya megacephala*. Ordo lain adalah Phthiraptera yang terdiri atas kutu kepala *Pediculus humanus capitis*, kutu busuk *Cimex* spp, dan pinjal kucing *Ctenocephalides felis*.

2. **Arachnida** merupakan kelompok hewan yang tubuhnya terdiri atas 2 ruas (sefalotoraks), memiliki 4 pasang kaki, serta tidak bersayap. Anggota kelas Arachnida yang penting sebagai ektoparasit, antara lain dari kelompok Acari yaitu tungau *Sarcoptes scabiei* penyebab skabiesis dan caplak. Kelompok lainnya adalah Araneida, seperti laba-laba dan Scorpionida, seperti kalajengking yang menghasilkan venom ketika menggigit.
3. **Crustacea** merupakan kelompok yang terdiri atas 10 pasang kaki. Anggota kelompok ini yaitu *Cyclops* menjadi hospes intermediet cacing *Dhyphillobotrium latum* dan *Dracunculus* spp.
4. **Myriapoda** merupakan kelompok yang memiliki tubuh yang panjang dan terbagi atas banyak segmen, dan setiap kaki dapat memiliki satu pasang atau dua pasang kaki. Myriapoda terbagi atas 2 jenis yaitu Diplopoda, seperti keluwing/kaki seribu dan Chilopoda, seperti kelabang.

B. Hubungan Parasit-Hospes

Hubungan parasit-hospes penting untuk diketahui karena akan mempengaruhi pemahaman mengenai pengendalian penyakit yang disebabkan oleh parasit. Berikut ini istilah yang terkait dengan hubungan parasit-hospes (Tabel 9.1).

Tabel 9.1 Istilah dalam hubungan parasit-hospes

Parameter	Definisi
Tipe parasit berdasarkan tempat hidupnya	
Endoparasit	Parasit yang hidup di dalam tubuh hospes (organ, jaringan dan cairan tubuh)
Ektoparasit	Parasit yang hidup di luar tubuh hospes (kulit, rambut atau bagian tubuh hospes)
Tipe parasit berdasarkan cara hidupnya	
Parasit obligat	Parasit yang tidak bisa melalui siklus hidupnya tanpa adanya hospes
Parasit fakultatif	Parasit yang bisa hidup bebas (<i>free living</i>) tanpa adanya hospes yang bukan sebenarnya
Tipe hospes	
Hospes definitif	Organisme tempat parasit hidup berkembang biak secara seksual
Hospes intermediet	Organisme tempat parasit hidup berkembang biak secara aseksual
Hospes reservoir	Organisme tempat parasit terpelihara secara alami dan terus menerus membawa parasit tanpa menunjukkan gejala klinis

C. Vektor

Vektor merupakan kelompok filum Arthropoda yang berperan dalam penyebaran penyakit yang disebabkan parasit, virus, dan bakteri dari satu hospes ke hospes lainnya. Masalah yang ditimbulkan vektor arthropoda, antara lain avertebrata ini dianggap sebagai organisme pengganggu ketentraman (*annoyance* dan *nuisance*), hidup sebagai pengisap darah yang memudahkan transmisi penyakit, menimbulkan envenomisasi (keracunan) akibat gigitan atau sengatan yang mengeluarkan zat yang bersifat toksik (racun), menimbulkan reaksi alergi karena adanya senyawa yang dikeluarkan vektor Arthropoda yang berasal dari sengatan atau bagian-bagian tubuh Arthropoda bahkan dapat menyebabkan anafilaksis dan juga dapat menginvasi jaringan hospes sehingga dapat menyebabkan inflamasi pada jaringan yang terinfeksi. Vektor Arthropoda dapat mentransmisikan mikroorganisme yang menyebabkan penyakit yang disebut sebagai *arthropod-borne disease*. Ada dua jenis vektor yang berperan dalam penularan penyakit pada manusia dan hewan, yaitu:

1. **Vektor Biologis** yaitu agen yang tinggal di dalam tubuh vektor dan mengalami perkembangan, baik perubahan bentuk maupun pertambahan jumlah. Vektor biologis ada 3 jenis yaitu:
 - a. ***Propagative-development*** yaitu apabila agen penyakit terjadi multiplikasi namun tidak mengalami perubahan siklus di dalam tubuh vektor, contoh *Yersinia pestis* pada *rat fleas* (pinjal tikus).
 - b. ***Cyclo-development*** yaitu apabila agen penyakit mengalami multiplikasi dan perubahan siklus sekaligus di dalam tubuh vektor, contoh parasit malaria, *Plasmodium* spp., pada nyamuk *Anopheles*.

- c. ***Cyclo-propagative development*** yaitu apabila agen penyakit tidak mengalami multiplikasi namun terjadi perubahan siklus di dalam tubuh vektor, contoh *Wuchereria bancrofti* pada nyamuk *Culex* spp.
2. **Vektor Mekanik** yaitu agen penyakit yang tidak mengalami perubahan bentuk, stadium serta jumlahnya. Vektor berfungsi sebagai pembawa agen penyakit, menempel pada bagian luar tubuh vektor seperti mulut dan kaki, dari penderita berupa bahan infeksius yang berupa feses, urin, sputum ataupun muntahan ke makanan atau minuman, sehingga menimbulkan kontaminasi yang dapat menyebabkan penularan penyakit. Contohnya, lalat membawa bakteri *Escherichia coli*, *Shigella dysentery*, dan *Salmonella thyposa*.

D. Mekanisme Penularan Parasit

Penularan parasit terjadi dalam berbagai cara, tergantung jenis parasit dan organisme hospes. Berikut ini merupakan mekanisme penularan parasit:

1. **Per Os (fekal-oral)**. Banyak jenis parasit yang cara penularannya masuk melalui makanan atau minuman yang terkontaminasi feses, kemudian tertelan oleh hospes sehingga parasit masuk melalui saluran pencernaan. Contohnya, telur Nematoda usus (*Ascaris lumbricoides* dan *Trichuris trichiura*) atau kista Protozoa (*Entamoeba histolytica* dan *Giardia lamblia*).
2. **Perkutan (penetrasi melalui kulit dan membran mukosa)**. Beberapa jenis parasit masuk ke dalam tubuh hospes dengan melakukan penetrasi menembus kulit hospes ketika kontak langsung atau saat mengisap darah. Contohnya, penetrasi serkaria *Schistosoma japonicum* pada kulit, penetrasi larva

filariiform cacing tambang (*Ancylostoma duodenale* dan *Necator americanus*) dan cacing *Strongyloides stercoralis* yang melakukan penetrasi melalui kulit penderita yang kontak langsung dengan tanah yang sudah terkontaminasi feces. Contoh lainnya adalah serangga vektor yang menularkan parasit saat mengisap darah hospes, nematoda jaringan mikrofilaria (*Wuchereria bancrofti* dan *Brugia malayi*) ditransmisikan oleh nyamuk *Culex* spp. saat mengisap darah, dan protozoa *Plasmodium* spp. ditransmisikan saat nyamuk *Anopheles* spp. mengisap darah hospes.

3. **Kontak Langsung.** Beberapa parasit Arthropoda, seperti tungau dan kutu dapat masuk kedalam tubuh hospes melalui kontak langsung dari kulit ke kulit. Contoh jenis Arthropoda ini adalah tungau *Sarcoptes scabiei* yang hidup dan menetap dikulit hospes penderitanya.
4. **Kontak Seksual.** Protozoa *Trichomonas vaginalis* dapat ditransmisikan melalui kontak seksual. Protozoa genus *Entamoeba*, *Giardia* and *Enterobius* dilaporkan dapat ditransmisikan melalui hubungan homoseksual.
5. **Vektor Serangga Pengisap Darah.** Banyak jenis parasit yang ditransmisikan saat vektor mengisap darah hospes, seperti nyamuk betina *Anopheles* spp. (mentransmisikan *Plasmodium* spp. penyebab malaria), nyamuk *Culex* spp. (mentransmisikan *mikrofilaria* spp. penyebab filariasis), dan Reduviidae menyebabkan penyakit Chagas.
6. **Autoinfeksi.** Jenis parasit dan *Strongyloides stercoralis* dapat mentransmisikan pada orang yang sama karena terjadi kontaminasi telur ditangan (eksternal autoinfeksi), seperti terjadi pada *Enterobius vermicularis*. Namun dapat juga terjadi *reverse* peristaltik (interal autoinfeksi) sehingga telur atau larva

yang harusnya keluar bersama feses malah kembali masuk ke usus besar, seperti pada Nematoda usus *Strongyloides stercoralis*.

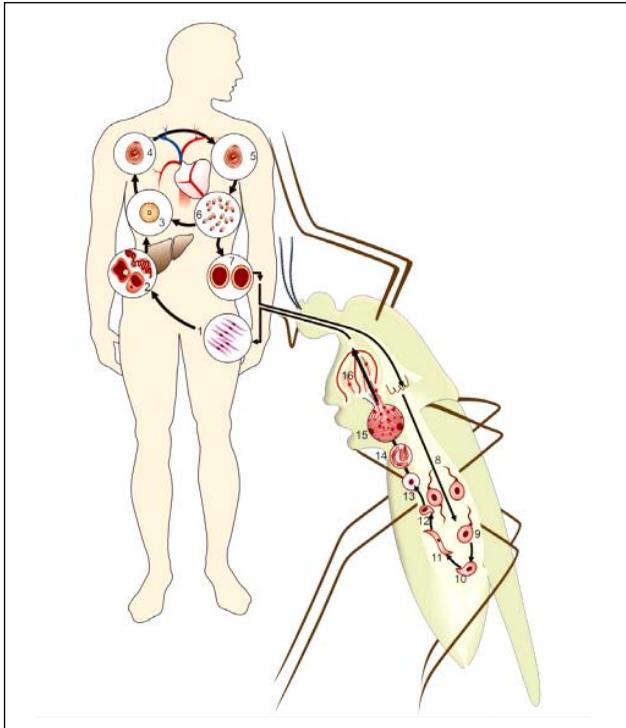
7. **Transmisi Vertikal.** Transmisi parasit dari ibu yang terinfeksi ke fetus saat dalam kandungan dapat terjadi seperti pada infeksi *Toxoplasma gondii* (toksoplasma) dan *Plasmodium* spp. (malaria).
8. **Transfusi darah.** Beberapa jenis parasit dapat ditransmisikan melalui transfusi darah jika darah yang didonorkan terinfeksi parasit sehingga harus dipastikan darah yang didonorkan saat transfusi darah bebas infeksi parasit, seperti parasit *Plasmodium* spp. (malaria) dan *Toxoplasma gondii* (toksoplasma).

E. Siklus Hidup Parasit

Siklus hidup parasit terkait tahapan yang terdiri atas transmisi, reproduksi dan adaptasi parasit terhadap hospes dan lingkungan. Siklus hidup parasit dapat bersifat kompleks karena beberapa jenis parasit hidup pada lebih dari satu jenis hospes. Sehingga siklus hidup parasit bervariasi tergantung jenis parasit, hospes dan lingkungan. Terdapat dua jenis siklus hidup parasit, yaitu siklus hidup langsung dan siklus hidup tidak langsung. **Siklus hidup langsung (monoxenous)** merupakan jenis parasit yang dalam menyelesaikan siklus hidupnya membutuhkan satu jenis hospes, contohnya pada Nematoda usus *Ascaris lumbricoides*, *Enterobius vermicularis* dan Protozoa usus *Entamoeba histolytica* dan *Giardia lamblia*. **Siklus hidup tidak langsung (heteroxenous)** merupakan jenis parasit yang dalam siklus hidupnya membutuhkan lebih dari satu jenis hospes. Parasit ini akan menyelesaikan tahap perkembangan hidup pada **hospes pertama (intermediet)** sebelum masuk ke **hospes kedua (definitif)** untuk menyelesaikan

Parasit, Vektor dan Penyebarannya

siklus hidupnya. Parasit *Plasmodium* spp. membutuhkan manusia sebagai hospes intermediet dan vektor sebagai hospes definitif (Gambar 9.4).



Gambar 9.4 Siklus hidup tidak langsung pada *Plasmodium* spp. penyebab malaria. 1) Gigitan nyamuk *Anopheles* yang terinfeksi parasit menyebabkan masuknya sporozoit ke dalam kapiler darah manusia. 2) Sporozoit masuk ke dalam jaringan, terutama hati, berkembang bentuk ekseritrositik dimulai. Setelah inkubasi, merozoit akan dilepaskan ke sirkulasi darah masuk ke siklus eritrositik (skizon). 3) Bentuk cincin di eritrosit. 4) Trophozoit akhir dalam eritrosit. 5) Skizon matang dalam eritrosit. 6) Merozoit bebas berkembang

Parasit, Vektor dan Penyebarannya

menembus eritrosit baru. 7) Beberapa merozoit berkembang menjadi gametosit jantan dan betina. 8) Gametosit berflagel jantan dan betina pada nyamuk. 9) Fertilisasi gamet. 10) Perkembangan koniset. 11) Ookinet. 12) Penetrasi dinding lambung nyamuk oleh ookinet. 13 dan 14) Perkembangan ookista. 15) Ookista matang melepas sporozoit. 16) Sporozoit dalam kelenjar saliva nyamuk (sumber gambar: Paniker, 2007).

DAFTAR PUSTAKA

- Bogitsh, B. J., Carter, C. E., & Oeltmann, T. N. (2018). Human parasitology. *Human Parasitology*, 1–422.
- Durden, L. A., & Mullen, G. R. (2018). *Introduction: in Medical and Veterinary Entomology*.
- Gunn, A., & Pitt, S. J. (2013). *Parasitology: an integrated approach*. In *Choice Reviews Online* (Vol. 50, Issue 05). A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Gupte, S. (2010). *The Short Textbook of Medical Microbiology (Including Parasitology)*. In Kathmandu University Medical Journal (Tenth Edit). Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.
- Hadi, U. K., & Soviana, S. (2012). *Ektoparasit: Pengenalan, Identifikasi dan Pengendaliannya*. IPB Press.
- Leventhal, R., & Cheadle, R. F. (2012). *Medical Parasitology: A Self-Instructional Text*. F.A. Davis Company.
- Paniker, C. J. (2007). *Textbook of Medical Parasitology*. Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.
- Sastry, A. S., & Bhat K, S. (2014). *Essentials of Medical Parasitology*. 1st ed. Vol. 1(1). Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.
- Sembel, D. T. (2009). *Entomologi Kedokteran*. Andi Yogyakarta.
- Zeibig, E. A. (2013). *Clinical Parasitology*. In Southern Medical Journal. Vol. 44(9). Elsevier Inc.

BIODATA PENULIS

Zahara Fadilla, S.Si., M.Si., lahir di Tangerang tanggal 23



September 1987. Penulis telah menyelesaikan studi strata satu di Program Studi Biologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta (UIN Jakarta) dan menyelesaikan strata dua di Program Studi Parasitologi dan Entomologi Kesehatan Institut Pertanian Bogor (IPB). Saat ini penulis telah menghasilkan buku Mikrobiologi dan Parasitologi serta Metodologi Penelitian Kuantitatif. Penulis mengajar pada Prodi DIV Teknologi Laboratorium Medis (TLM) di STIKes KESOSI Jakarta.

BAB 10

PATOLOGI DASAR

Nikki Aldi Massardi, S.Si, M.Biomed.

Nikki.aldi@unib.ac.id

A. Definisi Patologi

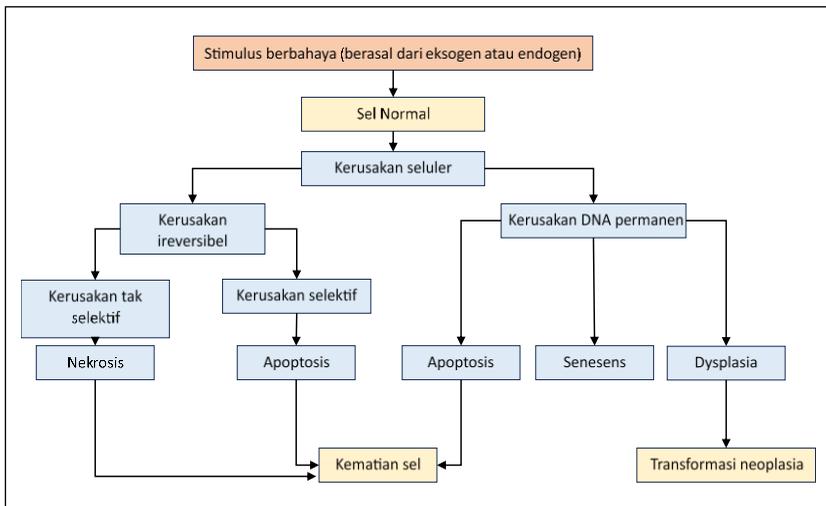
Patologi berasal dari bahasa Yunani yaitu *pathologia*, artinya ilmu tentang penderitaan. Hal tersebut mengarah kepada ilmu medis yang menitikberatkan kepada penyebab, perkembangan, perubahan struktur dan fungsi serta riwayat alamiah dari suatu penyakit. **Penyakit** merupakan perubahan dari fenotip normal (karakteristik yang terobservasi akibat genom dan lingkungan), dibuktikan dengan gejala yang disampaikan pasien serta tolak ukur dari pengamat. Penyebab dari suatu penyakit disebut **etiologi**. Satu penyakit tertentu dapat memiliki lebih dari satu etiologi, dan satu etiologi dapat mengarah kepada lebih dari satu penyakit. Setiap penyakit berkembang melalui rangkaian kimia mekanis dan langkah-langkah seluler. Proses bertahap dari suatu perkembangan penyakit ini disebut **patogenesis** penyakit tersebut (diambil dari bahasa Yunani yang berarti rangkaian penderitaan). Patogenesis dapat berarti perubahan dari struktur atau fungsi suatu organisme pada tahap klinis, dan dapat berarti langkah abnormalitas secara molekular yang mengarah perubahan fungsi seluler dan jaringan.

B. Proses Terjadinya Kerusakan Sel

Bagian fundamental dari patogenesis kerusakan sel adalah gangguan homeostasis. Kerusakan sel diinisiasi pada tahap molekuler dengan berbagai penyebab yang beragam, namun mekanisme dasarnya memiliki tahapan yang sama. Tahapannya antara lain terjadinya **deplesi Adenosin Trifosfat (ATP), permeabilisasi dari membran sel, jalur biokimia terganggu,** serta **kerusakan DNA.** Walaupun beberapa hal tertentu dapat menyebabkan deplesi ATP, kerusakan membran, gangguan jalur biokimia, atau kerusakan DNA secara individu, namun terdapat kesinambungan antar mekanisme dasar ini. Apapun yang dapat menurunkan suplai oksigen dan nutrisi lain pada sel atau dapat merusak mitokondria, dapat langsung menghentikan fosforilasi oksidatif. Sehingga ATP berkurang dengan cepat, bahkan kepada sel yang dapat beradaptasi dan mengganti mekanismenya menjadi glikolisis anaerobik yang membutuhkan lebih sedikit oksigen. Deplesi ATP akan meningkatkan kerusakan sel dengan menyebabkan gagalnya fungsi enzim yang membutuhkan energi, sehingga mengganggu keseimbangan elektrolit dan laju pompa ion.

Respons awal dari sel terhadap gangguan homeostasis adalah pembengkakan sel akut. Apabila kerusakan tidak parah atau lama, maka sel dapat memulihkan diri dan kembali ke struktur normal dan fungsional, yang dinamakan kerusakan sel yang reversibel. Kerusakan dapat menjadi ireversibel apabila tingkat kerusakan sudah parah dan terus menerus. Pada kondisi tersebut pembengkakan sel akut akan berprogresi menjadi kerusakan sel yang ireversibel dan mengalami kematian sel. Kerusakan sel terjadi oleh beberapa hal yang terdiri dari agen eksogen dan endogen. Salah satu agen utama kerusakan sel adalah defisiensi oksigen, atau

keadaan hipoksia, yang bisa diakibatkan oleh kegagalan jantung atau respirasi, anemia dan gangguan lain yang mempengaruhi masuknya oksigen. Agen yang bersifat **eksogen**, contohnya adalah agen yang merusak sel secara fisik seperti temperatur ekstrem, radiasi, kejutan listrik, atau trauma mekanis. Agen eksogen lainnya seperti infeksi mikroba, bahan kimia, obat hingga toksin dapat merusak sel melalui gangguan homeostasis dan merusak organel sel. Agen **endogen** yang dapat merusak sel, contohnya adalah disfungsi imunitas, sehingga tidak mampu melawan infeksi suatu mikroba ataupun usia sel yang menua. Tahapan respons sel terhadap kerusakan dapat dilihat pada gambar (Gambar 10.1).



Gambar 10.1 Tahapan respons sel terhadap stimulus berbahaya (eksogen atau endogen). Sel normal yang rusak akan mengalami kerusakan tidak permanen (*irreversible*) maupun permanen. Mekanisme apoptosis maupun nekrosis menyebabkan kematian sel (sumber gambar: Miller & Zachary, 2017).

C. Macam Kematian Sel

Pada organisme multiseluler, **kematian sel** merupakan proses aktif yang penting dalam menjaga homeostasis jaringan dan mengeliminasi sel yang berpotensi merusak. Terdapat tiga tipe utama kematian sel, yaitu apoptosis, autofagi, dan nekrosis. Ketiga hal tersebut, dapat terjadi melalui hal yang berbeda, dan kadang dengan jalur sinyal yang bertumpu akibat dari respons yang spesifik. **Apoptosis** dipicu saat reseptor kematian di permukaan sel seperti Fas berikatan dengan ligannya (**jalur ekstrinsik**) atau dengan protein proapoptotik famili Bcl2 yang menyebabkan permeabilisasi dari membran luar mitokondria (**jalur intrinsik**). Kedua jalur tersebut dapat bertemu pada aktivasi famili kaspase protease, yang bertanggung jawab dalam pembongkaran sel. **Autofagi** didefinisikan sebagai proses katabolik dimana sebagian dari sitoplasma dan organel spesifik terselimuti oleh struktur membran ganda, yaitu **autofagosom**, yang nantinya akan didegradasi. Autofagi umumnya merupakan mekanisme pertahanan diri. **Nekrosis** dikarakterisasi dengan kehilangan yang cepat dari integritas membran plasma. Bentuk kematian sel ini dapat disebabkan oleh jalur sinyal aktif, salah satunya adalah *receptor interacting* protein kinase 3 (RIP 3) yang dapat terinduksi melalui kerusakan DNA maupun infeksi virus.

Secara bentuk, apoptosis dikarakterisasi dengan menyusutnya sel, penonjolan membran dan kondensasi kromatin (piknosis). Autofagi dikarakterisasi dengan munculnya vesikel intraseluler berukuran besar dan dimulainya pemrosesan autofagi. Pada nekrosis sendiri, ciri khas utamanya adalah terjadi **piknosis** (kondensasi inti dengan penyusutan dan basofilia yang intens), **karioreksis** (fragmentasi inti), atau **kariolisis** (hilangnya inti). Sel

yang mati akibat nekrosis, bagian-bagian yang rusaknya akan memicu inflamasi sehingga sel-sel disekitarnya akan dapat rusak juga akibat aktivitas inflamasi tersebut. Munculnya suatu penyakit dapat diakibatkan adanya interaksi antara berbagai tipe kematian sel. Hubungan antara kerusakan sel hingga terjadinya kematian sel dapat terlihat pada gambar (Tabel 10.1).

Tabel 10.1 Sekuens kerusakan sel

Kerusakan sel reversible ↔ kerusakan sel ireversibel → kematian sel		
Kerusakan Mitochondria	Kerusakan Permanen pada Infrastruktur sel	Kerusakan Sistemik Sel
1. ↓ Fosforilasi oksidatif	1. Disfungsi mitokondria	1. Sistem sitokavitari
2. ↓ ATP/ ↑ glikolisis	2. Kerusakan membran sel (mitokondria, organel, membran plasma)	2. Sitoskeleton
3. Disfungsi pompa ion di membran	3. Produksi oksigen spesies reaktif	3. Kromatin
4. ↓ Sintesis protein	4. Pelepasan enzim lisosomal	4. Nekrosis
5. Disfungsi proses yang didasari kromatin		5. Apoptosis
6. Pembengkakan sel		6. Piknosis
7. Retikulum endoplasma bengkak		7. Karioreksis
8. Hilangnya mikrovili		8. Kariolisis
9. Akumulasi lipid		9. Kehilangan nukleus
10. Kromatin menggumpal		10. Sitoplasmik eosinophilia

(sumber: Miller & Zachary, 2017).

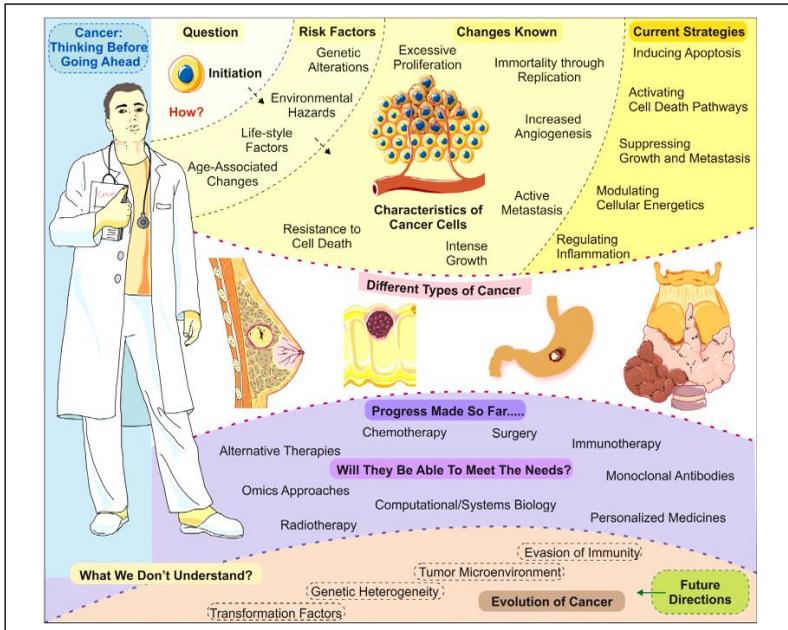
D. Mekanisme Inflamasi dan Reparasi Jaringan

Inflamasi berperan penting dalam perbaikan jaringan dan regenerasi. Dalam perbaikan jaringan, apabila terjadi kerusakan, sistem imun bawaan dapat mendeteksi melalui stimulus dari suatu reseptor. Reseptor tersebut berinteraksi dengan ***pathogen-associated molecular pattern (PAMP)*** yaitu pola khas dari suatu patogen yang bersifat eksogen dan ***damage-associated molecular pattern (DAMP)*** yaitu pola molekular apabila terjadi kerusakan yang bersifat endogen. DAMP sendiri terdiri atas protein matriks ekstraseluler, protein terinduksi saat sel *stress*, dan imunomodulator yang dilepaskan. Selanjutnya perekrutan dan pengantaran sel-sel inflamasi, melalui kemokin dan sitokin lainnya, menjadi awal mula proses pengendalian kerusakan dan reparasi jaringan. Perbaikan jaringan kemudian akan diakhiri dengan dimulainya proliferasi sel-sel baru untuk memperbaiki jaringan sel yang rusak serta maturasi dan pemodelan ulang dari struktur jaringan sehingga kerusakan dapat sepenuhnya sembuh.

E. Neoplasma dan Kanker

Neoplasma atau tumor merupakan *massa* sel abnormal yang berada di dalam tubuh. Hal tersebut terjadi karena sel membelah melebihi normal dan tidak mati seperti seharusnya. Tumor dapat diklasifikasikan menjadi jinak dan ganas. **Tumor jinak** merupakan tumor yang berada di lokasi utamanya tanpa menginvasi ke daerah lain pada tubuh. Tumor jinak tidak menyebar ke struktur lokal atau daerah yang jauh dari tubuh. Tumor jinak umumnya tumbuh lambat dan memiliki batasan yang jelas. Tumor jinak umumnya tidak bermasalah, namun apabila tumbuh terlalu besar dapat menyebabkan nyeri dan komplikasi medis lain. Beberapa tumor

jinak dapat menjadi ganas, contohnya polip pada kolon dapat menjadi ganas apabila dibiarkan dan tidak dioperasi. Pada **tumor ganas**, sel yang tumbuh tidak terkontrol akan menyebar secara lokal serta dapat juga menyebar ke daerah yang jauh. Tumor ganas bersifat kanker, dapat menginvasi ke daerah lain. Mereka menyebar melalui aliran darah atau sistem limfatik. Proses penyebarannya tumor tersebut dinamakan **metastasis**. Metastasis dapat terjadi di seluruh bagian tubuh dan paling umum terdapat di hati, paru, otak dan tulang. Oleh sebab itu, tumor ganas memerlukan penanganan yang cepat untuk menghindari penyebarannya. Terapi kanker sendiri sudah semakin maju dan penanganannya bukan hanya kemoterapi dan operasi, tapi sudah menuju penanganan personal melalui karakteristik khusus pasien yang ditangani, seperti pada Gambar 10.2.



Gambar 10.2 Perkembangan dan penanganan kanker. Pembentukan kanker diinisiasi oleh berbagai faktor, seperti perubahan genetik, lingkungan, gaya hidup dan usia. Karakteristik kanker yaitu resisten terhadap kematian sel, meningkatkan angiogenesis dan metastasis. Terapi kanker dengan target menginduksi apoptosis, menekan pertumbuhan dan metastasis dan regulasi inflamasi (sumber gambar: Upadhyay, 2021).

F. Gangguan Digestif dan Metabolisme

Gangguan digestif merupakan masalah kesehatan yang terjadi pada organ-organ digestif (pencernaan) yang dimulai dari mulut hingga anus. Gangguan digestif dikaitkan dengan gangguan pada

fungsi organ-organ pencernaan yang juga dapat berdampak pada proses metabolisme di dalam tubuh. Beberapa manifestasi klinis pada gangguan ini adalah anoreksia, muntah, konstipasi, diare, disfagia, nyeri abdomen, dan perdarahan gastrointestinal. Etiologi dari gangguan pada sistem ini bervariasi, yaitu karena infeksi, penggunaan NSAID, kelainan kongenital, gangguan susunan sistem saraf pusat, adanya penyakit sistemik seperti penyakit tiroid, diabetes melitus dan penyakit jantung koroner atau bisa karena pola hidup seseorang yang kurang minum, kurang olahraga, diet rendah serat, dan kebiasaan buang air besar yang tidak teratur.

Gastroenteritis yang ditandai dengan diare, muntah, demam, dan sakit perut merupakan salah satu penyakit pada gastrointestinal. Penyakit ini menyebabkan 1,3 juta kematian secara global di dunia. Prevalensi diare di Indonesia meningkat dari tahun 2013 sebesar 4,5% menjadi 6,8% di tahun 2018. Selain gastroenteritis, penyakit-penyakit yang umum terjadi pada sistem ini adalah ***gastroesophageal reflux disease (GERD)***, **gastritis**, **ulkus peptikum**, **ulkus duodenum**, ***inflammatory bowel disease (IBD)***, dan ***irritable bowel syndrome (IBS)***.

G. Gangguan Respirasi dan Kardiovaskuler

Gangguan respirasi merupakan gangguan yang terjadi pada sistem respirasi mulai dari hidung hingga paru-paru sedangkan gangguan kardiovaskuler meliputi gangguan pada organ jantung dan pembuluh darah. Kedua sistem ini sangat berkaitan erat. Penyakit-penyakit pada sistem kardiovaskuler meliputi **hipertensi**, **aterosklerosis**, **penyakit arteri koroner**, **perikarditis**, dan **gagal jantung**. Beberapa faktor risiko yang terkait dengan gangguan kardiovaskular diantaranya adalah riwayat keluarga, pertambahan

usia, merokok, obesitas, pola diet tinggi natrium, kurangnya aktivitas fisik, dan konsumsi alkohol yang berlebihan. Adapun penyakit pada sistem respirasi meliputi penyakit **paru obstruktif, pneumonia, dan tuberkulosis**. Beberapa manifestasi klinis pada penyakit paru diantaranya adalah dispnea, batuk, hemoptisis, hipoventilasi atau hiperventilasi, sianosis, nyeri, dan jari *clubbing*. Penyakit kardiovaskular penyebab utama kematian dunia, sekitar 17,9 juta nyawa setiap tahunnya. Berdasarkan hasil Riskesdas tahun 2018, prevalensi penyakit jantung berdasarkan diagnosis dokter sebesar 1,5% di Indonesia dengan provinsi Kalimantan Utara yang memiliki prevalensi tertinggi. Selain itu, terjadi peningkatan prevalensi penyakit kardiovaskular dari tahun 2013 hingga 2018, dari 25,8% menjadi 34,1%. Adapun untuk gangguan sistem respirasi, prevalensi ISPA di Indonesia menurun dari 25% (2013) menjadi 9,3 (2018), prevalensi pneumonia meningkat dari 2,0% (2018) menjadi 1,6% (2013), adapun untuk prevalensi tuberkulosis paru di Indonesia tetap sebesar 0,4%.

H. Gangguan Koordinasi dan Gerak

Gangguan pada sistem koordinasi dan gerak berhubungan dengan kelainan pada struktur dan fungsi sistem saraf. Sistem saraf merupakan struktur kompleks yang mentransmisikan sinyal elektrik dan kimia antara otak dengan organ dan jaringan di dalam tubuh. Sistem ini bertanggung jawab sebagai pengambil keputusan sehingga tubuh dapat berinteraksi dengan lingkungan dan bertugas untuk meregulasi dan mengatur berbagai aktivitas yang melibatkan organ-organ internal tubuh. Perubahan fungsi pada sistem saraf dapat disebabkan karena jejas trauma, gangguan pembuluh darah, pertumbuhan tumor, adanya infeksi, dan gangguan metabolik

(seperti kekurangan nutrisi, penggunaan obat-obatan, dan bahan kimia). **Stroke** merupakan kondisi ketika adanya penyumbatan atau pecahnya pembuluh darah di otak sehingga terganggunya suplai darah, kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan otak hingga penurunan kesadaran. Dari hasil Riskesdas tahun 2018, berdasarkan diagnosis pada penduduk umur ≥ 15 tahun, prevalensi stroke meningkat di Indonesia yaitu 10,9 kasus setiap seribu penduduk. Beberapa penyakit lain pada sistem ini diantaranya adalah penyakit **Parkinson's, Huntington's, dispraksia, miastenia gravis, developmental coordination disorder**, dan **meningitis**.

I. Gangguan Reproduksi dan Perkembangan

Gangguan pada sistem reproduksi dan perkembangan mencakup berbagai kemungkinan mulai dari perkembangan seksual yang terlambat, performa seksual yang suboptimal, dan abnormalitas dari struktural dan fungsional. Berbagai kelainan reproduksi berpotensi menimbulkan konsekuensi fisiologis atau psikologis yang serius, seperti infertilitas. Berbagai etiologi pada gangguan reproduksi dan perkembangan diantaranya adalah defisiensi atau ketiadaan hormon, riwayat infeksi, genetik, kelainan kongenital, dan faktor lingkungan seperti radiasi, dan paparan zat kimia. Beberapa penyakit pada sistem ini adalah **dismenorea, amenorea, sindrom ovarium polikistik (PCOS), vaginitis, endometriosis, bartholinitis** dan **keganasan**. Keganasan yang dimaksud diantaranya adalah **kanker serviks, kanker payudara, kanker prostat**. Pada tahun 2020, secara global terdapat 2,3 juta wanita yang menderita kanker payudara dan 685.000 mengalami kematian. Pada akhir tahun 2020, terdapat 7,8 juta wanita menderita kanker payudara dalam lima tahun terakhir. Kanker payudara dapat

dialami setiap negara pada wanita usia berapapun setelah masa pubertas dan angkanya meningkat di kemudian hari.

J. Gangguan Imunitas

Tubuh manusia memiliki mekanisme pertahanan tubuh terhadap luka dan infeksi. Namun, kadangkala terdapat suatu agen yang dapat mengganggu mekanisme pertahanan atau bisa saja sistem imun itu sendiri yang mengalami kerusakan sehingga perlindungan untuk tubuh tidak adekuat ataupun tidak tepat. Gangguan imunitas dapat dibedakan menjadi respons imun yang berlebihan terhadap agen noninfeksius (**hipersensitivitas**), reaksi imun yang tidak tepat, yaitu menyerang sel tubuh sendiri (**autoimunitas**), sistem imun yang menurun akibat tersupresi (**imunodefisiensi**) dan respons imun yang targetnya merupakan jaringan asing yang bermanfaat pada tubuh, seperti pada transfusi dan transplantasi organ (**alloimunitas**).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A.K., Aster. (2015). *Buku Ajar Patologi Robbins*. 9th ed. Singapura: Elsevier Saunders.
- Cardemil, C. V., et. al. (2021). *Incidence, Etiology, and Severity of Acute Gastroenteritis among Prospectively Enrolled Patients in 4 Veterans Affairs Hospitals and Outpatient Centers, 2016-2018*. *Clinical Infectious Diseases*, 73(9), E2729–E2738.
- Cooke, J. P. (2019). *Inflammation and Its Role in Regeneration and Repair*. *Circulation Research*, 124(8), 1166–1168.
- Funkhouser, W. K. (2018). *Pathology: The Clinical Description of Human Disease*. In W. B. Coleman & G. J. Tsongalis (Eds.), *Molecular Pathology* (2nd ed.). Academic Press.
- Greenwood-Van Meerveld, B., Johnson, A. C., & Grundy, D. (2017). *Gastrointestinal Physiology and Function*. *Handbook of experimental pharmacology*, 239, 1–16.
- Green, D. R., & Llambi, F. (2015). *Cell Death Signaling*. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 7(12), 1–24.
- Huether S. E., McCance K. L., editors. (2019). *Buku Ajar Patofisiologi*. Singapore: Elsevier.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2018). *Hasil Utama Riskedas 2018*. Jakarta: Kemenkes.
- Miller, M. A., & Zachary, J. F. (2017). *Mechanisms and Morphology of Cellular Injury, Adaptation, and Death*. In *Pathologic Basis of Veterinary Disease Expert Consult*. pp.2-43.
- Patel, A. (2020). *Benign vs Malignant Tumors*. *JAMA Oncology*, 6(9), 1488.
- Shen, S., Shao, Y., & Li, C. (2023). *Different Types of Cell Death and*

- Their Shift in Shaping Disease*. Cell Death Discovery, 9(1), 1–12.
- Upadhyay, A. (2021). *Cancer: an Unknown Territory; Rethinking Before Going Ahead*. Genes and Diseases, 8(5), 655–661.
- White, E. S., & Mantovani, A. R. (2013). *Inflammation, wound repair, and fibrosis: Reassessing the spectrum of tissue injury and resolution*. Journal of Pathology, 229(2), 141–144.

BIODATA PENULIS

Nikki Aldi Massardi, S.Si., M.Biomed., lahir di Jakarta dan



mengarungi kehidupan sekolah di Bekasi dan tamat SMA di SMA Panglima Soedirman pada 2007. Setelah tamat SMA, penulis melanjutkan studinya di Universitas Indonesia di Program Studi Biologi kekhususan Fisiologi Reproduksi. Setelah lulus pada

tahun 2011, penulis melanjutkan studi S2 di Program Magister Ilmu Biomedik Universitas Indonesia. Ketertarikan penulis akan ilmu kedokteran dan patologis dilalui dengan lulus pada tahun 2016 dari Ilmu Biomedik dengan kekhususan Onkologi. Penulis memiliki kepakaran dalam bidang Onkologi dan Patologi. Penulis saat ini bekerja menjadi dosen tetap di Universitas Bengkulu. Untuk mewujudkan karir sebagai dosen profesional, penulis pun aktif sebagai peneliti dibidang kepakarannya tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan telah didanai oleh internal universitas. Penelitian yang telah dilakukan memiliki topik mengenai penyakit non infeksius seperti kanker ataupun penelitian patologi anatomi menggunakan tikus untuk melihat potensi herbal tanaman-tanaman di Bengkulu. Selain meneliti, penulis juga aktif menulis buku dengan harapan dapat menyebarluaskan keilmuannya untuk kepentingan bangsa dan negara ini.

BAB 11

FARMAKOLOGI DASAR

apt. Gina Aulia, M.Farm.
ginaaulia@wdh.ac.id

A. Definisi Farmakologi

Kata farmakologi berasal dari kata *pharmakon*, yang berarti obat dan *logos*, yang berarti ilmu. **Farmakologi** adalah ilmu yang mempelajari zat-zat yang berinteraksi dengan sistem hidup melalui proses kimiawi, terutama dengan mengikat molekul regulator dan mengaktifkan atau menghambat proses tubuh yang normal. Zat-zat tersebut dapat berupa bahan kimia yang mampu mencapai efek terapeutik dan bermanfaat dalam tubuh pasien. Farmakologi terletak di antara fisiologi dan patofisiologi. Farmakologi bertujuan untuk menyembuhkan penyakit atau setidaknya mengurangi gejala penyakit berdasarkan konsep patofisiologi. **Zat aktif farmakologis** adalah semua senyawa kimia yang memengaruhi fungsi tubuh. Istilah zat aktif secara farmakologis tidak membuat prediksi tentang manfaat atau bahaya dari efeknya. Obat-obatan memiliki efek yang bermanfaat (terapeutik), sedangkan racun memiliki efek yang merusak (beracun). Definisi suatu zat aktif secara farmakologis yaitu zat aktif dapat sebagai obat atau racun tergantung pada dosis, cara penggunaan, dan kondisi klinis. **Obat** merupakan zat aktif

yang diberikan untuk mencegah, mendiagnosis atau mengobati penyakit, mengurangi rasa sakit dan penderitaan, atau untuk memperpanjang harapan hidup pasien.

Farmakologi juga didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari efek obat pada sistem biologis, dengan farmakologi medis atau klinis yang berkaitan dengan persepan obat oleh dokter atau beberapa profesional kesehatan lainnya. Persepan obat memiliki peran penting dalam terapi, dengan demikian pengetahuan yang baik mengenai farmakologi sangat diperlukan untuk memberikan obat yang aman dan efektif. **Farmakologi medis** adalah ilmu pengetahuan tentang bahan kimia obat yang berinteraksi dengan tubuh manusia. Interaksi tersebut terbagi menjadi dua kelompok, antara lain **farmakokinetik**, yaitu cara tubuh mempengaruhi obat yang meliputi absorpsi, distribusi, metabolisme, dan ekskresi, dan **farmakodinamik**, yaitu efek obat pada tubuh.

B. Sumber Obat

Obat-obatan diperoleh terutama dari tanaman, hewan, mikroba, dan sumber mineral. Saat ini, sebagian besar obat yang digunakan secara terapeutik diproduksi dari produk sintetis atau semisintetis. Berbagai sumbernya sebagai berikut:

1. **Sumber hewani**, contohnya insulin, heparin, gonadotrofin, ekstrak tiroid, dan serum antitoksin (misalnya, bisa ular).
2. **Mineral**, contohnya parafin cair, fero sulfat, magnesium sulfat, magnesium trisilikat, kaolin.
3. **Mikroorganisme (bakteri dan jamur)**, contohnya penisilin, streptomisin, eritromisin, polimiksin B, bacitracin, kloramfenikol, nistatin, dan griseofulvin. Selain antibiotik yang diperoleh dari mikroorganisme, produk lain yang juga

dihasilkan oleh mikroorganisme, antara lain streptokinase, enzim dari kokus gram positif (*Streptococcus pyogenes*), dan vitamin B₁₂ (sianokobalamin), yang dihasilkan dari *Streptomyces griseus*.

4. **Manusia**, contohnya imunoglobulin dari darah, hormon pertumbuhan dari kelenjar hipofisis, ekstrak plasenta dari plasenta, dan *human chorionic gonadotropin* (hCG) dalam urin wanita hamil.
5. **Senyawa sintetis**, contohnya analgesik, antimikroba, hipnotik, dan obat antikanker.
6. **Rekayasa genetika**, contohnya insulin manusia dan *growth hormone*.
7. **Teknik hybridoma**, contohnya antibodi monoklonal.
8. **Sumber tanaman**, contohnya komponen yang aktif secara farmakologis dalam obat nabati, antara lain:
 - a) **Alkaloid** merupakan garam yang larut dalam air atau tidak larut dalam air senyawa nitrogen. Beberapa alkaloid penting, seperti *quinine* (*Cinchona officinalis*), *reserpine* (akar *Rauwolfia serpentina*), *cocaine* (*Erythroxylum coca*), *morphine group* (*Papaver somniferum*), *atropine group* (*Atropa belladonna*), *pilocarpine* (*Pilocarpus* sp.), dan *vincristine* serta *vinblastine* (*Vinca rosea*).
 - b) **Glikosida** merupakan struktur organik seperti eter yang digabungkan dengan gula. Komponen *nonsugar* disebut aglikon atau genin. Glikosida yang penting, seperti *digoxin* (*Digitalis purpurea* dan *Digitalis lanata*), *senmoside* (*Cassia acutifolia*), *strophanthin* (*Strophanthus kombe*).
 - c) **Minyak** merupakan gliserida dari oleat, palmitat, dan asam stearat. Sebagian besar minyak dapat dimakan dan digunakan untuk memasak. Minyak yang digunakan sebagai

obat, seperti *castor oil* (*Ricinus communis*), *olive oil* (*Olea europaea*), minyak *theobroma* (*cocoa butter* atau *Theobroma cacao*) yang digunakan sebagai pelembab dalam krim kulit dan membuat supositoria, minyak atsiri yang mengandung *terpene* hidrokarbon. **Minyak atsiri** yang penting, antara lain *turpentine oil* (pinus) sebagai *counterirritant*, minyak lemon (*Citrus limon*) sebagai bahan penyedap rasa, *peppermint*, kapulaga, jahe, dan adas sebagai bahan karminatif dan penyedap rasa, minyak kayu putih yang digunakan untuk meredakan hidung tersumbat dan minyak cengkeh terutama berguna untuk meredakan sakit gigi rasa sakit. **Resin** merupakan minyak atsiri yang teroksidasi atau terpolimerisasi. Berbagai jenis resin yaitu **oleoresin** merupakan campuran minyak atsiri dan resin. Ekstrak pakis jantan yang digunakan untuk mengatasi serangan cacing pita. **Gum resins**, seperti asafetida digunakan sebagai karminatif dan antispasmodik. **Oleo gum resin**, seperti *myrrh*- memiliki sifat stimulan dan antiseptik lokal dan umumnya digunakan dalam obat kumur. **Balsam**, seperti benzoin digunakan secara internal sebagai ekspektoran dan secara eksternal sebagai astringen. **Balsam tolu** digunakan sebagai *stimulating expectorant*.

- d) **Gum** merupakan produk sekresi tanaman. Pada hidrolisis, mereka menghasilkan polisakarida seperti gula sederhana. Gum adalah zat inert secara farmakologis dan terutama digunakan sebagai zat pensuspensi dan pengemulsi dalam berbagai produk farmasi. Sediaan yang banyak digunakan adalah gum akasia dan tragakan.

- e) **Tanin** merupakan konstituen non-nitrogen dari tanaman. Secara kimiawi tanin adalah turunan fenolik dan dicirikan oleh aksi astringennya. Tanin umumnya digunakan dalam pengobatan diare dan luka bakar.

C. Farmakokinetik

Farmakokinetik berkaitan dengan pengaruh tubuh terhadap obat atau pergerakan obat ke seluruh tubuh, meliputi absorpsi, distribusi, metabolisme, dan eliminasi. Memahami proses dan prinsip farmakokinetik dapat meningkatkan kemungkinan keberhasilan terapi dan mengurangi terjadinya efek samping obat serta interaksi obat-obat.

Absorpsi adalah pergerakan obat dari tempat masuknya ke dalam aliran darah. Dalam banyak kasus, obat harus diangkut melintasi satu atau lebih membran biologis untuk mencapai aliran darah. Absorpsi merupakan proses di mana obat berpindah dari tempat pemberiannya untuk memasuki sirkulasi sistemik. Sebagian besar obat diberikan secara oral, absorpsi dari gastrointestinal adalah mekanisme yang paling umum. Namun ada banyak tempat darimana obat dapat diserap ke dalam aliran darah, yaitu gastrointestinal (melalui **oral**), kulit (**topikal**), epitel hidung (**intranasal**), otot (**intramuskular**) rongga bukal (**bukal**), **rektum**, **vagina**, mata (**intraokula**), telinga (**topikal**), peritoneum (**intraperitoneum**), dan paru-paru (**dihirup**). Agar suatu senyawa dapat diabsorpsi, senyawa tersebut harus menembus membran sel. Dalam kasus bentuk padat yang diberikan secara oral, disintegrasi menjadi suspensi harus terjadi, diikuti dengan pelarutan dalam cairan saluran gastrointestinal. Penyerapan obat ke dalam sirkulasi sistemik juga dapat dipengaruhi oleh tingkat metabolisme sebelum

mencapai darah untuk distribusi umum, yaitu enzim pencernaan usus, *monoamine oksidase* pada dinding usus dan hati. Semua dapat memetabolisme obat sehingga hanya sebagian kecil mencapai lokasi target. Proses metabolisme absorptif ini disebut **metabolisme lintas pertama** (*first-pass metabolism*). Beberapa efek metabolisme lintas pertama yang kuat dapat diatasi dengan menggunakan tempat penyerapan alternatif, seperti rektal, pemberian intramuskular, intravena, atau sublingual. Metabolisme lintas pertama merupakan proses metabolisme obat di mana konsentrasi obat dikurangi sebelum obat tersebut dapat memasuki sirkulasi sistemik. Hal ini didefinisikan oleh degradasi atau perubahan usus dan hati obat atau zat setelah penyerapan. Enzim dari lumen saluran cerna, dinding usus, bakteri, dan/atau hati semuanya dapat mempengaruhi metabolisme lintas pertama.

Distribusi adalah proses di mana obat bergerak masuk dan keluar dari jaringan tubuh setelah diabsorpsi ke dalam sirkulasi sistemik. **Volume distribusi** (VD) adalah konsentrasi obat dalam plasma relatif terhadap jumlah total dalam tubuh dan tergantung pada sejauh mana obat terikat protein dan tingkat lipofilisitas. Jika lebih banyak obat masuk ke jaringan, maka akan memiliki volume distribusi yang lebih tinggi dan sebaliknya. Hal ini tergantung pada beberapa faktor seperti **kelarutan lipid** dan **plasma pengikatan protein**. Obat yang larut dalam lipid lebih mungkin untuk melintasi dinding pembuluh darah sehingga memiliki volume distribusi yang tinggi. Jika obat sangat terikat pada protein plasma, (misalnya warfarin, benzodiazepin, furosemid, penghambat saluran kalsium, digitoksin), hal tersebut akan berlaku seperti molekul besar dan lebih mungkin untuk tetap berada di dalam plasma. Oleh karena itu, lebih sedikit yang akan masuk ke jaringan sehingga volume

distribusi rendah. Setelah absorpsi atau pemberian sistemik ke dalam aliran darah, obat didistribusikan ke dalam cairan interstisial dan intraseluler sebagai fungsi dari sifat fisikokimia obat, laju pengiriman obat ke masing-masing organ dan kompartemen, dan kapasitas yang berbeda dari daerah-daerah tersebut untuk berinteraksi dengan obat. Curah jantung, aliran darah regional, permeabilitas kapiler, dan volume jaringan memengaruhi laju pengantaran dan jumlah obat yang didistribusikan ke dalam jaringan. Awalnya, hati, ginjal, otak, dan organ-organ lain yang terfusi dengan baik menerima sebagian besar obat, sedangkan pengiriman ke otot, sebagian besar *viscera*, kulit, dan lemak lebih lambat. Fase distribusi kedua mungkin memerlukan beberapa menit hingga beberapa jam sebelum konsentrasi obat dalam jaringan berada dalam kesetimbangan dengan konsentrasi obat dalam darah. Fase kedua juga melibatkan fraksi massa tubuh yang jauh lebih besar (misal otot) daripada fase awal dan umumnya menyumbang sebagian besar distribusi ekstravaskular. Dengan pengecualian seperti otak, difusi obat ke dalam cairan interstisial terjadi dengan cepat karena sifat endotel kapiler yang sangat permeabel. Dengan demikian, distribusi jaringan ditentukan oleh partisi obat antara darah dan jaringan tertentu.

Metabolisme adalah proses utama eliminasi. Usus, ginjal, paru-paru, plasma, sel darah merah, plasenta, kulit, dan otak adalah entitas metabolisme. Namun hati adalah organ utama yang menangani metabolisme xenobiotik melalui enzim redoks, misalnya sitokrom P450 (CYP450). Secara umum, metabolisme obat melibatkan proses enzimatik yang mengubah senyawa lipofilik menjadi lebih banyak metabolit hidrofilik, sehingga memfasilitasi proses ekskresi dalam empedu atau urin. Hal ini dicapai dengan dua

cara utama jenis reaksi metabolik, yaitu **reaksi fase I** yang terdiri dari reduksi, oksidasi, dan hidrolisis, termasuk pengenalan atau pemaparan gugus fungsi, seperti -OH, -COOH, -SH, -NH₂. Metabolisme **fase II** termasuk asetilasi-N, metilasi, konjugasi glutation, konjugasi asam amino, glukoronidasi, sulfasi, konjugasi gugus fungsi molekul atau metabolit dengan substrat hidrofilik endogen.

Ekskresi atau eliminasi obat-obatan dari tubuh dalam bentuk asalnya atau tidak berubah bentuknya atau sebagai metabolit. Organ ekskresi, kecuali paru-paru, lebih efisien menghilangkan banyak senyawa polar daripada zat dengan kelarutan lipid yang tinggi. Dengan demikian, obat yang larut dalam lipid lebih tidak mudah dihilangkan sampai obat tersebut dimetabolisme menjadi lebih banyak menjadi senyawa polar. Ada dua rute utama eliminasi yaitu ekskresi ginjal dan empedu. Ginjal adalah organ yang paling penting untuk mengekskresikan obat dan metabolitnya. Ekskresi ginjal dari obat yang tidak berubah adalah rute utama eliminasi untuk 25% hingga 30% obat yang terjadi pada manusia. **Ekskresi ginjal** ditentukan oleh filtrasi glomerulus, sekresi dan reabsorpsi tubulus aktif, dan metabolisme ginjal. Senyawa yang dieliminasi oleh sekresi ginjal memiliki berat molekul yang relatif rendah, dan bersifat hidrofilik atau perlahan-lahan diubah di hati menjadi demikian (lihat reaksi fase I dan reaksi fase II). Pembersihan hati adalah cara utama ekskresi untuk partikel yang terbawa darah yang tidak mengalami pembersihan ginjal. Setelah memasuki hepatosit melalui endositosis, suatu senyawa mengalami metabolisme dan **ekskresi empedu**, yang terjadi melalui membran *canalicular* yang mengelilingi empedu *canaliculi* pada hepatosit. Sistem retikuloendotelial dalam sel Kupffer juga

dapat menghasilkan *independent degradation* dan pembuangan partikel intraseluler dalam hati.

D. Farmakodinamik

Farmakodinamik adalah pengaruh obat terhadap tubuh kemudian menghubungkan konsentrasi obat dengan efek farmakologis dari obat tersebut. Farmakodinamik juga dapat didefinisikan sebagai pengaruh obat terhadap sel hidup, organ atau makhluk hidup. Salah satu subdisiplin farmakologi ini juga mempelajari efek biokimia, fisiologi dan mekanisme kerja obat. Mekanisme kerja obat dipelajari untuk meneliti efek dan interaksi obat dengan sel. Selain itu, untuk mengetahui urutan peristiwa serta spektrum efek dan respons yang terjadi.

Pada umumnya obat dapat menimbulkan efek melalui interaksi **obat-reseptor** pada sel. Interaksi tersebut menimbulkan perubahan biokimia dan fisiologi yang merupakan respons obat. Konsep penting dalam interaksi obat-reseptor yaitu obat dapat mengubah kecepatan kegiatan faal tubuh dan obat tidak menimbulkan fungsi baru, tetapi hanya memodulasi fungsi yang sudah ada. Efek obat dapat bersifat **agonis**, yaitu menyerupai senyawa endogen. Obat dapat bersifat **antagonis**, yaitu tidak mempunyai aktivitas intrinsik dan mampu menghambat kerja.

Protein merupakan makromolekul fungsional reseptor obat, seperti reseptor fisiologis, asetilkolinesterase, Na^+/K^+ -ATPase, dan tubulin. **Reseptor fisiologis** merupakan protein seluler normal yang berperan sebagai reseptor dari ligan endogen, seperti hormon, neurotransmitter, dan *growth factor*. Ikatan obat dengan reseptor dapat berbentuk ikatan kovalen, ion, hidrofobik, hidrogen, atau van der Waals. Obat atau ligan endogen dapat mengenali reseptor

dengan tepat dan spesifik, seperti teori kunci-gembok (*key and lock*). Hubungan kadar/dosis (D) dengan intensitas efek, sebagai berikut:



Berdasarkan teori pendudukan reseptor (*receptor occupancy*), intensitas efek obat berbanding lurus dengan fraksi reseptor yang diikat dan efek maksimal apabila seluruh reseptor terikat obat. Sebagian besar obat adalah molekul kecil yang berinteraksi dengan substansi makromolekul, atau target obat, intrinsik ke dalam tubuh atau ke patogen. Target obat termasuk reseptor untuk endokrin dan faktor parakrin, enzim, *voltage-gated ion channels*, transpor membran, dan terutama untuk patogen, struktur yang relevan dengan kelangsungan hidup dan replikasi sel. Dengan demikian, target dapat ditemukan di mana saja atau di dalam sel, termasuk membran permukaan sel, sitoplasma dan nukleus, atau seluruhnya di dalam kompartemen ekstraseluler. Sesuai dengan sifat target ini, obat hampir selalu mengubah laju atau besarnya seluler intrinsik atau proses fisiologis daripada menciptakan fenomena baru secara biologis.

DAFTAR PUSTAKA

- Brunton, L. L., & Knollmann, B. C. (2023). *The Pharmacological Basis Of Therapeutics* (14th Ed). McGraw Hill.
- Daryae, F., & Tonge, P. J. (2019). *Pharmacokinetic-Pharmacodynamic Models that Incorporate Drug-Target Binding Kinetics*. *Curr Opin Chem Biol*, 50, 120–127.
- Emmett, S. R., Nicola, L. H., & Bailador, F. D. (2020). *Clinical Pharmacology for Prescribing*. 1st ed. Oxford University Press.
- Gupta, G. R. G. S. (2020). *Review of Pharmacology*. 14th ed. Jaypee Brothers Medical.
- Indijah, S. W., & Fajri, P. (2016). *Farmakologi*. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Lerchenfeldt, S. (2020). *BRS Pharmacology*. 7th ed. Wolters Kluwer.
- Neal, J. M. (2016). *Medical Pharmacology at a Glance*. 8th ed. John Wiley & Sons, Ltd.
- Seifert, R. (2018). *Basic Knowledge of Pharmacology*. Springer.
- Waller, D. G., & Sampson, A. P. (2018). *Medical Pharmacology and Therapeutics*. 5th ed. Elsevier.
- Whalen, K. (2019). *Lippincott Illustrated Reviews: Pharmacology South Asian Edition*. Wolters Kluwer Health (India).

BIODATA PENULIS

apt. Gina Aulia, M.Farm., lahir di Bandung, 21 Februari 1989.



Jenjang Pendidikan yang ditempuh S1 Farmasi di Sekolah Tinggi Farmasi Bandung, lulus tahun 2011. Apoteker di Universitas Padjadjaran, lulus tahun 2013. Pendidikan S2 Farmasi Klinik di Universitas Padjadjaran, lulus tahun 2016. Saat ini aktif sebagai dosen di Program Studi S1 Farmasi Klinik dan

Komunitas STIKes Widya Dharma Husada Tangerang. Berbagai karya ilmiah juga sudah dihasilkan oleh penulis seperti buku, artikel Nasional maupun artikel Internasional. Beberapa buku yang sudah di terbitkan yaitu pencegahan cacangan pada anak dimasa pandemi melalui nutrasetikal *gummy candies* daun jarak pagar (*Jatropha Curcas* L), pemanfaatan dan pengolahan lidah buaya (*Aloe vera*) menjadi produk inovasi di bidang kesehatan, kesehatan dan lingkungan. Semoga buku ini bermanfaat bagi para pembaca.

BAB 12

PEMERIKSAAN KESEHATAN DASAR

Ns. Rustiana Tasya Ariningpraja, S.Kep., M.Biomed., AIFO.
rustiana.ta@ub.ac.id

A. Definisi dan Tujuan Pemeriksaan Kesehatan Dasar

Pemeriksaan kesehatan dasar merupakan sekelompok pemeriksaan kesehatan yang meliputi **pemeriksaan fisik** dan **diagnostik atau penunjang**, yang dilakukan oleh tenaga profesional kesehatan. Pemeriksaan kesehatan dasar dapat membantu skrining atau deteksi suatu penyakit, diagnosis, pengobatan dan pemantauan gangguan kesehatan yang sudah muncul pada individu atau sekelompok orang yang umumnya terdapat pada pelayanan kesehatan primer. Pemeriksaan kesehatan dasar di Indonesia umumnya dilaksanakan di pelayanan kesehatan primer seperti **Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas)**, **klinik pratama**, dan **klinik dokter umum**. Sistem pelayanan kesehatan primer menyatukan aspek-aspek kesehatan preventif, promosi kesehatan, penyembuhan, rehabilitasi, dan perawatan paliatif. Pelayanan kesehatan primer memungkinkan akses universal terhadap pelayanan kesehatan yang dapat dinikmati oleh semua masyarakat.

Tim pelayanan kesehatan primer terdiri atas berbagai profesi seperti dokter umum, perawat, apoteker, dan penyedia layanan kesehatan lainnya. Seorang tenaga kesehatan masyarakat tentu juga berperan memenuhi kepentingan masyarakat dalam menjamin kondisi di mana masyarakat dapat menjadi sehat. Walaupun tidak terlibat secara langsung dalam tindakan pemeriksaan kesehatan dasar, seorang **tenaga kesehatan masyarakat** diharapkan dapat mengetahui pemeriksaan dasar, agar dapat memberikan arahan yang tepat ketika terdapat masyarakat yang membutuhkan informasi atau akses terkait hal tersebut. Salah satu contoh, seorang tenaga kesehatan masyarakat yang memahami pemeriksaan kesehatan untuk skrining, maka dapat membantu **promosi kesehatan** pada masyarakat. Tentunya, tindakan promotif ini menjadi salah satu tanggung jawab yang harus dipikul ahli kesehatan masyarakat. Terbukti bahwa pemeriksaan kesehatan dapat meningkatkan pengenalan dan pengobatan penyakit kronis, pengendalian faktor risiko, penggunaan layanan pencegahan, dan peningkatan hasil yang dilaporkan oleh pasien.

Pemahaman yang baik oleh seorang tenaga kesehatan masyarakat menjadi sangat krusial dalam tindakan promosi kesehatan. Hal mendukung komunikasi efektif dari informasi kesehatan masyarakat, yang diperoleh melalui **surveilans** dan **sistem informasi kesehatan**, kepada pembuat kebijakan, penyedia layanan kesehatan, dan lembaga administratif yang terlibat dalam upaya pengendalian isu-isu kesehatan masyarakat. Pada akhirnya, tenaga kesehatan masyarakat sangat berperan dalam ketepatan pembentukan suatu kebijakan yang membantu menurunkan kejadian penyakit yang berkembang pada masyarakat.

Pemeriksaan kesehatan dasar dapat memiliki tujuan **skrining, preventif, diagnostik, kuratif** maupun **rehabilitatif**, yang bergantung pada target yang ingin dicapai. Pembahasan tujuan disini akan lebih difokuskan pada tujuan pemeriksaan kesehatan dasar yang bersifat **promotif** dan **preventif** yang memang menjadi fokus di pelayanan kesehatan primer, tempat seorang tenaga kesehatan masyarakat berperan besar. Perlu diingat kembali bahwa tenaga kesehatan masyarakat harus mampu mengombinasikan ilmu pengetahuan dan keterampilan yang bertujuan untuk melindungi, meningkatkan dan memulihkan kesejahteraan suatu populasi.

Pemeriksaan kesehatan dasar yang bertujuan untuk **skrining kesehatan (seperti *general checkup* rutin)**, tentunya diharapkan dapat menjangkau sedini mungkin orang-orang dengan sakit atau berisiko memiliki penyakit, termasuk juga orang-orang yang sehat dalam suatu populasi. Di Indonesia, saat ini skrining kesehatan pada pelayanan kesehatan primer tidak hanya berfokus pada penyakit menular saja, tetapi juga kasus **penyakit kronis** pada suatu komunitas.

Indonesia menghadapi tantangan kesehatan yang besar, baik yang disebabkan oleh **penyakit menular, penyakit tidak menular, dan penyakit yang muncul kembali (*re-emerging disease*)**. Riset kesehatan dasar (Riskesdas) tahun 2018 menunjukkan angka kejadian kelebihan berat badan (*overweight*) dan obesitas meningkat dibandingkan tahun 2013. Peningkatan juga terjadi pada kasus hipertensi, diabetes melitus, gagal ginjal kronik, stroke, dan penyakit jantung coroner. TBC dan HIV juga menjadi masalah kesehatan yang menimbulkan beban penyakit menular selain meningkatnya kasus penyakit tidak menular.

Pemeriksaan kesehatan berkala untuk skrining kesehatan memang sudah menjadi rutinitas yang dilakukan oleh sebagian besar orang yang tinggal di negara maju. Namun, karena alasan kekurangan **sosio-ekonomi** dan **kurangnya sumber daya**, praktik pemeriksaan kesehatan berkala kurang umum dilakukan di negara berkembang seperti Indonesia. Selain itu, sejarah perjuangan melawan penyakit menular menyebabkan banyak penyedia layanan kesehatan dan bahkan pemerintah di negara-negara berkembang meremehkan tingkat keparahan dan prevalensi penyakit kronis. Hal ini menyebabkan tingginya angka penyakit kronis yang tidak terdiagnosis, yang selanjutnya dapat menyebabkan masalah kesehatan yang lebih serius dan pada akhirnya meningkatkan angka kematian.

B. Pemeriksaan Tanda-Tanda Vital dan Antropometri

Pada sebagian besar pelayanan kesehatan primer, **tanda-tanda vital** rutin diperoleh, yang dapat mencakup suhu, denyut nadi, laju pernapasan, tekanan darah. Begitu pula **pemeriksaan antropometri**, termasuk tinggi dan berat badan.

Pemeriksaan suhu penting untuk mendeteksi ada tidaknya demam pada individu yang datang ke pelayanan kesehatan primer. Suhu tubuh merupakan tanda vital yang mencerminkan status kesehatan seseorang. **Suhu** adalah ukuran energi panas rata-rata dari gerakan molekul yang tidak bergantung pada sifat suatu zat. **Termoregulator** yaitu hipotalamus berperan dalam pemeliharaan suhu inti fisiologis tubuh dengan menyeimbangkan produksi panas dengan kehilangan panas. Individu yang sehat akan memiliki suhu inti tubuh $37 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ($98,6 \pm 0,9^{\circ}\text{F}$), kisaran suhu yang diperlukan agar proses metabolisme tubuh berfungsi dengan benar.

Terganggunya kemampuan tubuh dalam melakukan termoregulasi dapat mengakibatkan **suhu terlalu rendah (hipotermia)** atau **terlalu tinggi (hipertermia)**. Variasi suhu yang sedikit dapat diubah dengan perubahan perilaku dan respons fisiologis, sedangkan variasi suhu yang ekstrem pada akhirnya dapat menyebabkan kegagalan organ, koma, atau kematian. Penting diingat bahwa suhu di seluruh tubuh bervariasi, dengan suhu inti tubuh lebih tinggi dan lebih stabil, dan suhu kulit lebih rendah dan lebih bervariasi karena faktor eksternal. Suhu rata-rata harian dapat berbeda sebesar $0,5^{\circ}\text{C}$. Siklus menstruasi juga menjadi salah satu penyebab utama variasi suhu. Selain itu, variasi harian dapat mencapai $0,25-0,5^{\circ}\text{C}$, dengan **suhu tubuh terendah** biasanya terjadi **sekitar pukul 4 pagi** dan **tertinggi sekitar pukul 6 sore**. Saat ini, pemeriksaan suhu menggunakan **termometer inframerah non-kontak** lebih umum dilakukan, terutama semenjak pandemi *Coronavirus Disease 2019 (Covid-19)*, karena dianggap lebih aman karena tidak berkontak langsung dengan bagian tubuh. Termometer inframerah non-kontak tidak mengukur suhu inti tubuh secara langsung tetapi dirancang untuk berkorelasi dengan suhu referensi di lokasi tubuh. Suhu permukaan kulit dahi diukur berdasarkan deteksi energi radiasi inframerah dari permukaan kulit. Suhu permukaan kulit dahi lebih rendah dibandingkan suhu referensi tubuh.

Pemeriksaan denyut nadi perifer mengacu pada palpasi gelombang bertekanan tinggi yang bergerak menjauh dari jantung melalui pembuluh darah di ekstremitas setelah ejeksi sistolik. Denyut nadi mudah diraba dan berfungsi sebagai alat klinis yang berguna dan dapat dilakukan di setiap tingkat perawatan kesehatan. **Palpasi** terjadi di berbagai lokasi pada ekstremitas atas dan bawah,

termasuk arteri radial, brakialis, femoralis, poplitea, tibialis posterior, dan dorsalis pedis. Denyut nadi perifer dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai jenis penyakit. Pengukuran denyut nadi dapat dilakukan secara akurat ketika pemeriksa meletakkan ujung jarinya pada kulit di atas pembuluh darah dan memusatkan perhatian pada berbagai aspek denyut nadi. Evaluasi denyut nadi perifer diawali dengan kecepatan denyut nadi, keteraturan denyut nadi, dan seimbang atau tidak seimbang secara bilateral pada masing-masing ekstremitas. Pada praktek sehari-hari, **denyut nadi radialis** adalah tempat yang paling sering dipilih untuk memeriksa denyut nadi perifer, dimana denyut nadi dipalpasi pada radial lengan bawah, tepat di proksimal sendi pergelangan tangan. Frekuensi denyut nadi penting untuk mengukur penilaian proses fisiologis dan patologis yang mempengaruhi tubuh. Kisaran normal yang digunakan pada orang dewasa adalah antara **60 hingga 100 denyut/menit** dengan frekuensi di atas 100 denyut/menit disebut **takikardia** dan frekuensi di bawah 60 denyut per menit disebut **bradikardia**.

Pemeriksaan laju pernafasan adalah pemeriksaan jumlah napas selama 1 menit. Laju pernapasan normal berkisar antara **12 hingga 20 napas per menit** pada rata-rata orang dewasa. Parameter yang penting di sini sekali lagi mencakup kecepatan, kedalaman pernapasan, dan pola pernapasan. Laju pernapasan adalah tanda vital mendasar yang sensitif terhadap berbagai kondisi patologis, misalnya kejadian buruk pada jantung, pneumonia, gangguan klinis, begitu juga terhadap rangsangan stres. Sensitivitas laju pernapasan terhadap kondisi ini lebih unggul dibandingkan dengan sebagian besar tanda-tanda vital lainnya.

Pemeriksaan tekanan darah (TD) adalah pemeriksaan tekanan sistem arteri dalam tubuh yang diukur dalam milimeter udara raksa. Tekanan darah secara konvensional dipisahkan menjadi sistolik dan diastolik. **Tekanan sistolik** adalah tekanan darah maksimum selama kontraksi ventrikel. Sedangkan, **tekanan diastolik** adalah tekanan minimum yang dicatat sesaat sebelum kontraksi berikutnya. Tekanan darah diukur dengan alat yang disebut **spigmomanometer** dan **stetoskop**. Pengkategorian hasil pengukuran tekanan darah dapat dilakukan berdasarkan tabel 12.1. Penentuan hipertensi tentu tidak dilakukan berdasarkan satu kali hasil pemeriksaan. Setelah terdeteksi hasil pengukuran tekanan darah yang tinggi, biasanya individu akan diminta untuk datang kembali untuk pemeriksaan yang sama. Setelah tekanan darah menunjukkan hasil yang sama pada waktu pemeriksaan yang berbeda, maka hasilnya dapat dijadikan dasar pengangkatan diagnosa **hipertensi**.

Tabel 12.1. Kategori tekanan darah berdasarkan *American Heart Association* (AHA) Tahun 2017.

Kategori Tekanan Darah	Sistolik (mmHg)		Diastolik (mmHg)
Normal	<120	dan	<80
Meningkat	120–129	dan	<80
Hipertensi			
Level 1	130–139	Atau	80–89
Level 2	≥140	atau	≥90

*Individu dengan sistolik dan diastolik dalam 2 kategori harus dimasukkan ke dalam kategori BP yang lebih tinggi.

Metode auskultasi menggunakan **spigmomanometer merkuri** dianggap sebagai **standar emas** untuk pengukuran tekanan darah. Terdapat juga **spigmomanometer aneroid**, namun seringkali memerlukan **kalibrasi** yang sering dibandingkan dengan merkuri. Saat ini juga tersedia perangkat untuk mengukur tekanan darah secara digital yang juga dapat digunakan secara mandiri oleh pasien. Perangkat pengukuran tekanan darah digital sangat mudah dioperasikan oleh orang awam tanpa membutuhkan kompetensi khusus. Penting untuk memastikan tensimeter digital bekerja sebagaimana mestinya melalui kalibrasi berkala. **Tensimeter digital** menggunakan teknik osilometri, dimana perangkat lunak mengevaluasi bentuk **gelombang osilometri**, biasanya selama deflasi manset tekanan darah, dan menggunakan algoritma untuk memperkirakan tekanan darah, telah dikembangkan dan disempurnakan. Hampir semua pabrikan merekomendasikan perangkat osilometri agar dikalibrasi secara berkala setiap 1 atau 2 tahun. Perlu diingat bahwa, apabila di pelayanan primer menggunakan tensimeter digital, sebaiknya gunakan tensimeter digital yang sesuai diperuntukkan untuk memeriksa banyak orang dalam waktu yang berdekatan. Hindari penggunaan tensimeter digital yang diperuntukkan untuk pemantauan mandiri pasien di rumah.

Pemeriksaan tinggi badan dan berat badan. Pengukuran berat badan menggunakan **timbangan** dan pengukuran tinggi badan sangat penting untuk dilakukan agar dapat menghitung berat badan ideal. **Indeks massa tubuh (IMT) atau *body mass index (BMI)*** adalah perhitungan berdasarkan berat badan dan tinggi badan. IMT bukanlah panduan yang sepenuhnya akurat, misalnya pada beberapa atlet berotot mungkin memiliki IMT yang

menunjukkan bahwa kelebihan berat badan, dan IMT tidak menunjukkan distribusi lemak. IMT tidak membedakan antara laki-laki dan perempuan, namun tetap merupakan alat yang cepat dan berguna untuk membantu menilai risiko kesehatan terkait berat badan. Berikut rumus perhitungan IMT:

$$\begin{aligned} & \text{Indeks massa tubuh (IMT)} \\ &= \frac{\text{Berat Badan (kg)}}{\text{Tinggi badan (m)} \times \text{Tinggi badan (m)}} \end{aligned}$$

Indeks massa tubuh (IMT) membantu mengklasifikasikan status berat badan seseorang, apakah masuk dalam kategori normal, kekurangan atau kelebihan berat badan (Gambar 12.2). Hasil pengkategorian ini dapat membantu untuk menilai apakah status nutrisi pasien saat pemeriksaan. Kita dapat mengetahui apakah seseorang mengalami malnutrisi atau tidak berdasarkan pemeriksaan ini. **Malnutrisi** merupakan masalah kesehatan utama yang dapat disebabkan oleh situasi primer, seperti kemiskinan, kekurangan pangan, atau situasi sekunder, akibat penyakit. Malnutrisi jelas akan menyebabkan gangguan Kesehatan dan dapat menjadi masalah serius apabila tidak segera ditangani. Pengukuran terkait status nutrisi dan berat badan pada kelompok anak-anak menggunakan instrumen yang berbeda yang disesuaikan dengan usia anak. Pengukuran IMT umumnya digunakan untuk mengukur berat badan pada kelompok usia dewasa. Masalah gangguan nutrisi pada anak harus segera diatasi karena dapat mengganggu tumbuh kembang anak yang akan berdampak jangka panjang. Indeks massa tubuh juga memungkinkan klasifikasi individu ke dalam kategori seperti **obesitas** atau kelebihan berat badan. Masalah ini sering terjadi pada kelompok usia dewasa dan lansia walaupun kasus obesitas pada anak-anak juga tetap dilaporkan. Klasifikasi ini dapat

membantu penilaian risiko hipertensi, diabetes, kanker, hiperkolesterolemia, dan penyakit kronis lainnya. Cara lain untuk mengukur obesitas meliputi rasio **pinggang-pinggul**, **persentase lemak tubuh atau visceral**, dan **lingkar pinggang**.

Tabel 12.2. Klasifikasi indeks massa tubuh berdasarkan WHO.

Status Berat Badan	Indeks massa tubuh (IMT)
Berat badan kurang	<18.5
Normal	18.5-24.9
Overweight	25.0-29.9
Obesitas	>30
Obesitas kelas 1	30.0-34.9
Obesitas kelas 2	35.0-39.9
Obesitas kelas 3	>40

C. Pemeriksaan Penunjang atau Diagnostik

Pemeriksaan penunjang, termasuk **pemeriksaan laboratorium dan pencitraan** mempunyai peran yang luas dalam pengambilan keputusan klinis dan berperan dalam menentukan hasil klinis. Nilai pengujian laboratorium harus dipertimbangkan dalam perannya dalam mempengaruhi tindakan dan hasil yang bermanfaat. Pemeriksaan diagnostik secara rutin digunakan di lingkungan layanan kesehatan untuk skrining atau menentukan pengobatan. Beberapa puskesmas sebagai pelayanan kesehatan primer di Indonesia menyediakan beberapa pemeriksaan penunjang dasar yang terutama dapat membantu diagnosis penyakit kronis.

Pemeriksaan Hemoglobin. Hemoglobin (Hb) adalah protein eritrosit intraseluler yang sangat terspesialisasi yang bertanggung jawab untuk mengangkut oksigen dari paru-paru ke

jaringan untuk metabolisme oksidatif dan memfasilitasi pengangkutan karbon dioksida dari jaringan ke paru-paru. Hemoglobin dengan oksigen terikat disebut **oksihemoglobin**, sedangkan hemoglobin tanpa oksigen disebut **deoksihemoglobin**. Jumlah oksigen yang terikat pada hemoglobin dan dilepaskan ke jaringan tidak hanya bergantung pada **PO₂** dan **PCO₂** tetapi juga pada afinitas Hb terhadap O₂. Kadar hemoglobin yang cukup harus dipertahankan untuk memastikan oksigenasi jaringan yang memadai. Kadar **Hb normal** pada **pria** adalah **14 hingga 18 g/dL**, sedangkan untuk **wanita** adalah **12 hingga 16 g/dL**. Kadar hemoglobin dibawah normal dapat mengindikasikan adanya anemia. **Anemia** secara fungsional didefinisikan sebagai penurunan kompetensi darah untuk membawa oksigen ke jaringan, sehingga menyebabkan hipoksia jaringan. Anemia mengacu pada penurunan konsentrasi normal hemoglobin dan/atau eritrosit. Anemia bukanlah suatu penyakit melainkan tanda dari kelainan atau penyakit yang mendasarinya. Pengukuran hemoglobin dengan sampel darah kapiler juga dinilai lebih hemat biaya, cepat dan sederhana serta seringkali tidak terlalu menyakitkan dibandingkan pungsi vena. Keakuratan hasil sampel darah kapiler untuk pengukuran Hb juga dianggap sebanding dengan sampel darah vena dalam perhitungan Hbmass dan volume intravaskular dalam hal akurasi. Sehingga pengukuran menggunakan sampel darah vena tetap layak dipertimbangkan untuk skrining kadar hemoglobin pada suatu kelompok.

Pemeriksaan Golongan Darah. Sel darah merah atau eritrosit dibedakan satu sama lain berdasarkan struktur antigen yang terdapat pada permukaannya. **Karl Landsteiner** pertama kali menemukan sistem golongan darah pengelompokkan **ABO** pada

tahun 1900 dan pengelompokkan **rhesus (Rh)**. Terdapat 4 jenis golongan umum darah dalam sistem ABO, yaitu **A, B, AB, dan O**. Identifikasi golongan darah didasarkan pada keberadaan karbohidrat spesifik di permukaan sel darah merah, yaitu **N-asetilgalaktosamin untuk antigen A dan D-galaktosa untuk antigen B**. Antigen A dan B tidak dapat menempel pada sel darah merah jika antigen H tidak mengalami perubahan, sehingga menghasilkan golongan darah O. Seseorang secara alami akan membentuk **antibodi terhadap antigen ABO** yang tidak dimilikinya. Individu dengan golongan darah A akan memiliki antibodi anti-B, sedangkan individu dengan golongan darah O akan memiliki antibodi anti-A dan anti-B. Sebelum melakukan transfusi darah, pemeriksaan serologis rutin dilakukan untuk memeriksa ketersediaan golongan darah ABO dan Rh. **Transfusi darah** yang tidak sesuai dengan golongan darah ABO bisa berakibat fatal karena tingginya sifat imunogenik dari antigen A dan B serta kekuatan **antibodi hemolitik**. **Tes serologis** cukup untuk menentukan golongan darah seseorang untuk keperluan donor darah dan transfusi. Pengujian genetik molekuler dapat digunakan untuk menentukan genotipe ABO suatu individu (misalnya genotipe AO atau AA). Hasil pengujian genetik molekuler baru-baru ini menghasilkan hipotesis terkait hubungan antara golongan darah ABO dengan rentan terhadap sejumlah penyakit, termasuk kanker, penyakit kardiovaskular, infeksi, gangguan hematologi, gangguan kognitif, penyakit peredaran darah, penyakit metabolik, dan malaria. Namun keterkaitan tersebut belum dapat dijelaskan kemungkinan mekanismenya.

Pemeriksaan Glukosa Darah. Glukosa memiliki struktur 6 karbon dengan rumus kimia $C_6H_{12}O_6$. Glukosa merupakan sumber

energi utama tubuh dan penting untuk **bahan bakar respirasi sel aerobik** dan **anaerobik**. Tubuh menyimpan kelebihan glukosa sebagai **glikogen (polimer glukosa)**, yang dilepaskan saat berpuasa. Glukosa juga diperoleh dari produk pemecahan lemak dan protein melalui proses **glukoneogenesis**. Glukosa ikut mengalir melalui darah dan ke jaringan yang membutuhkan energi. Glukosa dipecah dalam serangkaian reaksi biokimia yang melepaskan energi dalam bentuk ATP. **ATP** yang diperoleh dari proses-proses tersebut digunakan untuk bahan bakar hampir setiap proses yang membutuhkan energi dalam tubuh. Beberapa sel memerlukan insulin yang diproduksi oleh pankreas untuk membantu glukosa untuk masuk ke sel dan digunakan sebagai bahan baku pembentukan energi, termasuk sel otot rangka. Karena massa otot rangka yang besar di tubuh, sehingga kebutuhan tubuh akan insulin menjadi sangat penting. Hanya ketika berolahraga, glukosa dapat masuk ke otot rangka tanpa bantuan dari insulin. Pemantauan glukosa darah membantu mengidentifikasi pola fluktuasi kadar glukosa darah. Glukosa darah dapat berubah sebagai respons terhadap pola makan, olahraga, pengobatan, dan proses patologis yang terkait dengan fluktuasi glukosa darah, seperti **diabetes melitus**. Pemantauan kadar glukosa darah di pelayanan kesehatan primer dapat menggunakan **tes glukosa darah kapiler** atau **tes glukosa darah secara enzimatik** menggunakan sampel darah vena.

Pada beberapa pelayanan kesehatan primer juga diketahui dapat melakukan pemeriksaan glukosa darah dengan metode enzimatik ataupun pemeriksaan HbA1c. Pemeriksaan glukosa darah juga dapat dilakukan menggunakan metode enzimatik dengan sampel yang berasal dari darah vena. Metode ini memerlukan

peralatan yang lebih canggih dan dilakukan di laboratorium yang sudah terstandar. Hasil pemeriksaan dengan metode ini tentu memiliki keakuratan yang lebih baik karena mampu membaca hasil dengan nilai yang jauh lebih tinggi atau lebih rendah dibanding dengan **glukometer**. Pemeriksaan HbA1c diketahui dapat menjadi parameter yang cukup diandalkan untuk membantu diagnosis diabetes mellitus. **Hemoglobin terglukosilasi atau HbA1c** adalah kombinasi hemoglobin-glukosa yang terbentuk secara nonenzimatik di dalam eritrosit. Eritrosit bebas sangat permeabel terhadap glukosa yang menyebabkan konsentrasi HbA1c berbanding lurus dengan konsentrasi glukosa plasma. Selain itu, HbA1c terus terbentuk sepanjang masa hidup eritrosit, sehingga dapat **mengukur riwayat glikemik dari 120 hari** sebelumnya. Puasa juga tidak diperlukan untuk tes HbA1c dan kadarnya tidak terpengaruh secara akut oleh stres, olahraga, dan merokok. Semua faktor ini menjadikan HbA1c metode yang sangat baik untuk diagnosis dan pemantauan diabetes. Tubuh manusia tentu selalu berupaya untuk mempertahankan homeostatis glukosa darah dalam rentang 4 hingga 6 mmol atau sekitar **72 hingga 108 mg/dL**. Homeostasis dipengaruhi oleh kapasitas fungsional **sel beta pankreas** dan **sensitivitas seluler yang membutuhkan insulin** (termasuk otot rangka, hati, dan jaringan adiposa). Kondisi diabetes melitus menyebabkan keseimbangan glukosa terganggu dengan hasil kelebihan glukosa saat pemeriksaan. Kriteria diagnosis diabetes mellitus tertera pada table 12.3. Seseorang mungkin didiagnosis menderita diabetes melitus jika kadar glukosa darahnya tinggi. Beberapa organ, seperti otak, ginjal, hati, dan eritrosit, tidak memiliki reseptor insulin dan tidak memerlukan insulin untuk pengambilan glukosa. Organ-organ ini, terutama otak, sangat

terpengaruh oleh penurunan kadar glukosa darah yang akut, kronis, atau berulang.

Tabel 12.3. Kriteria diagnosis diabetes mellitus.

GDP ≥ 126 mg/dL (7,0 mmol/L). Puasa didefinisikan sebagai tidak adanya asupan kalori selama minimal 8 jam.

ATAU

GDPP 2 jam ≥ 200 mg/dL (11,1 mmol/L) selama OGTT. Tes ini harus dilakukan seperti yang dijelaskan oleh WHO, menggunakan beban glukosa yang setara dengan 75 gram glukosa anhidrat yang dilarutkan dalam air.

ATAU

HbA1c $\geq 6,5\%$ (48 mmol/mol). Pengujian harus dilakukan di laboratorium menggunakan metode yang bersertifikat dan distandarisasi dengan pengujian.

ATAU

Pada pasien dengan gejala klasik hiperglikemia atau krisis hiperglikemik, **glukosa plasma acak ≥ 200 mg/dL (11,1 mmol/L).**

Pemeriksaan kolesterol. Kolesterol merupakan bahan pembangun penting untuk membran sel dan juga prekursor penting untuk produksi hormon. Sampai konsentrasi tertentu, kolesterol sangat bermanfaat bagi tubuh manusia. **Kolesterol** memiliki peran sebagai komponen penting dari membran sel, molekul prekursor dalam sintesis vitamin D, hormon seks (testosteron, estrogen, progesteron) dan hormon steroid (kortisol, aldosteron). Kolesterol

juga merupakan konstituen **garam empedu** yang digunakan dalam pencernaan untuk memfasilitasi penyerapan **vitamin A, D, E, dan K** yang dapat larut dalam lemak. Pada keadaan tertentu ketika kadar kolesterol yang lebih tinggi dibandingkan normal dapat dikaitkan dengan banyak penyakit, terutama **penyakit kardiovaskular**. Kadar kolesterol yang dimaksud dalam hal ini adalah kadar kolesterol **low density-lipoprotein (LDL)**. Hasil penelitian jelas memperlihatkan hasil nyata bahwa konsumsi makanan yang mengandung kolesterol diambang batas wajar dapat meningkatkan penyakit kardiovaskular. Sedangkan penurunan nilai kolesterol darah dapat membantu mengurangi risiko penyakit kardiovaskular. Berbagai metode telah dikembangkan untuk dapat mengukur kadar kolesterol darah. Metode-metode tersebut dapat dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu metode kimia klasik berdasarkan protokol Abell-Kendall, pengujian enzimatik fluorometri dan kolorimetri yang umumnya digunakan untuk alat pengujian dan pembaca pelat otomatis, dan pendekatan instrumental analitis seperti sebagai kromatografi gas dan cair atau spektrometri massa. Masing-masing metode mempunyai keunggulan tersendiri. **Metode kimia klasik** relatif sederhana dan murah untuk dilakukan, namun diperlukan prosedur dengan langkah yang cukup banyak. **Metode enzimatik** melibatkan penggunaan enzim yang mahal dan memiliki batas deteksi yang biasanya rendah. **Metode kromatografi dan spektrometri massa** adalah metode yang paling akurat dan sensitif, namun memerlukan peralatan yang mahal dan sampel yang ekstensif. Hasil **kolesterol tinggi** dapat didefinisikan sebagai kolesterol **lebih besar dari 190 mg/dL, lebih besar dari 160 mg/dL dengan satu faktor risiko utama, atau lebih besar dari 130 mg/dL dengan dua faktor risiko kardiovaskular**. Selain

hiperkolesterolemia yang didapat terutama karena faktor konsumsi, hiperkolesterolemia juga dapat bersifat genetik. Hiperkolesterolemia familial disebabkan oleh hilangnya fungsi mutasi pada gen yang mengkode **reseptor LDL**. Penurunan aktivitas reseptor LDL di hati menyebabkan berkurangnya laju pembersihan LDL dari sirkulasi.

Pemeriksaan asam urat. Asam urat adalah **senyawa nitrogen** yang merupakan produk **katabolisme purin** (bahan pembangun DNA). **Asam urat** sebagian besar diekskresikan melalui ginjal dan sebagian kecil melalui saluran pencernaan. **Hiperurisemia** merupakan kadar asam urat yang meningkat dalam darah. Batas atas normalnya adalah **6,8mg/dL** dan angka di atas 7 mg/dL dianggap jenuh dan gejala dapat terjadi. Ketika konsentrasi asam urat melebihi ambang batas fisiologis, maka **kristal monosodium urat** dapat disimpan di sendi dan jaringan lunak dan menimbulkan peradangan. Penderita hiperurisemia dapat datang ke pelayanan karena nyeri sendi yang mengganggu aktivitas. Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengukur asam urat. **Metode kolorimetri** bergantung pada reduksi kromogen seperti natrium tungstat oleh asam urat untuk menghasilkan perubahan warna yang dapat diukur. Teknik ini umumnya digunakan dalam skrining rumah sakit. Penentuan kolorimetri umumnya dianggap sebagai perkiraan kadar asam urat yang sebenarnya terlalu berlebihan, dan kisaran normalnya biasanya 1 mg/dL lebih tinggi dibandingkan **teknik enzimatik** yang lebih spesifik. Penentuan asam urat secara enzimatik dihasilkan dari oksidasi spesifik asam urat oleh **uricase** yang mengubah substratnya menjadi **alantoin**. Perbedaan serapan zat-zat ini pada panjang gelombang 293 nm memungkinkan kuantifikasi. Pengukuran asam urat juga dapat

dilakukan pada sampel urine. Peningkatan asam urat dalam urin disebut **urikosuria**. Asam urat dapat menjadi jenuh dalam urin dan mengkristal membentuk **batu ginjal** yang dapat menyumbat sistem ginjal. Ekskresi asam urat melalui urin bergantung pada kadar asam urat dalam darah, bersama dengan filtrasi glomerulus dan sekresi asam urat di tubulus ke dalam urin. Ketika pH urin meningkat, lebih banyak asam urat dapat terbentuk tanpa kristalisasi dan pembentukan batu. Oleh karena itu apabila seseorang diketahui memiliki asam urat yang tinggi dalam urinnnya, maka urin tersebut dapat dibuat basa dengan mengonsumsi basa kuat untuk mencegah pembentukan batu. Penyebab hiperurisemia, antara lain alkoholisme, leukemia, kanker metastatik, dehidrasi, diabetes mellitus, multiple myeloma, gagal ginjal, hiperlipoproteinemia, stress dan keracunan timbal. Asam keto, seperti yang terjadi pada ketoasidosis diabetik atau alkoholik, dapat bersaing dengan asam urat untuk ekskresi tubulus dan dapat menyebabkan penurunan ekskresi asam urat. Banyak penyebab hiperurisemia yang tidak diketahui dan oleh karena itu disebut sebagai **idiopatik**.

DAFTAR PUSTAKA

- Abegaz, S. B. (2021). *Human ABO Blood Groups and Their Associations with Different Diseases*. BioMed Research International, 2021, 1–9.
- Ahmed Shaikh, A., Ahmed Sanghro, K. A., & Altaf, A. (2017). *ABO Blood Group*. The Professional Medical Journal, 26(01).
- Baker, J., et. al. (2020). *DK the Medical Checkup Book*. Publishing.
- Beal, T., Tumilowicz, A., Sutrisna, A., Izwardy, D., & Neufeld, L. M. (2018). *A review of child stunting determinants in Indonesia*. Maternal & Child Nutrition, 14(4).
- Behera, B. K., Prasad, R., & Shyambhavee. (2022). *Primary health-care goal and principles*. In Healthcare Strategies and Planning for Social Inclusion and Development (pp. 221–239). Elsevier.
- Chen, W. (2019). *Thermometry and interpretation of body temperature*. Biomedical Engineering Letters, 9(1), 3–17.
- Committee on Integrating Primary Care and Public Health. (2012). *Board on Population Health and Public Health Practice; Institute of Medicine*. National Academies Press (US).
- Dains, J. E., Baumann, L. C., & Scheib, P. (2016). *Advanced health assessment and clinical diagnosis in primary care*. Elsevier Inc.
- Davis, J. L., & Murray, J. F. (2016). *History and Physical Examination*. In *Murray and Nadel's Textbook of Respiratory Medicine* (pp. 263–277.e2). Elsevier.
- Duan, Y., Gong, K., Xu, S., Zhang, F., Meng, X., & Han, J. (2022). *Regulation of cholesterol homeostasis in health and diseases: from*

- mechanisms to targeted therapeutics*. Signal Transduction and Targeted Therapy 2022 7:1, 7(1), 1–29.
- Durgapal, S., Jantwal, A., Upadhyay, J., Joshi, T., & Kumar, A. (1990). *Uric Acid. Antioxidants Effects in Health: The Bright and the Dark Side*, 505–516.
- Edemekong, P. F., & Tenny, S. (2022). *Public Health*. Dictionary of Ecological Economics: Terms for the New Millennium, 438–439.
- ElSayed, N. A., et. al. (2023). *Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Care in Diabetes 2023*. Diabetes Care, 46(Supplement_1), S19–S40.
- Fayyaz, B., Rehman, H. J., & Minn, H. (2019). *Interpretation of hemoglobin A1C in primary care setting*. Journal of Community Hospital Internal Medicine Perspectives, 9(1), 18–21.
- George, C., & Minter, D. A. (2023). *Hyperuricemia*. Urology at a Glance, 107–109.
- Givler, D. N., & Givler, A. (2023). *Health Screening*. Community Nursing Practice: Theory, Skills, and Issues, 117–135.
- Huff, T., Boyd, B., & Jialal, I. (2023). *Physiology, Cholesterol*. StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470561/>
- Hymczak, H., et. al. (2021). *Core Temperature Measurement Principles of Correct Measurement, Problems, and Complications*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(20), 10606.
- Khanna, D., Peltzer, C., Kahar, P., & Parmar, M. S. (2022). *Body Mass Index (BMI): A Screening Tool Analysis*. Cureus.
- Kim, Y., & Radoias, V. (2018). *Screening, Diagnosis, and Long-Term Health Outcomes in Developing Countries: The case of hypertension*. PLOS ONE, 13(12), e0208466.

- Kosack, C. S., Page, A.-L., & Klatser, P. R. (2017). *A Guide to Aid the Selection of Diagnostic Tests*. Bulletin of the World Health Organization, 95(9), 639–645.
- Kumar, S., & Preetha, G. (2012). *Health promotion: An effective tool for global health*. Indian Journal of Community Medicine, 37(1), 5.
- Lee, C. M., Jin, S.-P., Doh, E. J., Lee, D. H., & Chung, J. H. (2019). *Regional Variation of Human Skin Surface Temperature*. Annals of Dermatology, 31(3), 349.
- Li, L. H., Dutkiewicz, E. P., Huang, Y. C., Zhou, H. B., & Hsu, C. C. (2019). *Analytical methods for cholesterol quantification*. Journal of Food and Drug Analysis, 27(2), 375–386.
- Liss, D. T., Uchida, T., Wilkes, C. L., Radakrishnan, A., & Linder, J. A. (2021). *General Health Checks in Adult Primary Care*. JAMA, 325(22), 2294.
- Martinez-Hervas, S., & Ascaso, J. F. (2023). *Hypercholesterolemia*. Encyclopedia of Endocrine Diseases, 320–326.
- Mathew, T. K., Zubair, M., & Tadi, P. (2023). *Blood Glucose Monitoring*. Medical Devices and Systems, 66-1-66–10.
- McKenzie, S. B., Landis-Piowar, K., & Williams, J. L. (2020). *Clinical Laboratory Hematology*. Pearson.
- Mujahid, A., & Dickert, F. (2015). *Blood Group Typing: From Classical Strategies to the Application of Synthetic Antibodies Generated by Molecular Imprinting*. Sensors, 16(1), 51.
- Muntner, P., et. al. (2019). *Measurement of Blood Pressure in Humans: A Scientific Statement From the American Heart Association*. Hypertension, 73(5).
- Nicolò, A., Massaroni, C., Schena, E., & Sacchetti, M. (2020). *The Importance of Respiratory Rate Monitoring: From Healthcare to Sport and Exercise*. Sensors, 20(21), 6396.

- Ogedegbe, G., & Pickering, T. (2010). *Principles and Techniques of Blood Pressure Measurement*. *Cardiology Clinics*, 28(4), 571–586.
- Osilla, E. V., Marsidi, J. L., Shumway, K. R., & Sharma, S. (2023). *Physiology, Temperature Regulation*. StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507838/>
- Pagana, K. D., Pagana, T. J., & Pagana, T. N. (2021). *Mosby's® Diagnostic and Laboratory*. 15th ed. Elsevier, Inc.
- Panuganti, K. K., Nguyen, M., & Kshirsagar, R. K. (2023). *Obesity*. StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459357/>
- Reber, E., Gomes, F., Vasiloglou, M. F., Schuetz, P., & Stanga, Z. (2019). *Nutritional Risk Screening and Assessment*. *Journal of Clinical Medicine*, 8(7), 1065.
- Regidor, E., et. al. (2007). *The Role of the Public Health Official in Communicating Public Health Information*. *American Journal of Public Health*, 97(1), S93–S97.
- Royal, J. T., Fisher, J. T., Mlinar, T., Mekjavic, I. B., & McDonnell, A. C. (2022). *Validity and Reliability of Capillary vs. Venous Blood for the Assessment of Haemoglobin Mass and Intravascular Volumes*. *Frontiers in Physiology*, 13.
- Sanyaolu, A., Okorie, C., Qi, X., Locke, J., & Rehman, S. (2019). *Childhood and Adolescent Obesity in the United States: A Public Health Concern*. *Global Pediatric Health*, 6.
- Sapra, A., Malik, A., & Bhandari, P. (2023). *Vital Sign Assessment*. StatPearls. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553213/>
- Serón-Arbeloa, C., et. al. (2022). *Malnutrition Screening and Assessment*. *Nutrients*, 14(12), 2392.

- Sherwood, L. (2019). *Human Physiology: From cells to systems*. 9th revised ed. In *The Neuroscientist*.
- Sikaris, K. A., & Sikaris, K. (2017). *Enhancing the Clinical Value of Medical Laboratory Testing*. *The Clinical Biochemist Reviews*, 38(3), 107.
- Silverthorn, D. U. (2019). *Human Physiology: An Integrated Approach*. 8th ed. (B. R. Johnson, Ed.; 8th Editio). Pearson Education, Inc.
- Sullivan, S. J. L., et. al. (2021). *Clinical evaluation of non-contact infrared thermometers*. *Scientific Reports*, 11(1), 22079.
- van Weel, C., & Kidd, M. R. (2018). *Why strengthening primary health care is essential to achieving universal health coverage*. *Canadian Medical Association Journal*, 190(15), E463–E466.
- Werdhani, R. (2019). *Medical Problem in Asia Pacific and Ways to Solve it: The Roles of Primary Care/Family Physician (Indonesia Xperience)*. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 8(5), 1523.
- Whelton, P. K., et. al. (2018). *Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines*. *Hypertension*, 71(6).
- Zhao, Y., & Bergmann, J. H. M. (2023). *Non-Contact Infrared Thermometers and Thermal Scanners for Human Body Temperature Monitoring: A Systematic Review*. *Sensors*, 23(17), 7439.
- Zimmerman, B., & Williams, D. (2023). *Peripheral Pulse*. StatPearls.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542175/>.

BIODATA PENULIS

Ns. Rustiana Tasya Ariningpraja, S.Kep., M.Biomed., AIFO.,



lahir di Indonesia, Kota Serang, pada 04 Maret 1990.

Jenjang Pendidikan S1 dan Profesi Ners ditempuh di

Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

dan lulus pada Januari 2012. Pendidikan Ilmu

Biomedik Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia

dan lulus pada 2015. Aktif bekerja sebagai dosen di

Universitas Brawijaya sejak Juli 2019. Saat ini sedang mengambil

Pendidikan spesialis keperawatan medikal bedah di Universitas

Airlangga. Pernah menulis beberapa buku dengan judul Buku Ajar

Sitohistoteknologi untuk Ahli Teknologi Laboratorium Medis dan

Demam: Mengenal Demam dan Aspek Perawatannya.



Seorang ahli Kesehatan Masyarakat berperan memenuhi kepentingan masyarakat dalam menjamin mutu kesehatan. Walaupun tidak terlibat secara langsung dalam pemeriksaan kesehatan, seorang ahli Kesehatan Masyarakat dapat memberikan informasi dan arahan yang tepat terkait promosi kesehatan pada masyarakat. Tindakan promotif menjadi salah satu tanggung jawab yang harus dimiliki ahli Kesehatan Masyarakat, melalui pengenalan dan pengobatan penyakit, pengendalian faktor risiko, serta penggunaan layanan pencegahan. Pemahaman yang baik mengenai Ilmu Biomedik menjadi sangat penting dalam mendukung promosi kesehatan, didukung dengan komunikasi efektif yang diperoleh melalui surveilans dan sistem informasi kesehatan. Buku ini membahas mengenai peranan ilmu biomedik dalam kesehatan masyarakat, sel dan genetika, homeostasis tubuh, digesti dan metabolisme tubuh, respirasi dan kardiovaskuler, koordinasi dan gerak, reproduksi dan perkembangan, imunitas tubuh terhadap bakteri, jamur dan virus, parasit, vektor dan penyebarannya, patologi dasar, farmakologi dasar, serta pemeriksaan kesehatan dasar. Cakupan ilmu biomedik yang luas, tidak menutup kemungkinan adanya buku lanjutan Ilmu Biomedik Untuk Kesehatan Masyarakat, mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi dan penyakit yang terus berubah. Hasil penelitian dan pemikiran para penulis dapat dinanti melalui tulisan berikutnya.

PT. ADIKARYA PRATAMA GLOBALINDO



Dusun Tegalsari RT 001/RW 004, Desa Jumoyo, Kec. Salam
Kabupaten Magelang, Provinsi Jawa Tengah
HP/WA: 08989999951, Email: apgppers@gmail.com
Website: www.adpraglobalindo.my.id

