

Khairunisa Ramadhani, S.Gz., MPd
Rachmawati Widyaningrum, S.Gz., MPH

BUKU AJAR
DASAR-DASAR ANATOMI DAN
FISIOLOGI TUBUH MANUSIA
BAGI MAHASISWA GIZI DAN KESEHATAN



Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014
Tentang Hak Cipta

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Khairunisa Ramadhani, S.Gz., MPd
Rachmawati Widyaningrum, S.Gz., MPH

BUKU AJAR
DASAR-DASAR ANATOMI DAN
FISIOLOGI TUBUH MANUSIA
BAGI MAHASISWA GIZI DAN KESEHATAN



Buku Ajar Dasar-dasar Anatomi dan Fisiologi Tubuh Manusia Bagi Mahasiswa Gizi dan Kesehatan

Copyright © 2022 Khairunisa Ramadhani, Rachmawati Widyaningrum

ISBN: 978-623-6071-97-7

e-ISBN: 978-623-6071-98-4

16 x 24 cm, xii + 302 hlm

Cetakan Pertama, Juni 2022

Penulis: Khairunisa Ramadhani, Rachmawati Widyaningrum

Editor: Budi Asyhari-Afwan dan Indah Nur Amanah

Layout: Indah Nur Amanah

Desain Cover: Hafidz Irfana

Diterbitkan oleh:

UAD PRESS

(Anggota IKAPI dan APPTI)

Alamat Penerbit:

Kampus II Universitas Ahmad Dahlan

Jl. Pramuka No.42, Pandeyan, Kec. Umbulharjo,

Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta 55161

E-mail: uadpress@uad.ac.id

HP/WA: 088239499820

All right reserved. Semua hak cipta © dilindungi undang-undang. Tidak diperkenankan memproduksi ulang, atau mengubah dalam bentuk apa pun melalui cara elektronik, mekanis, fotocopy, atau rekaman sebagian atau seluruh buku ini tanpa izin tertulis dari pemilik hak cipta.

PRAKATA

Anatomi dan fisiologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang nama-nama bagian tubuh manusia beserta fungsinya. Tubuh manusia terdiri atas berbagai tingkatan organisasi dimulai dari molekul kimia, sel, jaringan, organ, dan sistem organ di mana satu dengan lainnya memiliki fungsi yang saling terkait dan kompleks. Fungsi tubuh manusia yang kompleks ini dapat berjalan dengan baik dengan adanya struktur organ yang mendukung, sistem pengaturan homeostasis, serta tersedianya zat-zat gizi yang dibutuhkan oleh tubuh untuk menjalankan fungsinya. Lebih lanjut, pengetahuan tentang anatomi dan fisiologi ini menjadi dasar bagi ahli gizi baik untuk memahami istilah-istilah medis serta memahami kebutuhan zat gizi untuk menunjang fungsi-fungsi tubuh manusia secara detail dan spesifik.

Seperti kita ketahui bahwa anatomi dan fisiologi merupakan dua cabang ilmu yang sangat luas. Setiap tenaga kesehatan memiliki batas kedalaman penguasaan yang berbeda-beda pada dua ilmu ini, sesuai dengan kompetensi yang dibutuhkan pada masing-masing profesi kesehatan. Oleh karena itu, penulis menyusun buku ajar *Dasar-Dasar Anatomi dan Fisiologi bagi Mahasiswa Gizi* ini dengan penyesuaian konteks kebutuhan kompetensi calon ahli gizi dengan tujuan agar calon-calon ahli gizi mampu memahami dengan lebih mudah ilmu anatomi dan fisiologi sesuai dengan kompetensinya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung sehingga buku ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa dalam buku ini masih banyak kekurangan, oleh karenanya penulis sangat mengharap saran dan masukan demi perbaikan buku ini.

November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| Prakata..... | v |
| Daftar Isi | vii |
| | |
| BAB I: Pengantar Anatomi dan Fisiologi Tubuh Manusia.. | 1 |
| A. Tujuan Pembelajaran..... | 1 |
| B. Materi Pembelajaran..... | 1 |
| 1. Pengertian Fisiologi Tubuh Manusia | 1 |
| 2. Keterkaitan Antara Ilmu Anatomi dan Fisiologi | 2 |
| 3. Level Organisasi dalam Tubuh Manusia | 2 |
| 4. Berbagai Sistem Organ dalam Tubuh Manusia | 4 |
| 5. Proses Kehidupan Manusia Sebagai Makhluk Hidup | 5 |
| 6. Istilah dan Posisi Anatomi..... | 7 |
| 7. Istilah Anatomi | 9 |
| 8. Arah Gerakan..... | 10 |
| 9. Istilah Anatomi atau Nomenklatur Anatomi | 10 |
| 10. Kepentingan Ilmu Fisiologi Tubuh Manusia dalam Ilmu Gizi..... | 11 |
| C. Rangkuman | 11 |
| D. Evaluasi | 12 |
| | |
| BAB II: Organisasi Tubuh Manusia..... | 13 |
| A. Tujuan Pembelajaran..... | 13 |
| B. Materi Pembelajaran..... | 13 |

| | |
|---|-----------|
| 1. Teori Organisasi Seluler | 13 |
| 2. Jaringan | 14 |
| 3. Organ dan Sistem Organ | 17 |
| 4. Homeostasis..... | 18 |
| C. Rangkuman..... | 22 |
| D. Evaluasi | 22 |
| | |
| BAB III: Sistem Integumen | 25 |
| A. Tujuan Pembelajaran | 25 |
| B. Materi Pembelajaran | 25 |
| 1. Membran Tubuh Manusia..... | 25 |
| 2. Definisi dan Fungsi Sistem Integumen | 27 |
| 3. Struktur Kulit dan Fungsinya | 27 |
| 4. Komponen Lain dalam Sistem Integumen | 29 |
| C. Rangkuman..... | 30 |
| D. Evaluasi | 31 |
| | |
| BAB IV: Sistem Skeletal | 33 |
| A. Tujuan Pembelajaran | 33 |
| B. Materi Pembelajaran | 33 |
| 1. Sistem Muskuloskeletal..... | 33 |
| 2. Sistem Skeletal..... | 34 |
| 3. Perkembangan dan Pertumbuhan Tulang..... | 39 |
| 4. <i>Remodelling</i> Tulang..... | 44 |
| 5. Kerangka Tubuh Manusia | 45 |
| C. Rangkuman | 64 |
| D. Evaluasi..... | 64 |
| | |
| BAB V: Sistem Muskular (Otot) | 69 |
| A. Tujuan Pembelajaran | 69 |
| B. Materi Pembelajaran | 69 |

| | |
|--|-----|
| 1. Karakteristik Umum Jaringan Otot..... | 69 |
| 2. Struktur dan Fungsi Jaringan Otot..... | 72 |
| 3. Sistem Otot dan Fungsinya..... | 102 |
| 4. Struktur Mikroskopik Otot Rangka..... | 103 |
| 5. Mekanisme Kontraksi dan Relaksasi Otot Rangka | 104 |
| C. Rangkuman | 110 |
| D. Evaluasi | 111 |

BAB VI: Sistem Saraf..... 115

| | |
|---|-----|
| A. Tujuan Pembelajaran..... | 115 |
| B. Materi Pembelajaran..... | 115 |
| 1. Gambaran Umum Sistem Saraf Manusia | 115 |
| 2. Fungsi Sistem Saraf..... | 116 |
| 3. Klasifikasi Sistem Saraf..... | 117 |
| 4. Jaringan Penyusun Sistem Saraf | 119 |
| 5. Mekanisme Kerja Neuron | 124 |
| 6. Sistem Saraf Pusat | 127 |
| 7. Perlindungan Sistem Saraf Pusat | 138 |
| 8. Sistem Saraf Tepi | 141 |
| C. Rangkuman | 142 |
| D. Evaluasi | 142 |

BAB VII: Sistem Endokrin dan Kelenjar 143

| | |
|---|-----|
| A. Tujuan Pembelajaran..... | 143 |
| B. Materi Pembelajaran..... | 143 |
| 1. Gambaran Umum Sistem Endokrin..... | 143 |
| 2. Komposisi Kimia dan Fungsi Hormon..... | 144 |
| 3. Sistem Kontrol Sekresi Endokrin | 150 |
| 4. Jenis Kelenjar Endokrin dan Hormon yang Dihasilkan.... | 151 |
| 5. Gangguan Fungsi Hormon | 165 |

| | |
|---|------------|
| C. Rangkuman..... | 167 |
| D. Evaluasi | 167 |
| BAB VIII: Sistem Respirasi..... | 169 |
| A. Tujuan Pembelajaran | 169 |
| B. Materi Pembelajaran | 169 |
| 1. Gambaran Umum Sistem Respirasi | 169 |
| 2. Organ-organ Penyusun Sistem Respirasi dan Fungsinya .. | 172 |
| 3. Fisiologi Pernapasan | 179 |
| 4. Pengaturan Sistem Pernapasan..... | 182 |
| 5. Pola Hidup Sehat dan Pernapasan | 187 |
| C. Rangkuman..... | 189 |
| D. Evaluasi | 189 |
| BAB IX: Sistem Kardiovaskular | 191 |
| A. Tujuan Pembelajaran | 191 |
| B. Materi Pembelajaran | 191 |
| 1. Gambaran Umum Sistem Kardiovaskular | 191 |
| 2. Komponen Sistem Kardiovaskular | 192 |
| C. Rangkuman..... | 214 |
| D. Evaluasi | 215 |
| BAB X: Sistem Urinaria..... | 219 |
| A. Tujuan Pembelajaran | 219 |
| B. Materi Pembelajaran | 219 |
| 1. Unit Fungsional dan Organ dalam Sistem Urinaria | 220 |
| 2. Proses Pembentukan Urine..... | 230 |
| 3. Regulasi Homeostasis Pada Proses Reabsorpsi dan Sekresi Tubulus | 233 |
| 4. Komponen Urine..... | 237 |
| 5. Mikturisi (Berkemih) | 239 |

| | |
|--|------------|
| C. Rangkuman | 240 |
| D. Evaluasi | 241 |
| BAB XI: Sistem Pencernaan | 245 |
| A. Tujuan Pembelajaran..... | 245 |
| B. Materi Pembelajaran..... | 245 |
| 1. Sistem Pencernaan | 245 |
| 2. Organ-organ Sistem Pencernaan | 253 |
| 3. Proses Pencernaan | 266 |
| 4. Pengaturan Sistem Pencernaan..... | 273 |
| 5. Ilmu Gizi dan Sistem Pencernaan | 277 |
| C. Rangkuman | 278 |
| D. Evaluasi | 278 |
| Daftar Pustaka..... | 283 |
| Glosarium | 287 |
| Indeks..... | 297 |
| Tentang Penulis | 301 |

BAB I

PENGANTAR ANATOMI DAN FISIOLOGI TUBUH MANUSIA

A. Tujuan Pembelajaran

Tujuan pembelajaran konsep dasar anatomi dan fisiologi adalah mahasiswa memiliki pemahaman dan kemampuan analisis berbagai struktur dan fungsi normal sistem organ tubuh manusia, serta mampu menyebutkan terminologi dan garis khayal tubuh manusia.

B. Materi Pembelajaran

1. Pengertian Fisiologi Tubuh Manusia

Anatomi dan fisiologi merupakan pondasi dalam memahami struktur dan fungsi dari tubuh manusia. Anatomi berasal dari kata “*ana*” yang artinya “bagian” dan “*tomi*” berarti “memotong”, dalam Bahasa Yunani diartikan sebagai ilmu yang mempelajari struktur dan hubungan antarstruktur pada tubuh manusia.

Fisiologi adalah ilmu yang mempelajari tentang karakteristik khusus dan mekanisme yang mencirikan manusia sebagai makhluk hidup. Manusia sebagai makhluk hidup mampu bertahan sebagai hasil dari sistem kontrol yang kompleks. Mekanisme kontrol pada manusia tersebut membuat manusia mampu merespons, bertindak, dan beradaptasi pada stimulus.

Ilmu ini mempelajari proses yang terjadi pada tubuh manusia dari tingkat molekuler hingga proses yang melibatkan berbagai organ dalam tubuh. Secara singkat, fisiologi tubuh manusia membahas tentang suatu proses dari berbagai elemen dalam tubuh manusia yang berfungsi dan berintegrasi, sehingga membentuk sebuah mekanisme tubuh

untuk alasan/tujuan tertentu. Ilmu ini menjabarkan jawaban “mengapa” sebuah proses terjadi dalam tubuh dan “bagaimana caranya”.

2. Keterkaitan Antara Ilmu Anatomi dan Fisiologi

Ilmu anatomi adalah ilmu yang mempelajari struktur tubuh manusia. Ilmu ini sangat berkaitan dengan ilmu fisiologi dan tidak dapat dipisahkan. Mekanisme fisiologis dapat dilakukan dengan desain struktur dan hubungan antara berbagai bagian tubuh yang bertugas melaksanakan tugas tersebut. Oleh karena itu, dalam mempelajari fisiologi diperlukan latar belakang pengetahuan tentang struktur anatomi dari berbagai organ tubuh.

Sebagai contoh, untuk melaksanakan fungsi peredaran darah dan nutrisi dalam tubuh, manusia memiliki berbagai organ yang struktur anatomisnya mendukung fungsi tersebut. Organ tersebut yaitu bilik jantung yang dapat berkontraksi untuk memompa darah, pembuluh darah yang tersusun dari pembuluh darah besar hingga pembuluh darah kapiler yang sangat kecil, sehingga dapat menjangkau semua bagian terkecil dalam tubuh. Sebaliknya, struktur anatomi jantung yang berfungsi memompa tidak akan dapat mendukung fungsi fisiologis pada sistem urinaria yang membutuhkan proses penyaringan. Oleh karena itu, pada sistem urinaria organ yang terlibat adalah ginjal yang memiliki struktur anatomi dan fungsi sebagai organ penyaring cairan tubuh.

3. Level Organisasi dalam Tubuh Manusia

Dalam tubuh manusia terdapat berbagai tingkatan, yaitu:

a. Level kimia (contohnya molekul dalam membran)

Pada level kimiawi terdiri dari atom dan molekul. Atom adalah unit terkecil yang berpartisipasi dalam reaksi kimia, dan molekul adalah tersusunnya dua atau lebih banyak atom yang bergabung bersama. Atom dan molekul dapat dibandingkan dengan huruf al-

fabet. Karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), fosfor (P), kalsium (Ca), dan sulfur (S) adalah atom utama yang menyusun tubuh manusia. Contoh yang sudah dikenal adalah molekul yang ditemukan dalam tubuh manusia, yakni *Deoxyribonucleic Asam* (DNA) sebuah materi genetik yang diturunkan dari satu generasi ke generasi lain.

b. Level seluler (contohnya sel pada permukaan lambung)

Molekul bergabung untuk membentuk struktur di tingkat organisasi selanjutnya, yaitu pada tingkat seluler. Sel adalah unit struktural dan fungsional dasar dari suatu organisme, dan sebagai elemen terkecil, sel merupakan unit kehidupan terkecil pada tubuh manusia. Sekian banyak jenis sel dalam tubuh manusia di antaranya terdapat sel otot, sel saraf, dan sel darah.

c. Level jaringan (contohnya lapisan jaringan dalam dinding lambung)

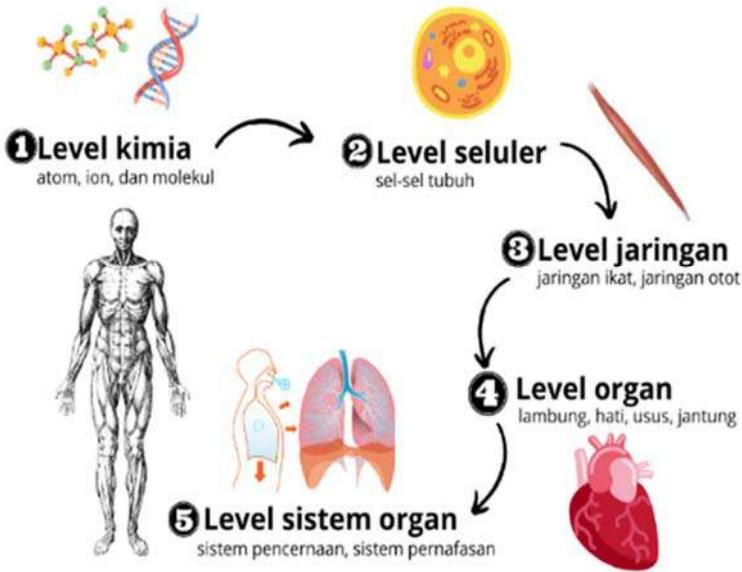
Jaringan adalah kelompok sel dan material di sekitarnya yang bekerja sama untuk melakukan fungsi tertentu. Empat tipe dasar jaringan tubuh manusia adalah jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan saraf.

d. Level organ (contohnya lambung)

Pada tingkat organ, berbagai jenis jaringan bergabung bersama membentuk struktur tubuh. Organ biasanya sudah dikenali bentuknya, terdiri dari dua atau lebih jenis jaringan dan memiliki fungsi tertentu.

e. Level sistem organ (contohnya sistem pencernaan)

Setiap individu manusia terdiri dari berbagai sistem organ yang secara dinamis dan berkesinambungan menjaga agar dapat menjalankan fungsi hidupnya.



Gambar 1.1
Tingkatan Organisasi Struktural dalam Tubuh Manusia.

4. Berbagai Sistem Organ dalam Tubuh Manusia

Beberapa sistem organ dalam tubuh manusia, yaitu

- Sistem otot dan rangka,
- Sistem jantung dan pembuluh darah,
- Sistem pernapasan,
- Sistem urinaria,
- Sistem reproduksi.

5. Proses Kehidupan Manusia Sebagai Makhluk Hidup

Semua organisme hidup memiliki karakteristik tertentu yang mengaturnya. Berikut ini adalah penjelasan enam proses penting dalam kehidupan manusia.

a. Metabolisme

Metabolisme merupakan rangkaian reaksi kimia yang terjadi dalam tubuh manusia. Anabolisme dan katabolisme merupakan bagian dari metabolisme pada tubuh manusia. Dimana anabolisme merupakan gabungan reaksi dari molekul sederhana menjadi molekul kompleks yang membutuhkan sejumlah energi, seperti pada reaksi pembentukan glikogen yang berasal dari glukosa. Sedangkan, reaksi katabolisme merupakan penguraian molekul kompleks menjadi molekul sederhana yang melepaskan sejumlah energi, seperti pada proses pencernaan makanan.

b. *Responsive*

Responsive merupakan kemampuan tubuh dalam mendeteksi serta merespons perubahan yang terjadi pada lingkungan. Sel saraf merespons perubahan lingkungan dengan menghasilkan sinyal listrik yang dikenal sebagai impuls saraf. Sel otot merespons impuls saraf dengan berkontraksi yang menghasilkan kekuatan untuk menggerakkan bagian tubuh. Sebagai contoh ketika tubuh mengalami perubahan suhu, yaitu saat suhu dalam tubuh mengalami penurunan, maka tubuh akan merespons dengan cara menggigil, dan tubuh akan mengalami kenaikan suhu akibat kontraksi otot rangka. Sebaliknya, ketika suhu tubuh meningkat, tubuh akan mengeluarkan keringat dengan tujuan supaya suhu tubuh dapat turun kembali.

c. Bergerak

Sudah terjadi secara alami bahwa setiap makhluk yang hidup bergerak. Gerakan makhluk hidup meliputi gerak seluruh tubuh, individu organ, sel tunggal, dan median. Median merupakan bidang yang terdiri dari aksis longitudinal dan aksis sagital, bahkan organel kecil di dalam sel.

d. Tumbuh

Pertumbuhan pada tubuh manusia merupakan bertambahnya ukuran tubuh. Hal ini dikarenakan adanya peningkatan dalam ukuran sel yang ada, jumlah sel, atau jumlah materi di sekitar sel.

e. Berkembang

Salah satu ciri makhluk hidup ialah berkembang, yakni proses ini merupakan adanya penambahan fungsi tubuh pada manusia. Sebagai contoh, manusia akan mengalami peningkatan fungsi motorik seiring meningkatnya usia, seperti merangkak, berjalan, lalu akhirnya mampu berlari.

f. Reproduksi

Ciri lain dari makhluk hidup adalah bereproduksi, yang dapat dilihat dari pembentukan sel-sel baru, perbaikan, serta penggantian jaringan tubuh yang rusak dan juga menghasilkan individu yang baru. Manusia akan mengalami proses ini sepanjang kehidupan dan jika proses ini terhenti, maka tubuh mengalami kematian sel.

6. Istilah dan Posisi Anatomi

Posisi anatomi, merupakan posisi pada saat subjek berdiri tegak, kepala serta mata menghadap ke depan, tungkai bagian dasar sejajar, kaki rata di lantai dan mengarah ke depan, serta anggota badan bagian atas terletak di samping telapak tangan yang menghadap ke depan (Gambar 1.2).

a. Bidang median

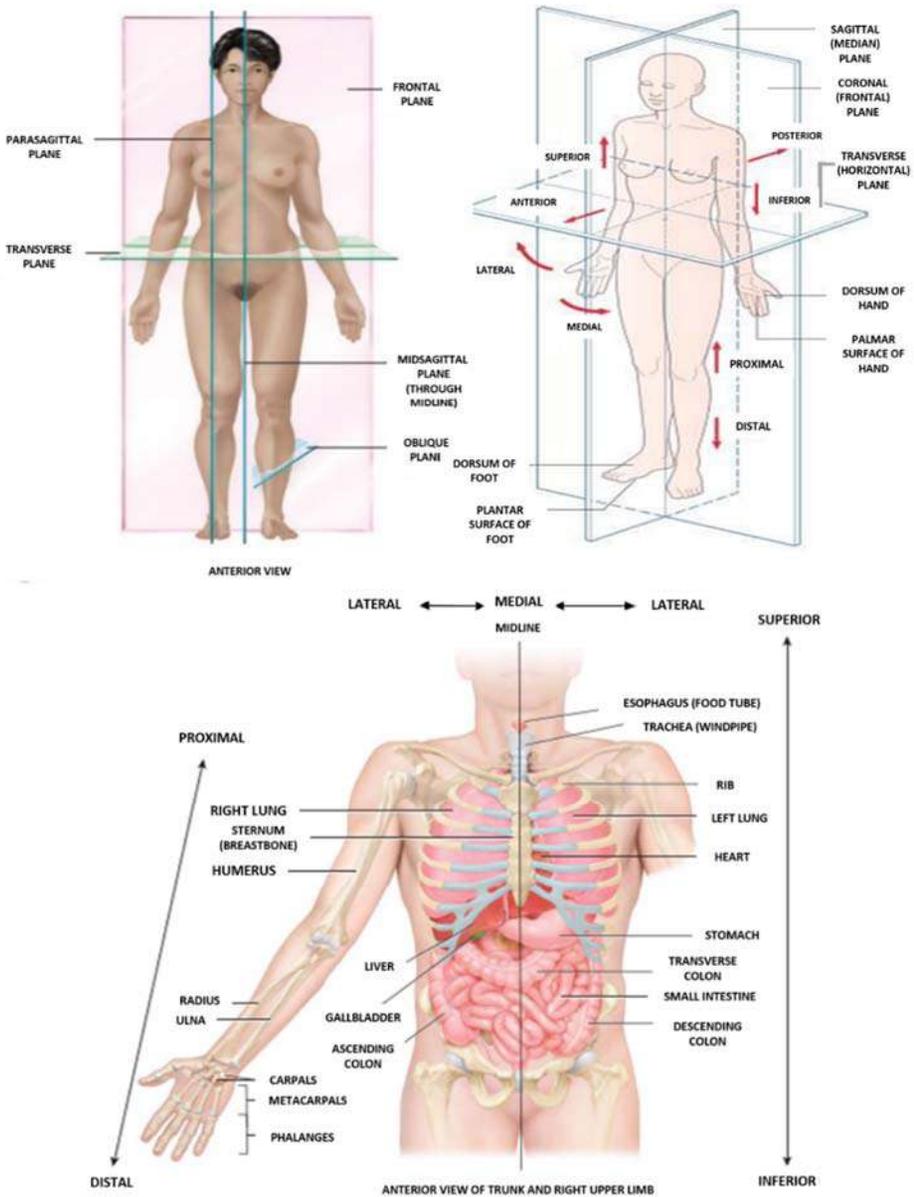
Bidang ini akan membagi tubuh menjadi dua bagian yang sama, yaitu bagian kanan dan bagian kiri.

b. Bidang frontal

Bidang frontal membagi tubuh menjadi bagian depan dan belakang atau anterior dan posterior.

c. Bidang transversal (horizontal, potong silang)

Bidang transversal merupakan bidang yang membagi tubuh menjadi bagian atas (superior) dan bawah (inferior).



Gambar 1.2
Posisi Anatomi Tubuh Manusia
 (Tortora dan Derrickson, 2010)

7. Istilah Anatomi

| | |
|----------------------|---|
| Anterior | : Bagian depan. |
| Posterior | : Bagian belakang. |
| Superior | : Bagian atas. |
| Inferior | : Bagian bawah. |
| Medial | : Bagian tengah atau lebih dekat dengan bidang median. |
| Lateral | : Bagian samping. |
| <i>Ipsilateral</i> | : Terletak disisi yang sama. |
| <i>Kontralateral</i> | : Terletak disisi yang berlawanan. |
| <i>Dextra</i> | : Bagian kanan. |
| <i>Sinistra</i> | : Bagian kiri. |
| Ventral | : Bagian depan ruas tulang belakang. |
| Dorsal | : Bagian belakang ruas tulang belakang. |
| <i>Proximal</i> | : Lebih dekat dengan pangkal tubuh atau mendekati batang tubuh. |
| <i>Dista</i> | : Ujung atau menjauhi batang tubuh. |
| Interna | : Bagian dalam. |
| Externa | : Bagian luar. |
| Parietal | : Lapisan luar. |
| Superfisial | : Dangkal atau lebih dekat permukaan. |
| Horizontal | : Bidang datar. |
| Transversal | : Potongan melintang. |
| Perifer | : Pinggir (tepi). |
| <i>Visceral</i> | : Lapisan dalam. |
| <i>Profunda</i> | : Dalam atau lebih jauh dari permukaan. |
| <i>Vertica</i> | : Bidang tegak. |
| Longitudinal | : Potongan memanjang. |
| Sentral | : Bagian tengah. |
| <i>Asenden</i> | : Bagian naik. |
| <i>Desenden</i> | : Bagian turun. |
| <i>Cranial</i> | : Bagian kepala. |
| <i>Caudal</i> | : Bagian ekor. |
| <i>Palmar</i> | : Ke arah palmaris manus (anggota gerak atas). |
| <i>Plantar</i> | : Ke arah plantar pedis (anggota gerak bawah). |
| Ulna | : Ke arah ulna (tulang hasta). |

| | | |
|--------|---|------------------------------------|
| Radial | : | Ke arah radius (tulang pengumpil). |
| Tibia | : | Ke arah tibia (tulang kering). |
| Fibula | : | Ke arah fibula (tulang betis). |

8. Arah Gerakan

| | | |
|---------------------|---|---|
| <i>Fleksio</i> | : | Membengkokan atau melipat sendi. |
| <i>Ekstensio</i> | : | Meluruskan kembali. |
| <i>Adduksio</i> | : | Gerakan mendekati badan. |
| <i>Abduksio</i> | : | Gerakan menjauhi badan. |
| <i>Rotasio</i> | : | Gerakan memutar sendi. |
| <i>Sirkumdaksio</i> | : | Gerakan sirkuler atau pergerakan gabungan fleksi, ekstensi, aduksi, dan adduksi. |
| <i>Elevasi</i> | : | Gerakan mengangkat. |
| Depresi | : | Gerakan menurunkan, contohnya gerakan membuka mulut (elevasi) dan menutupnya (depresi). |
| Inversi | : | Gerak memiringkan telapak kaki ke dalam tubuh. |
| Eversi | : | Gerakan memiringkan telapak kaki ke luar. |
| <i>Supinasi</i> | : | Gerakan menengadahkan tangan. |
| <i>Pronasi</i> | : | Gerakan menelungkupkan tangan. |
| <i>Endorotasi</i> | : | Gerakan ke dalam pada sekililing sumbu panjang tulang yang bersendi (rotasi). |
| <i>Eksorotasi</i> | : | Gerakan rotasi ke luar. |
| <i>Protusi</i> | : | Gerakan ke anterior, yakni gerakan mengajukan dagu. |
| <i>Retusi</i> | : | Gerakan ke posterior, yakni gerakan menarik dagu ke arah posterior. |
| Protraksi | : | Menggerakkan bahu ke depan. |
| Retraksi | : | Gerakan menarik bahu ke arah posterior. |
| <i>Opposisi</i> | : | Gerakan ujung jari tangan ke ujung jari lainnya. |
| <i>Reposisi</i> | : | Gerakan ibu jari tangan kembali ke posisi anatomis. |

9. Istilah Anatomi atau Nomenklatur Anatomi

Istilah anatomi yang menyatakan bagian tubuh yang menonjol.

| | | |
|------------------|---|----------------------------------|
| <i>Processus</i> | : | Nama umum untuk taju (tonjolan). |
| Spina | : | Taju yang tajam (seperti duri). |

| | |
|--------------------|-----------------------------------|
| <i>Tuber</i> | : Benjolan bulat. |
| <i>Tuberculum</i> | : Benjolan bulat yang kecil. |
| <i>Krista</i> | : Gerigi, tepi. |
| <i>Pecten</i> | : Bagian pinggir yang menonjol. |
| <i>Condylus</i> | : Tonjolan bulat di ujung tulang. |
| <i>Epicondylus</i> | : Benjolan pada condylus. |
| <i>Cornu</i> | : Tanduk. |
| <i>Linea</i> | : Garis. |

10. Kepentingan Ilmu Fisiologi Tubuh Manusia dalam Ilmu Gizi

Ilmu fisiologi merupakan ilmu yang sangat penting dipahami oleh mahasiswa gizi, karena ilmu gizi dan fisiologi merupakan dua ilmu yang sangat berkaitan. Asupan gizi dan mekanisme kontrolnya merupakan sebuah proses fisiologis yang kompleks. Proses tersebut memiliki dampak sangat besar pada status gizi seseorang yang sangat bergantung pada asupan makan, keseimbangan asupan zat gizi makro, dan mikro serta asupan cairan.

Sisi lainnya, ilmu gizi sangat penting untuk meningkatkan dan memelihara kesehatan dan fungsi tubuh manusia dengan mengidentifikasi kebutuhan dan mengurangi kejadian.

C. Rangkuman

1. Anatomi dan fisiologi merupakan pondasi saat kita memahami struktur dan fungsi dari tubuh manusia. Anatomi “Ana” yang artinya “bagian” dan “Tomi” berarti “memotong”, berasal dari Bahasa Yunani yang dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari struktur dan hubungan antarstruktur pada tubuh manusia.
2. Fisiologi adalah ilmu yang mempelajari tentang karakteristik khusus dan mekanisme yang mencirikan manusia sebagai makhluk hidup. Manusia sebagai makhluk hidup mampu bertahan sebagai ha-

sil dari sistem kontrol yang kompleks. Mekanisme kontrol pada manusia tersebut membuat manusia mampu merespons, bertindak, dan beradaptasi pada stimulus.

3. Level organisasi dalam tubuh manusia adalah level kimia (molekul dalam membran), level seluler (sel pada permukaan lambung), level jaringan, lapisan jaringan (dalam dinding lambung), level organ (lambung), dan level sistem organ (sistem pencernaan).
4. Beberapa sistem organ dalam tubuh manusia, yaitu sistem otot dan rangka, sistem jantung dan pembuluh darah, sistem pernapasan, sistem urinaria, dan sistem reproduksi.
5. Posisi anatomi tubuh adalah saat subjek berdiri tegak, kepala, dan mata menghadap ke depan. Tungkai bawah sejajar dan kaki rata di lantai dan diarahkan ke depan, serta anggota tubuh bagian atas berada di samping telapak tangan menghadap ke depan.

D.Evaluasi

1. Berikan contoh tentang berbagai level organisasi tubuh manusia (selain yang telah disebutkan dalam uraian)!
2. Jelaskan mengapa ilmu anatomi dan fisiologi sangat berkaitan!
3. Jelaskan kepentingan mengapa calon ahli gizi perlu memahami ilmu anatomi dan fisiologi?

BAB II

ORGANISASI TUBUH MANUSIA

A. Tujuan Pembelajaran

Dalam bab ini, kita akan membahas tentang teori organisasi seluler, berbagai jenis organ dan sistemnya, serta homeostasis dengan tujuan agar mahasiswa mampu memahami dan dapat menjelaskan tentang organisasi tubuh manusia.

B. Materi Pembelajaran

1. Teori Organisasi Seluler

Sel adalah unit dasar dari struktur dan fungsi makhluk hidup. Sel-sel tersebut merupakan unit terkecil yang mampu melaksanakan berbagai proses terkait kehidupan. Manusia adalah makhluk multiseluler kompleks yang tersusun atas berbagai jenis sel yang memiliki fungsi spesifik. Oleh karena itu, pada tahap perkembangan sel tubuh manusia, sel-sel tersebut berdiferensiasi menjadi sel spesifik yang memiliki fungsi khusus.

Sel otot, sel epitel, sel saraf, dan sel jaringan ikat merupakan berbagai jenis sel hasil diferensiasi. Selanjutnya, sel-sel spesifik tersebut akan berkembang (memperbanyak diri), berkumpul, dan membentuk jaringan sesuai dengan sel penyusunnya.

Setiap sel terdiri dari beberapa komponen penyusun, salah satunya adalah membran plasma. Komponen ini merupakan komponen yang sangat penting bagi sel dalam menjaga komposisi dalam cairan intraseluler yang menjadi salah satu faktor fisiologis tubuh manusia. Membran tipis ini yang utama terdiri atas komponen lemak, dan memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Memisahkan lingkungan dalam dan luar sel,
- b. Melakukan transpor selektif untuk mengatur zat-zat yang dapat keluar dan masuk dalam sel, dan
- c. Melakukan transpor aktif dan pasif sesuai kebutuhan sel.

Komponen lain yang juga sangat penting bagi sel tubuh manusia adalah cairan intraseluler, yaitu cairan yang terdapat di dalam tubuh sel yang komposisinya harus dijaga, agar sel dapat hidup dan berfungsi dengan baik. Demi menjaga komposisi cairan intraseluler tersebut, sel melakukan transpor aktif dan pasif. Contohnya, sel mentranspor zat sisa metabolisme dari dalam ke luar sel karena zat sisa metabolisme akan mengganggu fungsi sel jika terkumpul di dalam sel.

Komponen sel lain yang sangat penting, selanjutnya akan banyak dibahas ketika mempelajari ilmu gizi, salah satunya mitokondria. Mitokondria adalah komponen dalam sel tubuh manusia yang berperan dalam pembentukan energi (ATP).

Sel-sel tubuh manusia sebagai unit terkecil yang mampu melaksanakan fungsi kehidupan memiliki beberapa fungsi dasar meliputi

- a. memperoleh berbagai zat gizi dan oksigen (O_2) dari lingkungan luar sel,
- b. melakukan reaksi kimia untuk menghasilkan energi,
- c. mengatur pertukaran zat dari dalam keluar sel atau sebaliknya, dan
- d. menyintesis protein dan komponen lain yang digunakan untuk membuat struktur sel, pertumbuhan sel, dan melaksanakan tugas spesifik sel.

2. Jaringan

Jaringan adalah kumpulan sel-sel dengan struktur dan fungsi khusus yang sama. Empat jenis jaringan utama terdapat dalam tubuh manusia, yakni sebagai berikut:

a. Jaringan otot

Jaringan otot terdiri dari sel-sel yang memiliki spesifikasi untuk mampu berkontraksi dan menghasilkan kekuatan. Jaringan otot tersebut dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu otot rangka (*skeletal tissue*), otot jantung (*cardiac tissue*), dan otot polos (*smooth tissue*).

b. Jaringan saraf

Jaringan saraf tersusun atas sel-sel yang memiliki kemampuan untuk menginisiasi dan mentransmisikan rangsangan elektrik yang membawa materi informasi. Jaringan ini terdapat pada otak, tulang belakang, dan saraf tepi.

c. Jaringan epitel

Jaringan ini terdiri atas sel-sel yang memiliki spesialisasi dalam pertukaran zat-zat antara sel dan lingkungannya. Setiap zat yang masuk dan keluar dari tubuh harus melewati jaringan ini yang memiliki dua jenis utama, yakni lapisan epitel dan kelenjar (*glands*).

➤ Membran/lapisan epitel

Sebagai jaringan yang mempunyai fungsi memisahkan tubuh dari lingkungan luar, jaringan epitel ini hanya mampu dilewati oleh zat-zat tertentu yang berfungsi berdasarkan lokasi jaringan epitel tersebut. Contohnya, jaringan epitel pada saluran cerna difungsikan untuk menyerap zat-zat gizi. Sedangkan, jaringan epitel pada kulit dapat sedikit sekali melakukan pertukaran atau penyerapan.

➤ Kelenjar

Kelenjar adalah jaringan epitel yang terdiri dari sel-sel yang memiliki fungsi sekresi, yaitu proses pengeluaran dari sebuah sel sebagai tanggapan dari rangsangan berupa produk spesifik yang dihasilkan sel itu sendiri. Kelenjar dibentuk saat perkembangan embrionik dan terdiri dari dua jenis, yakni kelenjar endokrin

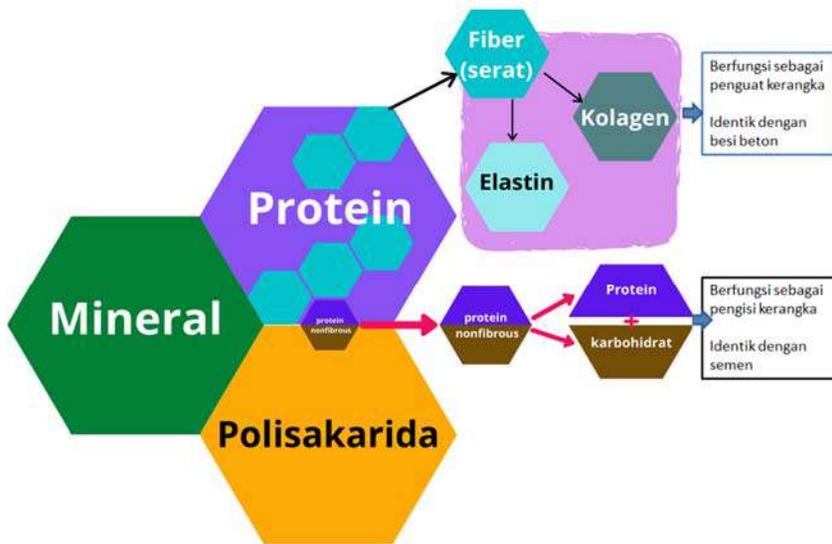
(kelenjar yang menyekresikan melalui saluran yang mengarah ke luar tubuh) dan kelenjar eksokrin (kelenjar yang tidak memiliki saluran, menyekresikan produk hormon mereka secara internal ke dalam darah). Contoh kelenjar eksokrin adalah kelenjar keringat dan kelenjar saluran cerna, sedangkan contoh kelenjar endokrin adalah kelenjar pankreas.

d. Jaringan ikat

Jaringan ikat ditandai dengan jumlah sel jaringan ikat yang relatif sedikit dalam material ekstraselular yang banyak. Jaringan ini menghubungkan, menyangga, dan mengaitkan bagian-bagian tubuh dengan berbagai struktur berikut:

- Jaringan ikat cair (jaringan darah dan limfa)
- Jaringan ikat penyangga (tulang rawan dan keras)
- Jaringan ikat longgar (*mesenterium*)
- Jaringan ikat padat (tendon dan ligamen)

Jaringan ikat (kecuali darah) ini memiliki fungsi penting untuk membentuk matriks ekstraseluler di sekitar sel yang menyediakan rangka pada pelekatan sel sekaligus penghantar informasi dalam bentuk pesan kimia ke dalam sel untuk mengatur aktivitas, pergerakan, pertumbuhan, dan diferensiasi sel.

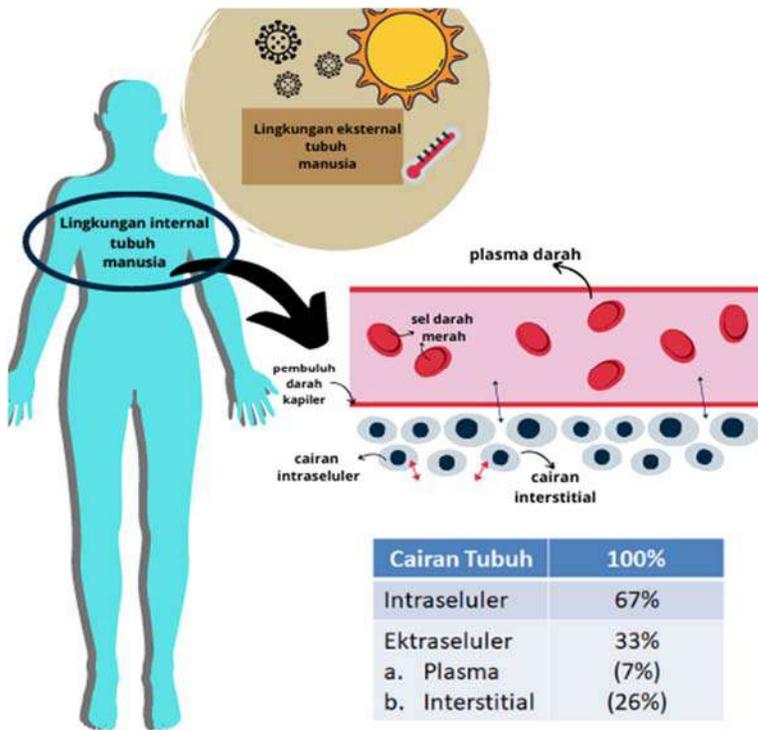


Gambar 2.1
Komponen Matriks Ekstraseluler Jaringan Ikat.

3. Organ dan Sistem Organ

Dua atau lebih jenis jaringan yang tersusun dengan berbagai proporsi disebut sebagai organ. Organ ini juga dapat tersusun atas beberapa subunit kecil dan sejenis yang disebut sebagai unit fungsional, yakni unit fungsional tersebut masing-masing menjalankan fungsi organ. Contoh unit fungsional adalah nefron pada ginjal, total urine yang dihasilkan oleh ginjal merupakan gabungan dari hasil produksi urine jutaan unit-unit nefron tersebut.

Sistem organ adalah kumpulan organ yang bekerja sama untuk melaksanakan sebuah fungsi secara keseluruhan. Sistem organ ini, berkolaborasi dengan sistem organ yang lain untuk menjaga tubuh tetap sehat.



Gambar 2.2
Lingkungan Eksternal dan Internal Tubuh dan Tabel Komposisi Cairan Tubuh.

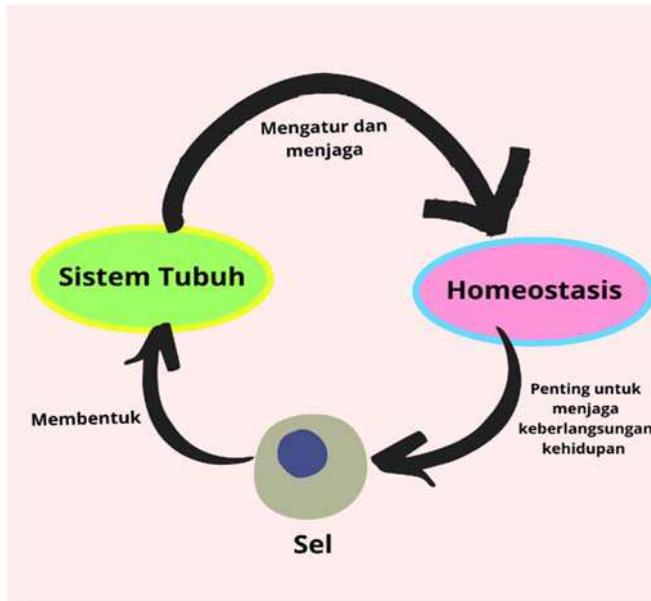
4. Homeostasis

a. Cairan tubuh manusia

Cairan tubuh manusia adalah cairan dalam tubuh yang berbentuk larutan. Cairan ini terdiri dari bahan-bahan terlarut seperti oksigen, zat gizi, dan sampah sisa metabolisme.

b. Homeostasis

Homeostasis adalah kondisi variabel-variabel fisiologis tubuh dalam kondisi dinamis yang konstan (sama atau tetap dalam rentang tertentu). Kondisi tersebut dimaksudkan untuk menjaga kondisi internal tubuh tetap optimal untuk menjalankan fungsinya.



Gambar 2.3
Sistem Tubuh dan Homeostasis.

Homeostasis disebut sebagai kondisi yang dinamis karena variabel-variabel tersebut (suhu tubuh, cairan, ion, dan lain-lain) dapat berubah dalam rentang waktu yang pendek, tetapi kemudian oleh tubuh akan dikembalikan pada ukuran normalnya. Variabel-variabel ini, jika salah satunya dalam kondisi “non-homeostasis”, maka akan memengaruhi variabel lainnya. Oleh karena itu, fisiologi juga didefinisikan sebagai kondisi saat seluruh variabel dalam kondisi homeostasis, jika tidak, maka disebut patofisiologi.

c. Faktor-faktor internal yang harus diregulasi dalam kondisi homeostasis

Beberapa faktor (variabel) internal yang perlu diregulasi dalam kondisi homeostasis meliputi

- 1) Konsentrasi molekul zat gizi,
- 2) Konsentrasi O_2 dan CO_2 ,

- 3) Konsentrasi produk sampah metabolit,
- 4) pH,
- 5) Konsentrasi air, natrium, dan elektrolit;
- 6) Volume plasma dan tekanan darah, dan
- 7) Suhu tubuh.

d. Sistem kontrol homeostasis

Demi menjaga kondisi homeostasis tetap stabil, tubuh memerlukan sistem kontrol yang memiliki kemampuan sebagai berikut:

- Mendeteksi penyimpangan dari rentang normal di lingkungan internal tubuh (reseptor)
- Mengintegrasikan informasi dengan informasi relevan yang lain (pusat kontrol)
- Memicu penyesuaian yang dibutuhkan tubuh untuk mengembalikan variabel (faktor) tersebut kembali pada rentang normal (efektor).

1) Sistem kontrol intrinsik dan ekstrinsik

Tabel 2.1
Perbedaan Kontrol Intrinsik dan Ekstrinsik

| Kontrol Intrinsik (Lokal) | Ekstrinsik |
|--|---|
| Sistem kontrol intrinsik hanya melibatkan organ terkait. | Melibatkan beberapa organ untuk mencapai tujuan tertentu. Melibatkan sistem saraf dan endokrin. |
| Contoh: Ketika berolahraga sel otot membutuhkan lebih banyak oksigen → jumlah oksigen dalam sel otot menurun → substansi kimia di dinding otot dilepaskan → otot | Contoh: Ketika seseorang kurang minum → volume cairan dalam tubuh berkurang → saraf memicu rasa haus dan ginjal mengurangi pengeluaran air. (*) |

| | |
|--|--|
| berdilatasi → suplai oksigen lebih banyak. (*) | |
| (*) Dengan penyesuaian penjelasan contoh dari buku referensi asli. | |

2) Sistem kontrol *feedback* dan *feedforward*

a) Sistem *feedback* negatif dan positif

Tabel 2.2
Perbedaan Sistem *Feedback* Negatif dan Positif

| <i>Feedback</i> Negatif | <i>Feedback</i> Positif |
|--|---|
| Merupakan sistem umpan balik yang paling sering terjadi dalam tubuh. Sistem ini memberikan respons negatif atau berkebalikan dari perubahan awal yang diterima oleh tubuh. | Merupakan sistem umpan balik yang terjadi hanya pada kondisi tertentu. Sistem ini memperkuat atau melipatgandakan perubahan awal yang diterima oleh tubuh. Jika sistem penghentian <i>feedback</i> positif ini tidak berjalan dengan normal dapat menyebabkan akibat fatal. |
| Contoh: Jika tubuh mengalami penurunan suhu tubuh di bawah normal → tubuh akan bereaksi dengan menaikkan suhu tubuh. (*) | Contoh: Pada proses melahirkan → hormon oksitosin merangsang kontraksi rahim → bayi terdorong ke serviks → serviks melebar → memberikan sinyal untuk memproduksi lebih banyak oksitosin → rahim berkontraksi lebih kuat → bayi lahir. (*) |
| (*) Dengan penyesuaian penjelasan contoh dari buku referensi asli. | |

b) Sistem *feedforward*

Jika mekanisme *feedback* berfungsi menanggapi perubahan pada faktor-faktor fisiologis tubuh, maka mekanisme *feedforward* berfungsi mengantisipasi perubahan pada faktor-faktor tersebut.

Contoh: saat makanan memasuki saluran cerna → sistem *feedforward* memerintahkan untuk memproduksi hormon insulin → pengambilan oleh sel meningkat → tidak terjadi penumpukan pada darah → level zat gizi pada darah normal.

C. Rangkuman

1. Sel adalah unit dasar dari struktur dan fungsi makhluk hidup. Sel-sel tersebut merupakan unit terkecil yang mampu melaksanakan berbagai proses terkait kehidupan. Manusia adalah makhluk multi-seluler kompleks yang tersusun atas berbagai jenis sel yang memiliki fungsi spesifik.
2. Jaringan adalah kumpulan sel-sel dengan struktur dan fungsi khusus yang sama. Empat jenis jaringan utama terdapat dalam tubuh manusia, yaitu jaringan otot, jaringan saraf, jaringan epitel, dan jaringan ikat.
3. Dua atau lebih jenis jaringan yang tersusun dengan berbagai proporsi disebut sebagai organ. Organ ini juga dapat tersusun atas beberapa subunit kecil dan sejenis yang disebut sebagai unit fungsional. Unit fungsional tersebut masing-masing menjalankan fungsi organ.
4. Homeostasis disebut sebagai kondisi yang dinamis karena variabel-variabel tersebut (suhu tubuh, cairan, ion, dan lain-lain).

D. Evaluasi

1. Nefron adalah contoh sebuah
 - a. Unit Fungsional
 - b. Sel Epitel
 - c. Jaringan
 - d. Organ
 - e. Sistem

2. Lapisan dinding lambung ada bagian organisasi tubuh manusia pada tingkat
 - a. Kimia
 - b. Sel
 - c. Jaringan**
 - d. Organ
 - e. Sistem Organ

3. Manusia adalah organisme
 - a. Multiseluler sederhana
 - b. Multiseluler kompleks**
 - c. Uniseluler
 - d. Uniseluler kompleks
 - e. Uniseluler sederhana

4. Fungsi dasar sel tubuh manusia secara garis besar dibagi menjadi beberapa fungsi utama yang disebutkan dibawah ini, kecuali
 - a. Pertumbuhan
 - b. Metabolisme
 - c. Reproduksi
 - d. Adaptasi**
 - e. Semua benar

5. Contoh mekanisme *feedforward* adalah
 - a. Pengaturan suhu tubuh
 - b. Kontraksi otot rahim saat melahirkan
 - c. Pengaturan tekanan darah
 - d. Pengaturan hormon insulin saat makan**
 - e. Pengaturan hormon paratiroid

BAB III

SISTEM INTEGUMEN

A. Tujuan Pembelajaran

Materi dalam bab ini akan membahas tentang *membrane* tubuh manusia, sistem integumen, dan organ yang menyusunnya, dengan tujuan agar mahasiswa mampu memahami sekaligus dapat menjelaskan tentang struktur dan fungsi *membrane* tubuh manusia serta organ-organ dalam sistem integumen.

B. Materi Pembelajaran

1. Membran Tubuh Manusia

Sebelum kita memasuki bahasan tentang sistem integumen, kita akan terlebih dahulu membahas membran tubuh manusia yang salah satunya adalah kulit, sebagai organ utama dalam sistem integumen.

Membran tubuh adalah sebuah lapisan penutup, membungkus bagian-bagian tubuh dan membentuk lapisan pelindung di sekitar organ. Membran ini kadang kala juga memiliki fungsi sebagai lapisan pelumas/pelicin di permukaan organ.

Membran tubuh ini dibagi dalam dua kategori utama:

a. Membran epitel (*epithelial membranes*)

Membran tubuh manusia yang memiliki lapisan epitel antara lain *membrane* kutan (kulit), mukosa, dan serosa. Namun demikian, meskipun memiliki lapisan epitel, ketiga membran ini tidak dapat disebut sebagai jenis dari membran epitel, karena komposisi strukturnya yang selalu memiliki kombinasi lapisan di bawahnya yang merupakan jaringan ikat (bukan hanya lapisan epitel saja).

1) Membran kutan (kulit)

Membran kutan terdiri atas dua lapisan. Lapisan permukaannya disebut dengan epidermis yang utamanya terdiri dari *epithelium skuamosa* bertingkat (*stratified squamous epithelium*) dan lapisan di bawahnya disebut dengan dermis. Dermis terdiri dari jaringan ikat padat fibrosa. Membran kutan ini adalah membran kering yang merupakan satu-satunya membran yang berkontak dengan udara luar.

2) Membran mukosa

Membran mukosa tersusun dari *epithelium* yang melapisi jaringan ikat longgar yang disebut *lamina propria*. Membran mukosa melapisi semua bagian tubuh yang terbuka dengan lingkungan luar, seperti organ pernapasan, pencernaan, urinaria, dan reproduksi.

Meskipun memiliki nama membran mukosa, tetapi tidak semua membran mukosa memproduksi mukus (lendir). Contohnya, pada sistem saluran kemih yang disekresikan adalah urine.

3) Membran serosa

Membran serosa terdiri atas lapisan epitel *skuamosa* bertingkat yang melapisi lapisan tipis jaringan ikat areolar. Membran ini melapisi bagian tubuh yang tidak terpapar lingkungan luar.

Membran ini bersifat berpasangan, tetapi melekat dan sangat dekat satu sama lain dengan cairan serosa di antaranya. Membran bagian dalam yang melapisi langsung organ disebut lapisan *viseral*, dan bagian luar yang melapisi dinding kavitas disebut lapisan *parietal*.

Cairan serosa yang disekresikan pasangan membran tersebut berfungsi untuk mengurangi gesekan saat organ bekerja. Contoh, membran *serosa* adalah peritoneum di kavitas abdominal (perut) dan pleura pada paru dan perikardium pada jantung.

b. Membran jaringan ikat (*connective tissue membranes*)

Membran jaringan ikat atau membran sinovial tersusun atas jaringan ikat longgar *areolar* dan sama sekali tidak memiliki sel epitel. Membran ini melapisi kapsul fibrosa di sekitar sendi.

2. Definisi dan Fungsi Sistem Integumen

Sistem integumen adalah lapisan luar (eksternal) yang menutup seluruh tubuh atau disebut dengan kulit. Sistem ini terdiri atas kulit, rambut/bulu, kuku, kelenjar *sebacea* (minyak), dan kelenjar keringat.

Sistem ini memiliki sifat tahan air (*waterproof*) dan memiliki fungsi sebagai berikut:

- Bantalan perlindungan terhadap luka bagi jaringan di bawahnya
- Perlindungan terhadap bakteri atau virus patogen asing
- Dengan bantuan cahaya matahari, kulit memproduksi vitamin D
- Pengaturan suhu tubuh
- Fungsi sensorik sebagai indera perasa jika ada sesuatu terjadi pada kulit
- Menyimpan air dan zat-zat berguna tetap di dalam tubuh, mengeluarkan kelebihan air serta zat-zat tidak berguna lainnya untuk keluar dari tubuh melalui proses persipitasi (berkeringat)
- Fungsi estetika

3. Struktur Kulit dan Fungsinya

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, kulit memiliki dua lapisan, yaitu epidermis dan dermis. Lebih lanjut, di bagian dasar dermis terdapat jaringan subkutan yang disebut dengan hipodermis. Jaringan ini tidak termasuk dalam struktur kulit, tetapi memiliki fungsi yang sangat penting bagi kulit. Hipodermis memiliki fungsi, sebagai berikut:

- Mengaitkan kulit dengan organ di bawahnya
- Menyediakan tempat untuk penyimpanan zat gizi
- Sebagai peredam benturan
- Sebagai isolator/peredam panas bagi jaringan yang terletak lebih dalam terhadap perubahan suhu ekstrim di luar tubuh.

a. Epidermis

Sebagian besar sel pada epidermis adalah *keratinosit* (sel-sel keratin) yang memproduksi keratin. Keratin adalah protein fibrosa yang membuat epidermis menjadi sebuah lapisan pelindung yang kuat melalui proses, yaitu keratinisasi. Sel-sel keratin tersebut dihubungkan oleh *desmosome* di sepanjang epidermis.

Epidermis ini tidak dilalui pembuluh darah dan memiliki lima lapisan (*strata*) yang tersusun dari dalam keluar, yaitu *stratum basale*, *spinosum*, *granulosum*, *lucidum*, dan *corneum*.

Di *stratum basale* ini terdapat sel-sel melanosit yang membentuk pigmen warna kulit disebut melanin. Pada epidermis ini juga banyak terdapat sel dendrit yang berfungsi sebagai sistem kekebalan tubuh terhadap serangan bakteri dan virus patogen. Pada perbatasan antara epidermis dan dermis terdapat sel merkel yang berhubungan dengan sel-sel saraf dan berfungsi sebagai reseptor sentuhan yang disebut *merkel discs*.

b. Dermis

Dermis tersusun atas dua jaringan ikat yang utama dan terbagi dalam dua area, yaitu:

1) Area *papiler*

Area ini adalah area permukaan dermis yang tersusun atas jaringan ikat *areolar* yang tidak rata dan berbentuk seperti pasak yang disebut papila dermal (*dermal papillae*) yang melekok ke atas (ke epidermis). Area ini merupakan area yang menyediakan

nutrisi bagi kulit, juga merupakan tempat bagi reseptor rasa sakit dan sentuhan.

2) Area *retikuler*

Area ini merupakan area kulit terdalam yang tersusun atas jaringan ikat padat, pembuluh darah, kelenjar minyak dan keringat, sel fagosit, serta berbagai reseptor tekanan, sentuhan, suhu, dan rasa sakit. Reseptor-reseptor ini memberikan tubuh kita informasi dari lingkungan luar.

Pada lapisan dermis ini ditemukan kolagen yang bertanggung jawab untuk ketahanan kulit dan menjaga kelembapannya dengan menahan air. Selain itu, terdapat serat elastin untuk menjaga elastisitas kulit. Kedua jaringan tersebut akan berkurang seiring dengan usia.

4. Komponen Lain dalam Sistem Integumen

a. Rambut dan folikel rambut

Rambut adalah salah satu bagian tubuh yang diproduksi oleh folikel rambut. Rambut memiliki fungsi perlindungan yang minor dan juga fungsi estetika.

b. Kelenjar kulit

Kelenjar kulit adalah kelenjar eksokrin yang terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelenjar keringat dan kelenjar minyak. Kelenjar-kelenjar ini dibentuk oleh sel pada *stratum basale* yang mendorong ke area kulit yang lebih dalam (membentuk cekungan) dan berakhir pada dermis.

1) Kelenjar minyak

Kelenjar minyak (*sebacea*) ditemukan di seluruh bagian kulit, kecuali telapak tangan dan tumit. Kelenjar ini menghasilkan sebum, yaitu campuran antara substansi minyak dengan fragmen-

tasi sel sebagai pelumas yang menjaga kulit tetap halus dan lembab, serta menjaga rambut supaya tidak rapuh. Sebum juga mengandung bahan anti bakteri. Kelenjar ini akan menjadi sangat aktif saat masa pubertas.

2) Kelenjar keringat

Kelenjar keringat (sudoriferus) terbagi menjadi dua jenis, yaitu kelenjar *eccrine* dan *apocrine*. Kelenjar ektrin lebih banyak ditemukan diseluruh tubuh sebagai kelenjar yang memproduksi keringat. Keringat yang diproduksi umumnya bersifat asam dengan pH 4-6, mengandung garam, vitamin, dan zat sisa metabolisme. Kelenjar ini sangat penting dalam pengaturan suhu tubuh.

Kelenjar apokrin lebih banyak ditemukan pada ketiak dan area genital, umumnya lebih besar daripada kelenjar ektrin dan bermuara pada folikel rambut. Zat yang disekresikan berwarna putih susu atau kekuningan mengandung asam lemak dan protein serta zat lain yang sama, seperti pada kelenjar ektrin. Kelenjar ini mulai berfungsi saat pubertas, tetapi tidak terlalu berperan pada pengaturan suhu.

c. Kuku

Kuku adalah modifikasi dari epidermis yang terdiri atas bagian sudut bebas (*free edge*), tubuh, dan akar. Kuku adalah benda mati yang berasal dari keratinisasi matriks kuku (*nail matrix*) yang bertanggung jawab pada pertumbuhan kuku.

C. Rangkuman

1. Sistem integumen adalah lapisan luar (eksternal) yang menutup seluruh tubuh atau disebut dengan kulit.
2. Membran tubuh adalah sebuah lapisan penutup, membungkus bagian-bagian tubuh, dan membentuk lapisan pelindung di sekitar

organ. Membran ini kadang kala juga memiliki fungsi sebagai lapisan pelumas/pelicin di permukaan organ.

3. Membran kutan terdiri atas dua lapisan. Lapisan permukaannya disebut dengan epidermis yang utamanya terdiri dari epitelium skuamosa bertingkat (*stratified squamous epithelium*) dan lapisan di bawahnya disebut dengan dermis yang terdiri dari jaringan ikat padat fibrosa.
4. Membran mukosa tersusun dari epitelium yang melapisi jaringan ikat longgar yang disebut *lamina propria*. Membran mukosa melapisi semua bagian tubuh yang terbuka dengan lingkungan luar, seperti organ pernapasan, pencernaan, urinaria, dan reproduksi.
5. Membran serosa terdiri atas lapisan epitel skuamosa bertingkat yang melapisi lapisan tipis jaringan ikat *areolar*. Membran ini melapisi bagian tubuh yang tidak terpapar lingkungan luar.
6. Membran jaringan ikat atau membran sinovial tersusun atas jaringan ikat longgar *areolar* dan sama sekali tidak memiliki sel epitel. Membran ini melapisi kapsul fibrosa di sekitar sendi.

D. Evaluasi

1. Jelaskan yang dimaksud dengan sistem integumen!
2. Jelaskan fungsi sistem integumen!
3. Jelaskan fungsi sistem integumen dalam menjaga suhu tubuh agar tetap normal!

BAB IV

SISTEM SKELETAL

A. Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini, mahasiswa akan mempelajari tentang gambaran singkat sistem muskuloskeletal. Kemudian dilanjutkan pembahasan yang lebih spesifik pada sistem skeletal, struktur makroskopik, dan mikroskopik tulang panjang, serta pertumbuhan, perkembangan, dan *remodelling* tulang, dengan tujuan agar mahasiswa mampu memahami dan menjelaskan tentang struktur serta fungsi sistem skeletal manusia sebagai bagian dari sistem muskuloskeletal.

B. Materi Pembelajaran

1. Sistem Muskuloskeletal

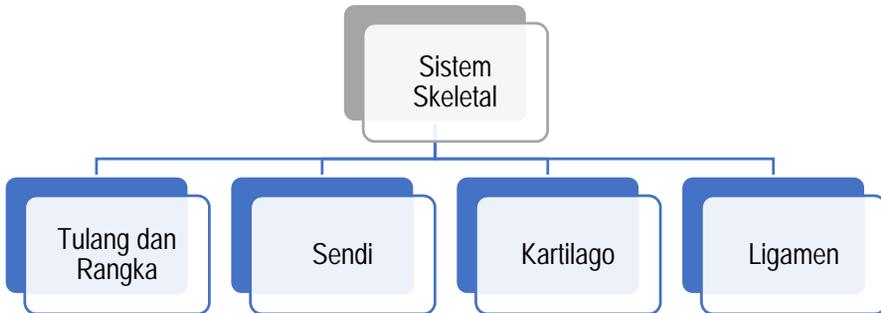
Sistem muskuloskeletal (sistem rangka dan otot) adalah sebuah sistem yang sangat penting bagi tubuh untuk menjaga homeostasis dengan cara berikut:

- a. otot dan rangka menggerakkan tubuh untuk memperoleh zat gizi,
- b. sistem ini menyediakan kemampuan untuk bergerak dalam konteks perlindungan terhadap ancaman/bahaya yang akan mengganggu fungsi organ-organ untuk mencapai homeostasis,
- c. menyokong dan melindungi organ-organ lunak,
- d. tulang berfungsi sebagai tempat penyimpanan kalsium, dan
- e. termoregulator.

Lebih lanjut, fungsi ini dapat dibagi menjadi dua sistem yang saling terkait, yaitu sistem skeletal (rangka) dan sistem muskular (otot).

2. Sistem Skeletal

Sistem skeletal adalah sistem yang terdiri atas tulang dan rangka, sendi, kartilago, dan ligamen.



Gambar 4.1
Pembagian Organisasi Sistem Skeletal.

Sistem skeletal ini memiliki beberapa fungsi yang sangat penting, yaitu melindungi organ, menghasilkan sel darah merah, menyimpan mineral esensial, dan mengaitkan otot rangka sehingga saat berkontraksi dapat menghasilkan pergerakan. Fungsi-fungsi spesifik dari setiap komponen sistem skeletal lebih lanjut akan dibahas di bawah ini:

a. Tulang dan rangka

1) Fungsi umum rangka

Rangka tubuh manusia dewasa terdiri atas 206 tulang yang secara umum memiliki fungsi sebagai berikut:

- Penyokong (*support*)

Tulang adalah organ yang membentuk kerangka dalam tubuh, berfungsi seperti rangka/rusuk, baja, dan beton penguat yang menyokong tubuh serta tempat melekatnya organ-organ lunak.

- Perlindungan (*protection*)

Tulang melindungi organ-organ tubuh yang lunak. Contohnya, tulang tengkorak yang melindungi otak, bola mata atau tulang rusuk yang melindungi jantung dan paru-paru.

- Pergerakan (*movement*)

Tulang difungsikan sebagai pengungkit oleh otot yang menyebabkan tubuh dapat bergerak. Otot-otot ini melekat pada otot dengan bantuan tendon, pergerakan tulang juga disokong oleh sendi yang membuat tulang dapat bergerak dengan gesekan yang minimal.

- Penyimpanan (*storage*)

Sumsum tulang (*bone marrow*) adalah tempat bagi penyimpanan mineral, yaitu kalsium yang umumnya disimpan dalam bentuk garam kalsium dan sejumlah kecil ion Ca^{2+} serta fosfor.

Selain itu, tulang juga merupakan tempat penyimpanan lemak ketiga terbesar disamping lemak perut dan lemak *visceral*. Lemak dalam tulang ini disebut sebagai *Bone Marrow Fat* (BMF) atau dalam Bahasa Indonesia diartikan sebagai Lemak Sumsum Tulang. BMF ini mengisi sekitar 70% dari total sumsum tulang dan diperkirakan 10% dari berat laki-laki dewasa usia 25 tahun.

- Pembentukan sel darah

Pembentukan sel darah atau disebut juga hematopoiesis, terjadi di bagian sumsum tulang-tulang tertentu. Proses ini menghasilkan berbagai macam jenis darah dan sel sumsum tulang yang disebut sebagai eritrosit, platelet, granulosit, limfosit, dan monosit. Proses ini diawali oleh *stem* sel hematopoietik *multipotent* yang mampu membelah diri menjadi sel *multipotent* progenitor maupun untuk *stem* sel memperbaiki

diri sendiri (*self-renew*). Sel progenitor inilah yang nantinya akan berkembang menjadi sel-sel spesifik berulang dan menjadi sel darah putih, sel darah merah, dan platelet yang matur.

Bagian tulang secara dominan diisi oleh sumsum merah tulang hematopoietik yang aktif. Kondisi ini secara bertahap akan menurun seiring usia dengan digantikannya komponen tersebut dengan lemak (sumsum tulang kuning).

2) Bagian-bagian tulang rangka

Tulang rangka ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu rangka aksial dan rangka apendikular.

a) Rangka *axial* (aksial)

Rangka aksial adalah kumpulan tulang-tulang yang membentuk sumbu poros tubuh dan utamanya difungsikan untuk melindungi organ. Rangka ini terdiri atas tulang tengkorak, tulang belakang, dan tulang dada (*thorax*).

b) Rangka apendikular

Rangka ini adalah susunan tulang yang meliputi tungkai, gelang panggul, dan gelang bahu yang menempel pada rangka aksial. Selanjutnya, sendi memberikan keleluasaan pada rangka ini untuk melakukan gerakan.

3) Klasifikasi tulang

a) Klasifikasi jaringan tulang

Berdasarkan jaringannya, tulang dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tulang keras/kompak dan tulang spons.

b) Klasifikasi bentuk tulang

Secara umum, bentuk tulang dibedakan menjadi empat jenis, yaitu tulang panjang (*long bone*), tulang pipih (*flat bone*), tulang ireguler (*irregular bone*), dan tulang pendek/talus (*short bone*).

b. Sendi

Pada rangka manusia, hampir semua tulang-tulang dihubungkan oleh sendi yang menghubungkan minimal satu tulang dengan tulang yang lain. Sendi atau juga disebut sebagai artikulasi memiliki fungsi untuk menahan tulang-tulang untuk tetap menyatu dan memberikan mobilitas pada rangka.

1) Klasifikasi sendi berdasar fungsional

Klasifikasi ini didasarkan pada jumlah gerakan yang dapat dilakukan oleh sendi tersebut, yaitu:

- Sendi sinartrosis, yaitu sendi yang tidak dapat bergerak. Contoh: Sendi pada sambungan tulang tengkorak (sutura).
- Sendi amfiartrosis, yaitu sendi yang dapat bergerak, tetapi pergerakannya terbatas. Contoh: Sendi pada tulang belakang dan tulang panggul.
- Sendi diartrosis, yaitu sendi yang bebas bergerak. Contoh: Sendi pada pergelangan tangan.

Sendi sinartrosis dan amfiartrosis utamanya dibatasi pada rangka aksial, sedangkan sendi diartrosis banyak ditemukan pada anggota gerak (rangka apendikular).

2) Klasifikasi sendi berdasar struktural

Berdasar strukturnya, sendi dibedakan menjadi sendi fibrosa, kartilaginosa, dan sinovial. Secara umum, sifat sendi fibrosa selalu tidak dapat digerakkan, sendi kartilaginosa meliputi sendi yang tidak dapat digerakkan maupun dapat digerakkan sedikit, sedangkan sendi sinovial dapat digerakkan dengan bebas.

Sendi sinovial ditemukan pada sendi-sendi anggota gerak, yakni pada ujung tulang yang disambung dipisahkan oleh rongga sendi yang berisi cairan sinovial. Sendi ini memiliki komponen khusus, yaitu:

- Kartilago artikular/hialin (*articular/hyaline cartilage*)
- Kapsul artikular, permukaan sendi ditutupi dan dibungkus oleh jaringan ikat fibrosa yang dilapisi oleh membran sinovial
- Rongga sendi yang dibungkus oleh kapsul artikular berisi cairan sinovial
- Ligamen penguat kapsul articular

c. Kartilago

Kartilago atau tulang rawan dalam vertebrata berdasar ilmu histologi dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

1) Kartilago hialin

Kartilago ini adalah kartilago yang matriksnya memiliki komponen utama berbentuk glikosaminoglikan. Kartilago ini menyusun model embrionik dari tulang endokondral yang nantinya akan berkembang menjadi rangka manusia. Selain itu, kartilago ini juga menyusun tulang-tulang rawan pada laring.

2) Kartilago elastis

Kartilago ini merupakan serat elastis yang ditemukan pada matriks ekstraseluler. Kartilago ini terdapat pada laring, epiglotis, dan lempeng intervertebral.

3) Kartilago fibrosa

Kartilago fibrosa disebut demikian jika dalam matriksnya mengandung serat kolagen termasuk kolagen tipe I. Kartilago ini banyak ditemukan pada lempeng intraartikular pada sendi sebagai kartilago artikular pada permukaan sendi atau pada tendon dan ligamen melekat pada tulang.

d. Ligamen

Ligamen tulang adalah buntalan terpisah yang tersusun atas jaringan ikat fibrosa padat yang menyambungkan tulang. Ligamen ini memiliki fungsi mekanik antara lain mengontrol dan menstabilkan sendi untuk mendistribusikan kekuatan dan melindungi jaringan sendi lain. Lebih lanjut, penemuan terbaru menunjukkan bahwa ligamen tidak hanya memiliki fungsi mekanik, tetapi juga berperan dalam proses seluler kompleks yang dihubungkan oleh jembatan untuk komunikasi molekul sinyal antar sel dalam respons stimulus biomekanik dan biokimia.

Ligamen ini memiliki hubungan yang erat dengan tendon dan fungsi yang hampir sama. Perbedaannya terletak pada fungsi ligamen yang menghubungkan antara tulang satu dengan tulang lain, sedangkan tendon merupakan bagian otot yang menghubungkan/melekatkan otot pada tulang.

3. Perkembangan dan Pertumbuhan Tulang

Rangka manusia tersusun atas dua jaringan yang terkuat dan paling mendukung/menyokong tubuh, yaitu kartilago/tulang rawan dan tulang. Pada tahap embrio, utamanya rangka manusia tersusun atas tulang rawan hialin. Seiring usia, tulang rawan ini akan digantikan oleh tulang. Tulang rawan ini akhirnya hanya akan tersisa pada bagian-bagian tertentu dalam tubuh seperti hidung, telinga, dan persendian.

a. Proses pembentukan tulang pada tahap perkembangan manusia

Proses penggantian tulang rawan ke tulang tersebut disebut dengan osifikasi yang terdiri dari dua fase utama sebagai berikut:

- 1) Pertama, seluruh permukaan kartilago hialin akan ditutupi oleh matriks tulang yang tersusun atas sel pembentuk tulang (osteoblas). Hal ini terjadi saat embrio mulai berkembang menjadi fetus.

- 2) Pada tahap fetus, kartilago hialin perlahan digantikan oleh tulang dengan bagian tengah yang dihilangkan sehingga membentuk rongga tengah.
- 3) Sesaat setelah lahir, hampir seluruh kartilago telah dikonversi menjadi tulang kecuali pada dua area, yaitu kartilago articular (pada sendi sinovial) dan lempeng epifisis (*epiphyseal plate*).

b. Sel-sel tulang

Tulang adalah jaringan ikat yang termineralisasi terdiri atas empat jenis sel, yaitu osteoblas, sel pelapis tulang (*bone lining cell*), osteosit, dan osteoklas. Tulang adalah organ yang dinamis secara berkelanjutan diserap kembali (*resorbed*) oleh osteoklas dan dibentuk kembali oleh osteoblas. Sedangkan, osteosit berperan sebagai sensor mekanik dan orkestrator pada proses *remodelling* tulang. Sedangkan, *bone lining cell* memiliki peran penting dalam memasang (menyeimbangkan) proses penyerapan dan pembentukan kembali tulang.

1) Osteoblas

Osteoblas adalah sel epitel kubus (*cuboidal cell*) yang terletak sepanjang permukaan tulang dan berjumlah sekitar 4-6% dari total sel tulang. Osteoblas memiliki fungsi sebagai sel yang bertanggung jawab dalam pembentukan tulang.

Osteoblas merupakan turunan *stem* sel *mesenkim* (*Mesenchymal Stem Cells* (MSC)). Lebih lanjut, osteoblas ini akan membentuk sel pelapis tulang dan osteosit serta berperan dalam pembentukan matriks tulang.

Sintesis matriks tulang oleh osteoblas terjadi dalam dua tahap utama, yaitu pembentukan matriks organik yang terdiri atas protein kolagen dan nonkolagen serta proteoglikan yang disek-

resikan oleh osteoblas. Selanjutnya, matriks tulang akan demineralisasi dalam dua tahap, yaitu *vesikuler* dan *fibriler*.

Dalam tahap vesikuler atau disebut juga mineralisasi dalam sel vesikuler, osteoblas akan melepaskan *vesikel* matriks ke matriks organik yang baru dibentuk dan mengikat proteoglikan dan komponen organik lain. Proteoglikan tersulfonasi ini lebih lanjut akan memerangkap ion kalsium untuk disimpan dalam vesikel matriks. Selanjutnya, osteoblas akan melepaskan enzim yang mendegradasi proteoglikan dan melepaskan ion kalsium agar dapat di transpor ke dalam *vesikel* matriks. Pada saat yang sama, osteoblas mendegradasi komponen yang mengandung fosfat dan melepaskan fosfat di dalam *vesikel* matriks, sehingga fosfat dan kalsium bersatu membentuk senyawa hidroksiapatit. Kandungan kalsium dan fosfat yang sangat jenuh dalam vesikel matriks menyebabkan pecahnya struktur tersebut dan kristal hidroksiapatit akan menyebar di sekitaran matriks yang disebut tahap *fibrillar* atau penyebaran.



Gambar 4.2
Pembentukan Matriks Tulang.

2) *Bone lining cells*

Sel pelapis tulang atau *bone lining cell* adalah sel osteoblas pipih diam (inaktif) yang menutup permukaan tulang, yakni di sana tidak terjadi baik penyerapan maupun pembentukan tulang.

Meskipun fungsi dari sel pelapis tulang ini belum ditemukan secara menyeluruh, tetapi sel ini memiliki peran penting dalam mencegah interaksi langsung antara osteoklas dan matriks tulang, ketika penyerapan tulang belum diperlukan terjadi. Sel ini juga berperan dalam diferensiasi sel osteoklas.

3) Osteosit

Osteosit mengisi 90-95% dari total sel tulang adalah sel terbanyak yang berumur panjang hingga 25 tahun. Osteosit dicirikan dengan morfologi dendritiknya terletak pada lakuna yang dikelilingi oleh matriks tulang. Osteosit merupakan turunan *stem* sel mesenkim melalui diferensiasi osteoblas melalui empat tahapan, yaitu osteoid-osteosit, pre osteosit, osteosit muda, dan osteosit matang.

Osteosit membentuk sistem lakuna kanalikuli osteosit yang menjalankan fungsi komunikasi inter seluler melalui kanalikuli, sebuah terowongan kecil dalam lakuna. Dengan sistem tersebut, osteosit dapat berfungsi sebagai sensor mekanik yang mampu mendeteksi adanya tekanan mekanik dan beban. Selanjutnya, melakukan adaptasi terhadap perubahan tersebut. Dengan sistem tersebut, osteosit memiliki kemampuan untuk mengatur baik penyerapan maupun pembentukan tulang.

4) Osteoklas

Berbeda dari tiga sel sebelumnya yang merupakan turunan dari *stem* sel mesenkim, osteoklas merupakan sel dengan inti jamak (multinukleat), hasil diferensiasi terminal (akhir) dari sel

mononuklear pada *stem* sel hematopoietik. Diferensiasi dan aktivasi sel osteoklas ini dipengaruhi beberapa faktor, di antaranya:

- *Macrophag Stimulating Factor* (MSF) yang disekresikan oleh sel *mesenkim osteoprogenitor* dan osteoblas.
- *RANK Ligand* yang disekresikan oleh osteoblas, osteosit, dan sel stroma.

Pertumbuhan dan aktivitas osteoklas yang tidak normal akan memicu berbagai penyakit tulang seperti osteoporosis, yakni pembentukan tulang lebih rendah daripada pemecahannya, sehingga kepadatan tulang berkurang dan resiko patah tulang meningkat.

c. Pertumbuhan panjang dan lebar tulang

Selain pembentukan tulang pada masa perkembangan janin, tulang manusia juga mengalami pertumbuhan baik dalam satuan panjang maupun lebarnya. Pada penambahan panjang tulang, kartilago artikular dan lempeng epifisis memiliki peran yang sangat penting. Dalam masa pertumbuhan, tulang rawan baru akan terus tumbuh ke arah luar kartilago artikular, demikian juga yang terjadi pada lempeng epifisis. Dalam waktu yang bersamaan, kartilago yang sudah tua berhadapan dengan batas dalam kartilago artikular dan bagian medula tulang kemudian menjadi rusak dan digantikan oleh matriks tulang.

Dalam hal penambahan lebar tulang, fungsi ini dijalankan oleh periosteum (jaringan yang membungkus bagian luar tulang) dan endosteum (jaringan yang membungkus tulang bagian dalam). Pada bagian periosteum terdapat osteoblas yang menambahkan matriks tulang di bagian luar diafisis, sedangkan di bagian dalam tulang terdapat osteoklas di endosteum yang menghilangkan matriks tulang dari bagian permukaan dalam dinding diafisis. Dengan kece-

patan yang hampir sama, proses ini membuat diameter tulang menjadi melebar disebut dengan pertumbuhan aposisional.

Baik pertambahan panjang maupun lebar tulang ini dipengaruhi oleh hormon pertumbuhan dan hormon seks ketika masa puber. Proses ini akan berhenti pada akhir masa remaja, ketika lempeng epifisis seluruhnya telah berubah menjadi tulang.

4. *Remodelling* Tulang

Siklus *remodelling* tulang adalah sebuah siklus yang terdiri dari tiga fase penting. Fase pertama, yaitu pemecahan dan penyerapan kembali tulang oleh osteoklas dan selanjutnya diikuti oleh pembentukan tulang oleh osteoblas dengan fase transisi di antaranya.

Proses ini adalah proses yang dinamis dan terus menerus terjadi dalam tubuh secara aktif. Proses ini terjadi sebagai bentuk respons terhadap berikut ini:

a. Kadar ion kalsium dalam darah

- Ketika kadar ion kalsium menurun di bawah level homeostasisnya, kelenjar paratiroid akan melepaskan hormon paratiroid yang mengaktifkan osteoklas. Osteoklas akan memecah matriks tulang dan melepaskan ion kalsium ke dalam darah.
- Jika kadar ion kalsium terlalu tinggi atau disebut sebagai kondisi hiperkalemia, maka kelebihan kalsium oleh osteoblas akan disimpan dalam matriks tulang dalam bentuk kristal hidroksiapatit.

b. Tarikan gravitasi pada rangka dan otot tubuh manusia

Pada lokasi yakni otot-otot besar menempel, tulang di area tersebut akan beradaptasi dengan tumbuh lebih tebal dan lebar untuk menjadi tempat yang lebih kuat untuk menempel. Pada bagian ter-

sebut, osteoblas akan menginisiasi pembentukan matriks baru, yakni osteoblas akan berdiferensiasi menjadi osteosit.

Dalam menjalankan fungsi *remodelling*, sel-sel osteoklas dan osteoblas akan membentuk struktur anatomi sementara yang disebut dengan *Basic Multicellular Unit* (BMU) yang terbentuk dari kumpulan osteoklas (terletak di ujung depan formasi) membentuk kelompok sel pemotong berbentuk kerucut dan diikuti oleh osteoblas membentuk kelompok penutup yang juga berbentuk kerucut. Selanjutnya, BMU ini akan ditutupi kanopi yang tersusun atas sel pelapis tulang sehingga membentuk *Bone Remodelling Compartment* (BMC). Sel pelapis tulang ini nantinya akan memberikan sinyal atau berkomunikasi dengan sel osteosit di dalam matriks tulang.

Mekanisme kontrol proses ini dilakukan melalui hormon PTH yang membantu sel-sel tulang menentukan kapan tulang perlu dipecah atau dibentuk berdasar kadar kalsium dalam darah. Selain itu, tekanan atau beban dari tarikan otot pada rangka akan menentukan matriks tulang yang perlu dipecah dan dibentuk dengan tujuan agar tulang menjadi kuat dan fungsi tulang dapat berjalan dengan optimal.

5. Kerangka Tubuh Manusia

Kerangka tubuh manusia dewasa memiliki 206 tulang yang dikelompokkan ke dalam dua divisi utama, yakni 80 pada bagian rangka aksial dan 126 pada rangka apendikular. Rangka aksial terdiri dari tulang yang terletak di sekitar sumbu longitudinal tubuh manusia, garis imajiner yang melintasi pusat gravitasi tubuh dari kepala ke ruang antara kaki terdiri dari tulang tengkorak, tulang telinga pendengaran (tulang telinga), tulang *hyoid*, tulang rusuk, tulang dada, dan tulang belakang. Rangka *appendicular* atau rangka tambahan, terdiri dari tulang *extremitas superior* dan tulang *extremitas inferior*. Rangka *appendicular*

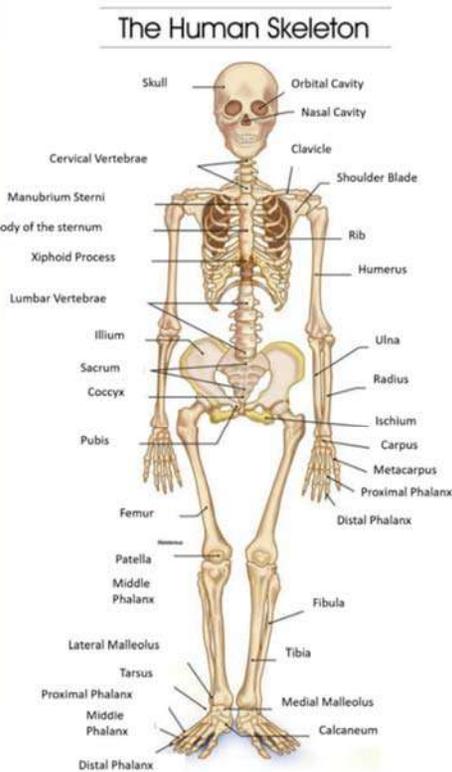
berisi tulang tungkai atas dan bawah yang menghubungkan anggota badan ke rangka aksial (Ethel, 2003).

Pada tulang bagian superior atau bagian atas tubuh, terdiri dari korset pektoralis, *scapula* serta *clavicula*, lengan atas, mulai dari bahu hingga siku, lengan dasar mulai dari siku hingga pergelangan tangan, serta tangan. Tulang bagian dasar (inferior) terdiri dari korset pelvis, paha, tungkai dasar serta kaki.

Pada tulang bagian atas atau superior, terdiri dari korset pektoralis, *scapula* dan *clavicula*, lengan atas mulai dari bahu sampai siku, lengan bawah mulai dari siku sampai pergelangan tangan, dan tangan. Tulang bagian bawah (inferior) terdiri dari korset pelvis, paha, tungkai bawah, dan kaki.

The Bones of the Adult Skeletal System

| DIVISION OF THE SKELETON | STRUCTURE | NUMBER OF BONES |
|------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| Axial Skeleton | | |
| | Skull | |
| | Cranium | 8 |
| | Face | 14 |
| | Hyoid bone | 1 |
| | Auditory ossicles (see Figure 12.14) | 6 |
| | Vertebral column | 26 |
| | Thorax | |
| | Sternum | 1 |
| | Ribs | 24 |
| | Subtotal = | 80 |
| Appendicular Skeleton | | |
| | Pectoral (shoulder) girdles | |
| | Clavicle | 2 |
| | Scapula | 2 |
| | Upper limbs | |
| | Humerus | 2 |
| | Ulna | 2 |
| | Radius | 2 |
| | Carpals | 16 |
| | Metacarpals | 10 |
| | Phalanges | 28 |
| | Pelvic (hip) girdle | |
| | Hip or pelvic bone | 2 |
| | Lower limbs | |
| | Femur | 2 |
| | Patella | 2 |
| | Fibula | 2 |
| | Tibia | 2 |
| | Tarsals | 14 |
| | Metatarsals | 10 |
| | Phalanges | 28 |
| | Subtotal = | 126 |
| | Total in an adult skeleton = | 206 |

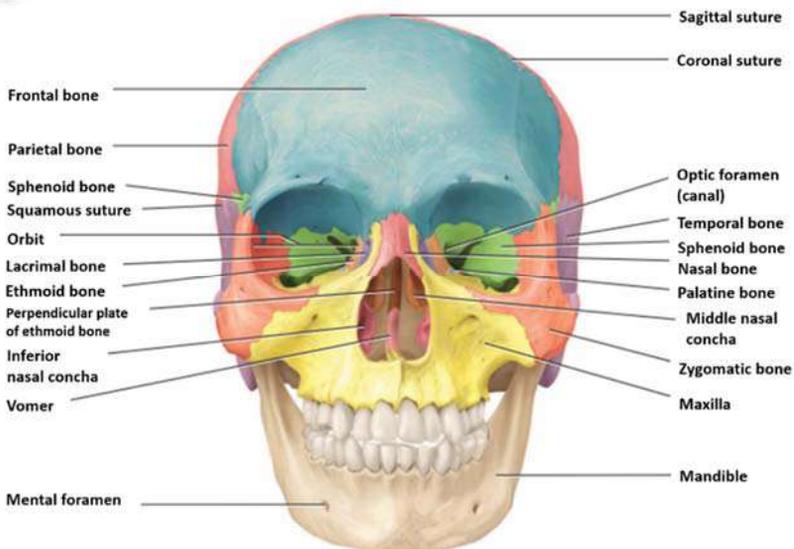


Gambar 4.3. Bagian Sistem Kerangka. (Tortora dan Derrickson, 2010).

Sumber gambar: <https://kumparan.com/berita-update/rangka-manusia-fungsi-dan-perannya-pada-kelangsungan-hidup-manusia-1v0H7ckKF6B>

1) Tulang tengkorak

Tulang Tengkorak berisi 22 tulang, bertumpu di atas kolom tulang belakang yang mencakup dua set tulang, yaitu tulang tengkorak dan tulang wajah. Delapan tulang tengkorak, secara kolektif disebut *cranium*, membentuk rongga tengkorak yang membungkus dan melindungi otak. Adapun delapan tulang tersebut terdiri dari tulang frontal, dua tulang parietal, dua tulang temporal, tulang oksipital, tulang *sphenoid*, dan tulang *ethmoid*. Terdapat pula 14 tulang pembentuk wajah yang terdiri dari dua tulang hidung, dua maksila, dua tulang *zygomatic*, rahang bawah, dua tulang *lakrimal*, dua tulang *palatine*, dua *conchae nasal inferior*, dan *vomer*. Tulang tengkorak dan tulang wajah secara bersama-sama melindungi dan menopang organ indera khusus yang halus, seperti indera yang digunakan untuk penglihatan, pengecapan, penciuman, pendengaran, dan ekuilibrium (keseimbangan).



Gambar 4.4
Tulang Tengkorak
(Tortora dan Derrickson, 2010).

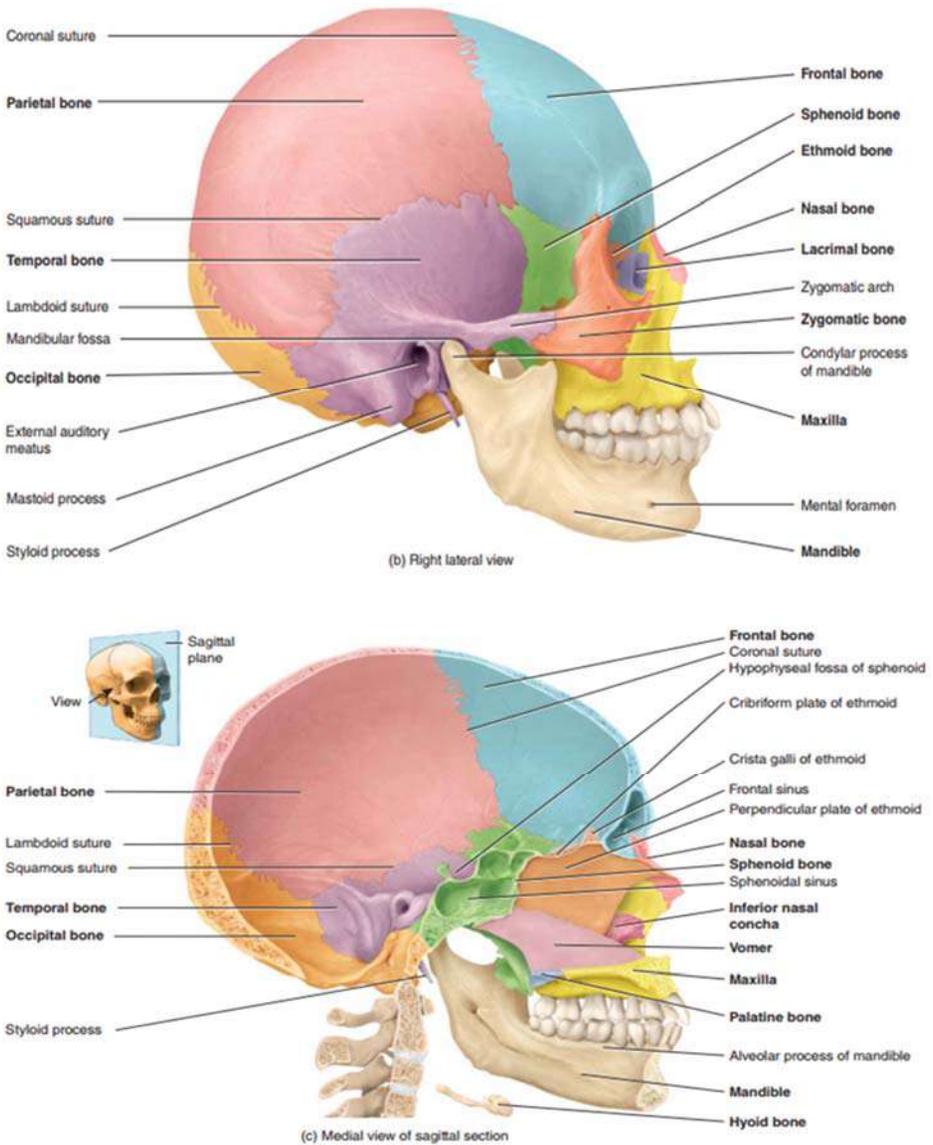
- Tulang Frontal : Memiliki bentuk tipis dan rata, membangun bagian dahi, langit-langit orbita, dan rongga nasal.
- Tulang Parietal : Terdapat pada kedua sisi kepala yang bersatu pada bagian tengah.
- Tulang Temporal : Terdapat di kedua sisi kiri dan kanan tulang tengkorak tepat di bawah tulang parietal.
- Tulang Oksipital : Memiliki bentuk pipih pada bagian paling belakang tulang tengkorak.
- Tulang Sphenoid : Terletak di bawah tulang dahi frontalis serta sebagai dasar dari tulang tengkorak.
- Tulang Ethmoid : Terdapat pada bagian depan tulang *sphenoid*.

2) Tulang wajah

Tulang wajah berfungsi untuk melindungi dan menopang pintu masuk ke sistem pencernaan dan pernapasan. Tulang wajah juga memberikan keterikatan pada beberapa otot yang terlibat dalam menghasilkan berbagai ekspresi wajah.

- Tulang Hidung : Membentuk penyangga hidung dan berartikulasi dengan septum nasal.
- Tulang Maksila : Tulang ini bersatu membentuk tulang rahang atas dan diartikulasikan dengan setiap tulang wajah kecuali rahang bawah, rahang atas merupakan lengkung yang berisi alveoli (soket) untuk gigi rahang atas (atas).
- Tulang Palatum : Merupakan dua tulang palatina berbentuk menyatu dan membentuk bagian posterior palatum durum, bagian lantai, dan dinding lateral rongga hidung serta sebagian kecil lantai orbit.

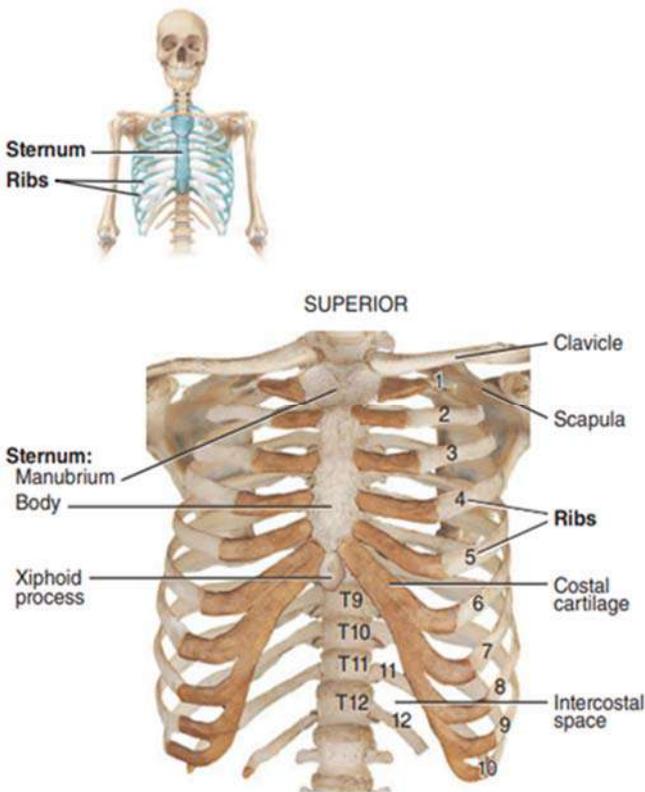
- Tulang Mandibula : Merupakan rahang bawah yang merupakan tulang wajah terbesar dan terkuat. Mandibula adalah satu-satunya tulang tengkorak yang bisa digerakkan.
- Tulang *Zygomatic* : Biasanya disebut dengan tulang pipi, membentuk bagian pipi dan bagian menonjol dari dinding lateral serta rantai setiap orbit. Tulang ini mengartikulasikan dengan tulang frontal, rahang atas, *sphenoid*, dan temporal.
- Tulang Lakrimal : Tulang yang turut membentuk bagian dinding rongga mata bagian tengah ini terletak di dekat hidung dan di dekat kantung air mata. Tulang ini juga merupakan tulang terkecil yang berada di wajah.
- Tulang *Conchae Nasal* : Kedua konka hidung inferior merupakan tulang yang berbentuk seperti gulungan yang diproyeksikan ke dalam rongga hidung. Pada bagian bawah hidung superior dan tengah *conchae* dari tulang *ethmoid* memiliki fungsi yang sama seperti *conchae* hidung lainnya, yakni filtrasi udara sebelum masuk ke paru-paru.
- Nasal Inferior : Tulang yang membentuk permukaan dalam rongga hidung dan terdapat sedikit tanjakan yang terletak dalam rongga hidung.
- Vomer : Berada di bagian posterior atau belakang hidung, merupakan salah satu dari bagian tulang yang turut membentuk septum hidung.



Gambar 4.5
Tulang Wajah
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

3) Tulang dada

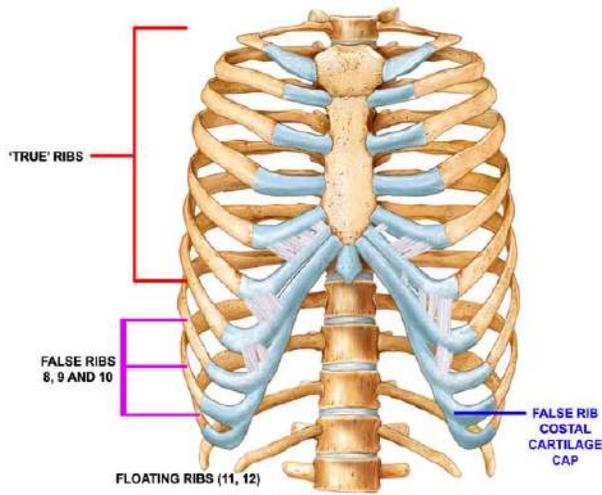
Tulang dada adalah tulang pipih dan sempit yang terletak di bagian tengah dinding toraks anterior dan terdiri dari tiga bagian yang biasanya menyatu pada usia 25 tahun. Adapun tiga bagian yang dimaksud adalah *manubrium* yang berartikulasi dengan klavikula, tulang rusuk pertama serta bagian dari tulang rusuk kedua. Tubuh *sternum* berartikulasi secara langsung atau secara tidak langsung dengan bagian rusuk kedua dan kolom ketiga sampai kesepuluh. Proses *xiphoid* terdiri dari tulang rawan hialin selama bayi dan masa kanak-kanak dan tidak mengeras sepenuhnya sampai sekitar usia 40 bulan.



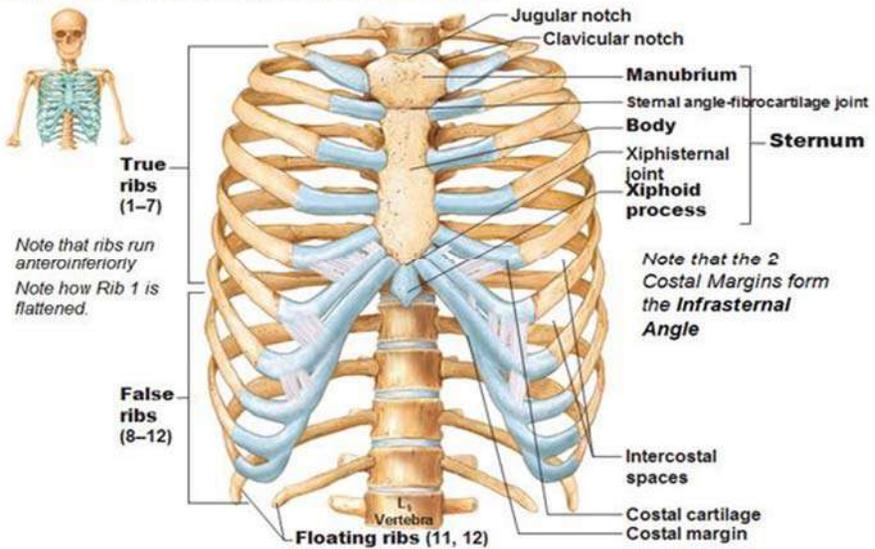
Gambar 4.6
Tulang Dada
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

4) Tulang iga

Sebanyak dua belas pasang tulang rusuk membentuk sisi rongga dada. Tulang rusuk bertambah panjang dari yang pertama hingga tulang rusuk ketujuh, dan kemudian panjangnya berkurang pada tulang rusuk kedua belas. Setiap tulang rusuk berartikulasi posterior dengan vertebra toraks. Pasangan rusuk pertama sampai ketujuh memiliki anterior langsung ke tulang dada oleh strip tulang rawan hialin yang disebut tulang rawan kostal. Tulang rusuk ini disebut tulang rusuk sejati. Sisa lima pasang tulang rusuk disebut tulang rusuk palsu karena kartilago kosta menempel secara tidak langsung ke tulang dada atau tidak menempel pada tulang dada sama sekali. Tulang rawan kedelapan, kesembilan, dan pasang kesepuluh tulang rusuk menempel satu sama lain, lalu ke tulang rawan sepasang tulang rusuk ketujuh. Tulang rusuk palsu kesebelas dan keduabelas juga dikenal sebagai tulang rusuk mengambang karena tulang rawan kosta pada ujung anterior tidak menempel pada tulang dada sama sekali. Tulang iga mengambang dan menempel hanya di posterior tulang vertebrata. Jarak antar tulang rusuk yang disebut juga ruang interkostal ditempati oleh otot interkostal, pembuluh darah, dan saraf.



The Thoracic Cage: Anterior view

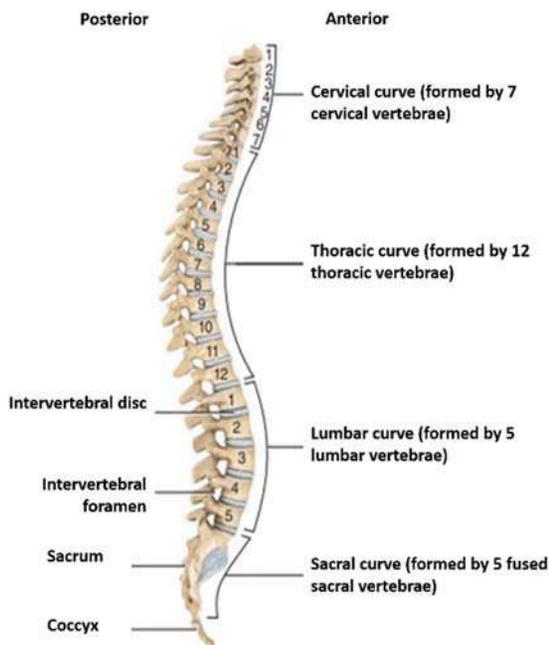


Gambar 4.7
Tulang Iga
(Tortora dan Derrickson, 2010).

5) Tulang vertebrata

Tulang vertebrata juga disebut dengan tulang belakang atau tulang punggung, tersusun dari rangkaian tulang yang disebut vertebra. Tulang vertebrata memiliki fungsi sebagai batang yang

kuat dan fleksibel dan dapat berputar serta bergerak maju, mundur, dan menyamping. Tulang vertebrata juga membungkus dan melindungi sumsum tulang belakang, menopang kepala, dan berfungsi sebagai titik perlekatan untuk tulang rusuk, korset panggul, dan otot punggung. Jumlah tulang vertebra selama awal perkembangan berjumlah 33. Selanjutnya, ada beberapa tulang bagian belakang di daerah sakral dan tulang ekor yang bergabung. Sehingga jumlah kolom vertebra pada orang dewasa biasanya berisi 26 vertebra, yakni tujuh vertebra serviks yang berada di daerah leher, dua belas vertebra toraks yang berada di posterior rongga toraks, lima lumbal vertebrata yang bertugas untuk menopang punggung bawah, satu sakrum terdiri dari lima vertebra sakralis yang menyatu, dan satu tulang ekor terdiri dari empat tulang ekor yang menyatu.

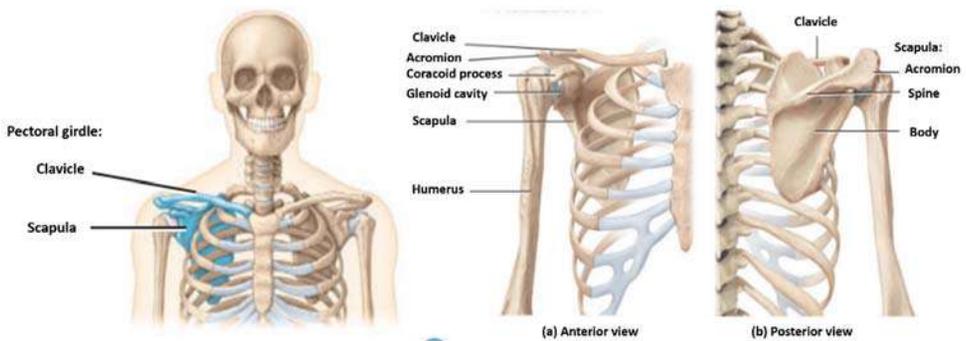


Gambar 4.8
Kolom Vertebral.
(Tortora dan Derrickson, 2010).

6) Rangka *appendicular*

Rangka *appendicular* terdiri dari atas anggota gerak (anggota gerak atas dan anggota gerak bawah). Pada rangka *appendicular* tersusun atas tulang bahu, tulang lengan, tulang kaki, dan tulang pelvis.

- a) *Girdle pectoral* atau bahu, mengikat tulang tungkai atas ke rangka aksial. Memiliki dua tulang yang berada pada sisi kanan dan sisi kiri, tulang tersebut adalah tulang klavikula dan *scapula*. Klavikula merupakan komponen anterior yang berartikulasi dengan tulang dada dan tulang belikat. *Scapula* merupakan komponen posterior, yang berartikulasi dengan klavikula dan humerus. Korset dada tidak berartikulasi dengan kolom vertebralis. Sendi korset bahu dapat bergerak bebas dan dengan demikian memungkinkan pergerakan ke banyak arah.

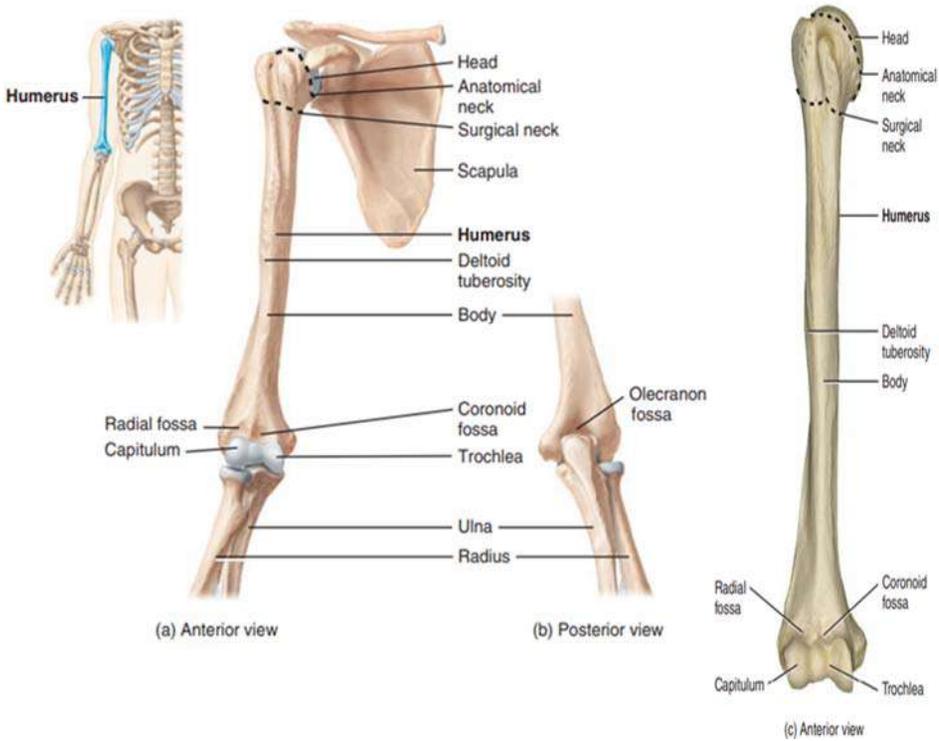


Gambar 4.9
Girdle Pectoral Kanan.
(Tortora dan Derrickson, 2010).

b) Humerus

Humerus atau tulang lengan adalah tulang lengan atas yang terpanjang dan terbesar. Humerus berartikulasi dengan skapula dan di siku berartikulasi dengan kedua ulna dan ra-

dius. Ujung proksimal dari humerus terdiri atas bagian kepala yang berartikulasi dengan rongga glenoid *scapula*. Pada bagian *head* (kepala) pada tulang humerus memiliki bentuk bulat yang masuk dalam rongga tulang belikat (glenoid), bagian leher humerus serta batang memanjang ke arah distal.



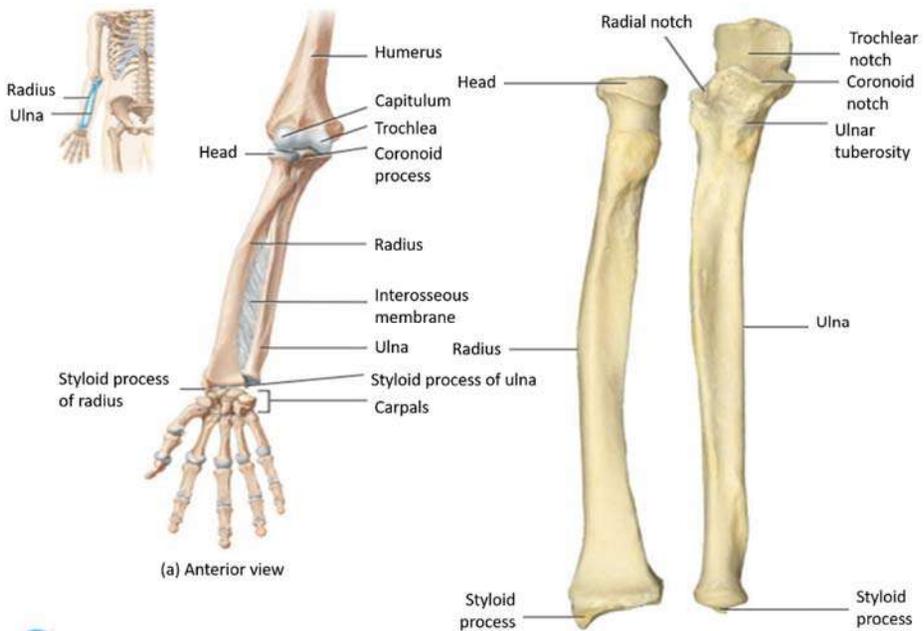
Gambar 4.10
Humerus
(Tortora dan Derrickson, 2010).

c) Radius dan ulna

Ulna terletak pada sisi medial dan tulang radius yang terletak pada sisi lateral (sisi ibu jari). Bagian ini dihubungkan dengan suatu jaringan ikat fleksibel yang disebut membran *interosseus*. Ulna adalah *olecranon* yang membentuk keunggulan

dari siku. Proses *coronoid* bersama dengan *olecranon* dan menerima *trochlea* dari humerus. Takik radial adalah depresi untuk kepala radius. Proses *styloid* berada di bagian distal akhir ulna.

Radius terletak pada aspek lateral (sisi ibu jari) lengan bawah. Ujung radius proksimal berbentuk cakram kepala yang berartikulasi dengan *capitulum humeri* dan lekukan radius ulna.



Gambar 4.11
Ulna dan Radius
(Tortora dan Derrickson, 2010).

d) Pergelangan tangan

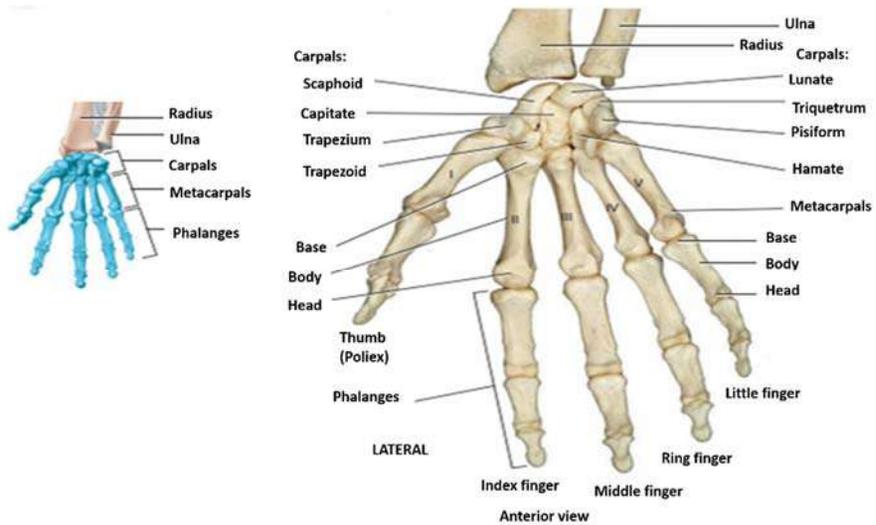
Tulang karpus (pergelangan tangan) adalah daerah proksimal dari tangan dan berisi delapan tulang kecil, karpal, yang disatukan oleh ligamen. Karpal disusun dalam dua baris melintang dengan empat tulang di setiap baris dan diberi nama

sesuai bentuknya. Secara anatomis, karpal di baris atas dari posisi lateral ke medial dinamakan *skafoid*, kemudian ada *lunatum* (bulan sabit) dinamakan demikian karena bentuknya seperti bulan sabit, *triquetrum* bentuknya bersudut tiga, dan *pisiform* bentuknya seperti kacang polong. Pada bagian karpal di baris bawah, dari posisi lateral ke medial adalah *trapezium* berbentuk empat sisi tanpa dua sisi sejajar, *trapezoid* berbentuk empat sisi dengan dua sisi sejajar, kapitatum berbentuk kepala, tulang karpal terbesar yang proyeksi bulatnya, kepala, berartikulasi dengan *lunatum* dan *hamate* dinamakan demikian karena proyeksi besar berbentuk kait pada permukaan anterior. Terdapat cekungan yang dibentuk oleh *pisiform* dan *hamate* (pada sisi ulnar), *skafoid* dan trapesium (di sisi radial) merupakan ruang yang disebut *carpal tunnel*.

e) *Metacarpus* (telapak tangan)

Metakarpal atau telapak tangan adalah wilayah perantara dari tangan dan berisi lima tulang yang disebut *metacarpal*. Setiap tulang *metacarpal* terdiri dari basis proksimal, sebuah karpal, metacarpal, falang, tubuh perantara, dan kepala distal. Tulang *metacarpal* adalah diberi nomor I sampai V (atau 1 sampai 5) dimulai dengan tulang lateral masuk jempol. Kepala *metacarpal* biasa disebut buku-buku jari dan mudah terlihat dalam kepalan tangan. Falang membentuk daerah distal tangan dan merupakan tulang dari jari-jari. Seperti halnya *metacarpal*, falang juga demikian bernomor I sampai V (atau 1 sampai 5) dimulai dengan ibu jari. Satu tulang jari disebut *phalanx*. Seperti *metacarpals*, setiap *phalanx* terdiri dari basis proksimal, badan perantara, dan kepala distal. Ada dua falang (proksimal dan distal) di ibu jari (*pollex*) dan tiga falang (proksimal, tengah, dan distal) di masing-masing dari empat digit lainnya. Secara urut dari ibu jari, empat digit lainnya

biasanya disebut sebagai jari telunjuk, jari tengah, jari manis, dan jari kelingking.

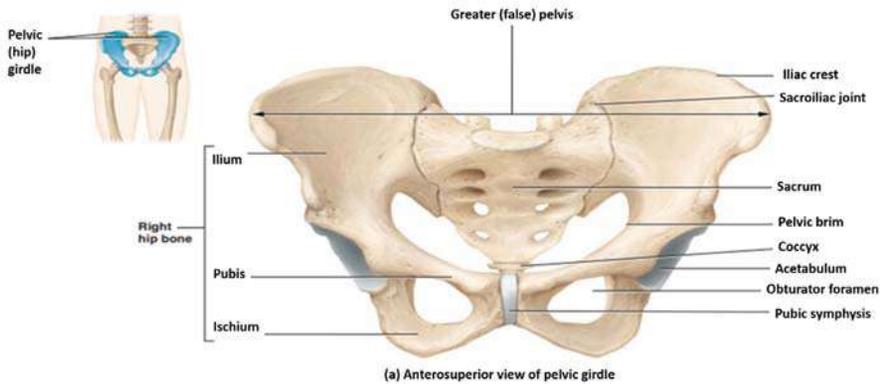


Gambar 4.12
Tulang Pergelangan Tangan dan Jari
(Tortora dan Derrickson, 2010).

f) Pelvis

Korset panggul (pinggul) terdiri dari dua tulang pinggul juga disebut tulang *coxal*. Korset panggul memberikan kekuatan dukungan stabil untuk kolom vertebral melindungi visera panggul dan menempelkan tungkai bawah ke rangka aksial. Bersama dengan sakrum dan tulang ekor, dua tulang pinggul, korset panggul membentuk struktur mirip cekungan yang disebut panggul. Tulang panggul dibagi menjadi dua bagian, yakni bagian atas dan bawah dengan batas yang disebut pinggiran panggul. Bagian panggul di atas pinggiran panggul disebut panggul palsu (lebih besar). Panggul palsu sebenarnya adalah bagian dari perut dan tidak mengandung organ panggul, kecuali kandung kemih saat penuh dan rahim

selama kehamilan. Bagian panggul di bawah tepi panggul disebut panggul sejati. Merupakan bagian terbesar dari tulang pinggul. Bentuknya lebar seperti kipas dan melengkung.



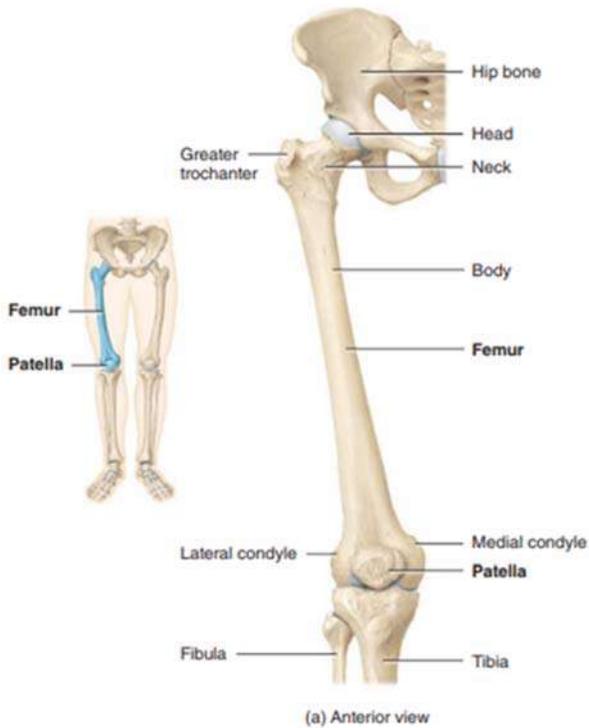
Gambar 4.13
Tulang Panggul
(Tortora dan Derrickson, 2010).

- Ilium** : Bagian terbesar dari tiga subdivisi pinggul tulang. Memiliki batas atas *krista iliaka* dengan permukaan bawah adalah takik *sciatic* yang lebih besar, berbentuk lempeng tulang lebar, menjulang ke atas, dan keluar asetabulum.
- Pubis** : Berada di bagian paling depan dari tulang pinggul, posisi dekat dengan organ kelamin, dan berjumlah dua buah yang disebut *simfisis pubis*. Pada saat persalinan, bagian ini dapat melonggar karena merupakan jalur lahir bayi.
- Ischium** : Tulang ini berfungsi sebagai penopang berat badan ketika duduk dan sering disebut dengan tulang duduk. Terletak pada bagian bawah *ilium* dan di samping *pubis*.

- Sakrum : Berada di belakang panggul yang membantu menopang berat badan pada tubuh dengan lima tulang belakang yang menyatu.
- Tulang ekor (*coccyx*) : Berada pada bagian bawah *sacrum* dan sebagai penghubung berbagai otot yang membantu pada saat menggerakkan kaki.

g) Femur

Femur (tulang paha) adalah tulang terpanjang, terberat, dan terkuat dalam tubuh. Ujung proksimalnya berartikulasi dengan tulang pinggul dan ujung distalnya berartikulasi dengan tibia serta tempurung lutut. Tubuh tulang paha menekuk secara medial dan sebagai hasilnya sendi lutut dibawa lebih dekat ke garis tengah tubuh. Pada bagian *head* atau kepala pada tulang paha berartikulasi dengan cekungan yang menyerupai mangkuk pada tulang panggul atau *acetabulum* dan membentuk sendi pinggul. Leher tulang paha adalah wilayah terbatas di bawah kepala. *Patella* atau tempurung lutut adalah tulang segitiga kecil di depan sendi antara *femur* dan tibia biasa dikenal sebagai sendi lutut. *Patella* berkembang di tendon pada otot paha depan *femoris*. Fungsinya untuk meningkatkan *leverage* tendon, mempertahankan posisi tendon saat lutut ditekuk, dan melindungi sendi lutut.

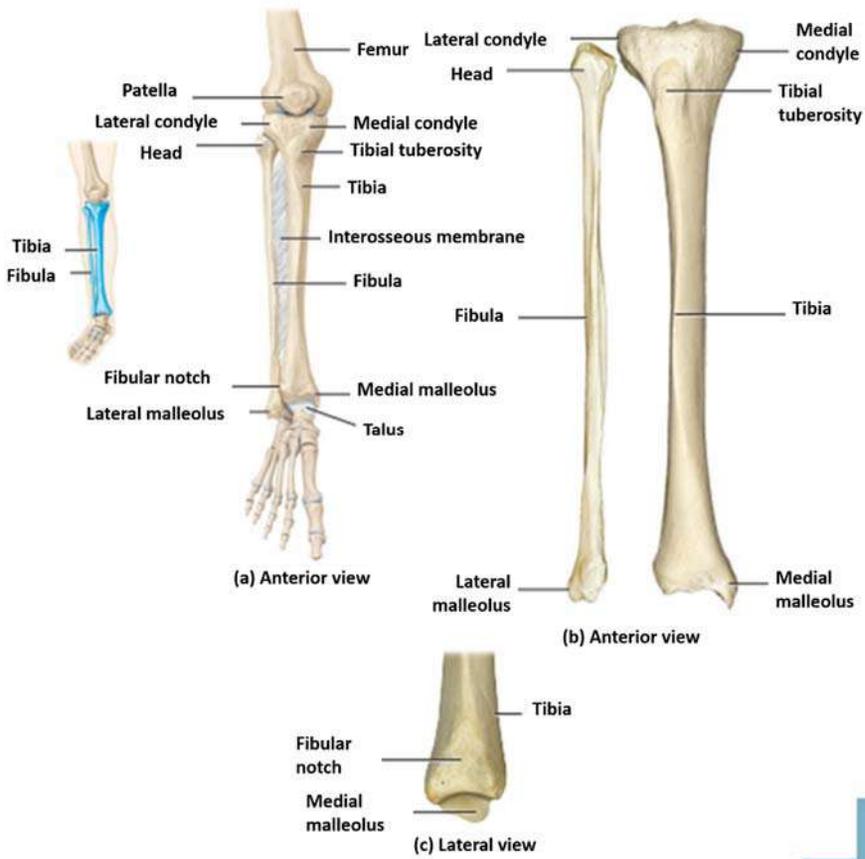


Gambar 4.14
Tulang Paha
(Tortora dan Derrickson, 2010).

h) Tibia dan fibula

Tibia atau tulang kering adalah tulang yang lebih besar, medial, dan menahan beban dari kaki. Tibia berartikulasi di ujung proksimalnya dengan *femur* dan fibula, dan di ujung distal dengan fibula dan talus pergelangan kaki. Ujung proksimal tibia mengembang menjadi kondilus lateral dan kondilus medial, proyeksi yang mengartikulasikan dengan *condyles femur* untuk membentuk sendi lutut. Fibula sejajar dan lateral pada tibia dan jauh lebih kecil dari tibia. Kepala fibula berartikulasi dengan kondilus lateral tibia di bawah sendi lutut.

Ujung distal memiliki tonjolan yang disebut *malleolus lateralis*, berartikulasi dengan talus pergelangan kaki.



Gambar 4.15
Tulang Kaki
(Tortora dan Derrickson, 2010).

C. Rangkuman

1. Sistem *skeletal* adalah sistem yang terdiri atas tulang dan rangka, sendi, kartilago, dan ligamen.
2. Sistem *skeletal* ini memiliki beberapa fungsi yang sangat penting, yaitu melindungi organ, menghasilkan sel darah merah, menyimpan mineral esensial, dan mengaitkan otot rangka sehingga saat berkontraksi dapat menghasilkan pergerakan.
3. Tulang adalah organ yang membentuk kerangka dalam tubuh yang berfungsi seperti rangka/rusuk, baja, dan beton penguat yang menyokong tubuh dan tempat melekatnya organ-organ lunak.
4. Kerangka tubuh manusia dewasa terdiri dari 206 tulang yang dikelompokkan menjadi dua divisi utama, yaitu 80 di rangka aksial dan 126 di rangka *appendicular*.
5. Rangka *aksial* terdiri dari tulang yang terletak di sekitar sumbu longitudinal tubuh manusia, garis imajiner yang melintasi pusat gravitasi tubuh dari kepala ke ruang antara kaki terdiri dari tulang tengkorak, tulang telinga pendengaran (tulang telinga), tulang *hyoid*, tulang rusuk, tulang dada, dan tulang belakang.
6. Kerangka *appendicular* atau rangka tambahan terdiri dari tulang *extremitas superior* dan tulang *extremitas inferior*.

D. Evaluasi

1. Berikut ini yang bukan merupakan fungsi dari sistem rangka adalah
.....
 - a. Pelindung
 - b. Penopang tubuh
 - c. Membantu pergerakan tubuh
 - d. **Alat gerak aktif**
 - e. Homeostatis mineral

2. Osifikasi yang terjadi secara langsung dalam jaringan *mesenkim* janin disebut dengan osifikasi
 - a. Osteoblas
 - b. Endokondral
 - c. **Intramembranosa**
 - d. Osteosit
 - e. Osifikasi

3. Tulang tengkorak melindungi otak, tulang dada, dan tulang rusuk melindungi organ dada adalah fungsi dari tulang
 - a. Tulang panjang
 - b. **Tulang pipih**
 - c. Tulang pendek
 - d. Tulang sesamoid
 - e. Tulang pipi

4. Bagian dari kerangka aksial tubuh manusia adalah
 - a. **Tulang tengkorak**
 - b. Tulang *scapula*
 - c. Tulang humerus
 - d. Tulang tibia
 - e. Tulang klavikula

5. Tulang kering yang lebih besar, medial disebut dengan
 - a. *Femur*
 - b. **Tibia**
 - c. Fibula
 - d. Humerus
 - e. *Patella*

6. Tulang yang digunakan untuk menopang berat badan saat duduk adalah tulang

- a. *Sacrum*
- b. *Ilium*
- c. *Pubis*
- d. **Ischium**
- e. *Pubis*

7. Pada gambar di samping bagian lengan bawah yang berada sisi lateral sisi ibu jari disebut dengan

- a. Humerus
- b. Ulna
- c. **Radius**
- d. Tibia
- e. *Scapula*



8. Berikut ini merupakan karakteristik sendi pada bahu

- a. **Fungsi sendi diartrosis, struktur sendi sinovial**
- b. Fungsi sendi amfiartrosis, struktur sendi sinovial
- c. Fungsi sendi diartrosis, struktur sendi fibrosa
- d. Fungsi sendi amfiartrosis, struktur sendi kartilaginosa
- e. Fungsi sendi diartrosis, struktur sendi kartilaginosa

9. Pada struktur makroskopik tulang panjang, bagian tulang yang berperan pada pelebaran tulang adalah bagian

- a. *Kartilago articular*
- b. Trabekula
- c. Epifisis distal
- d. **Diafisisis**
- e. Artikulasi

10. Perkembangan tulang pada tahap fetus ditandai dengan
- a. Adanya lempeng epifisis
 - b. Adanya kartilago *articular*
 - c. Terbentuknya model kartilago hialin
 - d. **Terbentuknya rongga *medullar***
 - e. Adanya artikulasi

BAB V

SISTEM MUSKULAR (OTOT)

A. Tujuan Pembelajaran

Dalam bab ini, mahasiswa akan mempelajari tentang karakteristik umum, struktur, dan fungsi jaringan otot. Selain itu, mahasiswa juga akan mempelajari tentang struktur mikroskopik tiap jenis bagian otot serta mekanisme aktivitas otot, dengan tujuan agar mahasiswa mampu memahami dan menjelaskan tentang struktur dan fungsi sistem muskular manusia.

B. Materi Pembelajaran

Dalam bab sistem muskular ini akan dibahas secara singkat tentang tiga jenis sel-sel otot dan organ yang dibentuk. Namun demikian, lebih lanjut sistem muskular akan secara khusus membahas tentang otot rangka saja. Jenis otot yang lain akan dibahas lebih detail pada sistem yang melibatkan otot tersebut, antara lain sistem kardiovaskular untuk otot jantung dan sistem gastrointestinal untuk otot polos.

1. Karakteristik Umum Jaringan Otot

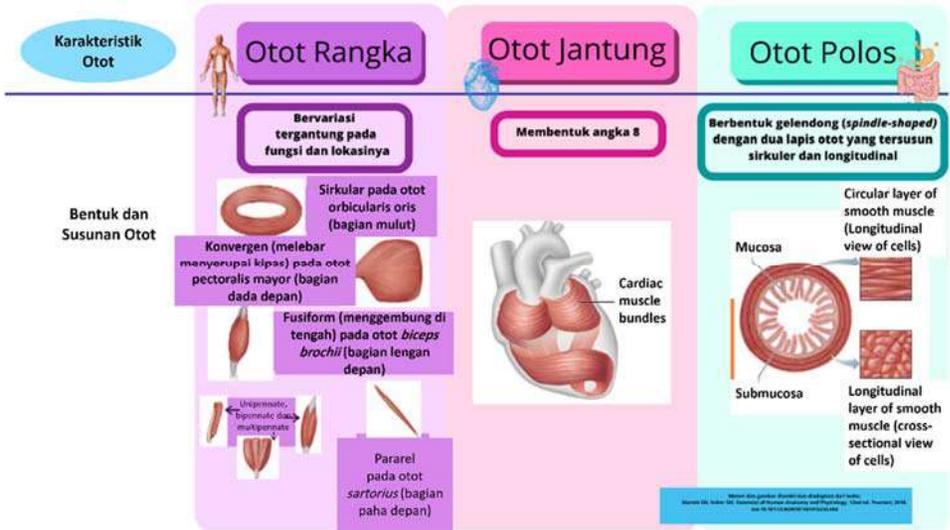
a. Karakteristik dan jenis otot

Secara umum jaringan otot manusia dibagi menjadi tiga jenis, yaitu otot rangka, otot jantung, dan otot polos. Masing-masing otot tersebut memiliki karakteristik yang spesifik berdasarkan fungsinya seperti dijelaskan pada Gambar 5.1.

| Karakteristik Otot | Otot Rangka | Otot Jantung | Otot Polos |
|------------------------|--|---|---|
| Tempat dalam tubuh | Menempel pada tulang atau pada wajah menempel pada kulit | Dinding jantung | Organ dalam |
| Bentuk sel | Sel tunggal silindris memanjang Sel Berinti banyak (multinukleat) Pola lurik (Striata) | Sel bercabang dengan cakram intekalasi (<i>intercalated disc</i>) Cakram Intekalasi (<i>intercalated disc</i>) Sel berinti tunggal (un/nukleat) | Sel berbentuk fusiform (mengecil diujung dan mengembung di tengah) Polos (nonstriated) |
| Komponen jaringan ikat | Endomysium Epimysium Perimysium Cells | Endomysium | Endomysium |

| Karakteristik Otot | Otot Rangka | Otot Jantung | Otot Polos |
|----------------------|---|---|--|
| Kecepatan Kontraksi | Lambat Cepat Cepat & kuat namun mudah lelah | Lambat | Sangat lambat |
| Ritme Kontraksi | Tidak memiliki ritme | Ritmis | Ritmis pada beberapa organ |
| Pengaturan Kontraksi | Sadar/sukarela, dikontrol oleh syarat pusat dan refleks | Tidak sadar, memiliki sistem pacu (<i>pacemaker</i>) internal, namun bisa dipengaruhi oleh saraf pusat dan hormon | Tidak sadar, namun bisa dipengaruhi oleh saraf pusat, hormone, zat kimia dan peregang usus |

Materi dan gambar diambil dan diadaptasi dari buku: Martini FH, Keller SR. *Textbook of Human Anatomy and Physiology*. Tenth ed. Pearson; 2016. doi:10.1016/C009118-11320-004



Gambar 5.1 Karakteristik Umum Jaringan Otot Berdasar Jenisnya.

b. Istilah-istilah umum dalam sistem otot

Berikut ini istilah umum dalam sistem otot yang dipahami terlebih dahulu sehingga memudahkan pemahaman pada subbab selanjutnya:

1) Serat otot (*muscle fiber*)

Otot rangka dan otot polos berbentuk panjang. Oleh karena itu, dua jenis otot ini juga disebut sebagai serat otot.

2) Filamen otot (*myofilaments*)

Pada otot terdapat dua jenis filamen otot, filamen ini memberikan kemampuan otot-otot berkontraksi dan berelaksasi.

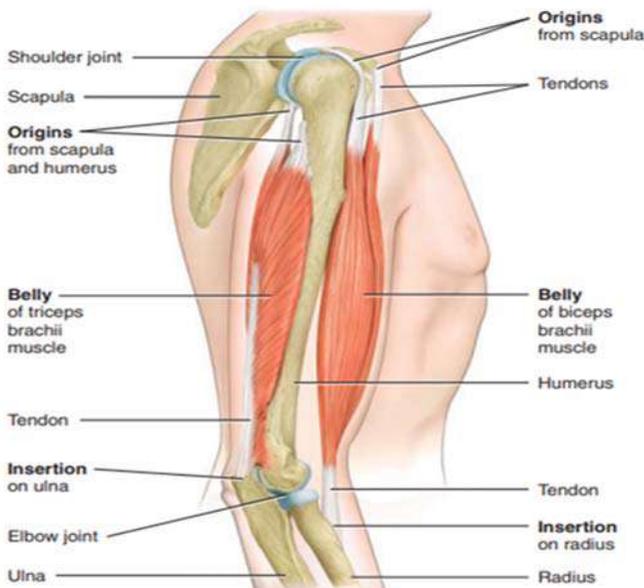
3) Sebutan Myo-, Mys-, dan Sarco-

Ketiga sebutan ini adalah sebutan yang spesifik untuk hal-hal yang berkaitan dengan otot.

2. Struktur dan Fungsi Jaringan Otot

a. Otot rangka

Otot rangka tidak melekat langsung pada tulang. Otot rangka menghasilkan gerakan dengan menarik tendon yang dilanjutkan dengan menarik tulang. Kebanyakan otot rangka menyilang setidaknya satu sendi dan melekat pada tulang artikulasi yang membentuk sendi. Terdapat tendon dan origo yang membantu pergerakan otot. Tendon berbentuk seperti kabel serat putih padat, jaringan ikat ini biasa menempel pada otot ke tulang. Saat otot berkontraksi, ia menarik satu tulang ke tulang lainnya. Dua tulang tersebut tidak bergerak sama. Satu dipegang hampir di posisi aslinya perlekatan otot (melalui tendon) ke tulang stasioner disebut origin. Ujung lainnya dari otot dipasang melalui tendon ke tulang yang dapat digerakkan pada suatu titik disebut insersio.



Gambar 5.2
Tendon
(Tortora dan Derrickson, 2010).

1) Gerakan otot

Saat bergerak, gerakan tubuh biasanya tidak hanya melibatkan aksi salah satu otot saja. Namun, lebih sering beberapa kelompok otot mengoordinasikan tindakan untuk memberikan gerakan yang mulus dan merata. Terdiri dari empat kategori utama otot yang bekerja bersama sebagai kelompok fungsional, yakni otot agonis, otot sinergis, antagonis, dan otot fixator.

- Otot agonis

Otot agonis disebut juga dengan penggerak utama. Otot ini yang mengerahkan sebagian besar kekuatan dalam suatu gerakan. Sebagai contoh, saat kita membengkokkan siku, maka otot bisep adalah agonis.

- Otot sinergis

Kebanyakan otot agonis memiliki otot lain untuk membantu gerakan yang dilakukan oleh otot agonis. Otot yang bekerja secara aditif untuk agonis dikenal sebagai otot sinergis. Proses untuk menambah kekuatan agonis, sinergis membantu menstabilkan gerakan atau membatasi rentang gerakan dari agonis.

- Otot antagonis

Perlu diketahui bahwa otot hanya dapat menarik dan tidak dapat mendorong. Proses untuk membalikkan aksi agonis, otot pelengkap atau sekelompok otot harus bekerja ke arah yang berlawanan. Otot antagonis bekerja oposisi terhadap agonis. Selain mengembalikan tubuh bagian ke posisi semula, antagonis menyempurnakan kontrol agonis. Otot antagonis memoderasi kecepatan dan berbagai agonis yang membantu melindungi tubuh dari kerusakan otot atau persendian. Sebagai contoh, otot trisep di sepanjang punggung lengan atas adalah antagonis terhadap bi-

sep. Bicep adalah agonis dan tricep adalah antagonis saat kita menekuk siku, peran mereka terbalik ketika kita meluruskan siku kita, posisi tricep menjadi agonis dan bicep menjadi antagonis.

- Otot *fixator*

Otot *fixator* adalah otot yang mencegah tulang bergerak ke arah yang tidak diinginkan. Misalnya, ketika kita ingin menekuk siku, otot bicep melakukan sebagian besar pekerjaan. Bicep terhubung ke tulang belikat atau *scapula* pada asalnya dan pada jari-jari saat masuknya. Otot *fixator* yang menempel pada *scapula* mencegahnya bergerak saat bicep berkontraksi, memastikan bahwa energi dari bicep berkonsentrasi pada gerakan jari-jari, bukan tulang belikat.

Selain itu, dalam pergerakannya terdapat mekanisme gerak otot yang dilakukan. Berikut ini adalah mekanisme gerak otot:

| | |
|-------------------------------|------------------------------|
| Fleksor (bengkok) | Ekstensor (meluruskan) |
| Supinasi (menengadah) | Pronasi (tertelungkup) |
| Depresor (menurunkan) | Lepator (menaikkan) |
| Sinergis (searah) | Antagonis (berlawanan) |
| Dilatator (melebarkan) | Konstriktor (menyempitkan) |
| Adduktor (dekat) | Abduktor (jauh) |
| Endorotasi (memutar ke dalam) | Eksorotasi (memutar keluar) |
| Dilatasi (memanjangkan) | Kontraksi (memendekkan otot) |

2) Sebutan dan sifat otot rangka

Dalam membahas otot rangka, terdapat tiga kata kunci yang dapat diingat, yaitu kerangka tubuh, lurik, dan sukarela. Otot rangka merupakan kesatuan dari serabut-serabut (serat) otot yang melekat pada tulang rangka. Otot ini menutupi kerangka

manusia dan memberinya lekuk dan bentuk tubuh. Otot rangka ini dikenal sebagai otot lurik karena motifnya yang beralur/bergaris, dan juga disebut sebagai otot sadar/sukarela karena merupakan satu-satunya otot yang bekerja di bawah kontrol secara sadar.

Meskipun masuk dalam golongan otot sukarela, otot ini tetap dapat distimulasi oleh refleks. Otot ini dapat bereaksi dalam konteks refleks tanpa perintah yang diminta. Lebih lanjut, otot ini dicirikan dengan kemampuannya untuk berkontraksi dengan cepat, tetapi mudah lelah. Jaringan otot dibungkus oleh jaringan ikat yang membuatnya menyatu dan menguatkan otot sehingga tidak robek ketika mengangkat beban atau beraktivitas.

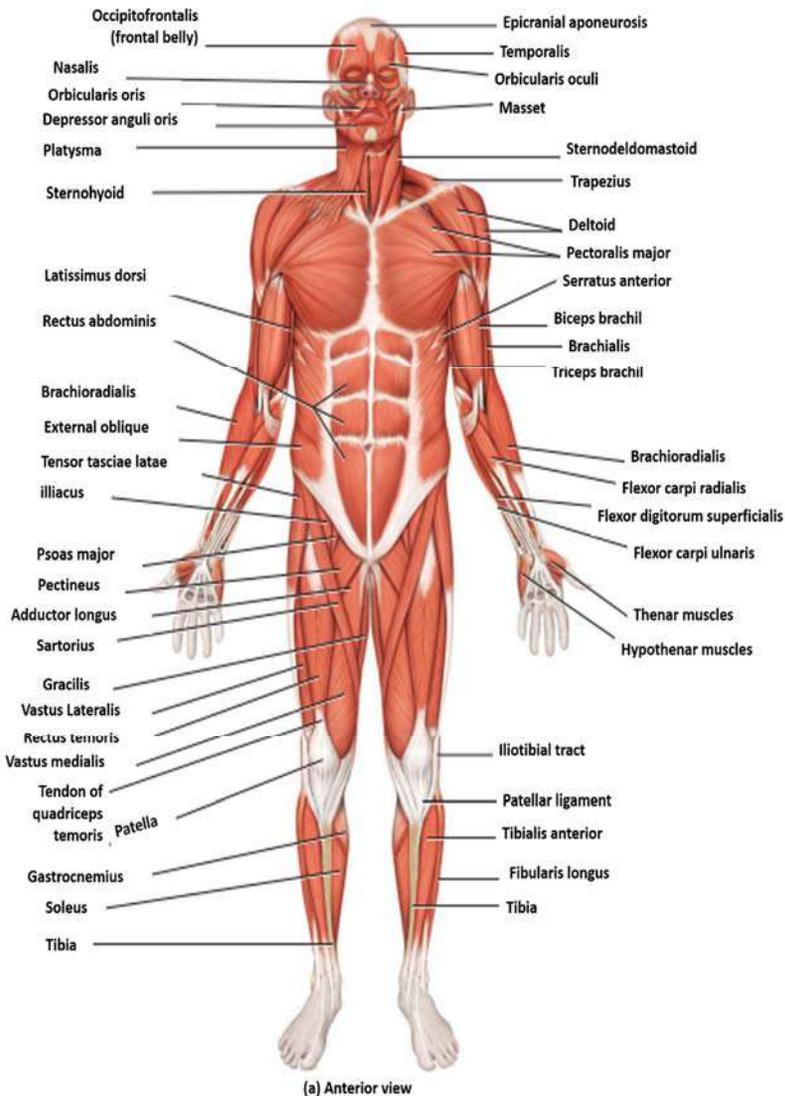
3) Struktur otot rangka

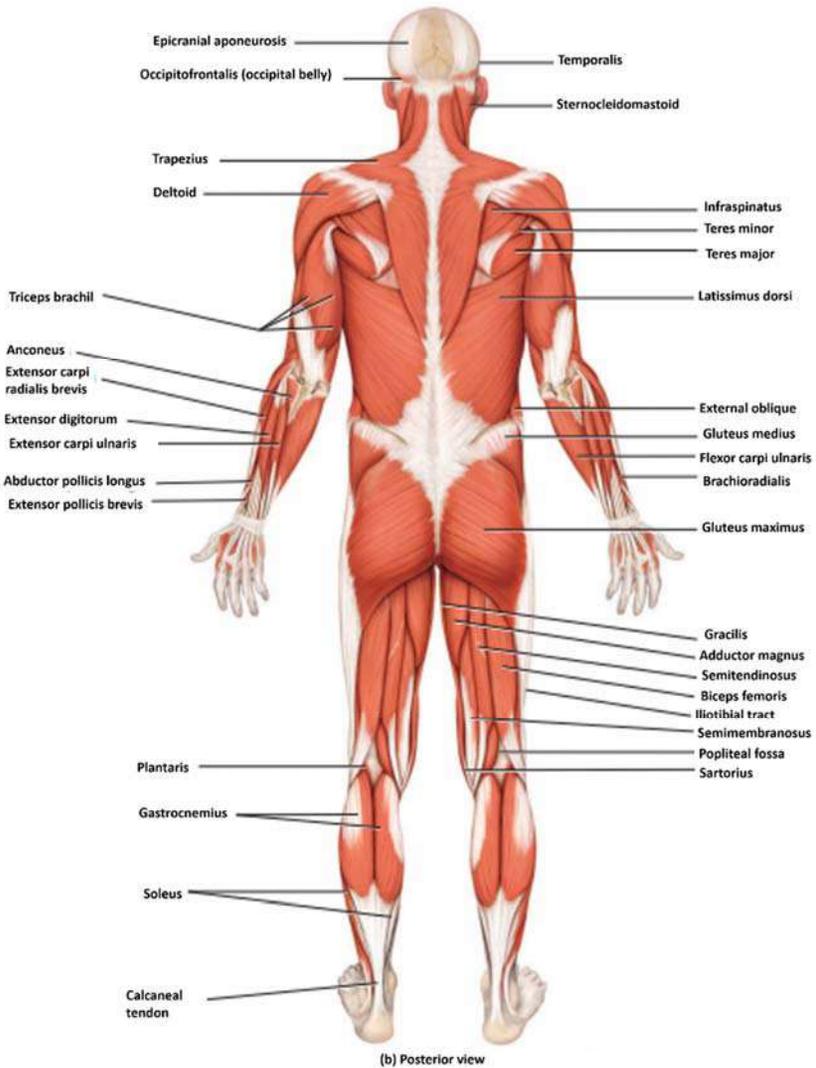
Otot rangka bersifat lembut dan rapuh sehingga otot ini dikuatkan oleh jaringan ikat yang disebut endomisium pada setiap serat ototnya. Beberapa serat-serat otot yang dibungkus endomisium ini selanjutnya akan disatukan oleh perimisium sehingga membentuk fasikel otot (*fascicle*). Fasikel-fasikel otot ini selanjutnya dibungkus oleh jaringan ikat yang lebih kuat disebut epimisium yang membungkus otot secara menyeluruh. Ujung epimisium ini akan menyatu dan membentuk tendon yang akan melekat pada tulang, kartilago atau selaput pembungkus jaringan lain.

Bentuk otot dapat bervariasi tergantung bagaimana serat mereka tersusun. Ada otot yang membentuk gelendong (kumparan) dengan ujung tendon yang mengecil dan bagian tengah otot yang menggelembung, tetapi ada juga otot yang berbentuk seperti kipas atau juga berbentuk lingkaran.

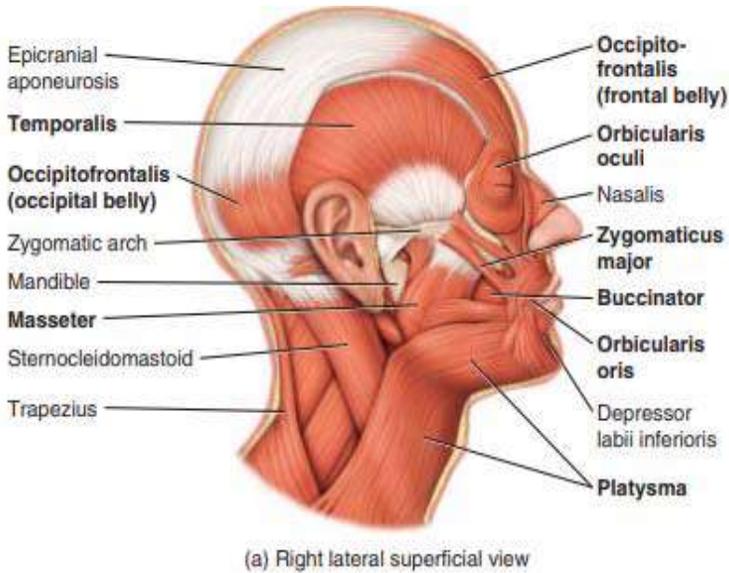
4) Tendon

Tendon adalah sebuah jaringan ikat yang kuat tersusun dari serat kolagen. Selain memiliki fungsi utama untuk melekatkan otot pada tulang/rangka, tendon juga berfungsi sebagai jaringan yang mendukung ketahanan dan menghemat ruang. Hal itu karena kekuatannya, dia mampu melindungi otot-otot yang mudah robek dari permukaan tulang yang kasar.





Gambar 5.3
Otot Rangka Anterior dan Posterior View
 (Tortora dan Derrickson, 2010).



Gambar 5.4
Otot Wajah
(Tortora dan Derrickson, 2010).

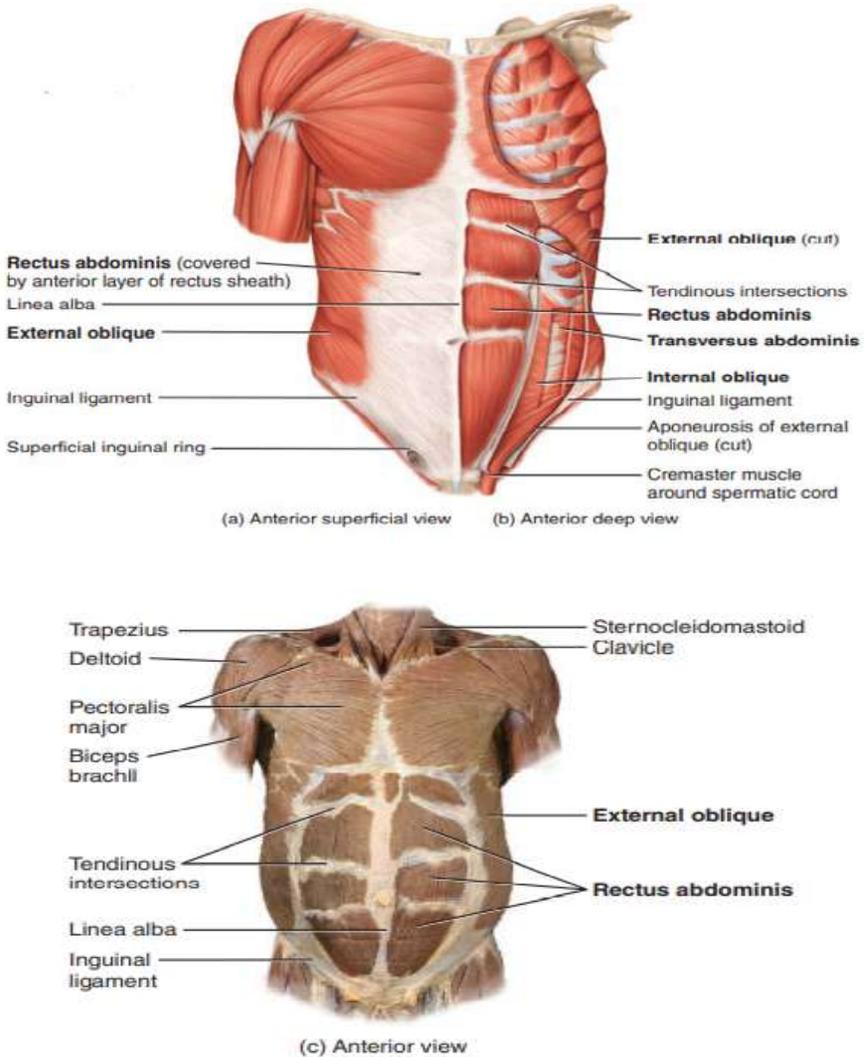
➤ Otot wajah

| Otot | Deskripsi | Origo dan Inseri | Aksi |
|--------------------|--|---|----------------------------------|
| Oksipito frontalis | Lapisan otot dan tendon yang lebar di bagian atas dan samping tengkorak tersusun, terutama dari otot frontalis dan oksipitalis | | |
| Frontalis | Otot yang tipis dan lebar di dahi | O-galea aponeurotika I-Kulit Alis | Menaikkan alis ekspresi terkejut |
| Oksipitalis | Otot tipis dan lebar di atas dasar tengkorak | O-prosesus mastoid tulang temporal I-galea apneurotika | Menarik kulit kepala ke belakang |

| | | | |
|------------------------------------|---|--|--|
| Orbikularis Mata | Otot lebar dan tipis yang melingkari orbita dan membentuk bagian kelopak mata | O-dinding medial orbit (tulang frontal dan maksila) I-sirkumferensia orbita, kelopak mata bawah | Menutup mata (otot sfingter kelopak mata) memungkinkan kedipan dan kerlingan mata |
| Levator Kelopak mata atas | Otot tipis antara bagian belakang orbital tulang | O-langit langit orbita I-kulit kelopak mata atas dan kelopak mata atas | Mengangkat kelopak mata atas |
| Zigomatikus mayor dan minor | Pasangan otot antara tulang pipi dan sudut mulut | O-tulang zigomatikus I-sudut mulut | Menarik sudut mulut ke atas dan keluar |
| Platisma | Otot superfisial pipih tidak berpasangan yang merentang dari depan toraks atas, di sepanjang leher menuju sudut mulut | O-fasia dada dan bahu I-mandibula otot dan kulit bagian bawah wajah | Menarik bibir bawah dan sudut mulut ke bawah, ekspresi ketakutan, kerutan kulit di leher |
| Orbikularis Mulut | Terdiri dari serabut otot yang arahnya berbeda dan mengitari mulut | O-serabut otot disekitar mulut I-sudut mulut, secara superfisial, kulit bibir | Mengatupkan, mengerutkan, dan memajukan bibir |
| Businator | Otot pipi utama | O-regia molar maksila dan mandibular I-otot orbikularis mulut (di bawah), | Menekan pipi ke gigi, mengisap pipi, seperti saat meniup |

| | | | |
|-------------------------------|---|---|--|
| | | yang mengitari mulut | |
| Maseter | Otot multilapis yang kuat di sudut rahang bawah | O-orkus zigomatikus, maksila I-sudut dan permukaan lateral pada ramus mandibular | Elevasi mandibular (mengatupkan rahang) |
| Pterigoideus medialis | Otot berkepala dua yang tebal di bagian dalam rahang bawah, terletak antara sudut rahang bawah dan rahang atas | O-permukaan medial lempeng pterigoid lateral tulang sfenoid I-permukaan dalam mandibular dekat sudutnya | Elevasi mandibula (mengatupkan rahang) menggerakkan mandibular dari satu sisi ke sisi lain (gerak mengunyah) |
| Pterigoideus lateralis | Otot pendek berkepala dua yang terulur mulai dari bagian kondilus mandibular menuju bagian belakang tulang mata | Permukaan lateral, sayap lebih lebar, dan lempeng pterigoid lateral tulang sfenoid I-sisi anterior kondilus mandibular, kapsul sendi temporomandibular | Protraksi mandibula (membuka rahang, menggerakkan mandibula dari satu sisi ke sisi lain) |

➤ Otot perut

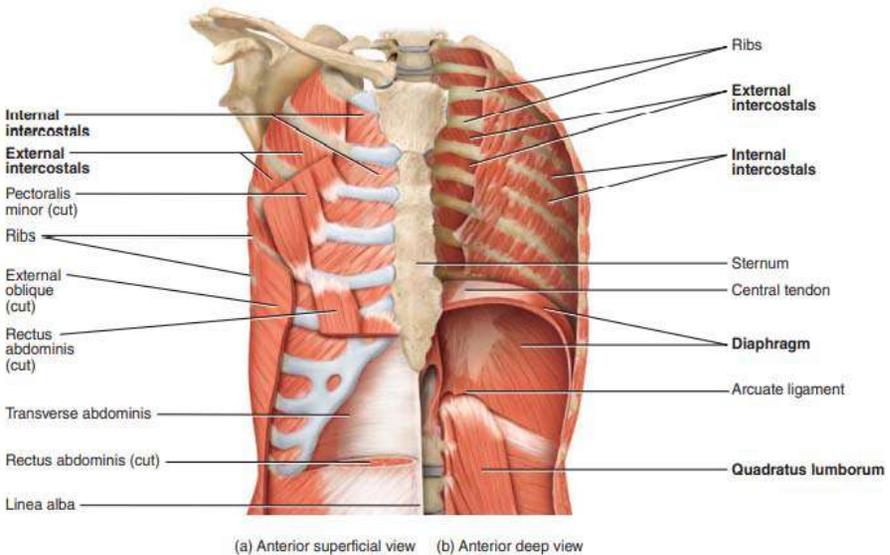


Gambar 5.5
Otot Perut
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

| Otot | Deskripsi | Origo dan Inseri | Aksi |
|--------------------------|---|--|--|
| Rektus Abdominis | Biasa dikenal dengan otot sixpack merupakan dua otot panjang medial yang dipisahkan oleh pita tendon dan merentang secara vertikal. Bagian tendon merentang secara horizontal dan menembus bagian otot panjang, membagi otot menjadi empat bagian | O-krista pubis, ligamen simfisis pubis I-kartilago kostal iga kelima sampai ketujuh dan prosesus xifoid | Fleksi dan rotasi kolumna vertebra, menarik bagian sternum ke pubis, kompresi abdomen berfungsi untuk memperbesar tekanan pada bagian intraabdominal |
| Oblikus Eksternus | Otot terbesar terletak paling superfisial dari tiga otot pada permukaan lateral dan anterior abdomen, aponeurosis membentuk ligamen inguinal antara trunkus dan paha, serabut tersusun oblik | O-iga bawah ke-8 I-linea alba, krista iliaka, pubis melalui aponeurosis ke prosesus xifoid | Kontraksi didua sisi mengkompresi abdomen, memfleksi kolumna vertebra dan memperbesar tekanan volume intraabdominal, kontraksi disalah satu sisi membungkukkan columna vertebralis ke arah lateral |
| Oblikus Internus | Oblik internus terletak pada bagian dalam ke luar, serabut tersusun dari oblik, tetapi hanya | O-krista iliaka, ligamen inguinal, fascia ikat torako-lumbal | Kontraksi dikedua sisi mengkompresi abdomen, memfleksi columna vertebra, dan memperbesar tekanan volume |

| | | | |
|------------------------------|--|---|---|
| | pada sudut kanan ke oblikus eksternus | I-kartilago kostal dari enam iga terakhir, linea alba | intraabdominal, kontraksi disalah satu sisi membungkukkan columna vertebralis ke arah lateral |
| Transversus Abdominis | Bagian terdalam dari tiga otot pipih pada dinding abdominal, serabut tersusun secara transversal di bawah oblikus internus | O-krista iliaka, ligamen inguinal, fascia ikat torako-lumbal, kartilago kostal dari enam iga terakhir, linea alba I-linea alba, prosesus xifoid, pubis | Konstruksi abdomen, kompresi isi abdomen |

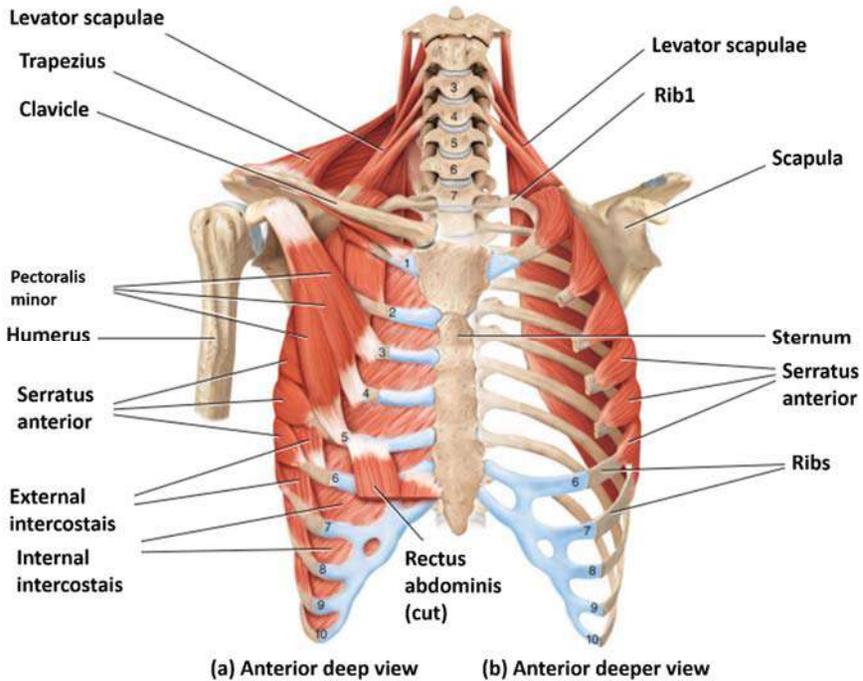
➤ Otot dada yang membantu pernapasan



Gambar 5.6
Otot Dada yang Membantu Pernapasan
(Tortora dan Derrickson, 2010).

| Otot | Deskripsi | Origo dan Inseri | Aksi |
|-------------------------------|--|---|---|
| Diafragma | Septum muskulo-fibrosa lebar dan berbentuk kubah (dalam keadaan relaks) yang memisahkan rongga toraks dan rongga abdominal, membentuk dasar rongga toraks dan langit-langit rongga abdominal, memiliki pintu untuk lintasan aorta, vena, kava interior, dan esofagus | O-prosesus xifoid, kartilago kostal iga keenam, vertebra lumbal I-tendon sentral | Kontraksi menarik diafragma ke arah bawah untuk memperlebar diameter toraks ke arah vertikal saat inspirasi |
| Interkostalis Eksterna | Sebelas pasang otot yang terletak di antara iga yang berdekatan di setiap sisi | O-tepi inferior iga di atas otot I-tepi superior iga di bawah otot | Merupakan otot sinergis diafragma, elevasi iga dan meningkatkan volume pada rongga toraks |
| Interkostalis Interna | Sebelas pasang otot yang melewati celah antar iga yang bersebelahan dari sisi internal ke dan dari sudut kanan interkostalis eksterna | O-permukaan inferior iga dan kartilago kostal I-tepi superior iga di bawah otot | Menurunkan (depresi) iga dan memperkecil volume rongga toraks, menyatukan iga yang bersebelahan |

➤ Otot bahu yang menggerakkan *pectoral gridel*

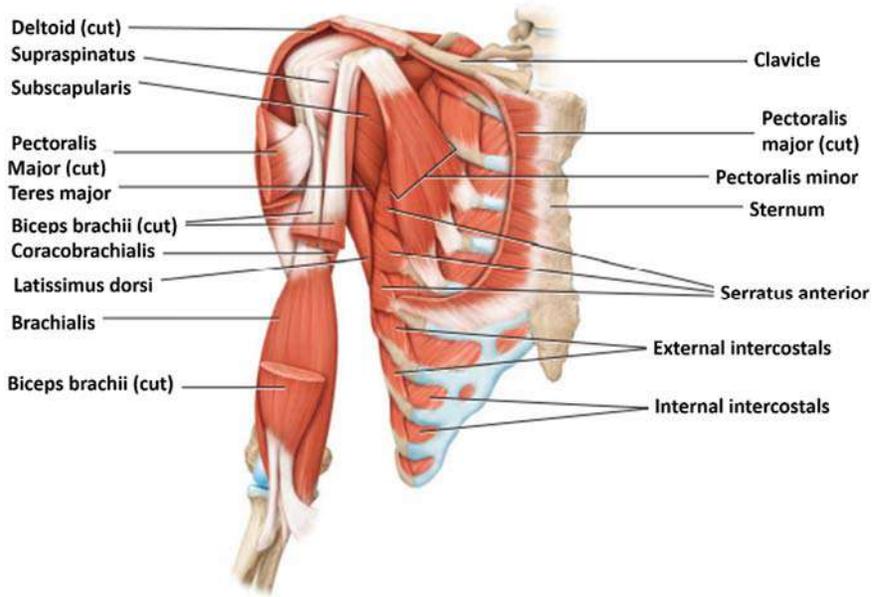


Gambar 5.7
Otot Bahu yang Menggerakkan Pectoral Gridel
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

| Otot | Deskripsi | Origo dan Inseri | Aksi |
|-----------|--|--|---|
| Trapezius | Otot superfisial triangular pipih yang melapisi bagian belakang leher dan bahu | O-ligamentum nuchae tulang oksipital, spina vertebra serviks ketujuh dan semua vertebra toraks I-klavikula, prosesus acromion dan spina scapula | Mengelevasi, merotasi, menstabilkan, bagian scapula, serabut bawah menurunkan bagian scapula, ketika posisi bahu tegak dan menarik kepala ke belakang |

| | | | |
|--------------------------|---|---|--|
| Levator scapula | Otot tipis seperti pita antara scapula dan vertebra leher terletak di sisi superior rhomboid minor dan di bawah trapezius | O-prosesus transversa pada C1 sampai C4 I-tepi vertebral (medial) scapula | Elevasi, retraksi, dan keseimbangan scapula, saat scapula dalam posisi tegak menarik leher ke arah yang sama |
| Pektoralis minor | Otot triangular tipis di antara scapula dan iga lebih dalam dari pektoralis mayor | O-ujung anterior iga ke 3, 4, 5 dan aponeurosis di atas otot intercostal I-prosesus korakoid scapula | Menarik ujung glenoid scapula ke depan dan ke bawah, rotasi scapula, menarik rongga iga ke arah superior saat scapula dalam posisi tegak |
| Serratus anterior | Otot besar juga lebar, melekat pada rangkaian iga luar dan merentang di sekitar punggung scapula | O-tepi superior dari tulang iga ke 8 sampai ke 9, aponeurosis pada intercostal I-permukaan anterior (dalam) pada sudut superior. Tepi (medial) vertebral, dan sudut inferior scapula | Menarik scapula ke depan, rotasi scapula, menahan scapula pada dinding dada |

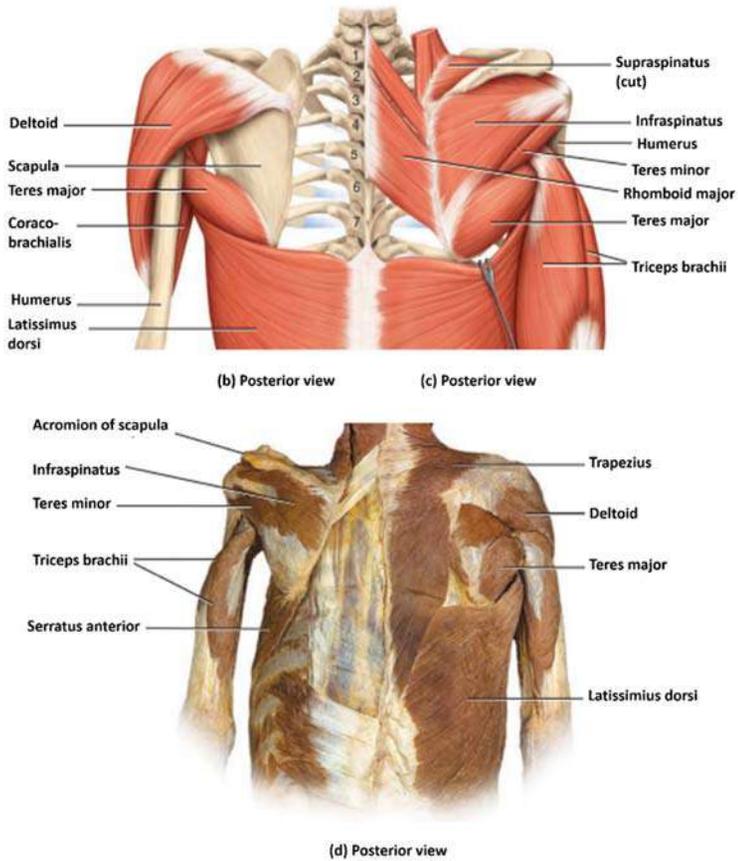
➤ Otot bahu yang menggerakkan humerus



Gambar 5.8
Otot Bahu yang Menggerakkan Humerus
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

| Otot | Deskripsi | Origo | Inversi | Aksi |
|-----------------|---|---|---------|---|
| Pektrolis Mayor | Otot tebal seperti kipas angin yang melapisi dada bagian depan | Klavikula, sternum, kartilago kostal iga ke 2 sampai 6 | Humerus | Fleksi, aduksi, dan rotasi lengan ke arah medial, mengangkat iga pada saat proses inspirasi |
| Latisimus Dorsi | Merupakan Otot triangular yang tebal dan lebar, membungkus toraks bawah dan bagian punggung | Spina pada 6 toraks terakhir semua lumbal dan vertebrata sacral | Humerus | Ekstensi, aduksi, dan rotasi lengan ke arah medial, menarik bahu ke arah bawah dan belakang |

| | | | | |
|----------------------|---|--|---------|--|
| Deltoideus | Otot triangular tebal dan besar yang membentuk masa bundar di atas bahu dan humerus bagian atas, sepertiga sisi lateral klavikula, proses akromion, dan spina scapula | Sepertiga sisi lateral klavikula, proses acromion, dan spina scapula | Humerus | Abduksi lengan, fleksi bagian anterior lengan ke arah dan rotasi lengan ke arah medial, ekstensi bagian posterior lengan dan rotasi lengan ke arah lateral |
| Subskapularis | Otot yang terdapat di bagian belakang scapula dan merupakan otot triangular yang besar | Fosa subscapular tulang belakang | Humerus | Rotator medial utama lengan membantu menahan kepala humerus dalam rongga glenoid menstabilkan persendian bahu |
| Supraspinatus | Otot yang mengisi fosa infraspinosa di bagian belakang scapula | Fosa supraspinosa scapula | Humerus | Abduksi lengan dan menstabilkan persendian bahu |
| Teres mayor | Otot tebal bulat yang terletak di sisi inferior otot teres minor | Permukaan posterior sudut inferior scapula | Humerus | Aduksi, ekstensi, rotasi lengan ke arah medial |



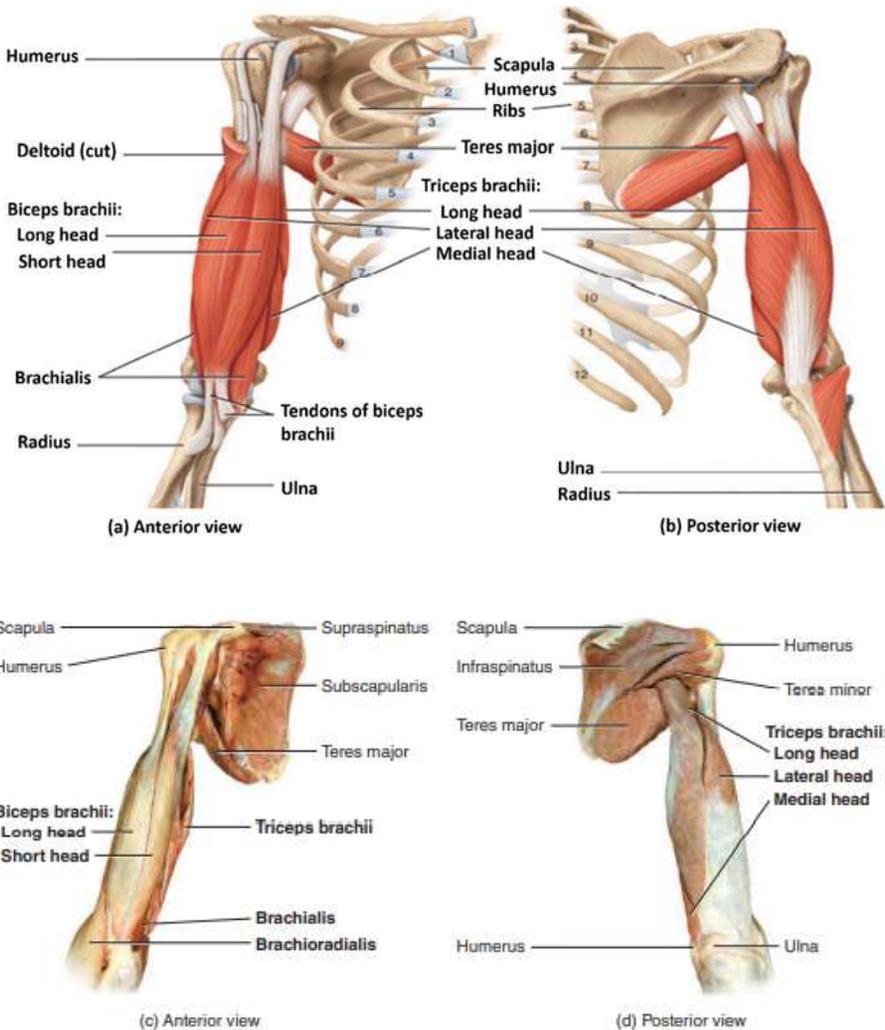
Gambar 5.9
Otot Bahu yang Menggerakkan Humerus
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

| Otot | Deskripsi | Origo | Inversi | Aksi |
|-----------------|--|---|---------|---|
| Pektrolis Mayor | Otot tebal seperti kipas angin yang melapisi dada bagian depan | Klavikula, sternum, kartilago kostal iga ke-2 - 6 | Humerus | Fleksi, aduksi, dan rotasi lengan ke arah medial, mengangkat iga pada |

| | | | | |
|------------------------|--|---|---------|--|
| | | | | saat proses inspirasi |
| Latisimus Dorsi | Otot yang membungkus bagian toraks bawah dan punggung, dan juga merupakan otot triangular tebal dan lebar | Spina pada enam toraks terakhir, semua lumbal dan vertebra sacral | Humerus | Ekstensi, aduksi, dan rotasi lengan ke arah medial, menarik bahu ke arah bawah dan belakang |
| Deltoideus | Otot triangular tebal dan besar yang membentuk masa bundar di atas bahu dan humerus bagian atas, sepertiga sisi lateral klavikula, prosesus akromion dan spina scapula | Sepertiga sisi lateral klavikula, prosesus acromion dan spina scapula | Humerus | Abduksi lengan, fleksi bagian anterior lengan ke arah dan rotasi lengan ke arah medial, ekstensi bagian posterior lengan dan rotasi lengan ke arah lateral |
| Subskapularis | Otot triangular besar yang menempati fosa subscapular di bagian belakang scapula | Fosa subscapular tulang belakang | Humerus | Rotator medial utama lengan, membantu menahan kepala humerus dalam rongga glenoid, |

| | | | | |
|------------------------|--|--|---------|---|
| | | | | menstabilkan persendian bahu |
| Supraspinatus | Otot pada bagian belakang scapula yang mengisi fosa infraspinosa | Fosa supraspinosa scapula | Humerus | Abduksi lengan dan menstabilkan persendian bahu |
| Infraspinosa | Otot yang mengisi fosa infraspinosa dibelakang scapula | Fosa infraspinosa scapula | Humerus | Rotasi lengan ke arah lateral, menstabilkan persendian bahu |
| Teres minor | Perpanjangan otot yang terletak antara scapula bawah dan lengan atas | Tepi bawah scapula (aksilar) | Humerus | Rotasi lengan ke arah lateral, menstabilkan persendian bahu |
| Teres mayor | Otot tebal bulat yang terletak di sisi inferior otot teres minor | Permukaan posterior sudut inferior scapula | Humerus | Aduksi, ekstensi, rotasi lengan ke arah medial |
| Korakobrakialis | Perpanjangan otot kecil yang membentang garis scapula ke lengan | Prosesus korakoid tulang scapula | Humerus | Fleksi dan aduksi lengan |

➤ Otot lengan yang menggerakkan radius dan ulna

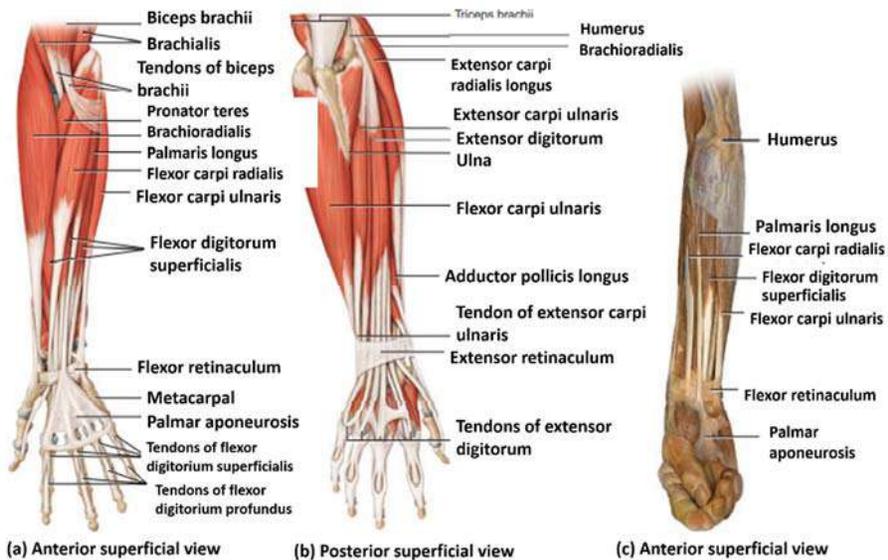


Gambar 5.10
Otot Lengan yang Menggerakkan Radius dan Ulna
(Tortora dan Derrickson, 2010).

| Otot | Deskripsi | Origo | Inversi | Aksi |
|----------------------------|---|---|---|---|
| Bisep Lengan | Otot berkepala dua pada bagian depan lengan membentuk tonjolan besar di atas lekuk siku | Kepala pendek prosesus korakoid pada scapula proximal, kepala panjang tuberositas di atas glenoid | Tuberositas tulang radius proximal melalui tendon besar | Fleksi lengan bawah pada persendian siku, supinasi lengan bawah, fleksi lengan pada bahu dengan lemah |
| Brachialis | Otot dalam di bawah bisep lengan yang melapisi separuh ke bawah lengan depan | Ujung distal sisi anterior humerus | Tuberositas dan prosesus koronoid ulna di sisi anterior | Fleksor yang kuat pada lengan bawah |
| Brakioradialis | Otot superfisial pada sisi radial (sisi ibu jari), siku dan lengan bawah | Tonjolan suprakondilar lateral pada humerus distal | Radius distal tepat di atas prosesus stiloid | Fleksor lengan bawah yang efektif, jika lengan bawah pada posisi sebagian terefleksi |
| Triceps Lengan Atas | Otot daging berkepala tiga, melapisi punggung lengan | Kepala Panjang pada tuberositas infraglenoid <i>scapula</i> , kepala lateral sisi posterior humerus di atas palung radial, kepala medial sisi | Prosesus olekranon ulna melalui tendon besar | Ekstensi lengan bawah |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | posterior humerus di bawah palung radial | | |
|--|--|--|--|--|

➤ Otot lengan bawah yang menggerakkan pergelangan tangan dan jari



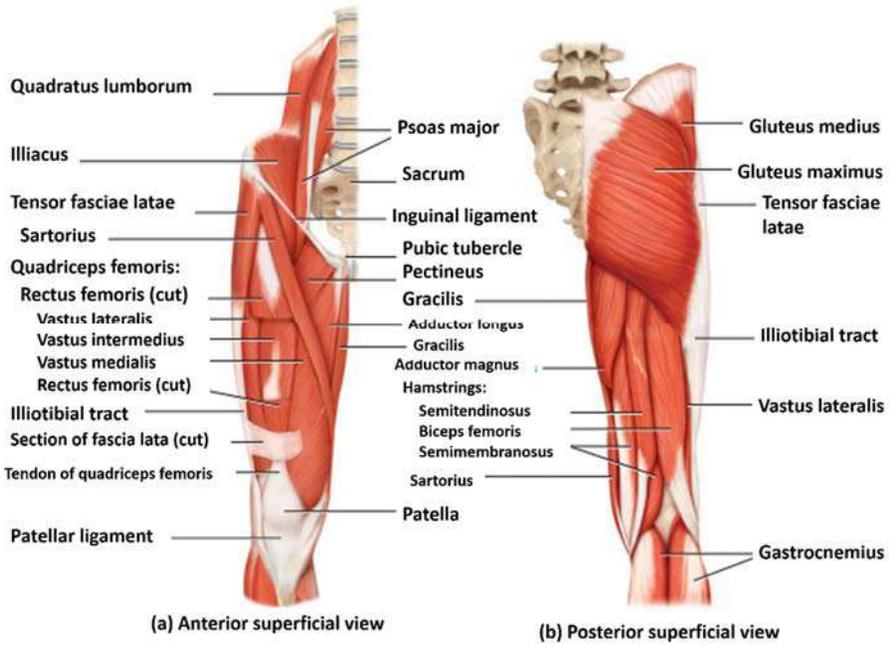
Gambar 5.11
Otot Lengan Bawah yang Menggerakkan Pergelangan Tangan dan Jari
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

| Otot | Deskripsi | Origo | Inversi | Aksi |
|----------------|---|------------------|---|---|
| Pronator Teres | Otot berkepala dua antara sisi medial humerus distal dan bagian tengah radius | Humerus dan ulna | Bagian tengah radius di permukaan lateral yang melewati bagian tendon besar | Pronasi lengan bawah dan tangan fleksi lengan bawah |

| | | | | |
|--|---|------------------|---|---|
| Brakioradialis | Otot superfisial pada sisi radial (sisi ibu jari) siku dan lengan bawah | Humerus distal | Radius distal tepat di atas prosesus styloid | Fleksor lengan bawah |
| Fleksor Pergelangan Tangan Radialis | Otot terletak oblik di antara sisi medial humerus distal dan sebagian dasar ibu jari tangan | Humerus | Tulang metacarpal kedua dan ketiga | Fleksi pergelangan tangan membantu abduksi lengan |
| Fleksor Pergelangan Tangan Ulnaris | Otot berkepala dua terletak di sepanjang permukaan medial lengan bawah di antara sisi medial (ulnar) humerus distal dan pergelangan tangan medial | Humerus dan ulna | Tulang pisiform dan hamatum pergelangan tangan, metacarpal kelima | Fleksi dan aduksi tangan |
| Flexor digitorum profundus | Berada di dalam | Ulna | Basis falang distal | Melenturkan tangan dan sendi pergelangan tangan |
| Extensor carpi ulnaris | Otot Panjang di bagian belakang lengan bawah sepanjang sisi tulang ulnar (kelinging) antara humerus distal dan tangan | Humerus | Metacarpal kelima | Ekstensi dan aduksi tangan |

| | | | | |
|--------------------|---|----------|------------------------------|-----------------------------|
| Extensor digitorum | Otot supervisial pada bagian lengan bawah | Humerus. | Tulang phalanx ke-2 dan ke-5 | Ekstensi dan abduksi tangan |
|--------------------|---|----------|------------------------------|-----------------------------|

➤ Otot gluteal



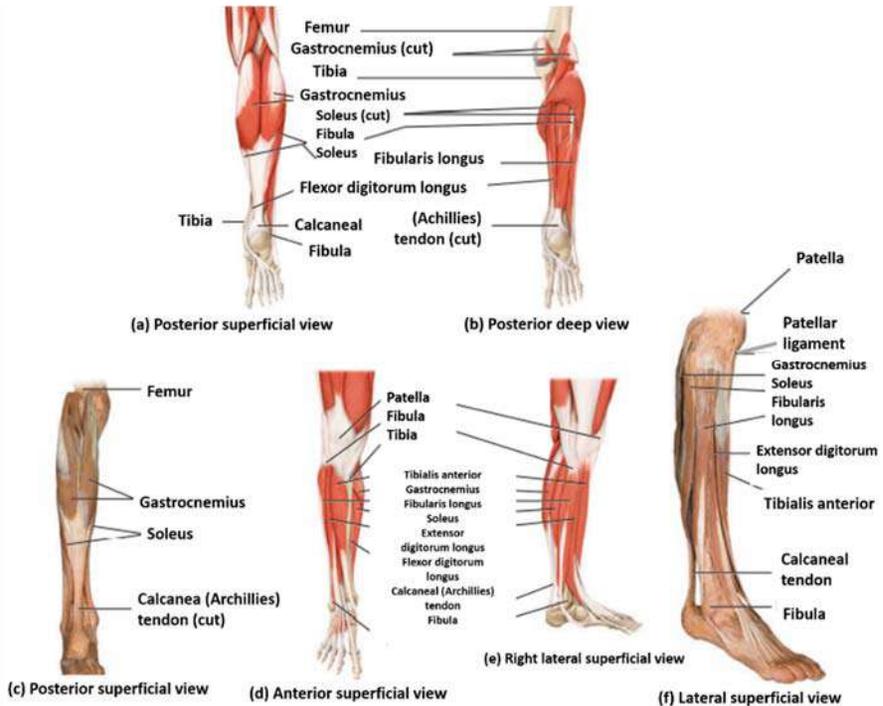
Gambar 5.12
Otot Gluteal
(Tortora dan Derrickson, 2010).

| Otot | Deskripsi | Origo | Inversi | Aksi |
|-----------------------|---|---|--|---|
| Psoas mayor | Otot panjang yang besar terletak di sisi lateral vertebra lumbal dan melewati pelvis ke bagian medial paha (femur) superior | Prosesus transversa, badan, dan diskus pada semua vertebra lumbal | Tronakter kecil pada femur distal | Fleksi paha, fleksi vertebra lumbal ke arah lateral, fleksi truncus saat paha tidak bergerak |
| Aduktor longus | Otot triangular yang terletak antara tulang pubis pelvis dan bagian tengah paha, otot medial adalah tepi medial segitiga femoral, paling anterior dari ketiga aduktor | Bagian depan pubis dekat simfisis pubis | Linea aspera tulang femur (sepertiga bagian tengah femur) | Aduksi, rotasi ke arah lateral, fleksi paha sebagai penyelarasan selama fleksi dan ekstensi paha |
| Aduktor magnus | Otot triangular besar yang terletak pada bagian medial paha di antara pubis dan ishium tulang pelvis dan sisi medial tulang femur bagian atas | Ramus inferior tulang pubis, ramus inferior tulang ishium, dan tuberositas iskial | Tuberkel pada kondilus medial tulang femur dan linea aspera tulang femur | Aduksi, rotasi ke arah lateral, dan fleksi paha, bagian inferior mengektensi paha (sinergis untuk urat paha), menjadi penyelarasan selama fleksi dan ekstensi |

| | | | | |
|---------------------------|---|---|--|---|
| Tensir fascia lata | Otot panggung lateral superfisial | Ujung anterior krista illaka bagian anterior superior spina illaka pelvis | Traktus iliotibial pada tibia | Menegangkan traktus iliotibial, membantu saat fleksi, abduksi, dan rotasi paha ke arah medial |
| Gluteus maksimus | Otot besar superfisial di bagian belakang panggul yang membentuk bagian terbesar bokong, terletak antara kolumna vertebra bagian bawah dan paha bagian superior | Ujung posterior krista illium, permukaan dorsal tulang sacrum, dan koksiks serta ligamen yang berkaitan | Traktus iliotibial pada fasialata, tuberositas gluteal pada tulang femur tuberositas | Ekstensi dan rotasi paha ke arah latral, eketensi panggul terhadap tahanan, seperti saat mengangkat trunkus setelah membungkuk melalui traktus iliotibial, otot ini menopang persendian lutut |
| Gluteus medius | Otot yang Sebagian superfisial pada panggul bagian superior (pelvis), otot terletak di atas pada sisi lateral tulang pelvis dan sisi superior tulang femur | Permukaan luar pada ilium | Tronkater besar tulang femur | Abduksi dan rotasi paha ke arah lateral selama berjalan berfungsi untuk menstabilkan pelvis pada femur |

| | | | | |
|------------|---|---|---------------------|--|
| Piriformis | Otot pyramidal di antara sacrum dan femur superior terletak di sepanjang gluteus medius inferior sampai gluteus minimus | Sakrum anterior dan tepi persambungan ilium | Femur tepi superior | Rotasi paha ke lateral, abduksi paha yang terfleksi, mestabilkan pelvis pada femur |
|------------|---|---|---------------------|--|

➤ Otot kaki yang menggerakkan kaki dan jari kaki



Gambar 5.13
 Otot Kaki yang Menggerakkan Kaki dan Jari Kaki
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

| Otot | Deskripsi | Origo | Inversi | Aksi |
|---------------------------|--|---|--|---|
| Gastroknemius | Otot betis supervisial berkepala dua terletak di antara bagian bawah paha dan tumit, menyilang pada persendian, membentuk tonjolan besar pada betis atas | Bagian bawah medial kepala femur, kondilus medial femur, kepala femur lateral, kondilus lateral femur | Melalui tendon kalkaneal (aciles) sampai tulang kalkaneus | Sebagai penggerak, plantar memfleksi bagian kaki, fleksi pada bagian tungkai lutut, |
| Tibialis anterior | Otot supervisial besar dan tebal yang terletak di sisi lateral dari tepi supevisial tibia (tulang kering) | Permukaan luar yang juga termasuk kondilus lateral pada bagian tengah sisi proximal dari tibia | Kuneiform medial dan bagian dasar metacarpal I kaki permukaan medial | Dorsi, fleksi kaki dan inversi kaki (telapak kaki digerakkan ke medial) |
| Tibialis Posterior | Otot Panjang lebih dalam dari soleus, terletak di sepanjang liberal tibia di belakang tibialis anterior | Bagian proksimal tibia dan fibula, membran interoseus di antara tibia dan fibula | Tendon membentang di bagian belakang malleolus media tulang tibia sampai ke beberapa tulang tarsal dan metatarsal (2,3, dan 4) di bawah kaki | Infersi kaki membantu pada fleksi plantar pada kaki |

b. Otot jantung

1) Sebutan dan sifat otot jantung

Kata kunci bagi otot jantung ini adalah jantung, lurik, dan tidak sadar. Otot jantung ini adalah otot yang hanya terdapat di satu tempat khusus, yaitu jantung. Otot ini memiliki penampakan seperti otot rangka, yaitu beralur (lurik), tetapi sistem kontrolnya seperti otot polos, yaitu tidak sadar. Otot jantung berfungsi mendukung fungsi jantung sebagai alat pemompa darah ke seluruh jaringan tubuh manusia.

Secara normal otot jantung berkontraksi secara ritmis dengan dipicu oleh fungsi pacu internal, tetapi pada kondisi tertentu detak jantung dapat meningkat oleh kontrol sistem saraf, contohnya pada kondisi kita berlari atau berolahraga.

2) Struktur otot jantung

Sel jantung dilengkapi dengan sejumlah kecil endomisium dan tersusun dalam bentuk spiral membentuk angka 8. Bentuk ini memungkinkan saat terjadi kontraksi, bagian bilik jantung menjadi mengecil dan memompa darah meninggalkan jantung serta masuk pada pembuluh darah arteri.

Sel otot jantung adalah sel bercabang yang tersambung satu sama lain dengan piringan interkalasi. Struktur spiral otot jantung, sel yang bercabang, dan cakram interkalasi mendukung fungsi jantung terkoordinasi dengan baik.

c. Otot polos

1) Struktur dan sifat otot polos

Kata kunci untuk mengingat otot ini adalah organ dalam, polos, dan tidak sadar. Sesuai dengan namanya, otot ini tidak memiliki pola garis (lurik) dan ditemukan sebagian besar pada dinding organ dalam tubuh manusia seperti lambung, usus, dan

kandung kemih. Otot ini bekerja dengan tidak sadar, berkontraksi dengan lambat, tetapi terus-menerus.

2) Struktur otot polos

Otot polos berbentuk kumparan, berinti tunggal, dibungkus sejumlah kecil endomisium. Otot ini tersusun dalam lapisan, umumnya dalam dua lapis dengan arah kontraksi yang berbeda (sirkuler dan longitudinal). Dengan sistem lapisan tersebut, otot polos dapat bekerja untuk memindahkan makanan pada saluran cerna dan mengosongkan usus.

3. Sistem Otot dan Fungsinya

Meskipun terdapat tiga jenis otot dalam tubuh, tetapi pada topik sistem otot fokus pembahasan adalah sistem otot rangka. Lebih lanjut, pembahasan pada subbab selanjutnya akan lebih fokus pada sistem otot rangka. Pembahasan tentang jantung, sistem pencernaan, dan kemih akan dibahas lebih spesifik pada bab sistem kardiovaskular, gastrointestinal, dan urinaria.

Sistem otot merupakan salah satu sistem tubuh manusia yang memiliki fungsi sebagai berikut:

a. Menghasilkan gerakan

Otot rangka merupakan organ yang bertanggung jawab pada pergerakan, termasuk pergerakan dalam merespons stimulus dari lingkungan luar tubuh. Gerakan ini juga membantu manusia untuk berekspresi, misalnya dengan tersenyum.

b. Menjaga postur dan posisi tubuh

Sistem otot ini menyesuaikan aktivitas kontraksi dan relaksasinya secara terus-menerus. Hal ini dilakukan dalam mengatur respons tubuh terhadap gaya gravitasi dan aktivitas kita, sehingga tubuh manusia dapat tetap tegak meskipun tertarik gaya gravitasi dan

mampu menyesuaikan posisi dan postur tubuh sesuai dengan aktivitasnya.

c. Menstabilkan sendi

Selain menarik rangka untuk bergerak, otot bersama tendon juga berfungsi menguatkan dan menstabilkan sendi pada sambungan antar tulang, terutama pada permukaan sendi yang lemah, seperti pada sendi bahu dan lutut.

d. Menghasilkan panas tubuh

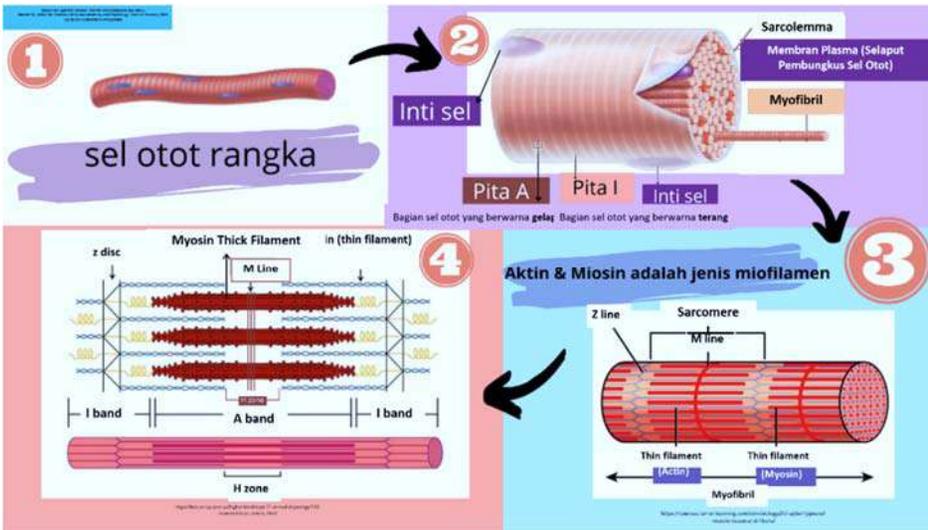
Saat melakukan kontraksi, otot akan melakukan metabolisme untuk menghasilkan energi. Produk metabolisme berupa energi ini sebagian besar dilepaskan dalam bentuk panas tubuh. Panas tubuh inilah yang sangat penting dalam menjaga suhu tubuh.

e. Fungsi tambahan lain

Selain fungsi otot di atas, otot rangka memiliki beberapa fungsi lain yang bersifat spesifik, misalnya otot rangka yang membentuk katup, dikontrol secara sadar di dekat organ dalam untuk melindungi organ dalam.

4. Struktur Mikroskopik Otot Rangka

Otot rangka jika dilihat secara mikroskopik memiliki beberapa komponen yang harus diketahui dan dipahami karena kepentingannya dalam proses kontraksi otot. Struktur mikroskopik otot rangka ini akan menjabarkan struktur dalam sel otot.



Gambar 5.14
Struktur Mikroskopik Otot Rangka

5. Mekanisme Kontraksi dan Relaksasi Otot Rangka

a. Kemampuan fungsional khusus serat otot

Untuk menjalankan fungsinya, serat otot memiliki empat kemampuan fungsional khusus, yaitu iritabilitas, kontraktilitas, ekstensibilitas, dan elastisitas.

- 1) Iritabilitas atau biasa disebut sebagai kemampuan menerima dan kecepatan tanggap terhadap stimulus (responsivitas).
- 2) Kontraktilitas adalah kemampuan untuk memendek dengan stimulus yang mencukupi.
- 3) Ekstensibilitas adalah kemampuan serat otot untuk meregang.
- 4) Elastisitas adalah kemampuan otot untuk kembali ke ukuran semula setelah mengalami peregangan.

b. Stimulus saraf dan potensial aksi

1) Komponen yang berperan dalam stimulus saraf ke sel otot

Untuk dapat berkontraksi, sel otot harus distimulasi oleh impuls saraf sehingga memunculkan potensial aksi. Namun, sebelum membahas lebih lanjut tentang mekanisme kontraksi, terlebih dulu kita akan membahas tentang komponen-komponen yang berperan dalam mekanisme tersebut.

a) Unit neuron motorik

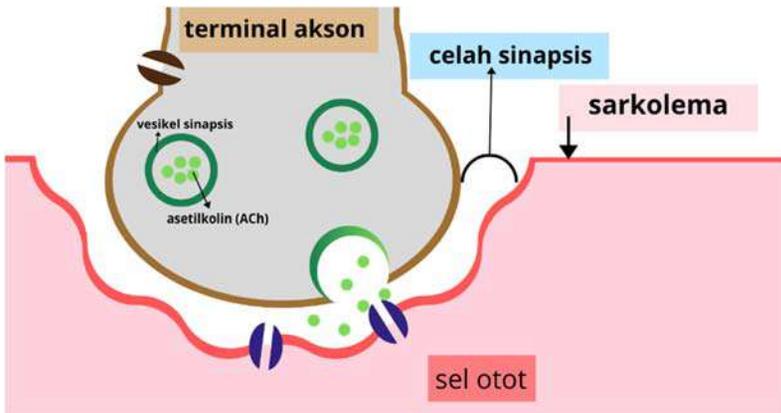
Neuron (sel saraf) memiliki kemampuan untuk menstimulasi sel/serat otot yang bervariasi jumlahnya. Setiap unit sel saraf dan beberapa serat otot yang mampu distimulasi oleh sel saraf tersebut, selanjutnya disebut sebagai satu unit neuron motorik.

b) Terminal akson

Akson adalah perpanjangan dari neuron, akson ini diselubungi oleh selubung mielin. Pada ujung akson yang membentuk sambungan dengan sarkolema (membran sel otot) disebut dengan terminal akson.

c) Sambungan neuromuskular (*neuromuskular junction*)

Sambungan neuromuskular (neuro=saraf; muskular=otot) merupakan sambungan antara terminal akson dengan permukaan sarkolema. Meskipun disebut sambungan, tetapi kedua komponen ini tidak pernah bersentuhan (memiliki celah di antaranya).



Gambar 5.15
Jembatan Neuromuskular (*Neuromuscular Junction*).

d) Celah sinapsis (*synaptic cleft*)

Celah ini merupakan celah di antara sambungan neuromuskular yang berisi cairan interstitial. Celah sambungan ini juga berisi neurotransmitter yang disebut asetilkolin (ACh) yang bertugas menghantarkan rangsangan ke otot. Asetilkolin dilepaskan dari vesikel sinapsis di terminal akson.

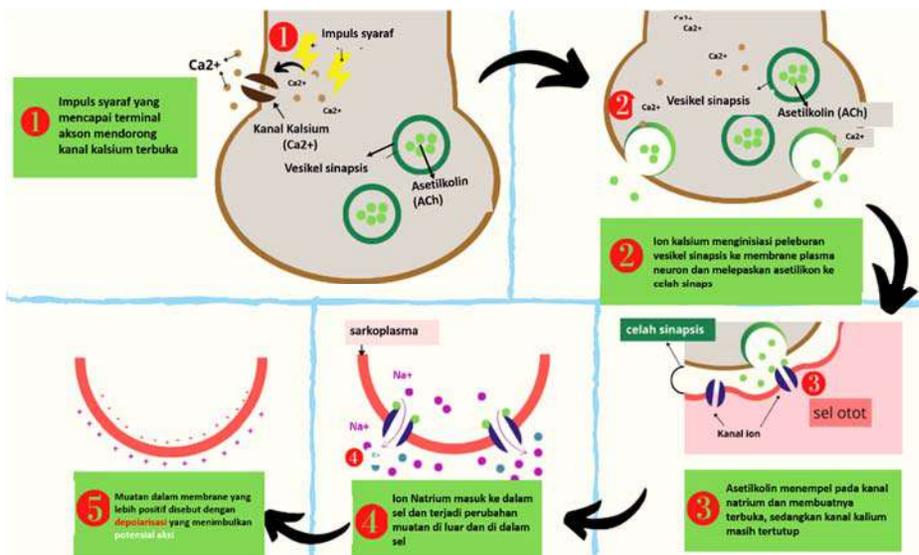
2) Potensial aksi

Potensial aksi terbentuk melalui beberapa tahap berikut ini:

- a) Impuls saraf mencapai terminal akson dan membuka akses kanal kalsium masuk ke terminal akson.
- b) Masuknya kalsium membuat vesikel sinapsis melebur di membran plasma terminal akson dan melepaskan asetilkolin ke cairan interstitial.
- c) Asetilkolin menyeberangi celah sinapsis dan menempel pada reseptor asetilkolin di permukaan sarkolema yang berlekuk-lekuk.
- d) Ikatan asetilkolin membuka kanal yang dapat dilewati natrium ke dalam sel yang merubah muatan listrik pada bagian dalam membran menjadi positif (karena banyaknya ion

Na^+) yang disebut depolarisasi. Pergerakan ion ini menghasilkan potensial aksi yang terus-menerus terjadi di sarkolema. Menghantarkan listrik dari satu sel otot ke sel otot lain yang menghasilkan kontraksi.

- e) Enzim *asetilkolinesterase* memecah ACh pada celah sinapsis dan mengakhiri proses transmisi impuls saraf. Sel otot selanjutnya akan melakukan transpor aktif untuk mengembalikan kadar natrium dan kalium sesuai kondisi semula (kondisi istirahat).



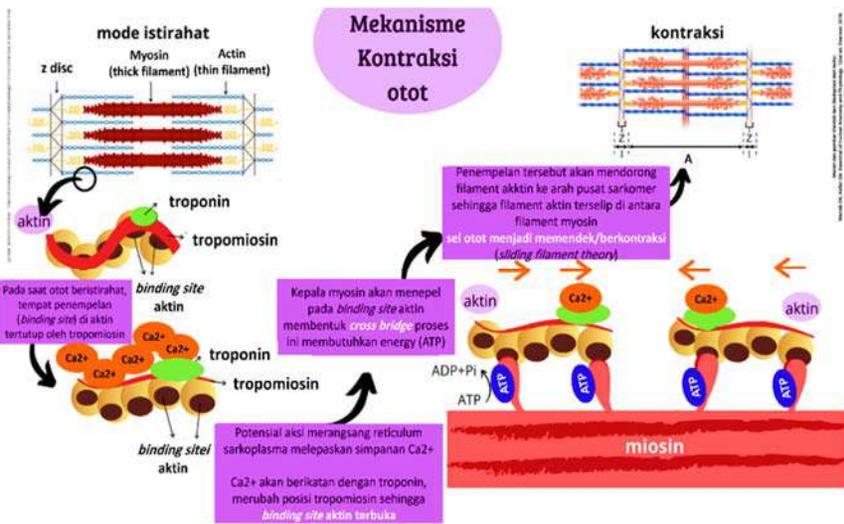
Gambar 5.16
Mekanisme Terjadinya Potensial Aksi.

c. Mekanisme kontraksi dan relaksasi otot

Setelah terjadinya transmisi impuls saraf yang menghasilkan potensial aksi, selanjutnya akan terjadi kontraksi otot yang dikenal dengan *cross bridge: the sliding filament theory* melalui beberapa tahapan berikut ini:

- 1) Potensial aksi akan merangsang retikulum sarkoplasmik untuk melepaskan ion kalsium (Ca^{2+}) ke dalam sitoplasma.

- 2) Ion kalsium akan menempel di protein aktin yang disebut troponin, ikatan ini akan merubah bentuk tropomiosin, dan membuka *binding site* aktin.
- 3) Kepala miosin selanjutnya akan menempel ke *binding site* aktin membentuk *cross bridge*. Proses ini terjadi dengan bantuan energy dari pemecahan ATP menjadi ADP
- 4) Penempelan ini akan menghasilkan tekanan yang menarik aktin ke pusat sarkomer menghasilkan gerakan *sliding* (filamen aktin terselip di antara susunan filamen miosin), yang membuat sel otot memendek (kontraksi).
- 5) Saat potensial aksi berakhir, ion kalsium akan dikembalikan ke retikulum sarkoplasma untuk disimpan. Saat ion kalsium dikembalikan, penempelan aktin, dan miosin tidak terjadi serta otot masuk dalam fase relaksasi.



Gambar 5.17
Mekanisme Kontraksi Otot Rangka.

d. Penyediaan energi untuk kontraksi otot

Otot manusia, pada kenyataannya hanya menyimpan sedikit sekali ATP yang tersedia untuk kontraksi otot. Sedangkan, pada aktivitas manusia yang terus-menerus, kontraksi otot juga akan terus-menerus terjadi. Hal tersebut mendorong tubuh untuk dapat mampu menyediakan ATP dari sumber lain selain ATP langsung dari otot.

Tubuh manusia memiliki tiga jalur untuk menjadi sumber ATP tersebut di samping ATP yang tersedia di otot sebagai berikut:

- 1) Fosforilasi ADP oleh kreatinin fosfat (*Creatine Phosphate*: CP). Otot menyimpan CP lima kali lebih banyak dibandingkan dengan cadangan ATP, tetapi cadangan ini juga hanya dapat bertahan dalam jangka waktu yang pendek.
- 2) Jalur Aerobik. Jalur ini menyediakan sekitar 95% ATP untuk kontraksi otot saat tubuh beristirahat atau pada aktivitas ringan. Jalur ini terjadi di mitokondria sel dan melibatkan jalur metabolisme yang membutuhkan oksigen. Secara keseluruhan, proses ini disebut dengan fosforilasi oksidatif. Jalur ini membentuk ATP dengan jumlah besar 32 ATP tiap satu molekul glukosa, tetapi tidak dapat menyediakan ATP dalam waktu cepat.
- 3) Glikolisis anaerob. Jalur ini merupakan jalur yang mampu menyediakan ATP dengan proses yang relatif cepat, tetapi ATP yang dihasilkan berjumlah sedikit (dua ATP setiap molekul glukosa). Proses ini terjadi di sitosol dan tidak membutuhkan oksigen. Pada kondisi oksigen masih mencukupi untuk respirasi aerob, asam piruvat yang dihasilkan dari glikolisis akan masuk dalam siklus aerob. Namun, dalam kondisi aktivitas yang intens dan oksigen tidak tersedia, asam piruvat akan diubah menjadi asam laktat yang ditandai dengan rasa pegal pada otot.

e. Kontraksi otot isometrik dan isotonik

Kontraksi atau kerja otot dapat digolongkan menjadi dua jenis, yaitu kontraksi isometrik dan kontraksi isotonik. Pada sebuah aktivitas fisik, umumnya melibatkan dua jenis kontraksi tersebut meskipun salah satunya dapat lebih dominan. Pengertian kedua jenis kontraksi tersebut dijelaskan di bawah ini:

1) Kontraksi isometrik

Kontraksi otot isometrik menghasilkan tekanan pada otot tanpa terjadi pergerakan pada tungkai. Aktivitas isometrik (atau dapat juga disebut sebagai latihan ketahanan atau kekuatan otot) meliputi kegiatan yang pengulangannya rendah untuk melawan/menahan benda resistansi tinggi. Contoh kegiatan ini, seperti *weightlifting* dan *body building*.

2) Kontraksi isotonik

Kontraksi otot isotonik menghasilkan pergerakan tungkai tanpa merupakan tekanan pada otot. Aktivitas isotonik (atau disebut juga dengan aerobik dan dinamik) melibatkan pergerakan pengulangan yang tinggi (*high repetition*). Contoh kegiatan ini adalah berenang, berlari, dan lain-lain.

C. Rangkuman

1. Umum jaringan otot manusia dibagi menjadi tiga jenis, yaitu otot rangka, otot jantung, dan otot polos.
2. Otot rangka tidak melekat langsung pada tulang. Otot rangka menghasilkan gerakan dengan menarik tendon yang dilanjutkan dengan menarik tulang.
3. Otot terdiri dari empat kategori utama yang bekerja bersama sebagai kelompok fungsional, yakni otot agonis, otot sinergis, antagonis, dan otot fixator.
4. Tendon adalah sebuah jaringan ikat yang kuat yang tersusun dari serat kolagen. Selain memiliki fungsi utama untuk melekatkan otot

pada tulang/rangka, tendon juga berfungsi sebagai jaringan yang mendukung ketahanan dan menghemat ruang.

5. Otot jantung ini adalah otot yang hanya terdapat di satu tempat khusus, yaitu jantung. Otot ini memiliki penampakan seperti otot rangka, yaitu beralur (lurik), tetapi sistem kontrolnya seperti otot polos, yaitu tidak sadar.
6. Otot polos adalah organ dalam, polos, dan tidak sadar. Sesuai dengan namanya, otot ini tidak memiliki pola garis (lurik) dan ditemukan sebagian besar pada dinding organ dalam tubuh manusia seperti lambung, usus, dan kandung kemih.
7. Otot rangka jika dilihat secara mikroskopik memiliki beberapa komponen yang harus diketahui dan dipahami karena kepentingannya dalam proses kontraksi otot.
8. Untuk menjalankan fungsinya, serat otot memiliki empat kemampuan fungsional khusus, yaitu iritabilitas, kontraktilitas, ekstensibilitas, dan elastisitas.
9. Untuk dapat berkontraksi, sel otot harus distimulasi oleh impuls saraf sehingga memunculkan potensial aksi.
10. Neuron (sel saraf) memiliki kemampuan untuk menstimulasi sel/serat otot yang bervariasi jumlahnya. Akson adalah perpanjangan dari neuron, akson ini diselubungi oleh selubung mielin. Sambungan neuromuskular merupakan sambungan antara terminal akson dengan permukaan sarkolema. Celah ini merupakan celah di antara sambungan neuromuskular yang berisi cairan interstitial.

D. Evaluasi

1. Serabut otot dapat kembali ke ukuran semula setelah berkontraksi atau meregang merupakan ciri sistem otot
 - a. Kontraktilitas
 - b. Elastisitas**
 - c. Ekstensibilitas

- d. Eksitabilitas
 - e. Antagonis
2. Otot involuter, tidak berlurik yang biasa ditemukan pada dinding berongga disebut otot
- a. Otot jantung
 - b. Otot lurik
 - c. **Otot halus**
 - d. Otot rangka
 - e. Otot perut
3. Arah gerak otot fleksor dan ekstensor adalah arah gerak otot yang disebut dengan
- a. Otot agonis
 - b. Otot sinergis
 - c. Otot gerak
 - d. **Otot antagonis**
 - e. Otot halus
4. Kontraksi otot yang berfungsi untuk mempertahankan suhu tubuh normal merupakan fungsi sistem muskuler sebagai
- a. Pergerakan
 - b. Alat gerak aktif
 - c. Penopang
 - d. **Produksi panas**
 - e. Mempertahankan postur
5. Berikut ini merupakan salah satu sifat dari otot rangka adalah
- a. **Volunter**
 - b. Involunter
 - c. Miofilamen aktin tipis

- d. Bekerja terus menerus
 - e. Berada pada dinding berongga
6. Otot wajah yang memiliki aksi menekan pipi ke gigi, mengusap pipi seperti saat meniup
- a. Otot oksipital
 - b. Otot buccinator**
 - c. Otot frontalis
 - d. Otot maseter
 - e. Otot platysma

BAB VI

SISTEM SARAF

A. Tujuan Pembelajaran

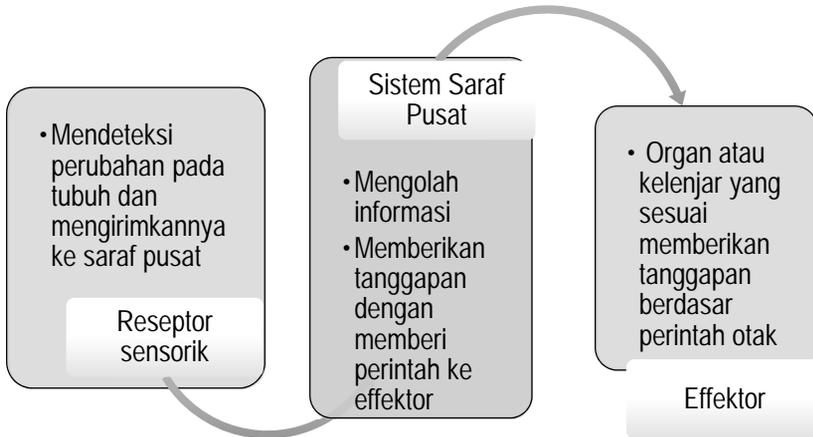
Pada bab ini, mahasiswa akan mempelajari tentang gambaran umum sistem saraf, fungsi sistem saraf, jaringan penyusun sistem saraf, mekanisme kerja neuron, dan sistem saraf pusat dan tepi. Tujuan dari pembelajaran dalam bab ini adalah mahasiswa memahami dan mampu menjelaskan tentang sistem saraf manusia.

B. Materi Pembelajaran

1. Gambaran Umum Sistem Saraf Manusia

Sistem saraf manusia adalah sebuah sistem yang terdiri atas beberapa organ yang saling berkaitan antara lain otak, saraf tulang belakang, serabut-serabut saraf, dan reseptor sensorik. Sistem ini adalah sebuah sistem kontrol yang memiliki sifat cepat tanggap sebagai bagian dari kemampuan manusia dalam merespons baik stimulus internal (perubahan suhu tubuh, oksigen, gula darah, dan lain-lain) maupun eksternal (suhu lingkungan, suara, cahaya, dan lain-lain).

Secara umum, mekanisme sistem saraf merespons stimulus ini dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 6.1
Mekanisme Sistem Saraf dalam Merespons Stimulus.

2. Fungsi Sistem Saraf

Sistem saraf ini berfungsi sebagai pusat kontrol utama tubuh dan seluruh sistem dalam tubuh berada dalam pengaturan sistem saraf ini. Fungsi sistem saraf diwujudkan dalam bentuk menyediakan fungsi mental (berpikir) tertinggi dan ekspresi emosional, memelihara homeostasis, dan regulasi aktivitas otot juga kelenjar. Sistem ini berfungsi dengan cara melakukan komunikasi melalui pengiriman-pengiriman sinyal baik dalam bentuk sinyal listrik maupun sinyal kimia. Kegagalan sistem ini dalam berfungsi akan berdampak pada kegagalan fungsi organ-organ yang lain.

Sistem saraf secara normal memiliki tiga fungsi yang saling bekerja secara tumpang tindih, sebagai berikut:

a. Input sensorik

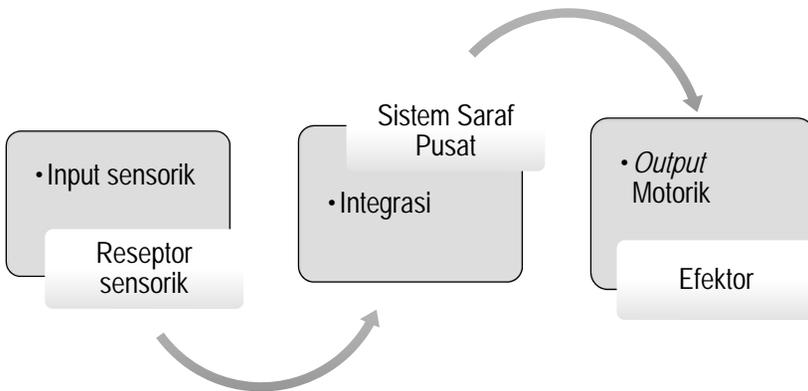
Input sensorik adalah proses pengawasan atas perubahan yang terjadi di dalam dan di luar tubuh yang disebut sebagai stimulus.

b. Integrasi

Proses ini meliputi tahapan memproses dan menginterpretasikan input yang masuk dan memutuskan tindakan yang akan dilakukan tubuh sebagai respons.

c. *Output* motorik

Tubuh akan memberikan respons dengan mengaktifkan otot atau kelenjar (efektor) melalui *output* motorik.



3. Klasifikasi Sistem Saraf

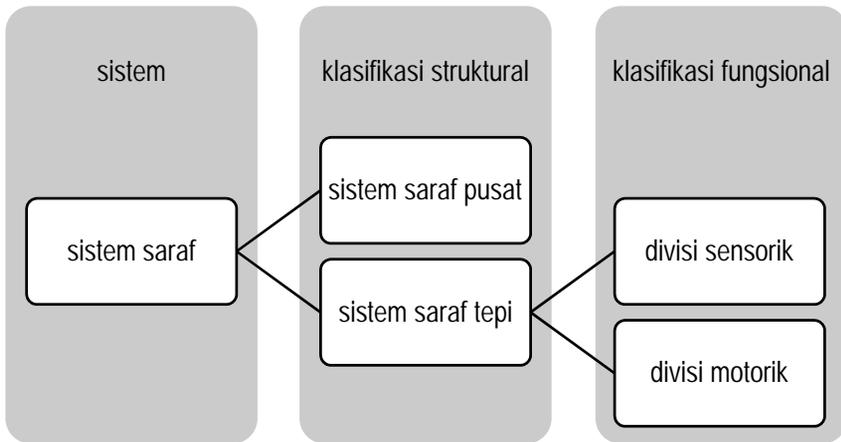
Untuk memudahkan dalam mengingat dan memahami sistem saraf, sistem ini diklasifikasikan dalam beberapa jenis klasifikasi. Namun demikian, sistem saraf ini pada kondisi riil bekerja sebagai unit terkoordinir (tidak terpisah-pisah) baik secara fungsional maupun struktural.

a. Klasifikasi struktural

Klasifikasi struktural ini membagi sistem saraf menjadi dua subdivisi, yaitu sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi.

b. Klasifikasi fungsional

Klasifikasi fungsional ini hanya fokus pada susunan sistem saraf tepi yang dibagi menjadi dua subdivisi utama.



Gambar 6.2
Klasifikasi Sistem Saraf Pusat.

1) Divisi sensorik

Divisi sensorik ini dikenal juga dengan divisi *afferent*, terdiri dari saraf (tersusun atas kumpulan serabut saraf) yang menyampaikan impuls ke saraf pusat dari reseptor sensorik yang tersebar di seluruh tubuh.

Serabut sensorik ini mengantarkan impuls yang didapat dari:

- a) Kulit, otot rangka dan sendi yang disebut serabut sensorik somatik (*somatic fibers*).
- b) Organ dalam yang disebut serabut sensorik *visceral* (*visceral fibers*).

2) Divisi motorik

Divisi motorik ini merupakan divisi yang mengantarkan impuls dari saraf pusat ke organ efektor (otot dan kelenjar) yang menyebabkan adanya respons motorik.

Divisi ini terbagi menjadi dua subdivisi:

- a) Sistem saraf somatik

Yaitu sistem saraf yang secara sadar mengontrol otot rangka tubuh atau juga disebut sebagai saraf sadar.

b) Sistem saraf otonom

Sistem saraf otonom atau sistem saraf tidak sadar mengatur kegiatan yang sifatnya otomatis atau tanpa sadar, seperti aktivitas otot polos, otot jantung, dan kelenjar.

Sistem saraf otonom selanjutnya akan terbagi menjadi sistem saraf simpatik dan parasimpatik yang memiliki fungsi yang saling berkebalikan.

4. Jaringan Penyusun Sistem Saraf

Jaringan penyusun sistem saraf sel-sel saraf yang terbagi menjadi sel pendukung (sel glia) dan sel neuron.

a. Sel-sel pendukung

Sel-sel pendukung ini disatukan sebagai neuroglia atau sel glial atau glia. Neuroglia ini terdiri atas berbagai sel yang mendukung, membungkus, dan melindungi serabut halus neuron. Masing-masing jenis sel yang menyusun neuroglia memiliki fungsi spesifik.

1) Sel neuroglia pada sistem saraf pusat

- **Astrofit:** sel bentuk bintang yang jumlahnya hampir setengah dari setengah jaringan saraf. Sel ini menghubungkan antara neuron dan pembuluh darah kapiler untuk memberikan nutrisi kepada neuron, di satu sisi sel ini berfungsi melindungi neuron dari zat berbahaya yang terdapat dalam darah. Sel ini berfungsi dalam mengatur komponen kimia dalam otak.
- **Mikroglia:** sel berbentuk laba-laba yang memantau kesehatan neuron terdekat dan membuang zat sisa, seperti sel otak yang mati dan bakteri.
- **Sel ependimal:** neuroglia yang melapisi rongga sentral pada otak dan sumsum tulang belakang. Sel ini memiliki silia yang membantu dalam sirkulasi cairan serebrospinal

yang mengisi rongga dan membentuk bantalan berbentuk cairan yang melindungi sel saraf pusat.

- Oligodendrosit, yaitu neuroglia yang memiliki serabut yang disebut prosesus berbentuk pipih yang membungkus rapat serabut saraf dan menghasilkan selubung lemak yang disebut selubung mielin.

Sel neuroglia ini memiliki ciri spesifik yang membedakan sel ini dengan neuron, yaitu:

- Sel neuroglia tidak dapat menghantarkan impuls.
- Sel neuroglia selalu memiliki kemampuan membelah diri (memperbanyak diri) → sehingga biasanya tumor otak dibentuk oleh neuroglia.

2) Sel neuroglia pada sistem saraf tepi

- Sel schwann, yaitu neuroglia yang membentuk selubung mielin pada sistem saraf tepi.
- Sel satelit yang melindungi dan memberikan lapisan bantalan bagi tubuh sel neuron saraf tepi.

b. Neuron

Neuron atau sel saraf adalah sel yang memiliki kemampuan khusus untuk menghantarkan pesan (impuls saraf) dari satu bagian tubuh ke tubuh yang lain.

1) Struktur anatomi neuron

- Badan sel
Badan sel merupakan pusat metabolik dari neuron, di dalam badan sel terdapat nukleus, mitokondria, neurofibril, dan retikulum endoplasma kasar yang disebut sebagai ba-

dan nissl. Badan sel neuron ini ditandai dengan tidak adanya sentriol.

- Prosesus

Prosesus atau disebut sebagai serabut. Serabut ini dibagi menjadi dua:

- Dendrit yang menyampaikan sinyal elektrik ke badan sel.
- Akson, yaitu serabut yang menghasilkan impuls saraf dan membawa impuls tersebut ke efektor. Pada bagian terminalnya akson akan membentuk percabangan yang disebut terminal akson yang mengandung neurotransmitter asetilkolin (seperti pada pembahasan bab sistem muskular).

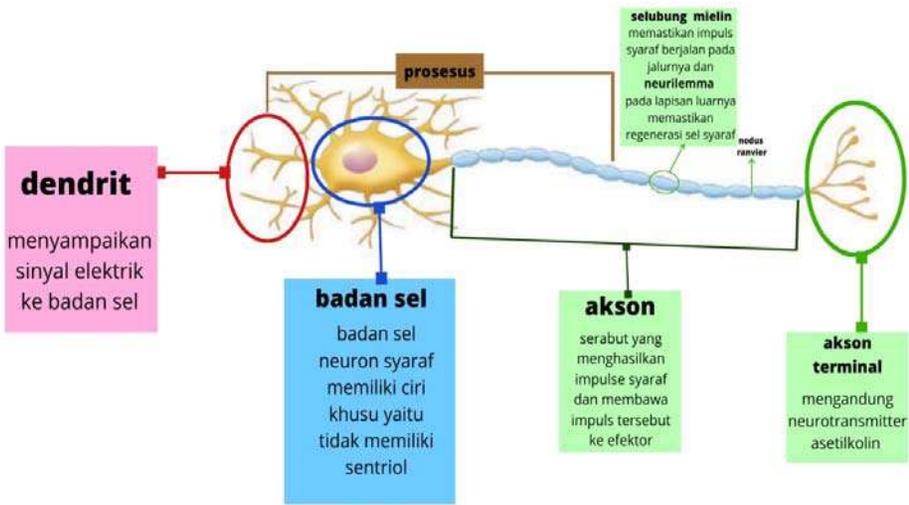
Dalam satu sel saraf, sel tersebut dapat memiliki ratusan cabang dendrit, tetapi hanya memiliki satu akson.

- Selubung mielin

Sebagian besar serabut saraf panjang dibungkus oleh selubung mielin yang merupakan selaput putih yang tersusun atas lemak berbentuk seperti *wax*/lilin.

Selubung ini memastikan sinyal listrik berjalan sesuai jalurnya. Pada sistem saraf tepi bagian terluar, selubung mielin disebut neurilemma yang berfungsi sebagai pengatur regenerasi serabut saraf. Selain itu, juga terdapat jeda antarselubung mielin disebut dengan nodus ranvier.

Sedangkan, pada sistem saraf pusat selubung mielin tidak memiliki neurilemma dan sel oligodendria yang membentuk selubung mielin berbentuk hamparan panjang yang dapat menutup banyak serabut dalam satu waktu, karena kemampuannya membentuk banyak selubung mielin.



Gambar 6.3
Struktur Anatomi Sel Saraf.

2) Klasifikasi

a) Klasifikasi fungsional

Secara fungsional neuron dibagi sebagai berikut:

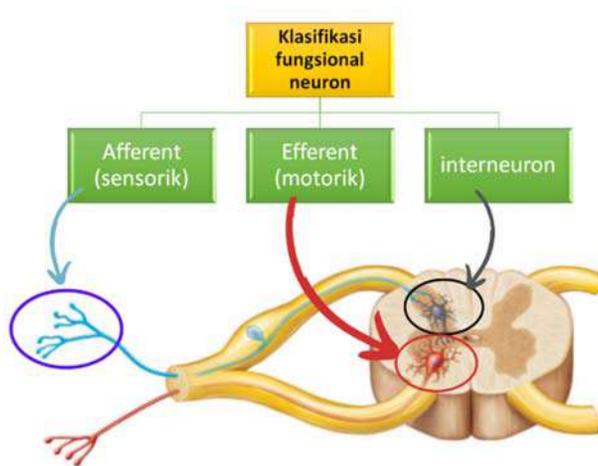
- Neuron sensorik (*neuron afferent*)

Neuron sensorik memiliki badan sel yang terletak di ganglion-ganglion di luar sistem saraf pusat. Neuron ini berfungsi untuk memastikan saraf pusat selalu menerima informasi tentang perubahan di dalam dan di luar tubuh.

Dendrit neuron ini selalu terhubung dengan reseptor khusus pada indera yang mendeteksi perubahan-perubahan di sekitar.

Contoh, neuron sensorik ini adalah proprioceptor yang mendeteksi peregangan, tekanan pada sistem otot rangka.

- Neuron motorik (*neuron efferent*)
Pada jenis neuron ini badan sel terletak pada sistem saraf pusat.
- Interneuron
Interneuron atau neuron asosiasi adalah neuron yang menghubungkan antara neuron sensorik dan neuron motorik dan badan sel biasanya terletak pada saraf pusat.



Gambar 6.4
Klasifikasi Fungsional Neuron
(Sumber: Marrieb & Keller (2018), dengan Penyesuaian Berupa Penambahan Keterangan).

b) Klasifikasi struktural

Klasifikasi struktural ini didasarkan pada jumlah prosesus, meliputi jumlah total akson dan dendrit yang menjalar dari badan sel.

- Multipolar
Jika sebuah neuron memiliki beberapa dendrit dan satu akson, neuron ini disebut dengan neuron multipolar.

- Bipolar

Neuron dengan dua prosesus dengan satu akson dan satu dendrit disebut dengan neuron bipolar.

- Unipolar

Neuron ini memiliki satu prosesus yang muncul dari badan sel, seperti jalan buntu (tonjolan keluar) pada jalan utama yang dibentuk oleh akson.

5. Mekanisme Kerja Neuron

a. Kemampuan spesifik neuron

Neuron memiliki kemampuan yang menunjang fungsinya, yaitu:

- Iritabilitas, yaitu kemampuan neuron untuk mengubah stimulus/rangsangan dan merubahnya menjadi impuls saraf.
- Konduktivitas, yaitu kemampuan untuk mentransmisikan impuls ke neuron yang lain ataupun otot dan kelenjar.

b. Muatan listrik pada neuron dan potensial aksi

Neuron bekerja untuk menghantarkan impuls saraf melalui perubahan muatan pada membran sel nya. Perubahan-perubahan muatan tersebut dapat dikategorikan menjadi beberapa fase, yaitu fase istirahat (polarisasi), depolarisasi, dan repolarisasi.

1) Memahami muatan listrik pada membran sel neuron yang beristirahat

Membran sel neuron yang beristirahat atau tidak aktif disebut dengan kondisi polarisasi. Kondisi ini ditandai dengan lebih sedikit ion positif yang berada di dalam sel dibandingkan di luar sel. Pada kondisi inaktif ini ion positif di dalam sel neuron didominasi oleh ion K^+ , yakni di luar sel didominasi oleh sel Na^+ dan ion-ion Na^+ tidak dapat berdifusi ke dalam sel.

2) Potensial aksi dan depolarisasi

Potensial aksi dimulai dengan adanya stimulus ke reseptor. Stimulus-stimulus ini dapat berbeda tergantung pada jenis reseptornya sebagai contoh stimulus panas dan dingin pada lapisan kulit manusia.

Stimulus-stimulus tersebut, ketika mencapai jumlah yang mencukupi akan membuka saluran ion Na^+ pada kondisi normal tertutup. Masuknya ion natrium ke dalam sel membuat kondisi di dalam sel lebih positif dibandingkan kondisi di luar sel yang disebut dengan depolarisasi lokal atau potensial bertingkat.

Jika stimulus yang masuk cukup kuat dan ion natrium yang masuk cukup banyak ke dalam sel, maka depolarisasi lokal tersebut akan mengaktifkan sinyal jarak jauh neuron yang disebut potensial aksi atau impuls saraf. Impuls saraf ini muncul dengan syarat stimulus yang masuk cukup kuat dikarenakan impuls saraf ini harus mampu melewati panjang akson untuk disampaikan ke sel saraf selanjutnya atau ke organ target.

3) Repolarisasi

Sesaat setelah ion-ion natrium masuk dalam jumlah besar dalam sel neuron, saluran ion natrium pada membran sel kembali menutup, tetapi masih dapat ditembus oleh ion kalium yang berdifusi keluar sel. Hal tersebut menyebabkan muatan listrik di dalam sel dari ion positif menjadi berkurang dan mulai kembali ke muatan awal saat istirahat atau disebut sebagai tahap repolarisasi.

4) Kembalinya ion-ion pada posisi istirahat

Setelah proses repolarisasi, pompa Na-K akan mengembalikan ion-ion ke konsentrasi awal di dalam dan di luar sel secara aktif (menggunakan ATP).

c. Penghantaran impuls saraf

Penghantaran impuls saraf ini merupakan bagian dari kemampuan konduktivitas sel saraf. Penghantaran impuls saraf ini sama seperti proses penghantaran impuls pada sel otot dengan melepaskan neurotransmitter yang disebut asetilkolin. Perbedaannya pada sel saraf dapat saja neurotransmitter dilepaskan dari ujung akson terminal ke sel target (otot dan kelenjar) atau dapat juga dari ujung akson terminal ke ujung dendrit neuron yang lain.

Proses penghantaran impuls saraf merupakan proses elektrokimia yang menggunakan aliran listrik sepanjang sel saraf dan zat kimia untuk menghantarkan impuls dari satu sel ke sel yang lain.

d. Refleks

Refleks adalah sebuah respons yang bersifat cepat, dapat diprediksi dan dilakukan tanpa sadar. Tubuh menjalankan refleks dengan proses disebut dengan busur refleks yang melibatkan beberapa komponen berikut:

- 1) Reseptor
- 2) Neuron *afferent*
- 3) Neuron *efferent*
- 4) Efektor
- 5) Integrasi sistem saraf pusat melalui sinapsis atau interneuron

Refleks ini dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu somatik dan otonom. Refleks somatik terjadi jika yang distimulasi adalah otot rangka yang merespons secara tidak sadar. Sedangkan, refleks otonom adalah refleks yang meregulasi aktivitas otot polos, kelenjar, dan jantung.

6. Sistem Saraf Pusat

Sistem saraf pusat manusia tersusun atas empat komponen penting, yaitu otak besar (serebrum), diensefalon, batang otak, dan otak kecil (*cerebellum*).

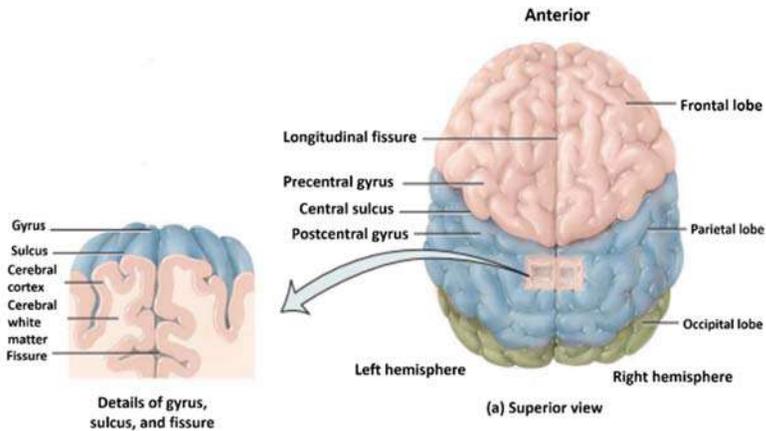
a. Serebrum

Permukaan otak besar yang menonjol disebut dengan girus, sebaliknya bagian permukaan otak besar yang melekuk ke bawah disebut dengan sulkus. Sulkus yang dalam disebut dengan fisura. Fisura longitudinal pada otak besar ini membagi otak menjadi dua bagian utama, yaitu otak kanan dan otak kiri yang masing-masing disebut dengan *cerebral hemispheres*.

Jika otak kiri dan kanan ini dibelah, maka akan nampak bagian dalam otak tersebut yang menunjukkan tiga lapisan utama, yaitu bagian berwarna abu (serebral korteks), bagian berwarna putih (*white matter*), dan bagian yang berwarna abu dikelilingi bagian putih disebut basal nuclei.

Setiap belahan otak memiliki empat lobus yang dinamai tulang yang menutupinya sebagai contoh lobus frontal, lobus parietal, temporal lobus, dan lobus oksipital (Gambar 6.5). Sulkus sentral memisahkan lobus frontal dan parietal. Gyrus mayor, precentral gyrus, terletak tepat di anterior sulkus sentral. Gyrus precentral berisi area motorik primer serebral korteks. Gyrus postcentralis terletak tepat di posterior sulkus sentral, berisi area somatosensorik primer dari korteks serebral yang akan dibahas sebentar lagi. Bagian kelima dari file *cerebrum*, insula, tidak dapat dilihat di permukaan otak karena terletak di dalam *sulcus* serebral lateral, jauh ke dalam lobus parietal, frontal, dan temporal. Materi putih otak terdiri dari ak-son bermielin dan tak bermielin yang mengirimkan impuls antara gyrus, dari gyrus di satu belahan otak ke otak yang sesuai. Gyrus di belahan otak yang berlawanan melalui *corpus callosum* dan dari otak besar ke bagian lain otak, serta sumsum tulang belakang

korteks. Gyrus postcentralis terletak tepat di posterior sulkus sentral, berisi area somatosensorik primer dari korteks serebral yang akan dibahas sebentar lagi.



Gambar 6.5
Serebrum
(Tortora dan Derrickson, 2010).

1) Serebral korteks

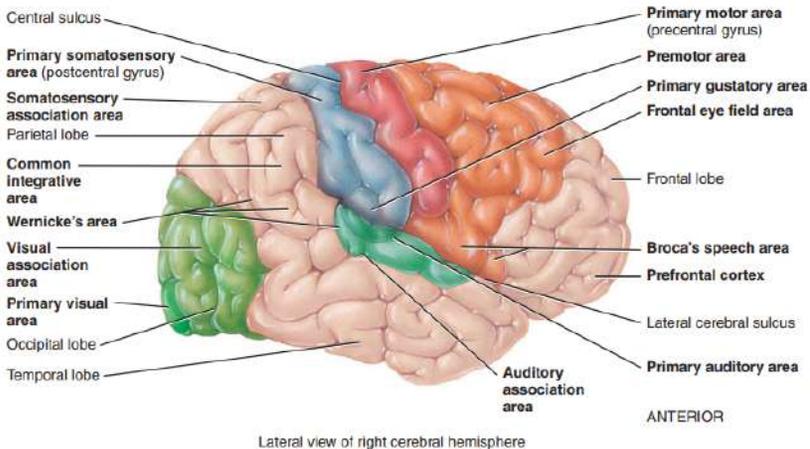
Bagian korteks adalah bagian berwarna abu-abu yang memiliki fungsi terkait kemampuan bicara, berpikir logis, kesadaran, penafsiran stimulus sensoris, dan gerak sadar. Bagian korteks yang menangani penerimaan stimulus (sensorik) dari seluruh tubuh berpusat pada bagian *postcentral gyrus* (lobus parietal) dan bagian motorik berpusat pada *gyrus precentral*.

Selanjutnya, istilah-istilah dalam permukaan otak besar ini akan digunakan sebagai penanda dalam penamaan bagian-bagian tulang kepala yang disebut dengan lobus.

Di bagian korteks ini juga menerima informasi sensorik dari indera sebagai berikut:

- Penglihatan → lobus oksipital
- Pendengaran → lobus temporal

- Penciuman → area olfaktorius
- Pengecapan → area gustatorius



Gambar 6.6
Cerebral Cortex
(Tortora dan Derrickson, 2010).

Sedangkan, bagian korteks yang bertanggung jawab dalam kemampuan bicara disebut *area broca* (*output*: produksi bicara) dan *area wernicke* (*input*: membaca dan mendengar).

Terdapat dua area korteks yang disebut bagian asosiasi yang terbagi menjadi dua, yaitu:

- Area asosiasi anterior di bagian lobus frontal terlibat dalam kemampuan intelektual.
- Area asosiasi posterior di bagian lobus oksipital bertanggung jawab untuk mengenali pola dan wajah serta mengintegrasikan beberapa input berbeda untuk memahami kondisi secara utuh.

2) *White matter*

Bagian putih dalam otak berisi bundel serat yang menghubungkan dan membawa impuls baik yang datang ke otak, me-

ninggalkan otak maupun impuls yang disampaikan antarbagian otak. Serat-serat ini terbagi menjadi tiga jenis, yaitu:

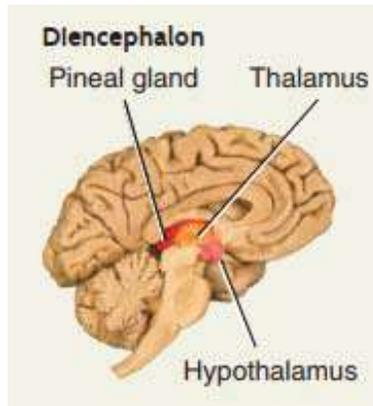
- a) Bundel serat yang paling besar disebut *corpus callosum* (commisura) yang menghubungkan dua belahan otak (hemisfer).
- b) Serat asosiasi adalah serat yang menghubungkan dalam hemisfer.
- c) Serat proyeksi adalah serat yang menghubungkan otak besar dengan saraf pusat di bawahnya, misal batang otak atau otak kecil.

3) *Basal nuclei*

Bagian ini bertanggung jawab untuk membantu mengatur gerak otot sadar dengan memodifikasi instruksi (memulai atau berhenti) yang dikirim ke otot oleh korteks motorik utama.

b. Diensefalon

Pada bawah belahan otak dan di kedua sisi ventrikel ketiga adalah kelompok inti berpasangan yang disebut talamus dan hipotalamus (dikenal bersama sebagai diencephalon). Diencephalon terdiri dari talamus, hipotalamus, dan kelenjar pineal. Talamus mengandung inti yang berfungsi sebagai stasiun *relay* untuk impuls sensorik ke korteks serebral dan berkontribusi pada fungsi motorik mentransmisikan informasi dari otak kecil dan ganglia basal ke area motorik korteks serebral. Hipotalamus terletak lebih rendah dari talamus, mengontrol sistem saraf otonom, mengeluarkan hormon, fungsi dalam kemarahan dan agresi, mengatur suhu tubuh, mengatur makanan dan asupan cairan, dan membentuk sirkadian ritme. Kelenjar pineal mengeluarkan melatonin yang terlibat dalam pengaturan jam biologis tubuh.

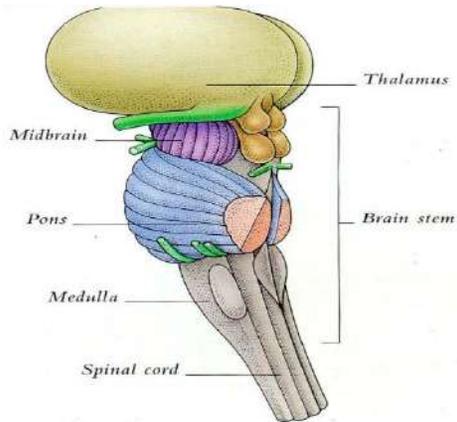


Gambar 6.7
Diencephalon
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

c. Batang otak

Batang otak merupakan bagian dari otak yang berada di antara sumsum tulang belakang dan diencephalon. Bagian ini berfungsi dalam mengatur kegiatan otonom yang diperlukan untuk bertahan hidup (survival) dan juga terkait dengan aktivitas vital, seperti bernapas dan tekanan darah. Medula oblongata (medulla) bersambung dengan bagian atas bagian dari sumsum tulang belakang dan berisi daerah untuk mengatur detak jantung, diameter pembuluh darah, pernapasan, menelan, batuk, muntah, bersin, dan cegukan. Saraf kranial VIII-XII berasal dari medula. Pons menghubungkan bagian-bagian otak satu sama lain untuk menyampaikan impuls gerakan kerangka sukarela dari korteks serebral ke otak kecil, dan berisi dua daerah yang mengontrol pernapasan. Saraf kranial V-VII dan bagian dari VIII berasal dari pons. Otak tengah yang terletak di antara pons dan diencephalon, menyampaikan motorik impuls dari otak besar ke otak kecil dan sumsum tulang belakang, mengirimkan impuls sensorik dari sumsum tulang belakang ke bagian *thalamus*, dan memediasikan refleks pendengaran dan visual. Bagian

ini juga mengandung inti yang terkait dengan saraf kranial III dan IV. Formasi retikuler adalah susunan seperti jaring dari materi abu-abu dan putih yang membentang di seluruh batang otak yang mengingatkan korteks serebral untuk sinyal sensorik yang masuk dan membantu mengatur tonus otot.



Gambar 6.8
Batang Otak
(Tortora dan Derrickson, 2010).

1) Otak tengah (*midbrain*)

Otak tengah terdiri atas tiga bagian, yaitu:

- Colliculi yang membentuk corpora quadrigemina. Bagian ini bertanggung jawab dalam menyaring impuls terkait penglihatan dan pendengaran sebelum diteruskan ke korteks otak.
- Tegmentum bagian ini dibedakan menjadi dua jenis dengan warna yang berbeda. Bagian berwarna *pink* berfungsi dalam koordinasi gerak dan area abu yang berfungsi menekan rasa sakit. Bagian ini juga berfungsi membuat kita terjaga.

- Cerebral peduncle merupakan jalan utama untuk sinyal dari korteks yang akan disebarkan ke seluruh bagian sistem saraf pusat dan berperan sangat penting dalam koordinasi tubuh.

Lapisan antara tegmentum dan cerebral peduncle akan membentuk substansia nigra yang mengandung hormon melanin dan menghasilkan dopamine yang berperan dalam proses tidur.

2) Pons

Pons berisi jalur serat-serat saraf pada sistem saraf pusat dan berperan dalam pengaturan napas.

3) Medulla oblongata

Bagian ini menyatu dengan saraf tulang belakang (*spinal cord*), bagian ini juga bagian yang dilewati serabut-serabut saraf dan dibagian inilah serabut saraf membentuk piramida dengan sistem silang (*crossed pathways*). Bagian ini memiliki fungsi penting dalam pengaturan, yaitu denyut jantung, tekanan darah, bernapas, menelan, dan muntah.

4) Formasi *reticular*

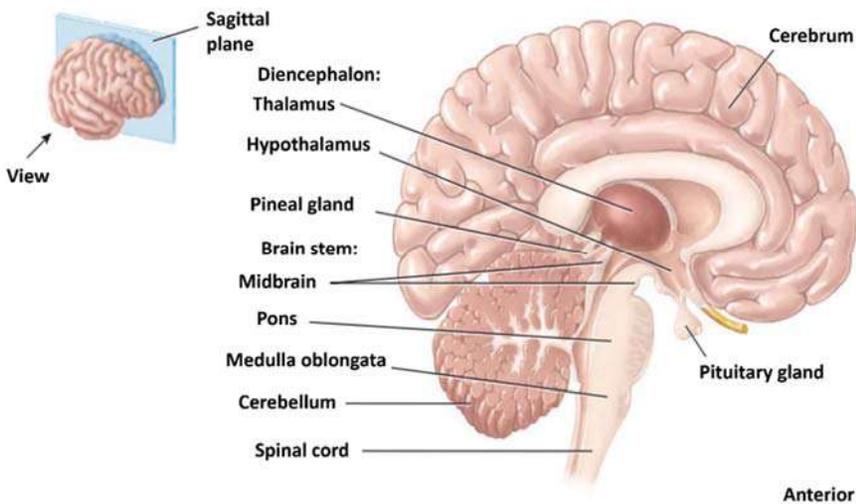
Formasi ini merupakan perpanjangan batang otak dalam bentuk bagian abu-abu yang berperan dalam aktivitas organ *visceral*, misal pada sistem gastrointestinal. Formasi ini membentuk grup khusus yang disebut dengan *reticular activating system* (RAS) yang mengatur kesadaran dan pola tidur. Gangguan pada bagian ini akan menyebabkan koma.

d. Cerebellum

Cerebellum atau otak kecil berbentuk sama dengan otak besar dengan dua hemisfer dan permukaan berlekuk. Bagian ini mengontrol aktivitas sistem otot rangka manusia menjadi seimbang, berge-

rak secara halus, dan terkoordinir pada saat yang tepat. Bagian ini secara berkelanjutan menyeimbangkan antara perintah otak dengan gerak tubuh secara aktual dengan memantau posisi tubuh dan jumlah tekanan pada berbagai bagian tubuh.

Otak kecil terdiri dari dua belahan otak kecil, yaitu terletak di posterior medula dan pons serta inferior ke otak besar (Gambar 6.9). Permukaan otak kecil disebut dengan korteks serebelar, terdiri dari materi abu-abu. Bagian bawah korteks adalah materi putih (*arbor vitae*) yang menyerupai cabang-cabang pohon. Jauh di dalam materi putih terdapat massa materi abu-abu, inti *cerebellar*. Otak kecil menempel pada batang otak bundel akson yang disebut tangkai serebelar.

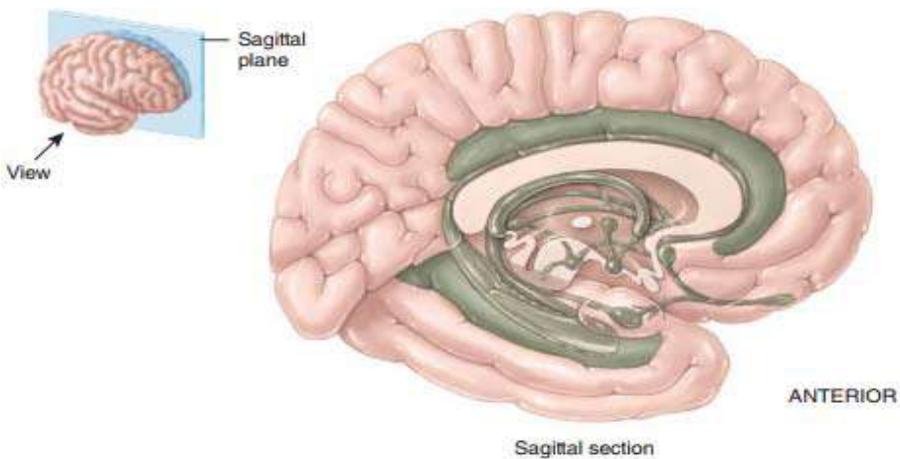


Gambar 6.9
Cerebellum
(Tortora dan Derrickson, 2010).

e. Sistem limbik

Sistem limbik terletak pada sekitar daerah batang otak bagian atas dan korpus kalosum yang berbentuk cincin struktur di batas

dalam otak besar dan lantai diencephalon (Gambar 6.10). Sistem limbik disebut dengan “otak emosional” karena memainkan peran utama dalam berbagai emosi, termasuk rasa sakit, kesenangan, kepatuhan, kasih sayang, dan kemarahan. Padahal perilaku merupakan fungsi dari seluruh sistem saraf, sistem limbik mengontrol sebagian besar aspek yang tidak disengaja terkait dengan kelangsungan hidup. Percobaan hewan menunjukkan bahwa sistem limbik memiliki peran dalam mengontrol pola perilaku secara keseluruhan. Bersama dengan bagian otak besar, sistem limbik juga berfungsi dalam memori, kerusakan pada sistem limbik menyebabkan gangguan memori.

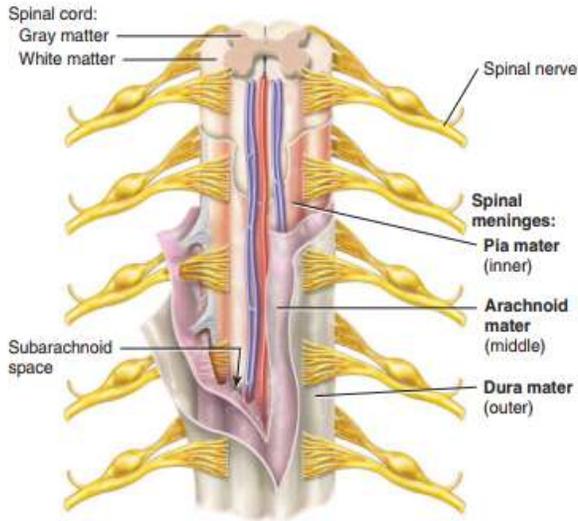


Gambar 6.10
Sistem Limbik yang Berwarna Hijau
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

f. *Spinal cord*

Spinal cord atau yang dikenal dengan sumsum tulang belakang pada orang dewasa memiliki panjang berkisar antara 42 hingga 45 cm (16 hingga 18 inci). Sumsum tulang belakang meluas dari bagi-

an paling bawah otak, yaitu medulla oblongata, ke batas atas lumbal kedua vertebra di kolom vertebral (Gambar 6.11).

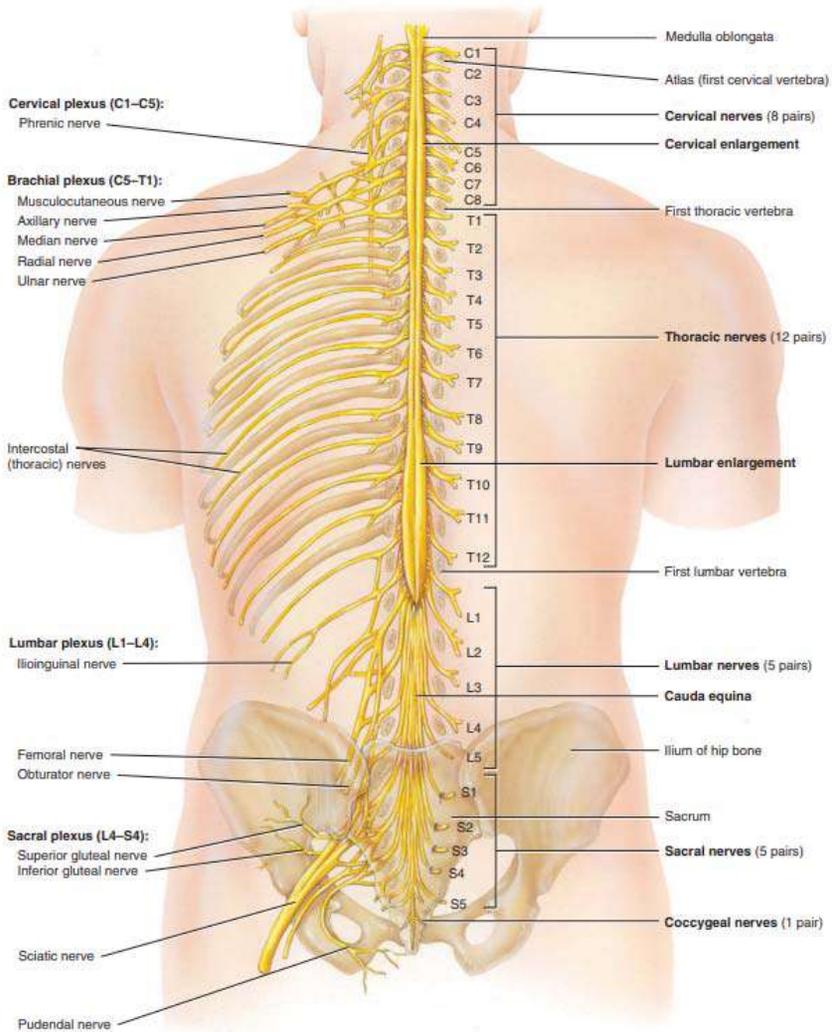


Gambar 6.11
Spinal Cord
(Tortora dan Derrickson, 2010).

Sumsum tulang belakang memiliki dua materi yang berwarna putih dan materi abu-abu yang memiliki dua mayor fungsi dalam mempertahankan homeostasis. Materi putih pada sumsum tulang belakang terdiri dari saluran yang berfungsi sebagai jalan untuk saraf konduksi impuls. Sepanjang jalan ini, impuls sensorik berjalan menuju otak dan impuls motorik berjalan dari otak menuju otot rangka dan jaringan efektor lainnya. Materi abu-abu dari sumsum tulang belakang menerima dan mengintegrasikan informasi yang masuk dan keluar juga merupakan tempat untuk integrasi refleks.

Struktur Tulang Belakang

- a. Sumsum tulang belakang dilindungi oleh tulang belakang, meninges, dan cairan serebrospinal. Meninges adalah tiga penutup jaringan ikat sumsum tulang belakang dan otak, yaitu dura mater, arachnoid mater, dan piamater.
- b. Pengeluaran cairan serebrospinal dari ruang subarachnoid disebut spinal tap. Prosedurnya digunakan untuk menghilangkan CSF dan untuk memperkenalkan antibiotik, anestesi, dan kemoterapi.
- c. Sumsum tulang belakang memanjang dari bagian terbawah otak, medula oblongata, sampai batas atas otak. Vertebra lumbal kedua di kolom vertebralis. Ini berisi pembesaran serviks dan lumbal yang berfungsi sebagai titik asal saraf ke tungkai
- d. Saraf tulang belakang melekat pada sumsum tulang belakang melalui akar posterior dan akar anterior.
- e. Semua saraf tulang belakang adalah saraf campuran yang mengandung akson sensorik dan motorik.



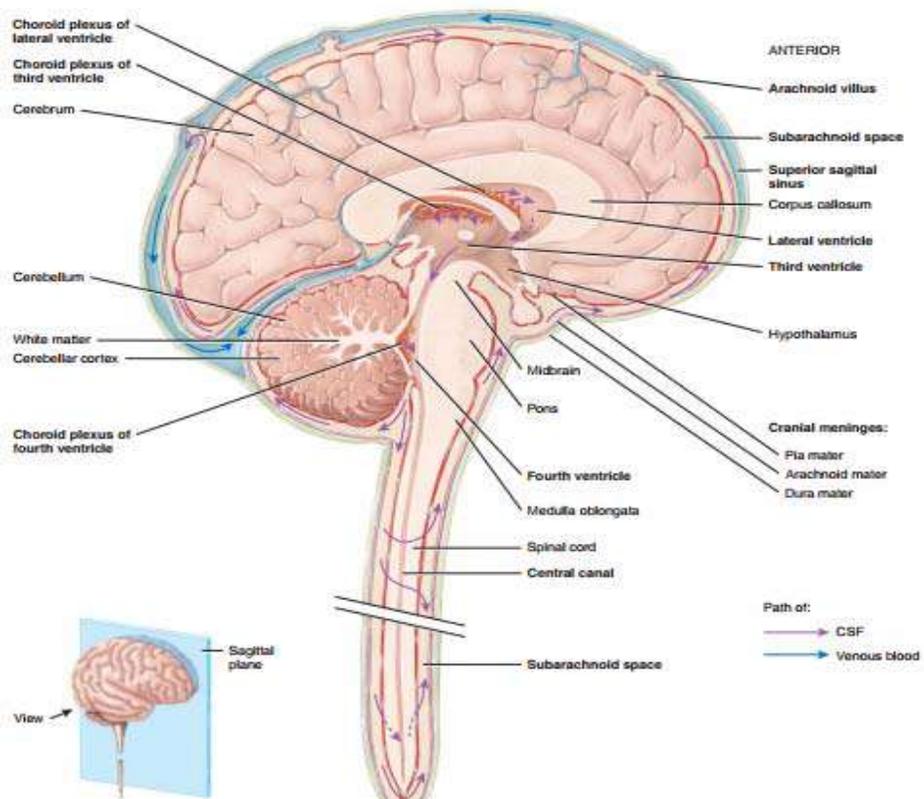
Gambar 6.12
Spinal Cord
(Tortora dan Derrickson, 2010).

7. Perlindungan Sistem Saraf Pusat

a. Meninges

Meninges adalah membran jaringan ikat yang membungkus sistem saraf pusat. Meninges terdiri atas tiga jenis, yaitu:

- Duramater → merupakan membran rangkap yang membungkus otak. Bagian paling luarnya menempel pada bagian dalam tulang kranial membentuk lapisan periosteal. Bagian lainnya disebut dengan lapisan meningeal.
- Arachnoidmater → Lapisan meningeal tengah yang berbentuk seperti sarang laba-laba.
- Piamater → lapisan meninges paling dalam dan paling lembut, menempel pada permukaan otak dan sumsum tulang belakang.



Gambar 6.13
Meninges
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

b. Cairan serebrospinal

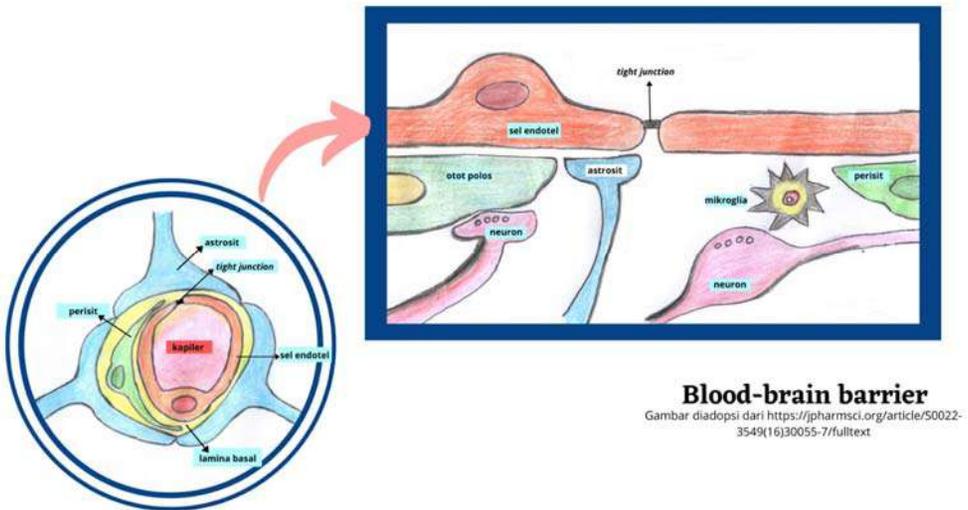
Cairan serebrospinal adalah cairan ekstrak yang komponennya hampir sama dengan plasma darah, tetapi dengan komposisi berbeda (rendah protein, lebih banyak vitamin C, dan komposisi ion yang berbeda).

Cairan ini dibentuk dari darah oleh pleksus koroideus, yaitu kelompok kapiler yang menggantung pada atap atau ventrikel otak, mengelilingi otak sehingga otak dan saraf memiliki bantalan berair yang melindungi serabut saraf dari kerusakan dan trauma, serta membantu otak “melayang” sehingga mencegah kerusakan akibat tekanan dari berat otak itu sendiri.

Volume dan tekanan CSF ini harus selalu dalam keadaan konstan, perubahan dalam komposisi cairan ini dapat mengindikasikan kondisi patologis.

c. Pembatas otak dan darah

Seperti yang diketahui lingkungan otak adalah sebuah lingkungan yang harus dijaga selalu dalam keadaan konstan, maka sel saraf harus dipisahkan dari substansi yang berisiko mengganggu yang dibawa oleh darah disebut *blood-brain barrier*. Lapisan ini merupakan lapisan yang paling rendah permeabilitasnya. Hanya air, glukosa, dan asam amino esensial yang dapat melewati membran ini. Namun demikian, membran ini tidak efektif pada lemak, gas pernapasan, dan zat larut lemak serta zat lain yang mudah berdifusi pada plasma, termasuk alkohol, nikotin, dan obat bius.



Gambar 6.14
Blood-Brain.

8. Sistem Saraf Tepi

Sistem saraf tepi terdiri dari semua komponen sistem saraf yang terletak di luar otak dan sumsum tulang belakang, termasuk 12 pasang tengkorak dan 31 pasang saraf tulang belakang serta termasuk neuron sensorik, ganglia otonom, dan saraf perifer. Sistem saraf tepi memiliki dua divisi, yaitu somatik dan otonom. Saraf motorik yang aktif, otot rangka membentuk sistem saraf somatik. Saraf sistem saraf otonom mengatur organ dalam (organ dalam) dan kelenjar. Sistem saraf enteric mengatur pergerakan saluran gastrointestinal. Neurotransmitter adalah pembawa pesan kimiawi sistem saraf. Neuron sensorik dan aksonnya, juga akson dari neuron motorik dan neuron preganglionic terletak di sistem saraf pusat, semua itu merupakan bagian dari sistem saraf perifer.

C. Rangkuman

- Sistem saraf ini berfungsi sebagai pusat kontrol utama tubuh dan seluruh sistem dalam tubuh berada dalam pengaturan sistem saraf ini.
- Sel-sel saraf terdiri atas sel-sel pendukung dan neuron, yakni keduanya memiliki karakteristik dan fungsi yang berbeda.
- Fungsi sistem saraf diwujudkan dalam bentuk menyediakan fungsi mental (berpikir) tertinggi dan ekspresi emosional, memelihara homeostasis dan regulasi aktivitas otot dan kelenjar.
- Sistem ini berfungsi dengan cara melakukan komunikasi melalui pengiriman-pengiriman sinyal baik dalam bentuk sinyal listrik maupun sinyal kimia.
- Sistem saraf ini terdiri atas sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi yang memiliki fungsi berbeda dan saling melengkapi.

D. Evaluasi

1. Jelaskan fungsi sistem saraf pada pengaturan homeostasis tubuh manusia!
2. Jelaskan perbedaan antara neuroglia dan neuron!
3. Jelaskan perbedaan antara neuron *afferent* dan *efferent*!
4. Sebutkan 10 persarafan (nervus) pada tubuh manusia dan organ yang dipersarafi!

BAB VII

SISTEM ENDOKRIN DAN KELENJAR

A. Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini, mahasiswa akan mempelajari tiga mekanisme dasar kontrol sekresi endokrin, jenis kelenjar endokrin, dan hormon yang dihasilkan serta mekanisme sekresi hormon dan regulasinya. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu mengidentifikasi macam-macam kelenjar endokrin dan hormon yang dihasilkan serta menjelaskan mekanisme kerja hormon dapat menjaga tubuh tetap dalam kondisi homeostasis.

B. Materi Pembelajaran

1. Gambaran Umum Sistem Endokrin

Sistem endokrin merupakan sistem kontrol kedua dalam tubuh selain sistem saraf. Berdasarkan fungsinya, kelenjar endokrin melepaskan zat kimia yang disebut sebagai hormon yang berjalan menuju sel target melalui aliran darah. Sistem ini terlibat dalam proses fisiologi tubuh manusia, termasuk meregulasi proses kompleks dalam tubuh, seperti pengaturan homeostasis, pertumbuhan dan perkembangan, metabolisme, dan reproduksi.

Sistem ini melibatkan tiga komponen penting yang akan dibahas, yaitu organ yang menyekresikan hormon, cara kerja hormon, dan proses yang dimediasi oleh hormon tersebut. Sebagai contoh, ketika seseorang makan dan kadar gula orang tersebut naik, maka tubuh akan memerintahkan pankreas untuk melepaskan hormon insulin. Hormon ini berfungsi meningkatkan pengambilan glukosa dari darah ke dalam sel sehingga kadar gula dalam darah terkontrol.

Meskipun fungsi sistem saraf dan sistem endokrin saling mendukung, tetapi kedua sistem ini memiliki perbedaan. Perbedaan sistem ini dengan sistem saraf terletak pada kecepatannya, yakni sistem saraf bereaksi dengan cepat dan sistem endokrin bereaksi lebih lambat melalui hormon yang dilepaskan dalam darah. Sistem ini memiliki fungsi luas, tetapi yang utama sistem ini meregulasi sistem reproduksi manusia.

Tubuh manusia memiliki beberapa lokasi utama organ/kelenjar endokrin, meliputi kelenjar pineal, kelenjar hipotalamus dan pituitari, kelenjar tiroid dan paratiroid, timus, kelenjar adrenal, pankreas, ovarium, dan testis. Secara anatomis, lokasi kelenjar ini tersebar, tetapi secara fungsional merupakan suatu kesatuan sistem yang disebut sistem endokrin.

2. Komposisi Kimia dan Fungsi Hormon

Hormon adalah substansi kimia yang disekresikan untuk mengatur aktivitas metabolik sel lain. Hormon ini dihasilkan oleh beberapa kelenjar khusus, yakni satu kelenjar dapat menghasilkan satu jenis hormon atau lebih. Bagian atau kelenjar tersebut, antara lain sel neuron di hipotalamus dan kelenjar pituitari anterior, pineal, tiroid, paratiroid, pankreas, dan adrenal.

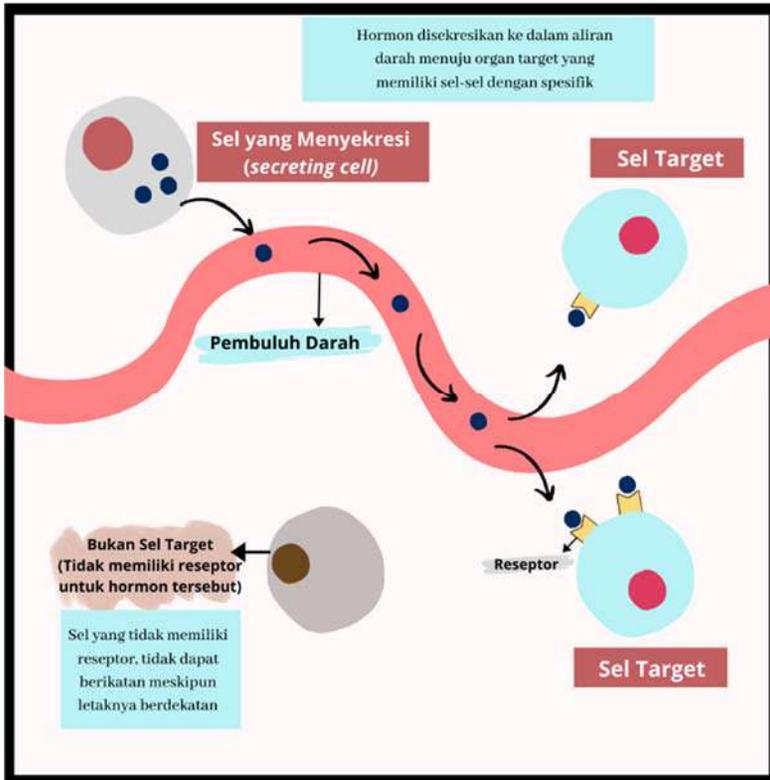
Tubuh manusia memproduksi berbagai jenis hormon, tetapi secara struktur kimia penyusunnya yang utama pada hormon tersebut, yaitu dapat diklasifikasikan dalam molekul berbasis asam amino (termasuk protein, peptide dan amine) atau steroid. Selain dua kelompok tersebut, terdapat juga hormon yang tersusun dari molekul turunan asam amino nonsteroid. Komponen tersebut secara detail dapat dilihat pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1
Jenis Hormon, Sumber, dan Contoh.

| Hormon | Sumber | Contoh |
|---------------------|--|---|
| Hormon Steroid | Turunan kolesterol yang merupakan senyawa kimia yang disebut steroid | Hormon seks, hormon korteks adrenal |
| Hormon Amina | Golongan hormon yang merupakan turunan asam amino. Secara umum, hormon ini disintesis dari asam amino tirosin atau triptofan | Melatonin (turunan asam amino triptofan) Katekolamin (turunan asam amino tirosin) |
| Hormon Peptida | Hormon yang disusun atas residu asam amino dalam bentuk rantai lurus | Oksitosin dan vasopresin |
| Hormon Protein | Hormon yang tersusun atas residu asam amino dalam jumlah besar | Insulin, glucagon, dan somatotropin |
| Hormon glikoprotein | Merupakan ikatan protein terkonjugasi dengan karbohidrat (galaktosa, manosa, dan fruktosa) | <i>Luteinizing hormones (LH), follicle stimulating hormones (FSH), thyroid stimulating hormones (TSH)</i> |
| Hormon eikosanoid | Hormon yang tersusun atas turunan asam lemak sederhana dengan variasi asam arakidonat | Prostaglandin |

Berdasarkan fungsinya, hormon memiliki mekanisme unik, yakni hanya sel atau organ target yang dapat dipengaruhi oleh hormon tersebut, meskipun hormon tersebut disirkulasikan melalui darah. Secara singkat, hormon tertentu hanya akan berfungsi pada sel dan organ targetnya dan tidak akan memengaruhi sel/organ yang bukan targetnya.

Mengapa demikian? Hal tersebut terjadi karena adanya reseptor berupa protein spesifik di membran sel yang hanya dapat berikatan dengan hormon tertentu. Jika ikatan ini terjadi, maka hormon dapat melaksanakan fungsinya pada sel target tersebut (Gambar 7.1).



Gambar 7.1
Hormon Dapat Berikatan dengan Sel Target dengan Adanya Reseptor Spesifik.

Berdasarkan fungsinya, hormon lebih cenderung berperan untuk mengganggu fungsi normal sel daripada menginisiasi fungsi baru. Berikut ini uraian fungsi yang dapat dilakukan oleh hormon:

- Mengubah permeabilitas membran plasma atau potensial membran
- Mengaktivasi atau menginaktivasi enzim

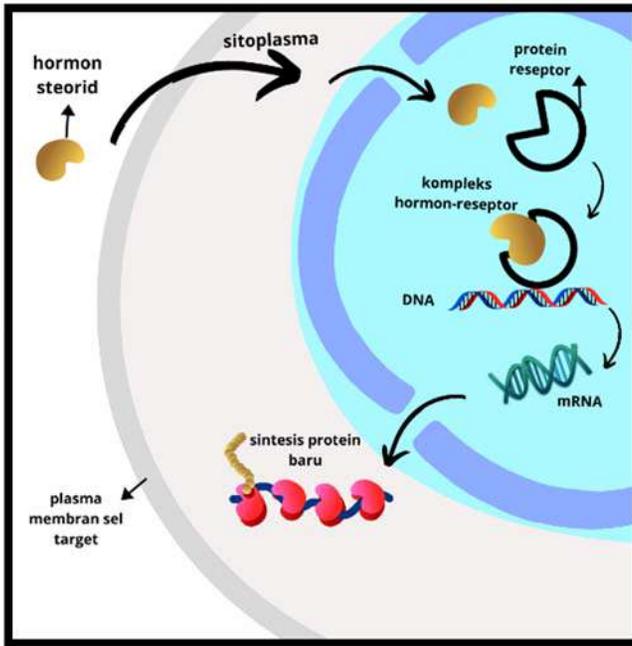
- Menstimulasi atau menghambat pembelahan sel
- Menstimulasi atau menghambat sekresi produk tertentu
- Mengaktivasi transkripsi gen tertentu, atau sebaliknya

Secara umum, fungsi hormon dalam memengaruhi aktivitas sel dapat dibagi menjadi dua mekanisme, yaitu aktivasi gen langsung (*direct gene activation*) dan sistem pembawa pesan perantara (*second-messenger system*).

a. Aktivasi gen langsung

Mekanisme ini digunakan oleh hormon steroid dan tiroid untuk menginisiasi perubahan dalam sel. Sesuai sifatnya yang larut lemak, hormon ini dapat menembus plasma sel dan memasuki nukleus sel. Pada nukleus, hormon berikatan dengan reseptor spesifiknya dan membentuk kompleks hormon-reseptor dan menempel pada lokasi khusus pada DNA sel. Selanjutnya, kompleks ini akan mengaktivasi gen tertentu untuk mentranskripsikan mRNA (*messenger RNA*). Adapun mRNA yang terbentuk akan di terjemahkan di sitoplasma untuk membentuk protein baru.

Selain itu, terdapat alternatif mekanisme lain dengan cara hormon steroid, yakni setelah melewati membran plasma membentuk kompleks hormon-reseptor di sitoplasma. Kompleks tersebut selanjutnya mengaktifkan gen tertentu di nukleus.



Gambar 7.2
Sistem Aktivasi Gen Langsung.

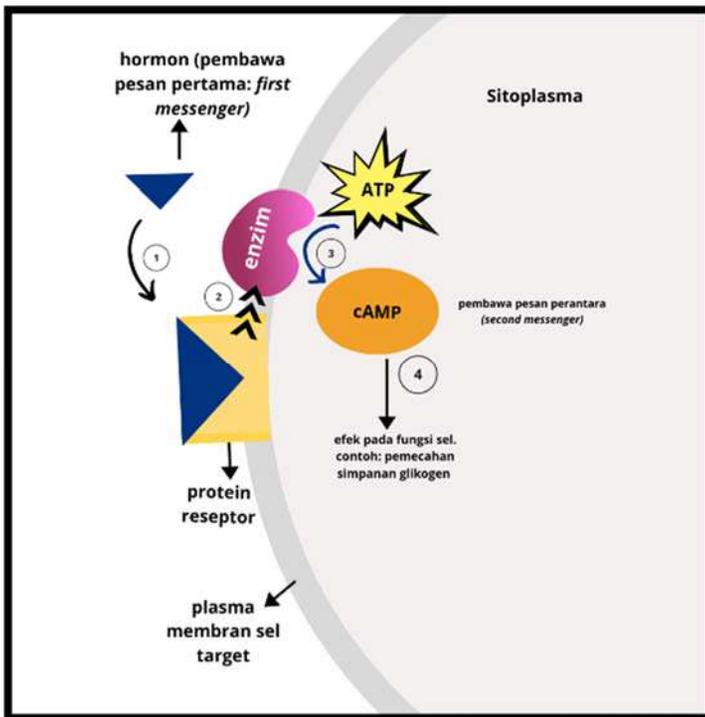
b. *Second messenger system*

Second messenger adalah molekul kecil dan ion-ion yang menyampaikan sinyal dan diterima oleh reseptor pada permukaan sel ke protein efektor. Terdapat variasi luas dari jenis zat kimia yang dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok besar, yaitu:

- 1) *Messenger* lemak dan turunannya yang berkomunikasi di dalam membran
- 2) Nukleotida siklik seperti cAMP dan molekul larut lain yang berkomunikasi di dalam sitosol
- 3) Ion-ion yang memberikan sinyal di dalam dan antarkompartemen
- 4) Gas dan radikal bebas yang dapat mengirimkan sinyal di seluruh bagian sel atau juga dapat berkomunikasi antarsel.

Hormon berjenis steroid dapat melakukan tugasnya, baik dengan aktivasi gen langsung maupun dengan sistem perantara (*second messenger system*). Adapun hormon-hormon yang tersusun atas protein dan peptide yang secara umum larut air tidak dapat mencapai sel target secara langsung, maka hormon tersebut berikatan pada reseptor hormon pada membran dinding sel target dan menggunakan sistem perantara.

Satu jenis hormon memungkinkan untuk memiliki beberapa jenis pembawa pesan perantara dan kemungkinan respons sel target yang bervariasi tergantung pada jenis sel yang distimulasi.



Gambar 7.3
Second Messenger System.

Proses kerja hormon melalui pembawa pesan perantara secara umum adalah sebagai berikut:

- 1) Hormon berikatan pada reseptor hormon pada permukaan membran,
- 2) Setelah terjadi ikatan akan memicu reaksi yang mengaktifkan enzim,
- 3) Enzim mengatalisasi reaksi yang menghasilkan molekul *second messenger*, dan
- 4) Terjadi perubahan intraseluler yang memicu respons khusus dari sel target terhadap hormon.

3. Sistem Kontrol Sekresi Endokrin

Secara umum, sekresi hormon oleh kelenjar endokrin dirangsang melalui tiga sistem, seperti pada Tabel 7.2 berikut ini:

Tabel 7.2
Stimulus yang Merangsang Pengeluaran Hormon.

| No | Jenis Stimulus | Pengertian | Contoh Mekanisme Stimulus |
|----|-------------------|---|--|
| 1 | Stimulus Hormonal | Stimulus hormonal diartikan sebagai kondisi saat organ endokrin distimulasi oleh hormon lain, stimulus hormonal merupakan stimulus yang paling sering terjadi | Hormon dari hipotalamus → menstimulasi pengeluaran hormon pituitari anterior → menstimulasi kelenjar tiroid atau kelenjar lain untuk menyekresikan hormon ke dalam darah |
| 2 | Stimulus Humoral | Stimulus ini berasal dari kadar komponen kimia tertentu dalam cairan tubuh manusia (misal darah) yang memicu pengeluaran hormon tertentu | Level ion kalsium dalam darah yang rendah → memicu pengeluaran hormon paratiroid (PTH) |

| | | | |
|---|-------------------------|--|---|
| 3 | Stimulus Neural (Saraf) | Stimulus ini berasal dari serabut saraf yang memicu pengeluaran hormon sel-sel kelenjar endokrin | Rangsangan saraf dimpati → merangsang kelenjar adrenal untuk melepaskan katekolamin norepinefrin dan epinefrin saat seseorang mengalami stres |
|---|-------------------------|--|---|

Secara umum, sistem kontrol kelenjar endokrin adalah sistem *feedback* negatif. Seperti yang telah dipelajari di bab homeostasis, bahwa ketika level hormon tertentu naik dalam darah, maka tubuh akan memberikan respons untuk menghambat pengeluaran lebih lanjut dari hormon tersebut, sehingga kadar hormon dalam darah terjaga dalam kadar tertentu. Akibat sistem kontrol tersebut, perubahan level hormon dalam darah tersebut hanya terjadi dalam rentang yang sangat sempit, sehingga homeostasis dapat tetap terjaga.

4. Jenis Kelenjar Endokrin dan Hormon yang Dihasilkan

Setelah mempelajari tentang sistem stimulus dan kontrol hormon, selanjutnya akan dibahas tentang jenis kelenjar endokrin dan hormon yang dihasilkan masing-masing kelenjar endokrin dan fungsinya.

a. Hipotalamus dan hipofisis

Kelenjar pituitary (Hipofisis) adalah kelenjar sebesar biji kacang polong yang menggantung di bagian bawah hipotalamus dan memiliki dua lobus.

Hipotalamus dan hipofisis memiliki hubungan khusus dalam bentuk:

- 1) Hormon pituitari posterior (neurohipofisis): hormon ini meliputi hormon oksitosin dan antidiuretic (ADH) yang dihasilkan oleh neuron sekretorik di hipotalamus, yakni hormon tersebut disimpan di ujung akson dan dilepaskan melalui pembuluh darah hipofisis posterior. Hal ini menekankan bahwa bagian hipofisis posterior tidak menghasilkan hor-

mon, hanya melepaskan hormon yang diproduksi di hipotalamus.

- 2) Hormon pelepas dan penghambat hipotalamus yang memengaruhi sekresi kelenjar hipofisis anterior (*Anterior Pituitary Affecting Hormones*): Sumbu HPA (*Hipotalamus-Pituitary-Adrenal*) adalah jalur aliran darah yang menghubungkan hipotalamus dan pituitari yang memungkinkan untuk melakukan kontrol beberapa hormon dan memastikan hormon yang dilepaskan dari hipotalamus disirkulasikan langsung ke kelenjar pituitari anterior tanpa melewati sirkulasi darah secara umum. Hormon-hormon tersebut dan efeknya pada hipofisis anterior meliputi (Tabel 7.3):

Tabel 7.3
Hormon Pelepas dan Penghambat Hipotalamus dan Efeknya pada Hipofisis Anterior.

| No | Hormon | Fungsi | Efek pada Hipofisis Anterior |
|----|--|---------------------------------------|--|
| 1 | <i>Corticotropin-Releasing Hormone (CRH)</i> | Meregulasi pelepasan ACTH | Merangsang pelepasan <i>adrenocorticotrophic hormone (ACTH)</i> |
| 2 | <i>Tirotropin-Releasing Hormone (TRH)</i> | Meregulasi sekresi TSH (tirotropin) | Menstimulasi pelepasan TSH dan prolaktin |
| 3 | <i>Gonadotropin-Releasing Hormone (GnRH)</i> | Kontrol sistem reproduksi | Merangsang pengeluaran <i>Luteinizing Hormone (LH)</i> dan <i>Folliche Stimulating Hormone (FSH)</i> |
| 4 | <i>Growth Hormone-Releasing Hormone (GHRH)</i> | Kontrol sekresi <i>Growth Hormone</i> | Merangsang pelepasan <i>Growth Hormone (GH)</i> |

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|---|
| 5 | Somatostatin (<i>Growth Hormone-Inhibiting Hormones</i> (GHIH)) | Kontrol sekresi <i>Growth Hormone</i> | Menghambat pelepasan <i>Growth Hormone</i> (GH) |
| 6 | <i>Prolactin-Releasing Hormone</i> . | Regulasi sekresi hormon prolactin. | Merangsang pelepasan hormon prolaktin. |
| 7 | Dopamine (<i>Prolactin-Inhibiting Hormone</i> : (PIH)). | Regulasi sekresi hormon prolaktin. | Menghambat pelepasan hormon prolaktin. |

Selain itu, juga terdapat hormon-hormon hipotalamus dan hipofisis lain yang dijelaskan pada Tabel 7.4 di bawah ini:

Tabel 7.4
Hormon-Hormon Hipotalamus dan Hipofisis.

| Kelenjar | Hormon | Golongan zat kimia | Aksi Utama | Sistem Kontrol |
|---|--|--------------------|---|---|
| Hipotalamus | Hormon dari hipotalamus dilepaskan oleh pituitari posterior. Hormon pelepas dan penghambat yang telah dijelaskan sebelumnya. | | | |
| a. Pituitari posterior (Tidak memproduksi hormon sendiri, hanya melepaskan hormon yang dibuat oleh sel-sel neuron sekretori di hipotalamus) | • Oksitosin | Peptida | a. Uterus: menstimulasi kontraksi uterus dengan sistem <i>feedback</i> positif saat melahirkan b. Payudara: pengeluaran ASI melalui sistem " <i>let-</i> | Sistem saraf (hipotalamus) dalam respons peregangannya rahim dan hisapan bayi saat menyusui |

| | | | | |
|-----------------------|--|---------|--|---|
| | | | <i>down reflex</i> | |
| | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Antidiuretic Hormone</i> (ADH) | Peptida | Meningkatkan retensi urin di ginjal (Menurunkan jumlah produksi urine). | Hipotalamus, saat terjadi ketidakseimbangan cairan dan level natrium dalam tubuh. |
| b. Pituitari anterior | <ul style="list-style-type: none"> • Hormon pertumbuhan (<i>Growth Hormone</i>: (GH)) | Protein | Menstimulasi pertumbuhan (terutama tulang dan otot) serta metabolisme | Hormon Pelepas dan Penghambat Hipotalamus (GHRH & GHIH) |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Prolaktin | Protein | Menstimulasi perkembangan payudara dan produksi AS | Hormon Pelepas dan Penghambat Hipotalamus (PSH & PIH) |
| | <ul style="list-style-type: none"> • <i>Follicle Stimulating Hormone</i> (FSH) | Protein | -Wanita: Menstimulasi pertumbuhan dan perkembangan folikel telur dan merang- | Hormon Hipotalamus |

| | | | | |
|--|---------|---|--|--|
| | | | <p>sang pelepasan estrogen</p> <p>-Pria: Produksi sperma</p> | |
| <ul style="list-style-type: none"> • <i>Luteinizing Hormone (LH)</i> | Protein | <p>-Wanita: Menstimulasi ovulasi, perkembangan corpus luteum, sekresi estrogen dan progesterone</p> <p>-Pria: merangsang sekresi testosterone</p> | Hormon Hipotalamus | |
| <ul style="list-style-type: none"> • <i>Tyroid-Stimulating Hormone (TSH)</i> | Protein | Menstimulasi kelenjar tiroid untuk menyekresikan T ₃ dan T ₄ . | Level tiroksin dalam darah dan hormon hipotalamus | |
| <ul style="list-style-type: none"> • <i>Adrenocorticotrophic Hormone (ACTH)</i> | Protein | Menstimulasi korteks adrenal untuk | Glukokortikoid, hormon hipotalamus | |

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| | | | menyek- resikan glukokorti- koid (kortisol) | |
|--|--|--|---|--|

b. Kelenjar pineal

Kelenjar pineal adalah kelenjar kecil yang menggantung pada atap ventrikel tiga otak manusia. Kelenjar ini salah satunya menghasilkan hormon melatonin sebagai “hormon tidur”, karena efek hormon ini mengatur siklus tidur-bangun seseorang.

Tabel 7.5
Karakteristik Hormon Melatonin.

| Kelenjar | Hormon | Golongan zat kimia | Aksi Utama | Sistem Kontrol |
|----------|-----------|--------------------|--|---|
| Pineal | Melatonin | Amina | Pengaturan ritme biologis (harian dan musiman) | <ul style="list-style-type: none"> - Siklus gelap terang (level nya dalam darah naik dan turun bergantung pada waktu siang-malam) - Hormon ini juga dipercaya menghambat hormon yang merangsang aktivitas reproduksi sebelum tubuh mencapai maturasi. Pubertas dimulai dengan penurunan sekresi melatonin |

c. Kelenjar tiroid

Kelenjar ini terletak di pangkal tenggorokan dan mudah diraba saat pemeriksaan klinis. Kelenjar tiroid menghasilkan dua jenis hormon, yaitu hormon tiroid dan hormon kalsitonin.

Hormon tiroid dikenal sebagai hormon metabolik utama dan dapat dibagi lagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Hormon Tiroksin (T_4): hormon utama yang disekresikan folikel tiroid.
- 2) Hormon *Triiodothyronine* (T_3): sebagian besar T_3 dibentuk di sel target dengan konversi T_4 ke T_3 .

Penjelasan lebih lanjut untuk hormon-hormon yang dihasilkan kelenjar tiroid diuraikan pada Tabel 7.6 berikut:

Tabel 7.6
Karakteristik Hormon Kelenjar Tiroid.

| Kelenjar | Hormon | Golongan zat kimia | Aksi Utama | Sistem Kontrol |
|----------|--|--------------------|--|----------------|
| Tiroid | Tiroksin (T_4) dan Triiodotironine (T_3) | Amina | <ul style="list-style-type: none"> - Metabolime: laju pemecahan glukosa menjadi panas tubuh dan ATP - Pertumbuhan: hormon ini penting dalam pertumbuhan dan perkembangan normal jaringan tubuh, terutama terkait sistem reproduksi dan saraf | TSH |

| | | | | |
|--|------------|---------|--|-------------------------------|
| | Calcitonin | Peptida | - Menurunkan kadar kalsium dalam darah (bersifat antagonis terhadap hormon paratiroid) | Level ion kalsium dalam darah |
|--|------------|---------|--|-------------------------------|

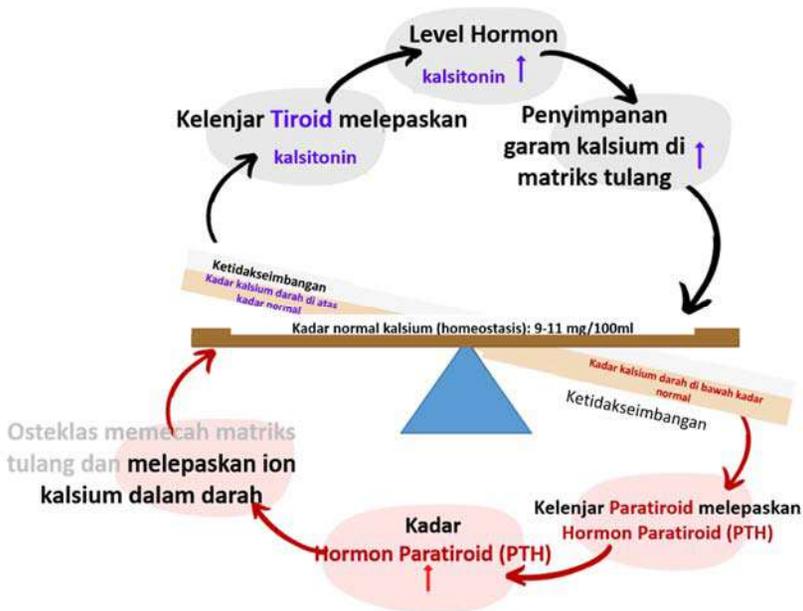
d. Kelenjar paratiroid

Kelenjar paratiroid adalah kumpulan jaringan tissue yang sering ditemukan pada bagian posterior permukaan kelenjar tiroid. Secara umum, pada satu kelenjar tiroid terdapat dua kelenjar paratiroid sehingga total terdapat empat kelenjar paratiroid. Namun, pada tubuh kita, terdapat total delapan kelenjar paratiroid yang empat di antaranya terletak di bagian leher lain.

Kelenjar paratiroid memiliki fungsi utama dalam keseimbangan ion kalsium (Ca^{2+}) dalam darah. Ketika kadar kalsium darah mencapai level tertentu (kadar normal 9-11 mg/100 ml), tubuh akan melepaskan hormon paratiroid yang memberikan efek berikut:

- 1) Stimulasi pemecahan matriks tulang oleh osteoklas dan melepaskan ion kalsium dalam darah.
- 2) Stimulasi penyerapan lebih banyak kalsium melalui ginjal (filtrat urin) dan usus (dari sari makanan).

Kerja hormon paratiroid ini berlawanan dengan hormon kalsitonin, yakni hormon paratiroid berperan sebagai hormon hiperkalsemik (meningkatkan level kalsium dalam darah) dan hormon kalsitonin berperan sebagai hormon hipokalsemik (menurunkan level ion kalsium dalam darah). Dua hormon ini berperan dalam pengaturan homeostasis ion kalsium dalam darah.



Gambar 7.4
Mekanisme Kerja PTH dan Kalsitonin dalam Menjaga Homeostasis Kadar Kalsium dalam Darah.

Tabel 7.7
Karakteristik Hormon Paratiroid.

| Kelenjar | Hormon | Golongan zat kimia | Aksi Utama | Sistem Kontrol |
|------------|------------------|--------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Paratiroid | Paratiroid (PTH) | Peptida | Meningkatkan ion kalsium dalam darah | Level ion kalsium dalam darah |

e. Kelenjar timus

Kelenjar timus berada pada toraks bagian atas, posisi posterior terhadap sternum. Kelenjar ini pada anak-anak dan bayi ukurannya cukup besar dan akan menyusut seiring usia. Pada lansia, kelenjar ini utamanya tersusun atas jaringan ikat fibrosa dan lemak. Kelenjar

ini menghasilkan hormon timosin yang mempercepat proliferasi dan pematangan fungsi limfosit T untuk imunitas tubuh.

Tabel 7.8
Karakteristik Hormon Timosin.

| Kelenjar | Hormon | Golongan zat kimia | Aksi Utama | Sistem Kontrol |
|----------|---------|--------------------|-----------------------|-----------------|
| Timus | Timosin | Peptida | Memprogram T limfosit | Tidak diketahui |

f. Kelenjar adrenal

Kelenjar adrenal terletak pada permukaan atas ginjal menyerupai topi berbentuk segitiga. Meskipun secara penampakan kelenjar ini adalah sebuah organ, tetapi secara struktur dan fungsionalnya, kelenjar ini dapat dibagi menjadi dua organ endokrin, yaitu:

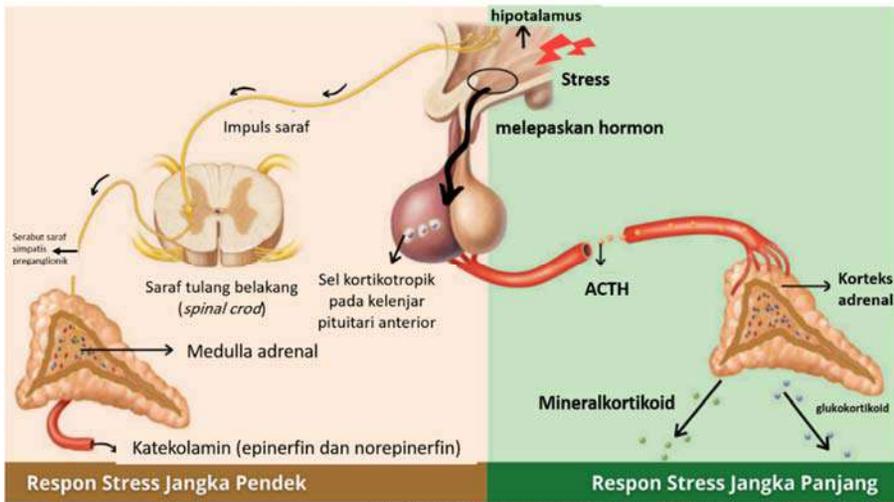
- 1) Korteks adrenal yang terbagi lagi menjadi tiga lapis. Masing-masing lapisan menghasilkan hormon yang berbeda, yaitu mineralokortikoid, glukokortikoid, dan hormon seks.
- 2) Medulla adrenal yang menghasilkan hormon katekolamin (epinefrin (adrenalin) dan norepinefrin (noradrenalin)) yang merespons pada kondisi stres atau kondisi “*flight or fight*”.

Tabel 7.9
Karakteristik Hormon Kelenjar Adrenal.

| Kelenjar | Hormon | Golongan zat kimia | Aksi Utama | Sistem Kontrol |
|-----------------|---------------------------------|--------------------|---|---|
| Korteks Adrenal | Mineralokortikoid (aldosterone) | Steroid | Merangsang reabsorpsi natrium dan ekskresi kalium di ginjal | Perubahan volume dan tekanan darah, level natrium dan |

| | | | | |
|-----------------|----------------------------|---------|---|------------------------|
| | | | | kalium dalam darah |
| | Glukokortikoid (kortisol) | Steroid | Meningkatkan kadar glukosa darah | ACTH |
| | Androgen | Steroid | Pada wanita: bertanggung-jawab pada tumbuh cepat (<i>growth spurt</i>) pada masa pubertas dan pengaturan seks di otak | ACTH |
| Medulla adrenal | Epinefrin dan norepinefrin | Amina | Meningkatkan level glukosa darah, meningkatkan metabolisme, menyempitkan pembuluh darah | Sistem saraf simpatik. |

Hormon adrenal ini juga memiliki fungsi dalam merespons stres dengan respons stres jangka pendek (katekolamin) dan jangka panjang (glukokortikoid dan mineralokortikoid). Respons tersebut dijelaskan lebih lanjut pada Gambar 7.5 dan Tabel 10.



Sumber Gambar: Marieb & Keller (2018), dengan perubahan berupa terjemah bahasa dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 7.5
Peran Hormon Kelenjar Adrenal Terhadap Stres Jangka Pendek dan Jangka Panjang.

Tabel 7.10
Respons Jangka Pendek dan Jangka Panjang Tubuh terhadap Stres.

| Respon Jangka Pendek | Respon Jangka Panjang | |
|--|---|--|
| Katekolamin (epinefrin dan norepinefrin) | Mineralkortikoid | Glukokortikoid |
| <ul style="list-style-type: none"> • Peningkatan denyut jantung dan tekanan darah • Hati mengubah glikogen ke glukosa dan melepaskan glukosa ke darah • Dilatasi bronkiolus • Penurunan aktivitas pencernaan dan ginjal • Peningkatan metabolisme | <ul style="list-style-type: none"> • Retensi natrium dan air di ginjal • Peningkatan volume dan tekanan darah | <ul style="list-style-type: none"> • Protein dan lemak dirubah menjadi glukosa atau dipecah menjadi energi • Peningkatan kadar gula darah • Surpresi (tekanan) pada sistem imun |

g. Pankreas

Pankreas merupakan suatu kelenjar campuran. Kelenjar endokrin menyerupai bentuk jutaan pulau-pulau kecil disebut sebagai pulau Langerhans, membentuk massa jaringan yang tersebar di antara jaringan kelenjar eksokrin yang menghasilkan enzim.

Hormon yang dihasilkan dari pulau Langerhans ini disebut sebagai hormon insulin dan glukagon. Sel-sel pulau bekerja sebagai sensor yang akan melepaskan insulin dan glukagon sesuai keadaan lapar dan kenyang sebagai berikut:

- 1) Level glukosa darah yang tinggi akan merangsang sel beta untuk melepaskan hormon insulin. Hormon insulin akan meningkatkan pemasukan glukosa ke dalam sel sehingga level glukosa darah menurun (efek hipoglikemik).
- 2) Jika level glukosa dalam darah rendah, sel-sel alfa akan melepaskan hormon glukagon yang memecah glikogen menjadi bentuk glukosa dan melepaskannya ke darah, sehingga level glukosa darah meningkat (efek hiperglikemik).

Jadi secara fungsi, hormon insulin dan glukagon memiliki fungsi yang berkebalikan. Hormon insulin berfungsi menurunkan kadar glukosa darah (Contoh: setelah makan), dan hormon glukagon berfungsi meningkatkan kadar glukosa dalam darah (Contoh: saat seseorang mengalami kelaparan/berpuasa).

h. Ovarium

Ovarium adalah kelenjar gonad pada perempuan yang besarnya sedikit lebih besar dari kacang almond, berpasangan, dan terletak pada area pelvis. Selain menghasilkan ovum, ovarium juga menghasilkan hormon, yaitu estrogen dan progesterone yang merupakan hormon-hormon steroid.

- 1) Hormon estrogen bertanggung jawab pada perkembangan karakteristik seks pada wanita, termasuk perkembangan or-

gan seksual, dan karakteristik seks sekunder. Bersama dengan progesterone menstimulasi pertumbuhan payudara dan mengatur siklus menstruasi.

- 2) Hormon progesteron bersama dengan estrogen meregulasi siklus menstruasi. Saat kehamilan hormon ini berperan dalam menenangkan otot dinding rahim, supaya tidak terjadi kontraksi dan keguguran. Hormon ini juga berperan dalam mempersiapkan jaringan payudara untuk persiapan menyusui.

i. Testis

Testis merupakan bulatan berbentuk oval, berpasangan, dibungkus skrotum, dan terletak di luar pelvis. Testis menghasilkan sperma dan hormon seks untuk pria (androgen) yang salah satunya adalah testosterone. Pada saat pubertas, testosterone berperan dalam perkembangan dan pematangan sistem reproduksi pria, termasuk perkembangan ciri seks sekunder (tumbuhnya kumis, brewok, suara menjadi lebih berat). Pada pria dewasa, hormon ini berperan dalam keberlangsungan produksi sperma.

j. Jaringan dan organ penghasil hormon lain

Selain hormon yang telah dibahas di atas, terdapat beberapa hormon yang diproduksi oleh jaringan atau organ penghasil hormon lain selain kelenjar endokrin utama. Contoh, plasenta yang menghasilkan hormon *human chorionic gonadotropin* (HCG) pada awal kehamilan. Contoh lain adalah hormon gastrin yang dihasilkan lambung, jika terdapat makanan yang masuk untuk menstimulasi pengeluaran asam klorida (HCL).

5. Gangguan Fungsi Hormon

Ketidakeimbangan konsentrasi hormon aktif dalam plasma dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Gangguan endokrin umumnya merupakan hasil dari rerata sekresi yang tidak normal, baik itu terlalu sedikit hormon yang disekresi (hiposekresi) atau sebaliknya, terlalu banyak hormon yang disekresikan (hipersekresi).

Tabel 7.11
Faktor-faktor yang Menyebabkan Gangguan Endokrin.

| Aktivitas Hormon Terlalu Rendah | Aktivitas Hormon Terlalu Tinggi |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Hiposekresi • Meningkatnya laju pembersihan hormon dari dalam darah • Respons jaringan yang abnormal terhadap hormon • Kekurangan reseptor pada sel target • Kekurangan enzim yang penting untuk memunculkan respons sel target | <ul style="list-style-type: none"> • Hipersekresi • Menurunnya ikatan hormon-protein plasma (terlalu banyak hormon aktif yang bebas) • Penurunan laju pembersihan hormon dari dalam darah • Penurunan laju inaktivasi hormon • Penurunan ekskresi hormon melalui urine |

Untuk mencapai kondisi homeostasis, kadar hormon dalam darah harus terjaga dalam rentang normalnya. Kadar yang terlalu tinggi dan rendah dalam darah menyebabkan gangguan fungsi tubuh yang lebih rinci dijelaskan pada Tabel 7.12.

Tabel 7.12
Gangguan Hormon dan Dampaknya pada Fungsi Tubuh.

| No. | Hormon | Kadar < normal | Kadar > normal |
|-----|-----------------------------------|--|---|
| 1. | <i>Antidiuretic Hormone</i> (ADH) | Produksi urine berlebihan yang disebut diabetes insipidus | <i>Syndrome of inappropriate hypersecretion of antidiuretic hormone</i> (SIADH) |
| 2. | (<i>Growth Hormone</i>) | Kerdil, yaitu proporsi tubuh normal namun ukurannya lebih kecil dari manusia normal (mini) | Gigantisme dan akromegali |
| 3. | FSH dan LH | Steril (tidak mampu bereproduksi) | Tidak ada dampak tertentu |
| 4. | Tiroid | <ul style="list-style-type: none"> • Gondok akibat kekurangan asupan yodium dan hormon tiroid tidak dapat diproduksi • Kretinisme • <i>Myxedema</i> | <ul style="list-style-type: none"> • Penyakit <i>graves</i> |
| 5. | Paratiroid | <ul style="list-style-type: none"> • Tetanus | <ul style="list-style-type: none"> • Pemecahan tulang secara masif yang menyebabkan tulang menjadi rapuh |
| 6. | Hormon-hormon korteks adrenal | Penyakit addison | Hyperaldosteronism |
| 7. | Hormon medulla adrenal | Tidak ada dampak tertentu | Denyut jantung cepat, tekanan darah tinggi |

| | | | |
|----|--------------------------|---|---|
| 8. | Insulin | Level gula darah tinggi (diabetes mellitus) | Hyperinsulinemia → sensitivitas insulin menurun → glukosa darah meningkat |
| 9. | Estrogen dan progesteron | Menurunkan kemungkinan hamil dan melahirkan | Perkembangan seksual prematur dan infertilitas, risiko kanker |

C. Rangkuman

1. Sistem endokrin merupakan sistem kontrol tubuh manusia menggunakan zat kimia yang disebut dengan hormon.
2. Hormon adalah substansi kimia yang disekresikan untuk mengatur aktivitas metabolik sel lain dan dihasilkan oleh kelenjar, setiap hormon memiliki fungsi spesifik.
3. Hormon dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok besar: hormon berbasis asam amino, hormon berbasis steroid, dan hormon turunan asam amino dan steroid.
4. Gangguan fungsi hormon dapat berupa aktivitas hormon yang terlalu rendah atau terlalu tinggi.

D. Evaluasi

1. Jelaskan fungsi-fungsi hormon dalam tubuh manusia!
2. Jelaskan perbedaan kinerja sistem endokrin dan sistem saraf!
3. Sebutkan tiga jenis kelenjar endokrin, hormon yang diproduksi beserta fungsi!

BAB VIII

SISTEM RESPIRASI

A. Tujuan Pembelajaran

Pada bab ini, mahasiswa akan mempelajari tentang anatomi sistem respirasi serta fungsi mekanisme kerja sistem pernapasan, dengan tujuan agar mahasiswa mampu mengidentifikasi bagian-bagian dari sistem respirasi dan mampu menjelaskan mekanisme kerja sistem tersebut.

B. Materi Pembelajaran

1. Gambaran Umum Sistem Respirasi

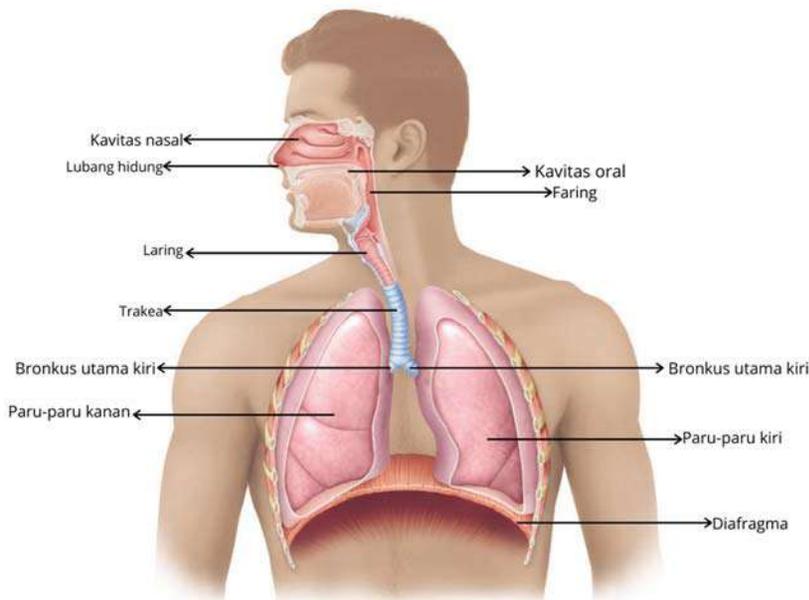
Sistem respirasi atau sistem pernapasan adalah sistem tubuh yang bertanggung jawab untuk menyediakan oksigen sel-sel tubuh dan membuang karbon dioksida keluar tubuh, agar sel-sel tubuh tetap hidup. Sistem ini bekerja sama dengan sistem kardiovaskular untuk mengedarkan oksigen yang didapatkan dari pertukaran gas di alveolus ke seluruh tubuh bersama aliran darah. Kemudian mengambil karbon dioksida dari hasil metabolisme sel untuk dibawa kembali ke paru-paru untuk kemudian dibuang keluar tubuh.

Selain fungsi pernapasan, sistem respirasi ini juga memiliki fungsi-fungsi lain, yaitu:

- a. Merupakan saluran pelepasan air dan panas tubuh → saluran napas perlu dijaga dalam keadaan lembab dan panas tubuh dilepaskan saat menghembuskan napas.
- b. Menjaga keseimbangan asam-basa.
- c. Merupakan sistem yang membuat manusia dapat berbicara, bernyanyi, dan mengeluarkan suara lain.

- d. Perlindungan terhadap zat-zat asing (fungsi imunologis) dengan cara adanya makrofag di alveolus, refleks bersin dan batuk serta adanya lendir saluran napas.
- e. Otot-otot pernapasan juga membantu dalam proses defekasi dan melahirkan.
- f. Paru-paru juga memiliki peran dalam menyeimbangkan *output* bilik kiri dan bilik kanan.

Sistem respirasi tersusun atas organ-organ penyusunnya, meliputi hidung, faring, laring, trakea, bronkus, bronkiolus, dan paru-paru yang di dalamnya terdapat alveolus. Selanjutnya, bagian hidung hingga laring disebut saluran napas atas dan organ yang terdapat pada bagian trakea hingga alveolus disebut dengan saluran napas bawah. Penjelasan lebih detail tentang anatomi dan fungsi masing-masing organ akan dibahas pada bagian selanjutnya.



Sumber Gambar: **Sherwood (2019)**, dengan perubahan berupa terjemah bahasa dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 8.1
Organ-organ dalam Sistem Pernapasan Manusia.

Dalam proses pernapasan, aktivitas yang dilakukan dapat dibagi menjadi empat jenis, yaitu:

a. Ventilasi paru

Udara harus dapat bergerak keluar masuk paru, sehingga terjadi pergantian udara dalam paru yang secara umum proses ini disebut dengan bernapas.

b. Respirasi eksternal

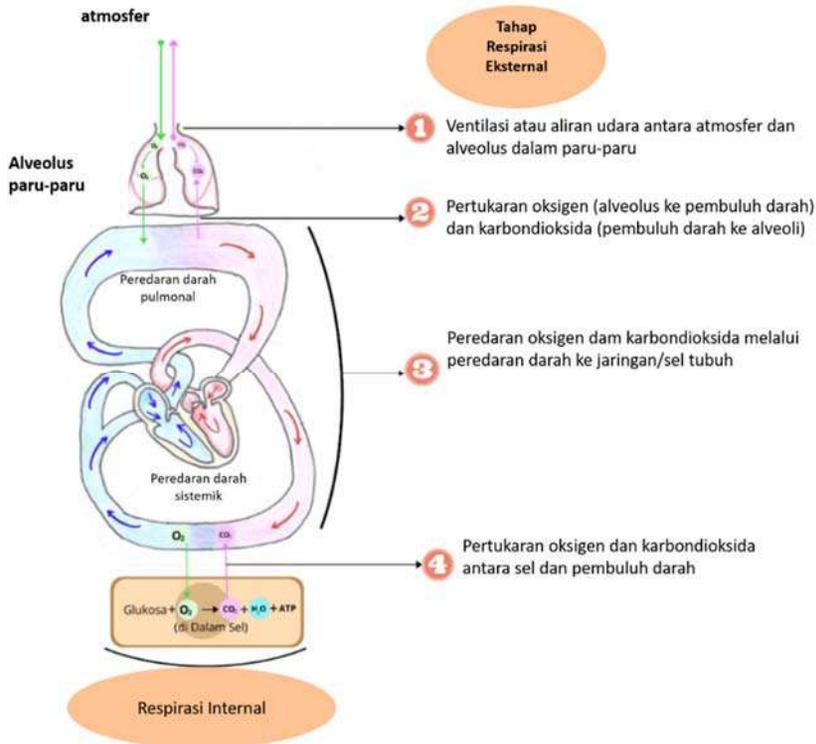
Respirasi eksternal merupakan segala proses yang terlibat dalam pergerakan oksigen dari atmosfer ke alveolus, kemudian berdifusi ke kapiler darah. Sebagai pertukaran, karbon dioksida yang dihasilkan di jaringan berdifusi dari kapiler ke alveolus untuk dilepaskan ke atmosfer.

c. Transpor gas pernapasan

Oksigen dan karbon dioksida dibawa dari dan ke paru melalui aliran darah dalam sistem kardiovaskular, meliputi sirkulasi pulmonal dan sistemik.

d. Respirasi internal

Respirasi internal adalah proses sel-sel tubuh menggunakan oksigen dalam proses metabolisme untuk menghasilkan energi. Karbon dioksida yang dihasilkan dalam proses ini, secara keseluruhan harus dikeluarkan dari dalam tubuh melalui aliran darah dari jaringan ke paru oleh sistem kardiovaskuler dilanjutkan proses respirasi eksternal.



Gambar 8.2
Respirasi Internal dan Eksternal.

2. Organ-organ Penyusun Sistem Respirasi dan Fungsinya

a. Hidung

Hidung adalah satu-satunya organ sistem pernapasan yang tampak dari luar tubuh. Hidung adalah organ yang pertama kali dilewati udara saat menarik napas, yaitu melalui rongga hidung/lubang hidung. Udara yang telah melewati hidung selanjutnya akan dilanjutkan ke faring.

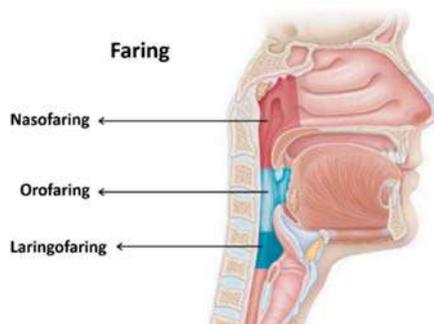
Rongga hidung terdiri atas dua rongga yang dipisahkan oleh konka yang memisahkan dua sisi kavitas, konka ini juga merupakan tempat banyak kelenjar dan kaya akan suplai darah. Rongga hidung tersebut memiliki fungsi baik dalam proses pernapasan, penciuman

bau, melembabkan udara, dan pertahanan terhadap penyakit. Pada rongga hidung terdapat area yang luas dengan permukaan yang lembab untuk menyesuaikan kualitas udara yang masuk sebelum terjadi pertukaran oksigen di paru-paru. Mukosa pada permukaan hidung melindungi dari partikel asing, terutama saat terjadi peradangan. Pada ujung rongga hidung juga terdapat reseptor saraf penciuman (olfaktorius), sehingga hidung memiliki kemampuan untuk mencium bau.

Fungsi-fungsi pada rongga hidung tersebut membuat udara yang mencapai paru-paru dalam kondisi level iritan, (misal debu atau bakteri dan virus) yang lebih rendah, hangat, dan lembab.

b. Faring

Faring adalah jalur aliran udara yang terdiri atas otot yang panjangnya sekitar 13 cm. Faring terbagi menjadi tiga bagian, yaitu nasofaring, orofaring, dan laringofaring. Faring bukan hanya dilewati udara, tetapi juga makanan. Namun, untuk jalur makanan tidak melewati nasofaring, hanya melewati orofaring dan laringofaring, kemudian dilanjutkan ke esofagus dengan pengaturan katup bernama epiglottis.



Sumber Gambar: Sherwood (2019) dengan perubahan berupa terjemah bahasa dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 8.3
Faring.

c. Laring

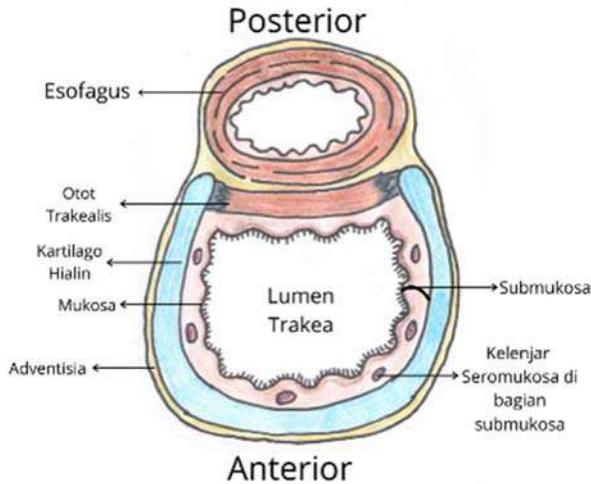
Laring atau disebut juga sebagai kotak suara, mengatur agar udara dan makanan dapat berjalan sesuai jalurnya. Bagian ini juga sangat penting dalam produksi suara dengan adanya pita suara yang dilewati udara melewati laring.

Laring dibentuk oleh delapan tulang rawan hialin yang berjajar rapat dan berlokasi di bawah faring. Di bagian ini juga terdapat tulang rawan berbentuk perisai yang disebut sebagai tulang rawan tiroid atau “adam’s apple” atau disebut juga sebagai jakun. Pada ujung atas laring terdapat tulang rawan elastis yang berfungsi sebagai tutup berbentuk sendok yang disebut sebagai epiglottis.

Epiglottis memiliki fungsi perlindungan, yakni pada kondisi normal udara akan dapat masuk ke dalam laring. Namun, saat seseorang makan dan menelan makanan, laring akan terangkat dan epiglottis akan menutupi lubang laring, sehingga makanan akan berjalan ke esofagus kemudian lambung. Jika terjadi kesalahan dalam pengaturan yang menyebabkan adanya zat masuk ke dalam laring selain udara, tubuh akan merespons dengan refleks batuk untuk mencegah zat tersebut masuk ke paru-paru.

d. Trakea

Trakea merupakan saluran udara yang terdiri dari kartilago hialin berbentuk huruf C yang menahannya tetap terbuka. Sisi lain trakea terdiri dari otot trakealis yang menempel pada otot esofagus, yakni otot ini dapat menyesuaikan jika tubuh menelan makanan dalam jumlah besar dan esofagus meregang. Permukaan dalam trakea dilapisi oleh lapisan mukosa bersilia yang mukosanya dihasilkan oleh sel-sel goblet.

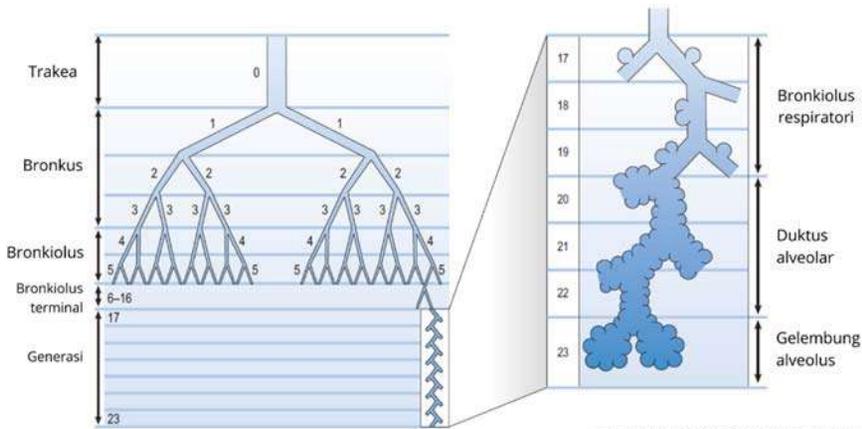


Gambar 8.4
Penampang Trakea.

e. Bronkus dan bronkiolus

Bronkus merupakan percabangan trakea dan terdiri dari bronkus utama kanan dan bronkus utama kiri. Bronkus selanjutnya akan bercabang-cabang menjadi bronkiolus dan masuk ke dalam paru sebagai jalur utama udara dari kantung alveolus.

Jalan udara ke paru-paru sering juga disebut sebagai “pohon bronkial”, karena bentuk percabangannya yang menyerupai pohon dengan 23 level percabangan hingga ke alveolus. Masing-masing cabang akan terbagi menjadi dua (dikotomi) dengan ukuran pada masing-masing cabang tidak selalu sama (irregular).

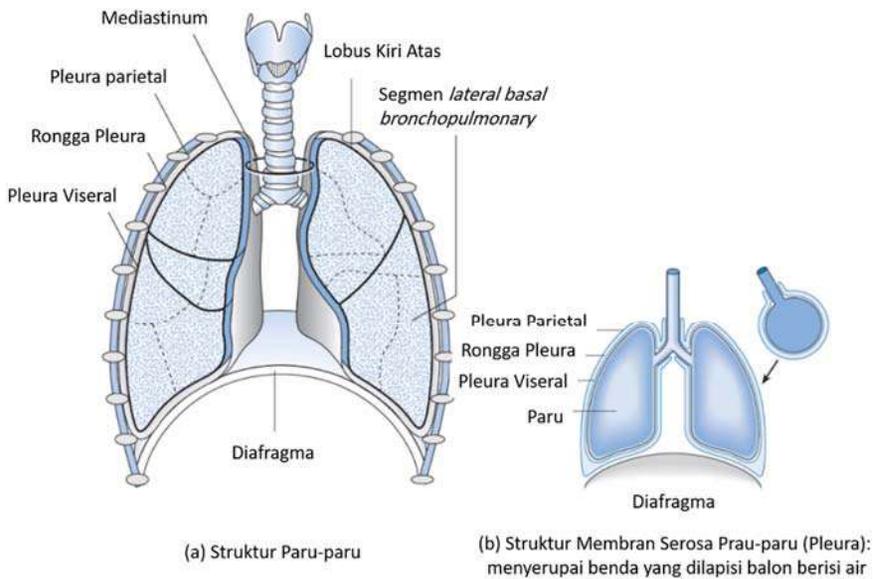


Gambar 8.5
Bronkus dan Bronkiolus.

f. Paru-paru

Paru-paru adalah organ pernapasan yang cukup besar yang memenuhi sebagian besar mediastinum. Paru-paru dibagi menjadi paru-paru kanan dan kiri, masing-masing dibungkus oleh selaput sepasang membran serosa yang disebut pleura. Bagian yang menempel pada paru disebut pleura paru (*pulmonary pleura*) dan yang menempel pada dinding rongga dada disebut pleura visceral (*visceral pleura*), di antara kedua membran tersebut terdapat cairan disebut cairan pleural (cairan serosa).

Paru-paru terdiri atas cabang-cabang saluran napas, alveolus, pembuluh darah paru, dan jaringan ikat elastik dalam jumlah besar. Jaringan ikat elastik tersebut memungkinkan paru-paru kita mampu mengembang dan mengerut (kembali ke ukuran semula) ketika kita bernapas. Hal itu karena struktur dalam paru-paru terdiri dari alveolus yang berongga, paru-paru utamanya berisi udara sehingga meskipun ukurannya besar, tetapi ringan.



Sumber Gambar: **Davies & Moores (2010)**, dengan perubahan berupa terjemah bahasa dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 8.6
Struktur Paru-Paru.

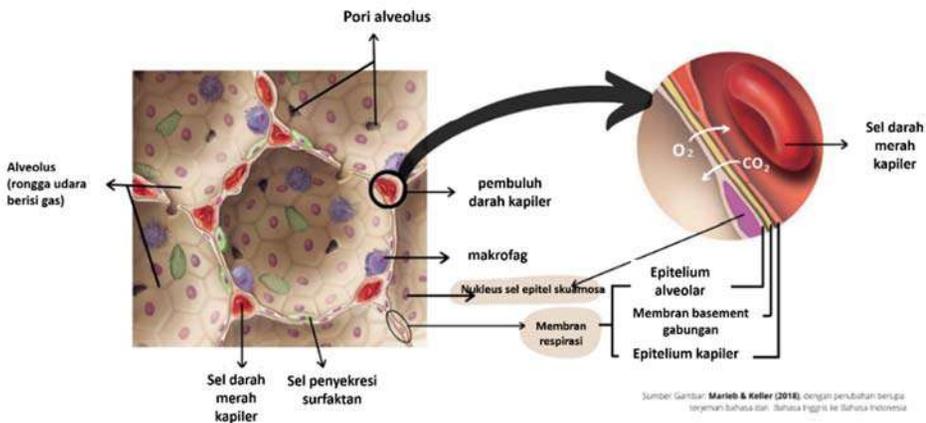
g. Alveolus

Jika kita masuk ke dalam paru-paru lebih dalam, generasi dan transisi saluran napas akan mulai terdapat alveolus hingga pada ujungnya secara keseluruhan terdiri dari kantung-kantung alveolus. Namun demikian, alveolus sesungguhnya tidak tampak seperti kumpulan anggur atau balon dalam tangkai, karena alveolus berbentuk rongga dengan pola tutul dan berlubang. Di antara alveolus yang berdempetan terdapat makrofag yang berfungsi memakan benda asing, jika terdapat partikel asing yang lolos hingga mencapai alveolus.

Dinding alveolus terdiri atas membran epitel skuamosa tunggal yang tipis. Pori-pori dalam alveolus memungkinkan udara untuk dapat masuk dengan banyak jalan alternatif. Permukaan luar alveo-

lus ditutupi oleh pembuluh dalam kapiler alveolar, yaitu dinding kapiler dan dinding alveolus menyatu membentuk membran basement gabungan, dan serat elastis membentuk membran respirasi yang membatasi kontak udara dan darah (*air-blood barrier*). Membran respirasi ini memungkinkan adanya pertukaran udara, yaitu CO dari kapiler ke alveolus dan O₂ dari alveolus ke kapiler. Proses pertukaran ini terjadi melalui mekanisme difusi sederhana.

Di dinding alveolus juga terdapat sel kuboid alveolar yang menyekresi surfaktan, sebuah kompleks molekul yang terdiri atas fosfolipid dan protein yang melapisi permukaan alveolus yang terpapar gas. Surfaktan ini berfungsi untuk melapisi permukaan alveolus, sehingga tidak terjadi kontak antara air dan udara. Lapisan surfaktan ini menurunkan tegangan permukaan lapisan air di dinding alveolus, sehingga alveolus tidak kolaps ketika ekspirasi (menghembuskan napas) akibat gaya tarik molekul-molekul air.



Gambar 8.7
Alveolus.

h. Dinding dada, diafragma, dan otot-otot interkostal

Dinding dada (toraks) terbentuk atas 12 pasang tulang iga yang bagian belakangnya bergabung dengan tulang belakang, dan bagian

depannya (tulang iga 1-7) bergabung dengan tulang sternum. Cangkang yang dibentuk tulang-tulang iga ini (*rib cage*) berfungsi untuk melindungi jantung dan paru-paru. Pada dinding dada terdapat jaringan ikat elastis dalam jumlah cukup besar. Selain itu, juga terdapat tiga lapis otot yang berada di antara tulang-tulang iga, yaitu otot interkostal eksternal, otot interkostal internal, dan interkostal terdalam yang berfungsi dalam pergerakan tulang iga selama bernapas.

Diafragma merupakan lembaran otot yang terletak pada dasar dinding dada di sekitar tendon utama yang lebar. Otot diafragma membentuk bagian dasar cavitas dada dan memisahkannya dari cavitas abdominal. Pada kondisi istirahat diafragma akan membentuk lengkungan (*dome shape*) dan saat berkontraksi (saat menarik napas) akan cenderung lebih datar.

Otot-otot ini menurut fungsinya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- 1) Otot inspirasi, utamanya terdiri atas diafragma dan otot interkostal eksternal.
- 2) Otot ekspirasi, meliputi otot interkostal internal dan otot-otot perut, yaitu *rectus abdominis*, *transversus abdominis*, *internal oblique*, dan eksternal.

3. Fisiologi Pernapasan

a. Mekanisme bernapas

Bernapas atau ventilasi paru merupakan proses mekanika yang bergantung pada perubahan volume pada cavitas dada (toraks). Hal tersebut terjadi dengan rangkaian proses sebagai berikut:

1) Inspirasi dan ekspirasi

Saat inspirasi (menarik napas), diafragma dan otot interkostal berkontraksi sehingga ukuran cavitas dada membesar. Diafragma yang berkontraksi akan berubah bentuk dari bentuk leng-

kung ke atas (*dome shape*) menjadi datar bersamaan dengan otot interkostal eksternal yang berkontraksi, sehingga jarak antartulang iga menjadi lebih rapat dan tertarik ke atas. Proses tersebut menyebabkan rongga dada menjadi membesar. Rongga dada yang membesar juga akan menyebabkan paru-paru meregang dan volume paru meningkat sehingga tekanan menurun. Tekanan dalam paru yang lebih rendah dari atmosfer akan menyebabkan udara mengalir ke dalam paru hingga tekanan atmosfer sama dengan tekanan dalam paru.

Ekspirasi (menghembuskan napas) secara umum adalah proses pasif yang bergantung pada elastisitas jaringan paru. Ketika otot-otot inspirasi relaksasi dan kembali ke ukuran semula, maka volume paru pun akan menurun dan tekanan dalam paru meningkat. Tekanan dalam paru yang lebih tinggi daripada atmosfer ini mendorong terjadinya aliran udara dari dalam ke luar paru.

Dalam kondisi tertentu, misalnya asma atau saluran napas tersumbat akibat dahak, proses menghembuskan napas ini dapat menjadi proses aktif dengan melibatkan otot interkostal internal dan otot-otot abdomen.



Gambar 8.8
Proses Bernapas.

2) Volume dan kapasitas respirasi

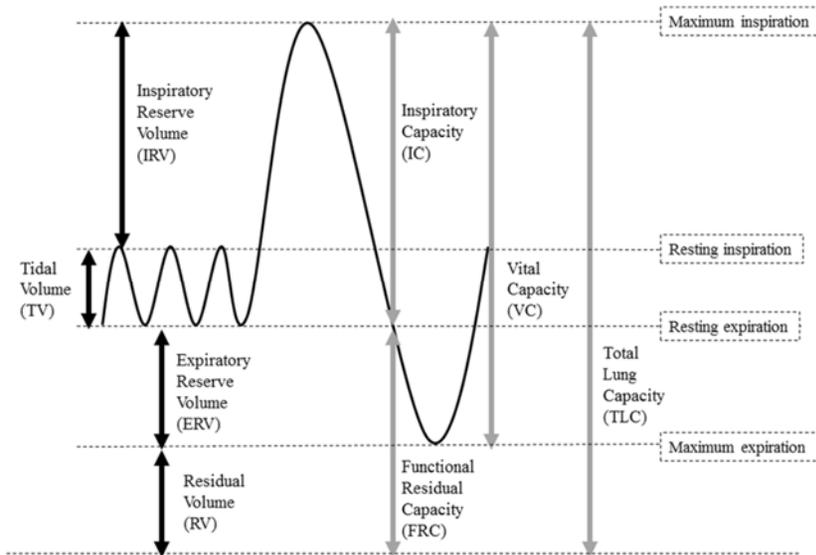
Kapasitas pernapasan seseorang dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain ukuran tubuh, jenis kelamin, usia, dan kondisi fisik seseorang. Terdapat empat standar volume paru, yaitu volume tidal (*Tidal Volume: VT*), volume cadangan inspirasi (*Inspiratory Reserve Volume: IRV*), volume cadangan ekspirasi (*Ekspiratory Reserve Volume: ERV*), dan volume sisa (*Residual Volume: RV*). Sedangkan, untuk kapasitas paru dapat dibagi empat standar kapasitas, yaitu kapasitas inspirasi (*Inspiratory Capacity: IC*), kapasitas fungsional sisa (*Functional Residual Capacity: FRC*), kapasitas vital (*Vital Capacity: VC*), dan kapasitas total paru (*Total Lung Capacity: TLC*).

Jumlah udara yang masuk dan keluar paru pada setiap satu siklus napas disebut dengan volume tidal yang jumlahnya sekitar 500 ml pada pria dewasa sehat dan 400 ml pada wanita sehat. Volume tidal merupakan indikator klinis penting yang menandakan proses ventilasi berjalan dengan baik, sehingga level oksigen dan karbon dioksida jumlahnya stabil (normal) dalam darah.

Saat seseorang menghirup napas dalam sehingga udara yang masuk melebihi udara masuk pada pernapasan tidal, banyaknya udara yang masuk disebut dengan volume cadangan inspirasi. Volume cadangan inspirasi ini dapat mencapai 3.100 ml dan membutuhkan tenaga untuk mencapainya. Sedangkan, ketika menghembuskan napas, udara yang dikeluarkan dengan tenaga dan volumenya melebihi volume tidal disebut dengan volume cadangan ekspirasi. Volume cadangan ekspirasi dapat mencapai 1.200 ml.

Namun demikian, meskipun seseorang menghembuskan napas dengan sangat kuat, akan tetap ada sisa udara dalam paru yang disebut volume sisa yang berjumlah sekitar 1.200 ml, udara

sisinya ini sangat penting untuk menjaga alveolus tetap terbuka (tidak kolaps). Total jumlah udara yang dapat bertukar disebut kapasitas vital paru-paru dengan jumlah mencapai 4.800 ml pada laki-laki dewasa muda dan 3.100 ml pada wanita dewasa muda. Jumlah ini merupakan hasil penjumlahan volume tidal, volume cadangan ekspirasi, dan inspirasi.



Gambar 8.9
Volume dan Kapasitas Paru.
(Sumber: Lutfi, 2017).

4. Pengaturan Sistem Pernapasan

Pada kondisi istirahat, tubuh membutuhkan sekitar 200 ml oksigen setiap menitnya, jumlah tersebut dapat meningkat hingga 15-20 kali lipat pada kondisi olahraga. Tubuh manusia memiliki beberapa pengaturan yang dapat menyesuaikan sistem pernapasan sesuai dengan kebutuhan tubuh.

a. Pusat pernapasan

Kontraksi otot diafragma dan interkostal dipengaruhi oleh impuls saraf yang dilepaskan oleh otak, dan akan kembali relaksasi jika

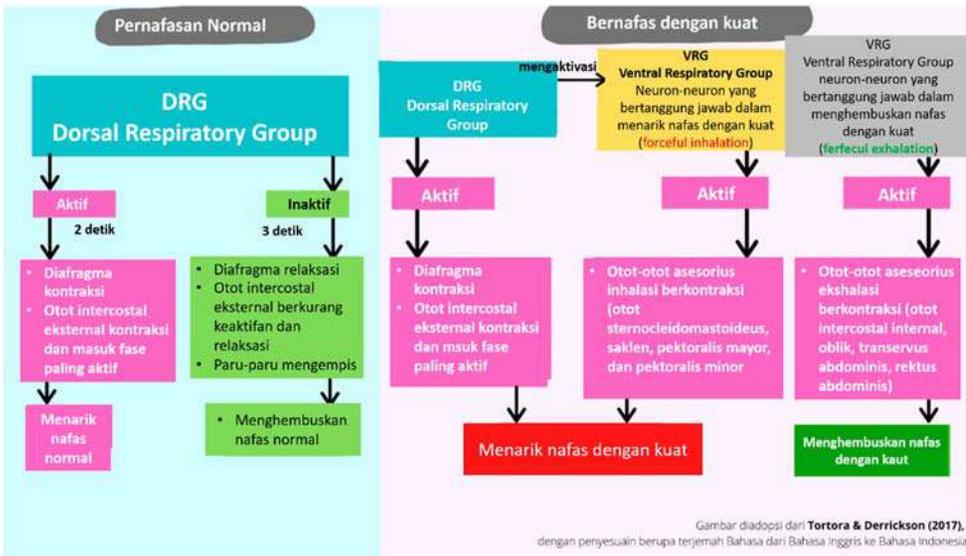
impuls tersebut hilang. Impuls tersebut dilepaskan oleh kumpulan neuron di batang otak yang disebut pusat pernapasan yang dapat dibagi menjadi dua, yaitu pusat pernapasan medularis di medulla oblongata dan grup pernapasan pontine di pons.

1) Pusat pernapasan medula di medulla oblongata

Pusat ini dibentuk oleh dua kelompok neuron yang disebut *Dorsal Respiratory Group* (DRG) yang disebut sebagai area inspiratori dan *Ventral Respiratory Group* (VRG) yang disebut sebagai area ekspiratori. DRG akan melepaskan impuls ke diafragma melalui saraf frenikus dan otot interkostal eksternal melalui saraf interkostal. Pengaturan ini terjadi pada pernapasan normal. Dengan periode kontraksi sekitar dua detik dan relaksasi tiga detik yang berulang. Pengaturan ritme napas normal tersebut diatur oleh kumpulan neuron yang disebut *Pre-Bötzinger complex* di VNG yang dipercaya memiliki pengaruh pada pengaturan sistem napas dengan fungsinya mirip seperti sistem yang menginisiasi detak jantung.

Sedangkan, pada kondisi saat tubuh membutuhkan pasokan oksigen lebih banyak, neuron yang berperan adalah neuron-neuron lain di VNG (selain *Pre-Bötzinger complex*) yang distimulasi oleh impuls DRG untuk menghantarkan impuls ke otot-otot aksesori yang terlibat dalam tarikan napas kuat.

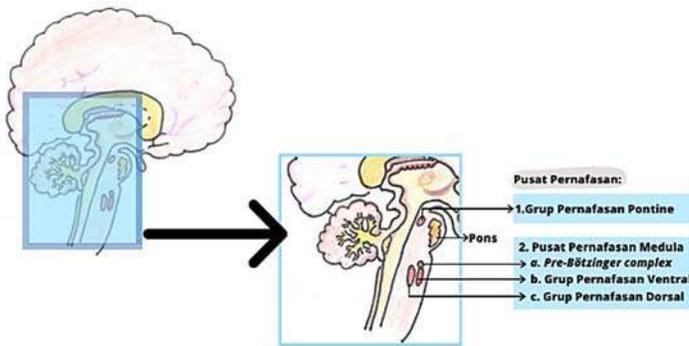
Saat menghembuskan napas dengan kuat, neuron DRG dan VNG yang terlibat dalam inhalasi akan inaktif. Selanjutnya, neuron di VNG yang terlibat dalam pengeluaran napas dengan kuat akan mengirimkan sinyal ke otot aksesori yang bertanggung jawab dalam ekshalasi yang menyebabkan napas dihembuskan dengan kuat.



Gambar 8.10 Perbedaan Pernafasan Normal dan Bernafas dengan Kuat.

2) Grup pernafasan pontine di pons

Grup pernafasan pontine atau juga dikenal sebagai area pneumotaksis, merupakan kelompok neuron di pons yang berperan dalam proses pernafasan dengan cara mengirimkan sinyal saraf ke DRG di medulla.



Gambar 8.11 Pusat-pusat Pernafasan.

b. Pengaturan pusat pernapasan

Pengaturan pusat pernapasan ini merupakan salah satu sistem yang sangat penting dalam memastikan tubuh tetap dalam kondisi homeostasis, dengan kadar gas-gas pernapasan yang normal dalam tubuh. Oleh karena itu, pernapasan juga dapat dipengaruhi oleh beberapa bagian otak yang lain, reseptor di sistem saraf tepi dan faktor-faktor lain yang akan dibahas di bawah ini.

1) Pengaruh kortikal

Pengaruh ini disebabkan oleh hubungan antara korteks serebral yang mampu mengatur napas secara sadar dengan tempo terbatas dan singkat, misalnya ketika kita perlu menahan napas ketika berenang.

Meskipun kita mampu mengatur napas secara sadar pada kondisi tertentu, tubuh akan secara otomatis mengontrol dan memberikan respons, jika terdapat penumpukan karbon dioksida dan ion hidrogen dalam darah. Jika hal tersebut terjadi, neuron di DRG akan terstimulasi dan mendorong seseorang untuk melakukan inspirasi terlepas dari orang tersebut ingin bernapas atau tidak.

2) Pengaturan kemoreseptor

Kemoreseptor adalah neuron sensorik yang responsif terhadap zat-zat kimia. Beberapa rangsangan kimia, melalui sistem kemoreseptor ini dapat memengaruhi seberapa dalam atau seberapa cepat kita bernapas. Pengaturan ini sensitif terhadap kadar karbon dioksida, oksigen dan ion hidrogen, dan terbagi menjadi dua lokasi, yaitu kemoreseptor pusat dan tepi.

- a) Kemoreseptor pusat terletak di depan medulla oblongata dan merespons terhadap konsentrasi ion hidrogen dan tekanan gas karbondioksida di cairan serebrospinal.

- b) Kemoreseptor tepi terletak di dinding aorta dan arteri karotis dan sensitif terhadap perubahan tekanan gas oksigen dan karbon dioksida serta ion hidrogen.

3) Stimulasi proprioseptor

Proprioseptor merupakan reseptor yang memantau pergerakan otot dan sendi. Reseptor ini akan mengirimkan sinyal ke DRG di medulla dan menginisiasi napas yang lebih cepat dan dalam untuk mempersiapkan kebutuhan oksigen yang meningkat saat beraktivitas.

4) Refleks inflasi

Pada dinding bronkus dan bronkiolus terdapat sebuah reseptor yang disebut dengan baroreseptor. Ketika paru mengalami *over* inflasi (mengembang secara terus menerus) dan reseptor tersebut mengalami peragangan, maka reseptor akan mengirimkan impuls melalui nervus vagus (X) ke pusat pernapasan di medulla untuk menghambat kerja DRG. Sebagai dampaknya, otot diafragma dan interkostal eksternal akan relaksasi dan terjadilah proses menghembuskan napas.

5) Pengaruh lain

Faktor-faktor lain yang berperan dalam regulasi proses pernapasan adalah sebagai berikut:

- a) Stimulasi sistem limbik yang terkait dengan aktivitas atau kondisi emosional seseorang. Sebagai contoh, ketika seseorang merasa khawatir atau marah, maka napasnya akan menjadi lebih cepat dan dalam.
- b) Suhu
Suhu yang tinggi meningkatkan ritme napas dan sebaliknya.
- c) Rasa sakit
Rasa sakit yang berat dapat menyebabkan napas terhenti beberapa saat.

- d) Regangan otot sfingter anus meningkatkan ritme napas.
- e) Iritasi saluran napas.
- f) Perubahan tekanan darah yang dideteksi oleh baroreseptor di arteri karotis dan aorta dengan prinsip berbanding terbalik dengan kecepatan napas. Tekanan darah yang tinggi akan menurunkan kecepatan bernapas dan sebaliknya.

5. Pola Hidup Sehat dan Pernapasan

a. Olahraga dan pernapasan

Olahraga akan memengaruhi pernapasan karena adanya peningkatan kebutuhan oksigen dan juga peningkatan produksi karbon dioksida sebagai sisa metabolisme. Ketika melakukan olahraga ringan-sedang tubuh akan merespons dengan menarik napas lebih dalam, tetapi jika dilanjutkan ke tingkat yang lebih berat, maka ritme napas juga akan menjadi lebih cepat.

Dengan olahraga secara rutin, otot-otot kita akan menyesuaikan dengan bekerja lebih efisien dengan membutuhkan lebih sedikit oksigen dan mengurangi produksi karbon dioksida, sehingga sistem pernapasan kita akan lebih ringan dalam menjaga homeostasis. Bahkan, pada orang-orang dengan penyakit paru, olahraga secara rutin dan sesuai kebutuhan (dengan anjuran dokter) dapat membantu memperbaiki gejala-gejala penyakit yang timbul.

b. Merokok dan pernapasan

Kebiasaan merokok memberikan dampak penurunan efisiensi fungsi pernapasan sebagai berikut:

- Nikotin menyempitkan bronkiolus terminal yang menyebabkan aliran udara masuk dan keluar paru menjadi berkurang.
- Karbon monoksida pada asap mengikat hemoglobin dan menurunkan fungsi transpor oksigen.

- Iritasi pada asap rokok menimbulkan stimulasi pengeluaran mukosa pada saluran napas dan mengganggu aliran udara, serta merusak lapisan silia pada saluran napas.
- Seiring berjalannya kebiasaan merokok, serat elastis pada paru rusak dan menyebabkan terjadinya emfisema (kerusakan dinding alveolus).

c. Nutrisi dan pernapasan

Diet dan zat gizi telah diketahui sebagai faktor yang dapat dikendalikan dalam perkembangan dan progresi penyakit kronis termasuk penyakit pernapasan, seperti asma dan penyakit paru obstruktif kronis (PPOK). Dalam hal ini, nutrisi dapat berperan baik dalam proses pencegahan dan perawatan penyakit, contohnya sebagai berikut:

- 1) Diet mediterania (diet ialah bahan makanan diproses secara minimal dan mengurangi asupan daging merah) memiliki efek protektif terhadap alergi pernapasan.
- 2) Pola makan “*western*” yang ditandai dengan konsumsi biji-bijian rafinasi, daging merah, makanan manis, kentang goreng, dan makanan tinggi lemak menyebabkan munculnya risiko asma yang lebih tinggi pada anak-anak.
- 3) Konsumsi tinggi sayur dan buah memberikan asupan antioksidan, vitamin, mineral, serat, dan fitokimia yang meningkatkan kondisi pernapasan.

C. Rangkuman

1. Sistem respirasi atau sistem pernapasan adalah sistem tubuh yang bertanggung jawab untuk menyediakan oksigen sel-sel tubuh dan membuang karbon dioksida keluar tubuh agar sel-sel tubuh tetap hidup.
2. Proses dalam pernapasan manusia meliputi ventilasi paru, respirasi eksternal, transfer gas pernapasan, dan respirasi internal.
3. Pusat pernapasan manusia terletak pada medulla oblongata dan pons.
4. Proses bernapas melibatkan gerakan kontraksi dan relaksasi tulang-tulang rusuk dan diafragma, sehingga terjadi perbedaan tekanan di dalam dan di luar paru dan memicu terjadinya aliran udara.
5. Pertukaran gas antara karbon dioksida dan oksigen terjadi di alveolus paru, yaitu sebuah unit fungsional memiliki membran yang dapat dilalui udara, yakni karbon dioksida dari kapiler ke alveolus dan oksigen dari alveolus ke kapiler.
6. Pola hidup aktif dan sehat sangat berpengaruh terhadap fungsi sistem pernapasan.

D. Evaluasi

1. Sebutkan dan jelaskan fungsi sistem pernapasan selain fungsi pernapasan!
2. Jelaskan perbedaan respirasi internal dan eksternal!
3. Jelaskan mengapa jika ekspirasi tidak berjalan lancar dapat membahayakan kesehatan!

BAB IX

SISTEM KARDIOVASKULAR

A. Tujuan Pembelajaran

Tujuan pembelajaran sistem otot adalah diharapkan setelah melakukan mata kuliah anatomi pada bab ini, mahasiswa mampu menjelaskan secara singkat sistem konduksi jantung dan patofisiologi jantung.

B. Materi Pembelajaran

1. Gambaran Umum Sistem Kardiovaskular

Sistem kardiovaskular merupakan sistem yang memiliki fungsi utama sebagai sistem transpor pada tubuh yang membawa makanan, oksigen, dan semua zat-zat esensial ke sel-sel jaringan. Selain itu, sistem ini juga berfungsi membawa kembali produk-produk sisa untuk dibuang ke luar tubuh. Sistem kardiovaskular terdiri atas jantung, darah, dan pembuluh darah (*vascular*).

Darah dalam sistem ini berfungsi sebagai kendaraan yang membawa oksigen, zat gizi, sampah metabolisme, hormon, dan zat-zat lain yang komposisinya harus dijaga untuk mencapai kondisi homeostasis. Pembuluh darah adalah saluran yang menyambungkan jantung dengan jaringan tubuh. Sedangkan, jantung berfungsi sebagai organ yang menyediakan tenaga (dorongan) pada darah untuk bergerak/mengalir dengan berdetak dan dengan regulasi tekanan darah.

Selama sehari, jantung manusia berdetak sekitar 100.000 kali dengan kemampuan bilik kiri jantung memompa darah melalui pembuluh darah sepanjang 100.000 km (60.000 mil). Bilik kanan jantung memompa darah melewati paru-paru sehingga darah dapat mengambil

oksigen, mensirkulkannya, dan membawa karbon dioksida sebagai produk akhir pernapasan kembali ke paru-paru untuk dibuang.

Pada kondisi tidur, jantung akan tetap memompa dengan jumlah sekitar lima liter ke paru-paru dan volume yang sama ke seluruh tubuh. Pada kecepatan ini, jantung memompa lebih dari 14.000 liter darah per hari. Ketika kita dalam kondisi aktif, jantung akan berdetak lebih kuat, sehingga volume darah yang dipompa jantung dalam satu hari akan jauh lebih besar saat kita beraktivitas dibandingkan saat kita tidur.

Studi ilmiah tentang jantung normal dan penyakit yang terkait dengan fungsi kardiovaskular disebut dengan ilmu kardiologi.

2. Komponen Sistem Kardiovaskular

a. Darah

Darah merupakan jaringan ikat cair yang tersusun dari beberapa sel hidup dan cairan matriks yang mengelilingi bagian luar yang disebut dengan plasma darah. Bersama dengan cairan interstitial, darah menjalankan fungsi untuk menyediakan oksigen dan zat gizi ke sel-sel tubuh dan membuang zat sisa metabolisme dari sel ke luar tubuh. Cabang ilmu yang mempelajari tentang darah disebut dengan hematologi.

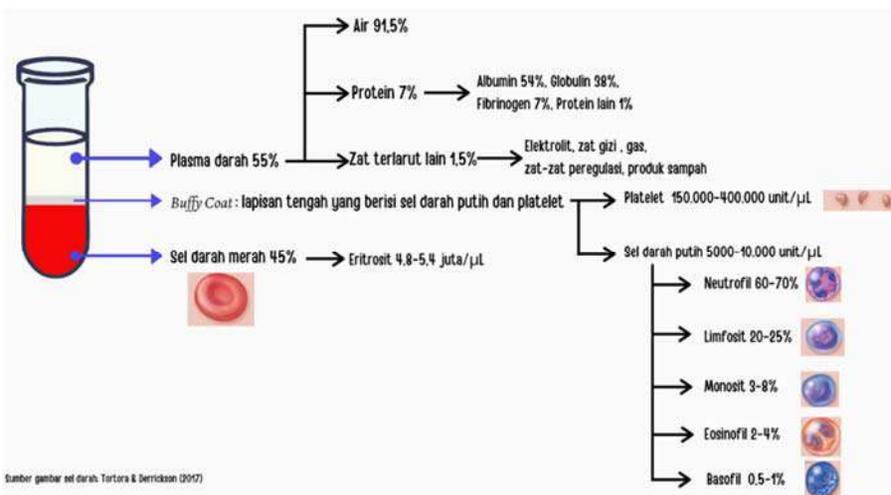
1) Komposisi dan fungsi darah

Darah terdiri dari beberapa komponen, saat dilakukan pemisahan dengan sentrifugasi akan membentuk tiga lapisan, yaitu (Gambar 9.1):

- Plasma darah: plasma darah terlihat pada bagian paling atas dan berwarna bening kekuningan.
- Eritrosit (sel darah merah): karena berat jenisnya yang lebih besar, eritrosit akan membentuk endapan di dasar tabung berwarna merah. Jumlah eritrosit normalnya sekitar 45% dari total volume sampel darah. Perbandingan jumlah

eritrosit dibandingkan total volume ini juga disebut dengan hematokrit.

- Leukosit (sel darah putih): merupakan lapisan tipis putih yang terbentuk antara plasma dan eritrosit yang berfungsi sebagai perlindungan terhadap patogen.
- Platelet: fragmen sel yang juga terletak dalam satu lapisan dengan leukosit yang berfungsi dalam pembekuan darah (menghentikan perdarahan).



Gambar 9.1
Komponen Darah.

Darah memiliki kekentalan yang lebih tinggi dari air dan sedikit lebih lengket. Warna darah bervariasi tergantung pada kandungan oksigennya, darah akan berwarna terang jika membawa banyak oksigen dan menjadi lebih gelap jika saturasi oksigennya rendah. Volume darah total pada manusia berkisar pada 4-5 liter yang dapat berbeda tergantung jenis kelamin. Dengan kontrol *feedback* negatif, volume, dan tekanan darah diatur oleh beberapa hormon seperti aldosterone, *Antidiuretic Hormone* (ADH), dan

Atrial Natriuretic Peptide (ANP) yang mengatur jumlah darah yang dikeluarkan di urine.

Secara umum, darah memiliki tiga fungsi utama, yaitu:

- a) Fungsi transportasi, yaitu terkait aktivitas darah dalam mengangkut zat gizi, oksigen, sampah metabolisme, dan komponen lain ke organ tubuh yang dituju.
- b) Fungsi regulasi, yaitu terkait fungsi darah yang memiliki peranan sentral dalam menjaga homeostasis dengan pengaturan pH darah menggunakan sistem *buffer*, pengaturan komposisi darah, tekanan osmotik, dan suhu tubuh.
- c) Fungsi perlindungan (proteksi), yaitu terkait adanya sel-sel darah putih yang melawan bakteri dan virus patogen, antibodi, dan juga fungsi pembekuan darah yang meminimalisir hilangnya darah saat terjadi luka.

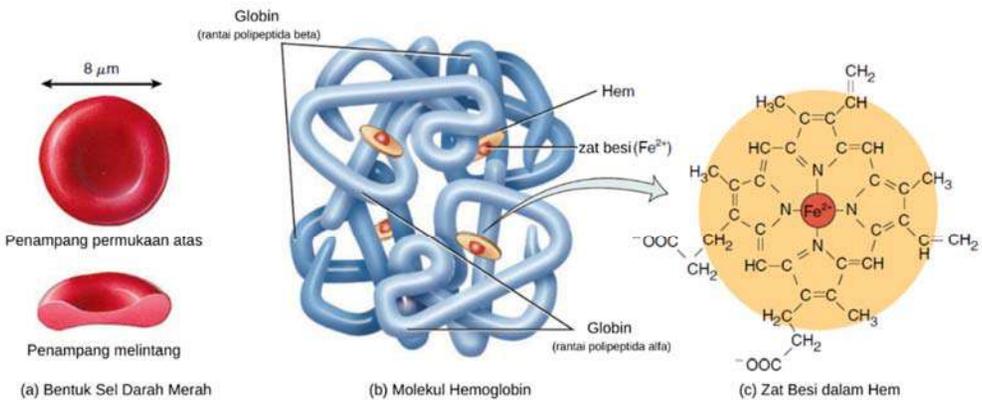
2) Eritrosit

Eritrosit atau sel darah merah merupakan jenis sel darah yang bertanggung jawab dalam pengantaran oksigen ke seluruh tubuh. Sel darah ini berfungsi sebagai kantong bagi jutaan hemoglobin (250 juta) pada setiap selnya, yakni satu molekul Hb dapat mengikat empat molekul oksigen. Dengan demikian, secara total satu sel darah merah dapat mengikat 1 milyar molekul oksigen.

Berikut ini merupakan karakteristik eritrosit:

- a) Eritrosit berbentuk seperti bikonkaf dengan cekungan di tengah selnya yang menyediakan area permukaan lebih luas untuk difusi oksigen.
- b) Eritrosit tidak memiliki nukleus dan organel.
- c) Umur hidup eritrosit adalah 120 hari, eritrosit yang rusak akan dikeluarkan dari sirkulasi dan dihancurkan oleh makrofag pada hati dan limpa. Hasil pemecahan eritrosit bebe-

- rapa di antaranya dapat dimanfaatkan kembali oleh tubuh untuk metabolisme dan membentuk sel darah merah baru.
- d) Eritrosit tidak memiliki mitokondria sehingga respirasi sel berjalan secara anaerob. Karakteristik ini memberikan efisiensi pada pengangkutan oksigen.
- e) Jumlah hemoglobin dalam eritrosit mencerminkan performa eritrosit dalam mengantarkan oksigen. Kadar Hb normal pada laki-laki adalah 13-18 g/dL dan 12-16 g/dL.



Sumber Gambar: Tortora & Derrickson (2017), dengan perubahan berupa terjemah dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 9.2
Sel Darah Merah (Eritrosit).

3) Hemostasis

Hemostasis (hem: darah; stasis: tetap) adalah sebuah proses reaksi untuk menghentikan perdarahan dan mencegah hilangnya banyak darah yang mengganggu homeostasis. Proses ini bersifat cepat, terlokalisir (hanya pada bagian yang robek), dan terkontrol dengan tiga tahapan utama, yaitu:

a) Spasme vaskuler (*vascular spasm*)

Respons pertama pembuluh darah jika terjadi kebocoran adalah pembuluh darah menyempit (*vasokonstriksi*). Tujuan utama tahap ini adalah meminimalisir jumlah darah yang dapat lewat dan kemungkinan hilangnya darah juga semakin kecil hingga proses pembekuan darah dapat terjadi.

b) Pembentukan sumbatan platelet

Saat pembuluh darah terluka dan serat kolagen bersinggungan dengan platelet dalam darah, maka platelet akan berubah menjadi lengket dan menempel pada lokasi luka (*platelet adhesion*). Penempelan platelet ini akan mengaktifasi platelet dan melebarkan bentuk mereka sehingga dapat melakukan kontak dengan platelet lain, serta melepaskan isi vesikel mereka yang berfungsi dalam mengaktifasi platelet lain dan mempertahankan kondisi vasokonstriksi otot polos pembuluh darah yang menurunkan jumlah perdarahan. Proses ini disebut (*platelet release reaction*). Pelepasan ADP dari platelet menyebabkan platelet lain di sekitar lokasi luka menjadi lengket dan menempel pada platelet pertama yang teraktivasi dan membentuk kumpulan platelet (*platelet aggregation*), hingga semakin lama membentuk sumbatan platelet (*platelet plug*).

c) Pembekuan darah (koagulasi)

Pada saat yang sama, jaringan yang terluka akan melepaskan faktor jaringan (*Tissue Factor: TF*) kemudian akan berinteraksi dengan faktor platelet 3 (PF3), faktor pembekuan dan ion kalsium membentuk aktivator yang menghasilkan pembentukan enzim trombin. Trombin akan bergabung bersama fibrinogen membentuk jaring fibrin yang menangkap sel darah merah dan membentuk gumpalan (*clot*).

Gumpalan ini selanjutnya akan mengerut dengan melepaskan serum plasma, sehingga kedua sisi pembuluh darah akan saling mendekat dan menutup.

4) Zat gizi dalam fungsi darah

a) Vitamin K dan ion kalsium dalam pembekuan darah

Penggumpalan darah secara normal membutuhkan ketersediaan vitamin K dalam jumlah cukup di dalam tubuh. Meskipun tidak terlibat langsung dalam proses pembekuan darah, vitamin K sangat diperlukan dalam pembentukan empat faktor pembekuan darah. Orang-orang yang mengalami defisiensi vitamin K dapat mengalami gangguan pembekuan darah hingga menyebabkan perdarahan yang tidak dapat berhenti.

Dalam pembekuan darah, ion kalsium juga memegang peranan penting dalam tahapan pembekuan darah sebagai berikut:

- Dengan adanya ion kalsium, faktor jaringan (*Tissue Factor*: TF) akan memulai reaksi dengan mengaktifasi faktor X. Selanjutnya, ion kalsium akan mengaktifasi faktor V yang bersama dengan faktor X teraktivasi untuk membentuk enzim protrombinase.
- Enzim protrombinase dan ion kalsium mengatalisasi perubahan protrombin menjadi trombin.
- Ion kalsium selanjutnya berperan dalam perubahan trombin menjadi fibrinogen, dan nantinya akan diubah menjadi benang-benang fibrin yang menangkap sel darah merah dalam pembekuan darah.

b) Zat besi dalam hemoglobin

Zat besi merupakan komponen penyusun komponen hem dalam hemoglobin. Kekurangan asupan zat besi atau ada-

nya perdarahan jangka panjang yang berakibat kekurangan cadangan zat besi sebagai bahan baku hemoglobin, akan menimbulkan penyakit yang disebut *Anemia Defisiensi Besi* (ADB). Kondisi ini ditandai dengan bentuk sel darah merah yang kecil dan pucat, karena di dalamnya kekurangan kandungan hemoglobin.

Selain anemia defisiensi besi, terdapat juga jenis anemia yang lain disebabkan oleh kekurangan zat gizi spesifik, yaitu:

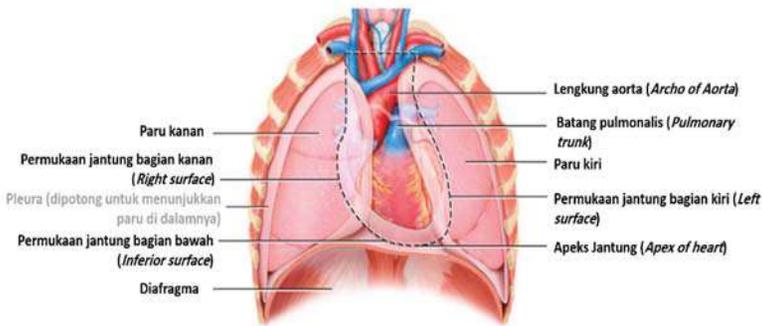
- Anemia perniosa akibat kekurangan vitamin B₁₂: biasanya disebabkan oleh gangguan absorpsi vitamin B₁₂, hal tersebut menyebabkan kurangnya jumlah sel darah merah.
- Anemia aplastik akibat destruksi sumsum tulang belakang oleh kanker, pengobatan tertentu atau radiasi.
- Anemia hemolitik, yaitu pecahnya sel darah merah akibat infeksi bakteri.
- Anemia hemoragik, yaitu kurangnya jumlah sel darah merah karena perdarahan akut.

b. Jantung

1) Anatomi lokasi jantung

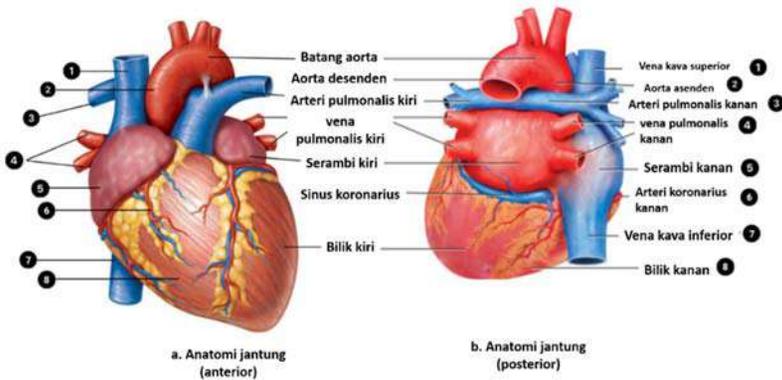
Jantung adalah suatu organ muskular yang berbentuk konus (kerucut) yang besarnya sebesar kepalan tangan, dan berada di antara dua paru-paru. Jantung manusia dibungkus selaput yang disebut dengan *perikardium* dan menempati *mediastinum media*. Puncak pada jantung yang disebut *apeks kordis* mengarah ke panggul kiri. Ujung atas yang lebar (dasar) pada jantung *basis kordis* mengarah ke bahu kanan. Bagian jantung 2/3 bagiannya berada di sebelah kiri linea mediana (Gambar 9.3). Jantung ma-

nusia terbagi menjadi dua bagian, yaitu bagian kanan dan kiri serta memiliki empat ruang (bilik) yang terdiri dari bilik bagian atas dan bawah di kedua belahannya, yaitu serambi kanan, serambi kiri, bilik kanan, dan bilik kiri (Gambar 9.4). Fungsi dari masing-masing ruangan dalam jantung, selanjutnya akan dijelaskan lebih jauh pada subbab ruangan dan katup jantung.



Sumber Gambar: Tortora & Derrickson (2017), dengan tambahan berupa terjemah dalam Bahasa Indonesia

Gambar 9.3
Lokasi Anatomis Jantung.



Sumber gambar: (a) Marinho & Keller (2020) & (b) Tortora & Derrickson (2017) dengan perubahan berupa terjemah dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 9.4
Anatomi Jantung Dilihat dari Sisi Anterior dan Posterior.

2) Anatomi jantung pada dinding ventral toraks

Tepi kiri kranial berada pada tepi *caudal pars cartilaginis costa* II kiri (1 cm di samping tepi sternum). Tepi kiri kaudal berada pada ruang interkostalis 5 (9 cm di sebelah kiri linea mediana) atau 2 cm di sebelah medial linea midklavikularis sinistra. Tepi kanan kranial jantung berada pada tepi kranial *pars cartilaginis costa* III kanan (1 cm dari tepi lateral sternum). Tepi kanan kaudal berada pada *pars cartilaginis costa* VI (sekitar 1 cm dari tepi lateral sternum).

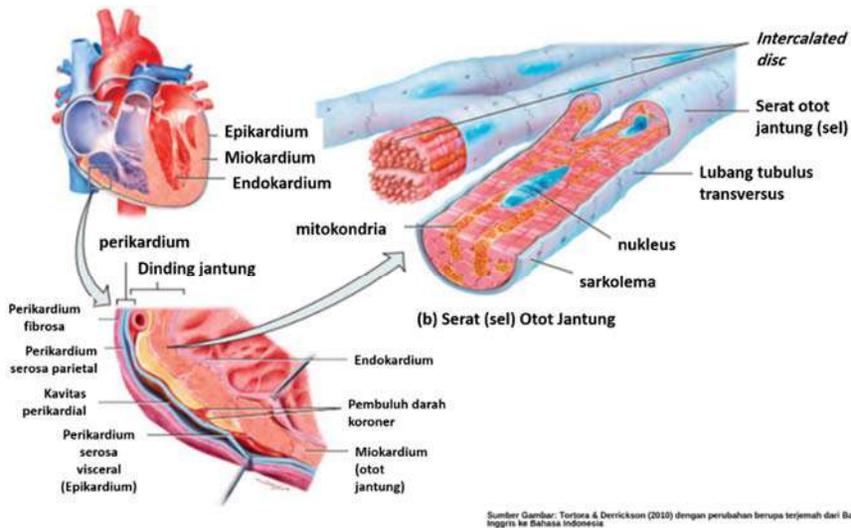
3) Perikardium dan dinding jantung

Jantung dibungkus oleh sebuah kantung yang disebut dengan *perikardium*. Kantung ini tersusun atas tiga lapisan, yaitu lapisan jaringan ikat fibrosa dan sepasang membran serosa dengan cairan serosa di antaranya. Perikardium fibrosa merupakan jaringan ikat kuat, inelastis, dan padat tak beraturan yang memastikan posisi jantung terhadap mediastinum tidak berubah, meskipun terjadi kontraksi yang kuat dan cepat.

Perikardium serosa merupakan lapisan yang lebih tipis dan memiliki karakteristik membran serosa, pada umumnya berpasangan dengan cairan serosa dalam kavitas perikardial di antaranya. Bagian luar membran serosa ini disebut dengan lapisan parietal membran serosa, sedangkan membran serosa bagian dalam disebut dengan lapisan viseral membran serosa atau disebut juga epikardium yang merupakan bagian dari dinding jantung.

Terdapat tiga bagian yang melapisi dinding jantung mulai dari bagian luar yang disebut dengan epikardium, bagian tengah (miokardium) serta bagian dalam (*endocardium*). Epikardium dikenal sebagai lapisan viseral perikardium serosa, bersifat tipis, dan transparan sebagai lapisan luar dinding. Ini terdiri dari mesothelium dan jaringan ikat. Miokardium terdiri dari atas jaringan otot jantung yang merupakan bagian terbesar dari jantung. Ja-

ringan ini hanya ditemukan di jantung dan terspesialisasi dalam struktur serta fungsi. Miokardium bertanggung jawab atas aksi pemompaan pada jantung. Serabut otot jantung bersifat involunter (tidak disengaja), lurik, bercabang, dan jaringan diatur dalam jalinan ikatan serat. Endokardium adalah lapisan yang tipis, epitel skuamosa yang melapisi bagian dalam miokardium dan menutupi katup jantung dan tendon yang menempel pada katup. Endokardium berlanjut dengan lapisan epitel pembuluh darah besar yang memastikan aliran darah berjalan lancar pada semua bagian jantung (Gambar 9.5).

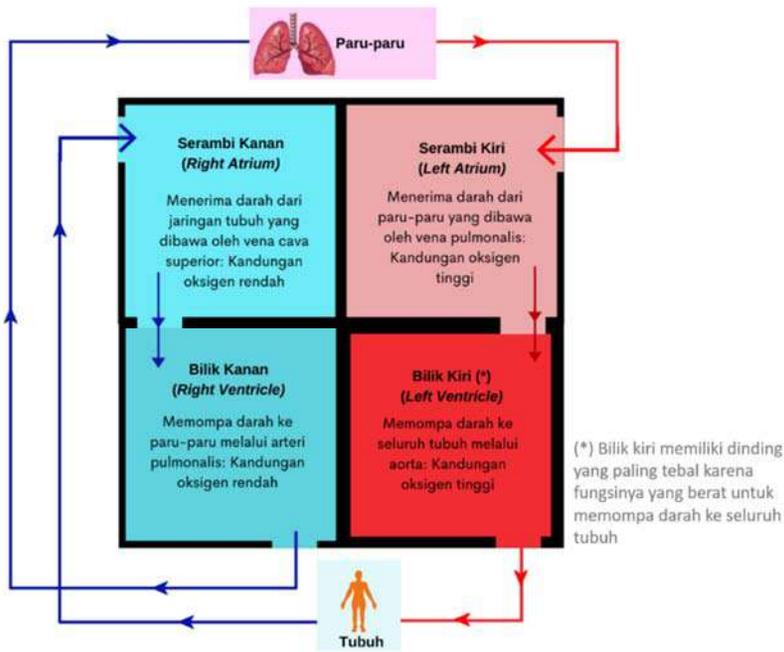


Gambar 9.5
Perikardium, Dinding Jantung, dan Otot Jantung.

4) Ruang dan katup jantung

Jantung manusia terdiri atas empat ruangan berongga yang masing-masing ruangnya dilapisi endokardium dan dipisahkan oleh sekat antar ruangan. Seperti yang telah disebutkan pada subbab sebelumnya, ruangan dalam jantung dibagi menjadi dua serambi dan dua bilik. Ruang bagian atas disebut sebagai se-

rambi (atrium) yang berfungsi untuk menerima darah kembali ke jantung dan memindahkannya ke rongga bilik-bilik di bagian bawah jantung. Bilik jantung (ventrikel) merupakan ruangan yang berfungsi untuk memompa darah dari jantung. Pada dua belahan jantung dipisahkan oleh suatu septum yang berguna untuk mencegah pencampuran darah dari kedua sisi jantung. Pemisahan pada belahan jantung sangat penting, karena bagian kanan jantung berfungsi untuk menerima dan memompa darah beroksigen rendah, sedangkan pada sisi kiri jantung berfungsi untuk menerima dan memompa darah beroksigen tinggi.



Gambar 9.6
Ruangan-ruangan Jantung dan Fungsinya.

Saat setiap ruang jantung berkontraksi, ia akan mendorong sejumlah volume darah ke ventrikel atau keluar dari jantung ke arteri. Pencegahan terhadap adanya aliran darah balik setelah

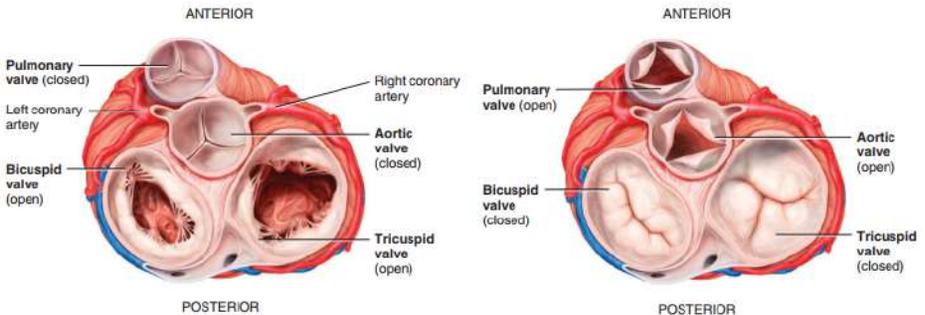
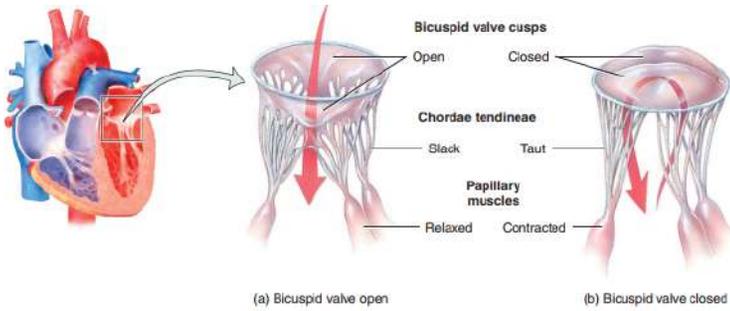
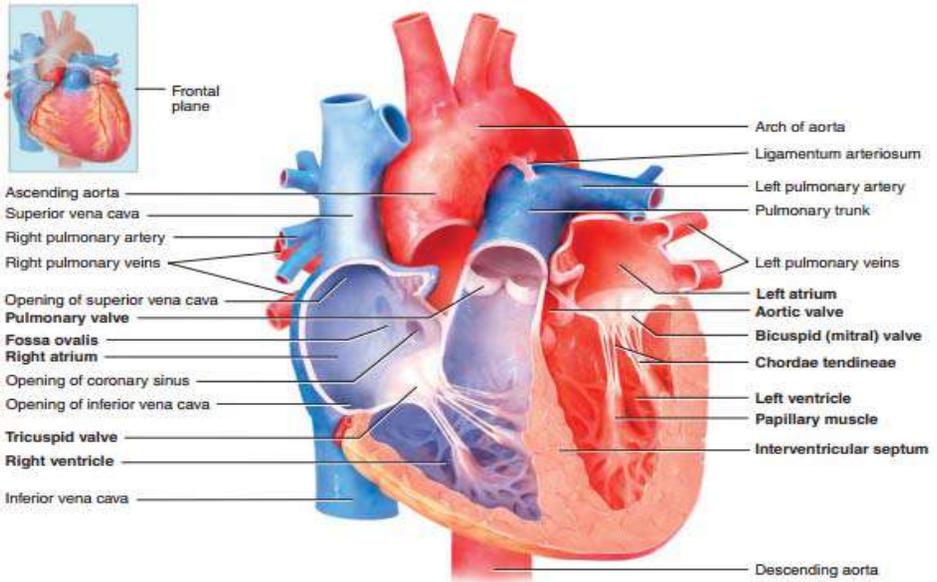
kontraksi, jantung memiliki empat katup, yakni terdiri dari jaringan ikat padat yang ditutupi oleh jaringan endotel. Katup akan membuka dan menutup sebagai respons terhadap perubahan tekanan jantung saat proses kontraksi dan relaksasi. Katup-katup tersebut, yaitu:

- a) Katup atrioventrikular (AV) terletak di antara atrium dan ventrikel (gambar x). Katup atrioventrikular ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu:
 - Di antara atrium kanan dan ventrikel kanan disebut katup trikuspid. Katup ini terdiri dari tiga katup (lipatan/flap/kuspid) yang merupakan jaringan ikat fibrosa irregular dilapisi endokardium. Ujung runcing dari katup menonjol ke dalam ventrikel. Tali mirip tendon, disebut korda tendina hubungan ujung runcing ke otot papiler, proyeksi otot jantung terletak di permukaan bagian dalam ventrikel. Korda tendina (*heartstring*) yang melekat pada otot papilaris berfungsi untuk mencegah katup-katup mendorong ke atrium saat ventrikel berkontraksi dan disejajarkan untuk memungkinkan katup-katup tertutup katup dengan erat. Ketika tekanan darah pada atrium kanan lebih besar dibandingkan tekanan darah pada atrium kiri, maka daun katup trikuspid akan terbuka dan darah mulai mengalir dari atrium kanan ke ventrikel kanan.
 - Katup atrioventrikular antara atrium kiri dan ventrikel kiri disebut katup bikuspid (mitral). Katup bikuspid melekat pada korda tendinea dan otot papilaris yang memiliki fungsi sama dengan katup trikuspid. Darah yang mengalir dari atrium ke ventrikel, atrioventrikular katup harus terbuka. Pembukaan dan penutupan katup disebabkan oleh perbedaan tekanan di seluruh katup.

Saat darah bergerak dari atrium ke ventrikel, katup didorong terbuka, maka otot papiler akan mengendur, dan korda tendina kendur. Saat ventrikel berkontraksi, tekanan darah ventrikel menggerakkan katup ke atas sampai ujung-ujungnya bertemu dan menutup bukaan. Pada saat yang sama, kontraksi otot papiler dan pengetatan korda tendina membantu mencegah katup berayun ke atas, yaitu atrium. Saat ventrikel berkontraksi karena sebuah tekanan terbentuk di dalamnya.

b) Katup semilunaris terletak dalam jalur keluar ventrikel jantung hingga ke aorta dan truncus pulmonal. Terdapat tiga bagian cuspis pada katup semilunar memiliki bentuk seperti bulan sabit, pada bagian tepi konveks menempel di dalam pembuluh darah. Tepi bebasnya memanjang ke dalam lumen, pembuluh katup ini terbuka ketika tekanan di ventrikel melebihi tekanan di arteri, memungkinkan keluarnya darah dari ventrikel ke dalam batang paru dan aorta. Saat ventrikel relaksasi, darah mulai mengalir kembali ke jantung. Darah yang mengalir balik ini mengisi katup-katup yang menutup rapat katup semilunar, hal ini bertujuan untuk mencegah aliran balik ke dalam ventrikel yang mengakibatkan darah hanya mengalir dalam pembuluh. Katup ini terbagi menjadi dua, yaitu:

- Katup pulmonal terletak pada pembukaan tempat batang pulmonal daun ventrikel kanan.
- Katup aorta terletak di pembukaan antara ventrikel kiri dan aorta.



Gambar 9.7
Katup Jantung
(Tortora dan Derrickson, 2010).

c. Pembuluh darah

Pembuluh darah adalah saluran tertutup saat darah mengalir di dalamnya menuju organ-organ yang membutuhkan pasokan oksigen, nutrisi, dan juga sebagai media pembuangan sampah metabolisme. Sistem di atas disebut dengan sistem vaskular seperti halnya struktur jalan raya yang dilalui kendaraan, pembuluh darah memiliki tingkatan dari pembuluh darah besar, pembuluh darah cabang hingga kapiler yang masing-masing memiliki struktur berbeda sesuai dengan fungsinya.

1) Anatomi pembuluh darah

a) Tunika

Secara umum, pembuluh darah memiliki tiga lapisan yang disebut dengan tunika, yaitu tunika intima, tunika media, dan tunika eksterna. Pembuluh darah kapiler adalah pengecualian, yakni pembuluh darah kapiler ini hanya memiliki satu lapisan.

Tunika intima melapisi bagian dalam pembuluh darah yang terdiri dari sel endotelium (sel epitel skuamosa) yang melekat pada membran basal (*basement membrane*). Lapisan ini sangat rapat dan membentuk lapisan licin yang meminimalisir gesekan darah saat melewati pembuluh darah. Tunika media adalah lapisan tengah yang “berisi” dan terdiri atas otot polos serta serat elastis. Pada pembuluh darah besar biasanya mempunyai lapisan jaringan elastis. Selanjutnya, tunika eksterna adalah lapisan terluar dari pembuluh darah. Terdiri dari jaringan ikat fibrosa yang berfungsi menyokong dan melindungi pembuluh darah.

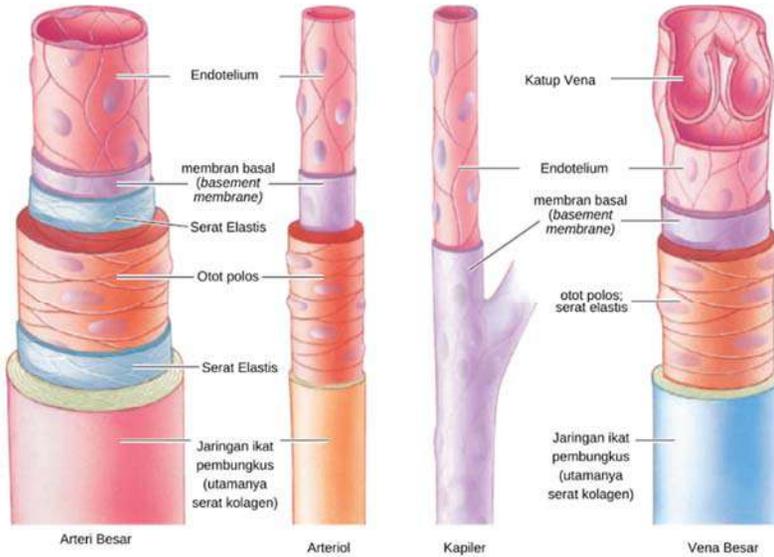
b) Perbedaan struktur pembuluh darah dan fungsinya

Seperti yang telah dibahas pada subbab sebelumnya, bahwa pada tiap tingkatan pembuluh darah memiliki perbedaan struktur anatomi yang mendukung fungsi pembuluh da-

rah. Secara umum, jenis pembuluh darah dapat dibagi menjadi empat jenis, yaitu arteri, arteriol (cabang arteri), kapiler, dan vena. Masing-masing perbedaan karakteristik dan fungsi disajikan pada Tabel 9.1.

Tabel 9.1
Jenis Pembuluh Darah dan Karakteristiknya.

| Jenis Pembuluh Darah | Karakteristik Khusus | Fungsi |
|----------------------|---|---|
| Arteri | Berdinding tebal, elastis, dan berjari-jari lebar. | Jalur utama darah dari jantung ke organ, berfungsi sebagai penahan tekanan darah. |
| Arteriol | Berotot, dipersarafi dengan baik, jari-jari lebih kecil. | Penentu distribusi darah dari jantung tahanan pembuluh darah primer. |
| Kapiler | Berdinding sangat tipis. | Lokasi pertukaran zat-zat dari darah ke sel, menentukan distribusi cairan ekstraseluler antara plasama dan cairan interstitial. |
| Vena | Dinding lebih tipis dari arteri, dapat menggebung, memiliki jari-jari yang lebar. | Jalur utama kembalnya darah dari organ ke jantung sebagai penampung darah. |



Sumber Gambar: Sherwood (2019) dengan perubahan berupa terjemah dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 9.8
Perbedaan Struktur pada Tiap Jenis Pembuluh Darah.

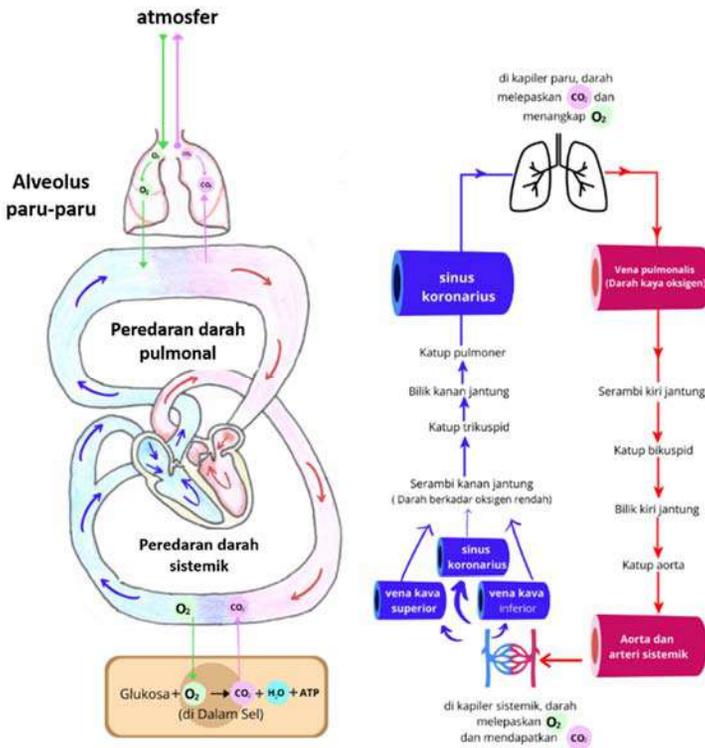
2) Pembuluh darah jantung

Atrium kanan menerima darah yang mengalami deoksigenasi (darah miskin oksigen yang telah menyerahkan sebagian oksigennya ke sel) melalui tiga pembuluh darah, pembuluh darah yang mengembalikan darah ke jantung. Vena cava superior membawa darah terutama dari bagian tubuh di atas jantung, yang lebih rendah vena cava membawa darah sebagian besar dari bagian tubuh di bawah jantung, dan sinus koroner mengalirkan darah dari sebagian besar pembuluh darah yang memasok dinding jantung. Kemudian, atrium mengalirkan darah yang terdeoksigenasi ke ventrikel kanan yang memompanya ke dalam batang paru. Batang paru membelah menjadi arteri pulmonalis kanan dan kiri, masing-masing membawa darah ke paru-paru. Arteri merupakan pembuluh darah yang membawa darah menjauh dari hati. Dalam paru-paru, darah yang terdeoksigenasi akan mengeluarkan

karbon dioksida dan mengambil oksigen. Kemudian, darah beroksigen (darah kaya oksigen yang mengambil oksigen sebagai mengalir melalui paru-paru) dan memasuki atrium kiri melalui empat vena paru. Darah kemudian masuk ke ventrikel kiri yang memompa darah ke aorta asendens. Dari sini darah beroksigen dibawa ke seluruh bagian tubuh.

3) Aliran darah melalui jantung

Darah akan mengalir melalui jantung dari area tekanan darah tinggi ke area tekanan darah rendah, seperti dinding atrium berkontraksi, tekanan darah di dalamnya meningkat. Tekanan darah yang meningkat ini memaksa katup AV terbuka, dan memungkinkan darah atrium mengalir melalui katup AV ke ventrikel. Setelah atrium selesai berkontraksi, dinding ventrikel berkontraksi meningkatkan tekanan darah ventrikel dan mendorong darah melalui katup semilunar ke dalam batang paru dan aorta. Pada saat yang sama, menyebabkan katup AV didorong menutup untuk mencegah aliran ventrikel darah balik ke dalam atria (Gambar 9.9).



Gambar 9.
Aliran Darah Melalui Jantung.

4) Pasokan darah jantung

Dinding jantung memiliki pembuluh darahnya sendiri. Aliran darah yang melalui berbagai pembuluh di miokardium disebut dengan sirkulasi koroner (jantung). Pembuluh koroner utama adalah arteri koroner kiri dan kanan yang berasal dari cabang aorta ascendens. Setiap arteri bercabang dan kemudian bercabang lagi untuk mengantarkan oksigen dan nutrisi ke seluruh otot jantung. Aliran darah terdeoksigenasi yang membawa karbon dioksida dan limbah dikumpulkan oleh vena besar di permukaan posterior jantung, sinus koroner ke atrium kanan. Sebagian besar tubuh menerima darah dari cabang lebih banyak dari satu arteri,

dan dua atau lebih arteri memasok wilayah yang sama, biasanya mereka terhubung. Koneksi ini disebut sebagai anastomosis yang memberikan alternatif rute darah untuk mencapai organ atau jaringan tubuh tertentu. Miokardium mengandung banyak anastomosis yang menghubungkan cabang-cabang dari arteri koroner tertentu atau meluas di antara cabang-cabang berbeda arteri koroner. Miokardium menyediakan jalan memutar untuk darah arteri jika saluran pada rute utama terhalang. Ini penting karena otot jantung dapat menerima oksigen yang cukup bahkan jika salah satu koronernya arteri tersumbat sebagian.

5) Sistem konduksi jantung

Sekitar satu persen dari serat otot jantung berbeda dari semua lainnya, karena mereka dapat menghasilkan potensi aksi secara berulang-ulang dan dalam pola ritmis. Otot jantung terus merangsang jantung agar berdetak bahkan setelah dikeluarkan dari tubuh (transplantasi). Saraf mengatur detak jantung. Sel-sel ini memiliki dua fungsi penting, yaitu bertindak sebagai alat pacu jantung alami (*pacemaker*), mengatur ritme untuk keseluruhan jantung, dan juga membentuk sistem konduksi, rute tindakan potensi di seluruh otot jantung. Sistem konduksi memastikan bahwa ruang jantung dirangsang untuk berkontraksi dengan terkoordinasi, dan membuat jantung menjadi pompa yang efektif. Berikut ini adalah potensi aksi jantung melewati komponen dari sistem konduksi.

- a) Biasanya, eksitasi jantung dimulai di node sinoatrial (SA), terletak di dinding atrium kanan tepat di inferior pembukaan vena kava superior. Potensial aksi secara spontan muncul di node SA, kemudian berjalan di kedua atrium melalui persimpangan celah di cakram sela serat atrium (lihat Gambar 15.2b). Mengikuti potensi aksi keduanya atria selesai berkontraksi pada saat bersamaan.

- b) Potensi aksi juga mencapai simpul atrioventrikular (AV), yang terletak di septum interatrial tepat di anterior pembukaan sinus koroner. Pada AV node, potensi aksi melambat secara signifikan, memberikan waktu bagi atrium untuk mengosongkan darahnya ke ventrikel.
- c) Dari node AV, potensial aksi memasuki bundel atrioventrikular (AV) dikenal sebagai bundel His, di septum interventrikular. Bundel AV adalah satu-satunya situs saat potensi aksi dapat berjalan dari atrium ke ventrikel.
- d) Setelah konduksi melalui bundel AV, potensi aksi kemudian memasuki dua cabang berkas kanan dan kiri melalui septum interventrikular menuju puncak jantung.
- e) Terakhir, serabut Purkinje yang berdiameter besar dengan cepat melakukan potensial aksi, pertama ke puncak ventrikel dan kemudian ke atas ke sisa miokardium ventrikel. Kemudian, sepersekian detik setelah atrium berkontraksi, maka ventrikel berkontraksi.

Selanjutnya, SA Nodes yang merupakan pusat pacu jantung akan memulai dan mengatur impuls untuk berkontraksi dengan frekuensi 60-100 kali/menit. Sinyal pada kontraksi dari SA Nodes menyebabkan kontraksi di kedua atrium, yaitu atrium kanan dan atrium kiri. Impuls akan menyebar menuju AV Nodes. Kemudian dari AV Nodes, impuls akan berjalan menuju *bundles of his* dan selanjutnya menuju *serabut purkinje*. Aliran impuls ini, akhirnya akan menimbulkan kontraksi pada ventrikel. Jika SA Nodes mengalami gangguan memulai impuls, maka akan diambil AV Nodes. Kontraksi yang dihasilkan oleh AV Nodes ini akan mengakibatkan kontraksi dengan frekuensi sebesar 40-60 kali/menit. Jika SA Nodes dan AV Nodes mengalami gangguan dalam menghasilkan impuls, maka ventrikel akan memulai impuls dengan frekuensi 20-40 kali/menit.

6) Siklus dan *output* jantung (*cardiac cycle and output*)

Siklus jantung adalah rentetan perubahan tekanan jantung yang menyebabkan pergerakan darah dari satu ruangan ke ruangan lain dalam jantung, serta ke sel-sel tubuh secara keseluruhan. Perubahan tekanan ini terjadi oleh karena adanya konduksi elektrokimia yang menyebabkan otot jantung berkontraksi. Dengan adanya kontraksi, darah akan dipompa melewati katup-katup dan pembuluh darah, sehingga mengatur arah aliran jantung dan pergerakannya dari satu ruangan ke ruangan yang lain dalam jantung dan seluruh tubuh. Aktivitas kontraksi yang ritmis ini selain merubah tekanan juga merubah volume jantung, yang keduanya dapat dilihat secara grafik pada diagram “*wiggers*” atau grafik tekanan darah vena yang mengindikasikan fungsi jantung berjalan dengan baik atau tidak.

Siklus jantung ini dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistole dan diastole yang menjadi ukuran tekanan darah. Tekanan darah tersebut merupakan satu dari empat tanda vital seseorang dan umumnya ditulis dalam notasi sistolik/diastolik dengan satuan mmHg (Contoh: 120/70 mmHg). Tekanan darah arteri dapat diukur, salah satunya dengan alat yang disebut *sphygmomanometer*.

Diastole merepresentasikan pengisian bilik jantung dan sistole adalah representasi dari kontraksi/ejeksi bilik. Sistole dan diastole terjadi baik pada bagian kanan maupun kiri jantung, tetapi tekanan pada masing-masing sisi berbeda karena perbedaan fungsi fisiologisnya (bilik kiri untuk peredaran darah sistemik dan bilik kanan untuk peredaran darah pulmonal). Tekanan darah di atas 140/90 disebut hipertensi dan tekanan darah dibawah 100/60 disebut hipotensi.

7) Gizi, aktivitas, dan fungsi kardiovaskular

Gizi dan aktivitas fisik memiliki dampak terhadap fungsi sistem kardiovaskular. Seperti diketahui bahwa gangguan pada sistem kardiovaskular ini merupakan penyebab kematian yang banyak terjadi di dunia. Gangguan tersebut antara lain hipertensi, stroke, aterosklerosis, penyakit arteri peripheral dan vena. Gangguan tersebut sangat terkait dengan pola konsumsi yang tidak sehat, seperti konsumsi tinggi garam dan makanan olahan, konsumsi rendah asam lemak tak jenuh, tingginya konsumsi asam lemak jenuh dan trans, asupan sayur, dan buah yang rendah serta disertai adanya obesitas, rendahnya aktivitas, dan kebiasaan merokok yang meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular.

Aktivitas fisik yang rutin dapat meningkatkan kesehatan jantung dengan cara meningkatkan *output* jantung dan rerata metabolik. Otot-otot pada orang yang berolahraga secara reguler akan mengalami peningkatan jaringan kapiler, sehingga dengan peningkatan *output* jantung, darah akan menghantarkan oksigen dalam jumlah maksimal ke jaringan-jaringan tubuh. Selain itu, aktivitas fisik rutin juga menurunkan tekanan darah, risiko *anxiety* (kekhawatiran berlebih), dan depresi di samping juga memberikan manfaat pada penurunan berat badan.

C. Rangkuman

1. Sistem kardiovaskular adalah sistem transportasi tubuh yang terdiri dari tiga komponen penyusun, yaitu darah, pembuluh darah, dan jantung.
2. Jantung berdetak sekitar 100.000 kali setiap hari. Sisi kiri jantung memompa darah sekitar 100.000 km (60.000 mil) pembuluh darah. Sisi kanan jantung memompa darah melalui paru-paru, dan memungkinkan darah mengambil oksigen kemudian mengeluarkan karbon dioksida.

3. Jantung adalah suatu organ muskular yang berbentuk konus (kerucut), yang besarnya sebesar kepalan tangan, dan berada di antara dua paru-paru.
4. Jantung manusia dibungkus selaput yang disebut dengan perikardium dan menempati mediastinum media.
5. Terdapat tiga bagian yang melapisi dinding jantung mulai dari bagian luar yang disebut dengan epikardium, bagian tengah (miokardium) serta bagian dalam (*endocardium*).
6. Atrium kanan menerima darah terdeoksigenasi (darah miskin oksigen yang telah menyerahkan sebagian oksigennya ke sel) melalui tiga pembuluh darah, pembuluh darah yang mengembalikan darah ke jantung.
7. Untuk mencegah darah mengalir ke belakang, jantung memiliki empat katup terdiri dari jaringan ikat padat yang ditutupi oleh endotel.
8. Darah akan mengalir melalui jantung dari area tekanan darah tinggi ke area tekanan darah rendah. Seperti dinding atrium berkontraksi, tekanan darah di dalamnya meningkat.
9. Pembuluh koroner utama adalah arteri koroner kiri dan kanan, berasal dari cabang aorta ascendens. Setiap arteri bercabang dan kemudian bercabang lagi untuk mengantarkan oksigen dan nutrisi ke seluruh otot jantung.

D. Evaluasi

1. Berikut ini adalah komponen yang terlibat dalam sistem kardiovaskuler
- a. **Jantung, darah, dan pembuluh darah**
 - b. Jantung, pembuluh darah, dan paru-paru
 - c. Darah, pembuluh darah, dan paru-paru
 - d. Paru-paru, jantung, dan ginjal
 - e. Darah, ginjal, dan paru-paru

2. Saat komponen darah dipisah dan dilakukan sentrifugasi, komponen yang tidak terdapat dalam hasil pemisahan tersebut adalah
 - a. Eritrosit
 - b. Plasma Darah
 - c. Leukosit
 - d. Osteosit**
 - e. Platelet

3. Pembuluh darah yang keluar dari jantung dan membawa darah ke seluruh bagian dan alat tubuh disebut dengan
 - a. Arteri**
 - b. Atrium
 - c. Vena
 - d. Kapiler
 - e. Vena cava superior

4. Puncak pada jantung yang mengarah ke panggul kiri disebut dengan
 - a. Basis kordis
 - b. Apeks kordis**
 - c. Arteri
 - d. Perikardium
 - e. Atrium

5. Atrium kanan membawa darah yang tidak mengandung oksigen dari tubuh kembali ke jantung adalah
 - a. Vena pulmonalis
 - b. Truncus pulmonal
 - c. Kapiler
 - d. Vena cava superior inferior**
 - e. Sinus coroner

6. Ventrikel kanan terletak di bagian inferior kanan pada
- Apeks jantung**
 - Basis jantung
 - Aorta
 - Vena kafa superior inferior
 - Truncus pulmonary
7. Berikut ini bagian jantung yang tidak terlibat dalam sistem konduksi jantung
- SA Nodes
 - AV Nodes
 - Bundle of his*
 - A,B,C benar
 - Atrium dekstra**
8. Sistole adalah fase ketika jantung dalam keadaan
- Relaksasi
 - Berbunyi
 - Kontraksi**
 - Berdebar
 - Berdetak
9. Bunyi pertama jantung dikarenakan menutupnya katup
- Atrioventrikel**
 - Aorta
 - Arteri pulmonary
 - Trikuspid
 - Valvula

10. Penyempitan dan pengerasan pembuluh darah arteri akibat penumpukan plak terjadi pada
- a. Apeks jantung
 - b. Basis jantung
 - c. Otot jantung
 - d. Katup jantung
 - e. **Dinding pembuluh darah**

BAB X

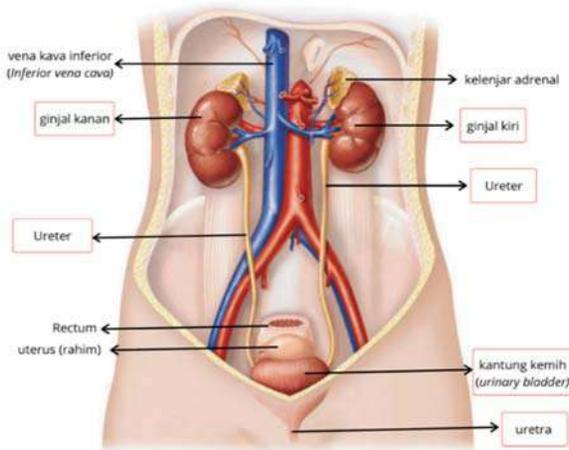
SISTEM URINARIA

A. Tujuan Pembelajaran

Dalam pembelajaran ini, mahasiswa akan mempelajari anatomi organ-organ sistem urinaria dan mempelajari mekanisme pembentukan urine. Setelah mempelajari pokok bahasan ini, diharapkan mahasiswa mampu menjelaskan organ-organ dan komponen lain yang bertanggung jawab dalam pembentukan urine sekaligus mekanisme pembentukan urine.

B. Materi Pembelajaran

Sistem saluran kemih pada tubuh manusia merupakan sistem pembentukan urine (air kemih) yang terdiri dari organ-organ berupa dua ginjal, dua ureter, satu kandung kemih, dan satu uretra.



Sumber Gambar: Marieb & Keller (2018), dengan perubahan berupa terjemah bahasa dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

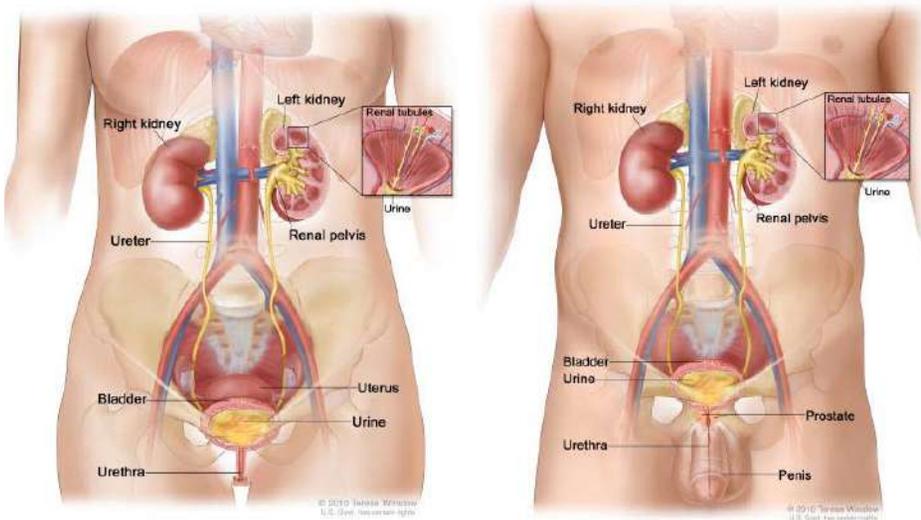
Gambar 10.1
Organ Penyusun Sistem Urinaria.

Dalam sistem urinaria, ginjal merupakan organ yang memiliki fungsi sentral dalam pembentukan kemih. Organ-organ lain hanya berfungsi sebagai saluran aliran urine dari ginjal ke kantung kemih (ureter), atau pun sebagai tempat penampungan urine sebelum dibuang (kantung kemih), serta sebagai katup pengaturan pengeluaran kemih (uretra).

Proses pembentukan urine secara umum dimulai dari proses penyaringan darah oleh ginjal, lalu ginjal akan mengembalikan sebagian besar air dan banyak zat terlarut ke aliran darah. Sisa air dan zat terlarut disebut sebagai urine, yang melewati ureter dan disimpan di kantung kemih sampai dikeluarkan dari tubuh melalui uretra.

1. Unit Fungsional dan Organ dalam Sistem Urinaria

a. Ginjal

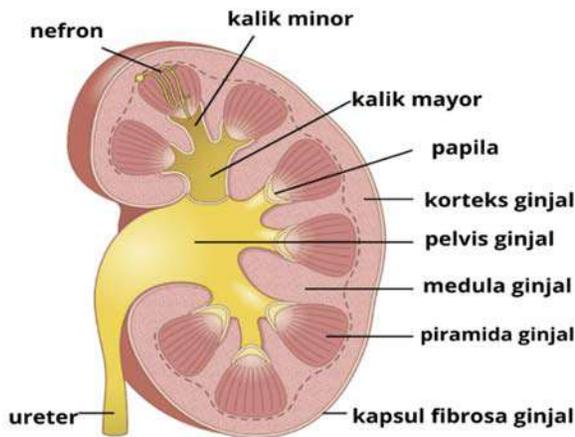


Gambar 10.2
Anatomi Ginjal Wanita dan Laki-Laki.
(Terese Winslow, 2010).

Ginjal merupakan sepasang organ yang berbentuk seperti kacang merah. Panjangnya sekitar 11 cm, lebar 6 cm, dan tebalnya 3 cm. Ginjal laki-laki dan perempuan memiliki berat yang berbeda, ginjal laki-laki memiliki berat berkisar antara 125 - 175 gr, sedangkan pada perempuan memiliki berat 115 - 155 gr. Selama hampir 24 jam ginjal bertugas untuk menyaring darah sebanyak 170 liter dengan bantuan nefron yang berjumlah $\pm 1.000.000$. Ginjal berbaring di kedua sisi tulang belakang antara peritoneum dan dinding belakang rongga perut setinggi dada ke-12 dan tiga lumbal pertama tulang belakang. Pasangan tulang rusuk ke-11 dan ke-12 memberikan perlindungan untuk bagian ginjal yang superior. Ginjal kanan sedikit lebih rendah dari kiri karena hati menempati area yang luas di atas ginjal di sisi kanan. Ginjal kanan dan kiri sama-sama dilindungi oleh tulang rusuk palsu. Ginjal manusia dilapisi oleh tiga lapisan jaringan ikat, yang merupakan lapisan pembungkus paling luar (fasia renal). Fungsi dari fasia renal ialah untuk menjaga agar ginjal tetap dalam. Lemak perirenal merupakan jaringan adiposa yang terbungkus oleh fasia ginjal berfungsi untuk memberikan bantalan pada ginjal dan membantu organ agar tetap berada pada posisinya.

Secara internal, ginjal memiliki dua bagian utama, yaitu bagian luar yang berwarna merah terang disebut korteks ginjal dan pada bagian dalam berwarna merah-coklat tua disebut renal medulla. Pada medulla ginjal terdapat beberapa piramida ginjal yang berbentuk kerucut. Terdapat lubang kecil yang disebut dengan papilla renalis pada bagian puncak kerucut yang mengarah pada kaliks. Masing-masing dari piramid dilapisi oleh kolumna renalis. Perluasan korteks ginjal disebut juga dengan kolom ginjal yang berada pada isi ruang antara piramida ginjal. Urine yang terbentuk di dalam ginjal dengan melewati ribuan saluran papiler di dalam piramida ginjal ke dalam struktur, bentuknya menyerupai cangkir yang disebut *minor*

calyces (kelopak kecil). Setiap ginjal memiliki 8 -18 kelopak kecil. Dari struktur ini, selanjutnya urine mengalir ke 2-3 *calyces mayor*, kemudian masuk ke dalam satu rongga besar disebut dengan renal pelvis. Renal pelvis akan mengalirkan urine ke ureter, yang mengangkut urine ke kandung kemih untuk penyimpanan dan akhirnya dikeluarkan dari tubuh. Pada ginjal, terdapat beberapa unit fungsional yang dikenal dengan nefron dan terdiri dari kapsula bowman, glomerulus, lengkung henle, tubulus kontortus proksimal, tubulus rektus, tubulus kontortus distal, tubulus koligentes, serta duktus koligentes.



Sumber Gambar: Hall (2020), dengan perubahan berupa terjemah Bahasa dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 10.3
Struktur Anatomi Ginjal.

Selain fungsi pembentukan urine, ginjal juga membantu mempertahankan homeostasis tubuh dengan melakukan fungsi sebagai berikut:

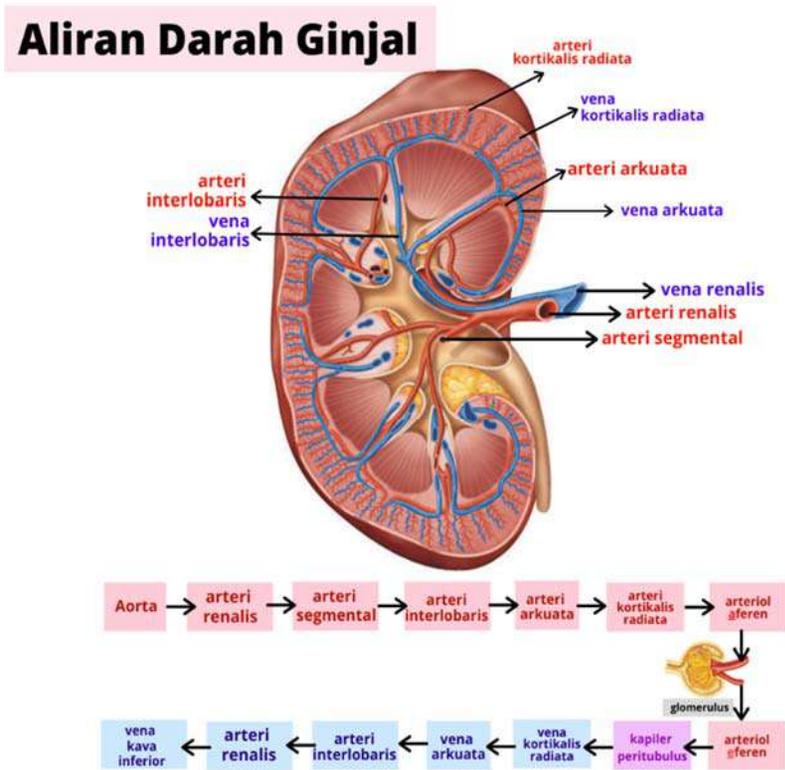
- 1) Pengaturan kadar ion dalam darah. Ginjal membantu mengatur kadar beberapa ion dalam darah. Adapun kadar ion yang

paling penting ialah ion natrium (Na^+), ion kalium (K^+), ion kalsium (Ca^{2+}), ion klorida (Cl^-), dan ion fosfat (HPO_4^{2-}).

- 2) Pengaturan volume darah dan tekanan darah. Ginjal mengatur volume darah dalam tubuh dengan cara mengembalikan air ke darah atau menghilangkannya dalam bentuk urine. Ginjal membantu mengatur tekanan darah dengan mengeluarkan enzim renin, yang mengaktifkan jalur renin – angiotensin – aldosteron dengan menyesuaikan aliran darah masuk dan keluar dari ginjal, dan dengan mengatur volume darah.
- 3) Pengaturan pH darah. Ginjal mengatur konsentrasi H^+ dalam darah dengan mengeluarkan sejumlah variabel H^+ dalam urine. Ginjal juga berfungsi untuk meminimalisir ion bikarbonat darah (HCO_3^-), dan juga sebagai penyangga penting H^+ . Dua aktivitas tersebut membantu mengatur pH darah.
- 4) Produksi hormon. Ginjal menghasilkan dua hormon, yakni hormon calcitriol, bentuk aktif dari vitamin D, membantu mengatur homeostasis kalsium dan eritropoietin yang merangsang produksi sel darah merah.
- 5) Ekskresi limbah. Dengan membentuk urine, ginjal membantu mengeluarkan limbah (zat yang tidak memiliki fungsi berguna di dalam tubuh). Beberapa limbah yang diekskresikan dalam urine merupakan hasil metabolisme reaksi dalam tubuh. Ini termasuk amonia dan urea dari pemecahan asam amino, bilirubin dari pemecahan hemoglobin, kreatinin dari pemecahan kreatin fosfat dalam serat otot, dan asam urat dari pemecahannya asam nukleat. Limbah lain yang dikeluarkan melalui urine adalah benda asing berupa zat dari makanan, seperti obat-obatan dan racun lain seperti timbal, merkuri, dan pestisida.

➤ Aliran darah ke ginjal

Ginjal secara terus-menerus membersihkan darah dan berperan sangat penting dalam mengatur komposisi darah, agar tetap dalam rentang normalnya dan mencapai kondisi homeostasis. Oleh sebab itu, ginjal merupakan organ yang kaya akan suplai darah dengan jumlah sekitar 25% total suplai darah tubuh setiap menitnya dialirkan melewati ginjal. Aliran darah ke ginjal secara lebih rinci dijelaskan pada Gambar 10.4.

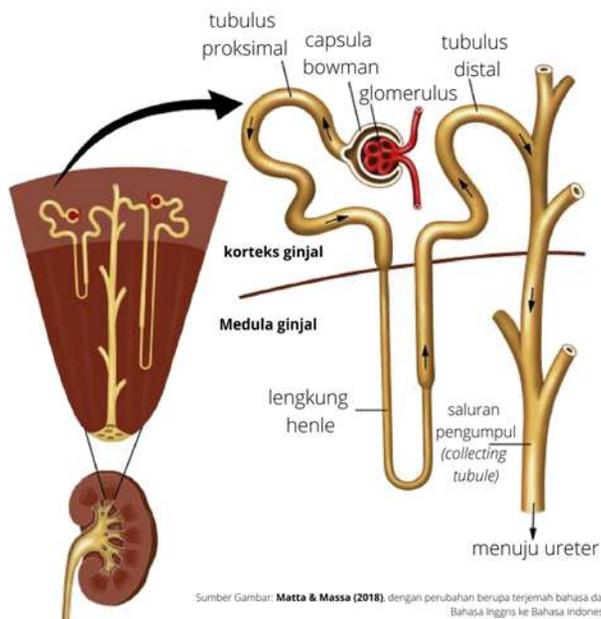


Sumber Gambar: Marieb & Keller (2018), dengan perubahan berupa terjemah bahasa dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 10.4
Pembuluh Darah dan Aliran Darah Ginjal.

b. Nefron sebagai unit fungsional

Nefron merupakan unit ginjal yang berperan baik sebagai unit struktural maupun unit fungsional, yang bertanggung jawab dalam pembentukan urine. Urine yang dibentuk lebih dari jutaan nefron akan dikumpulkan melalui saluran-saluran pengumpul urine (*collecting ducts*). Tiap-tiap saluran akan mengumpulkan urine dari beberapa nefron untuk mengantarkannya ke pelvis ginjal.



Gambar 10.5
Struktur Anatomi Nefron.

Nefron memiliki tiga struktur yang menyusunnya, yaitu struktur tubular, struktur vaskuler, dan kombinasi keduanya.

➤ Struktur Tubular

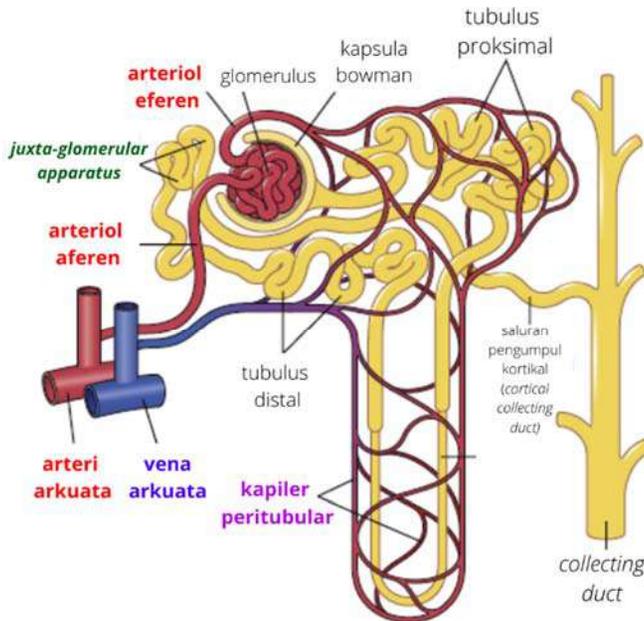
Struktur tubular nefron terdiri dari:

- 1) Kapsula bowman yang berfungsi sebagai tempat menampung filtrat (hasil saringan) glomerulus.

- 2) Tubulus ginjal, yakni saluran ini panjangnya sekitar 3 cm dan berfungsi merubah cairan yang telah disaring menjadi urine, dengan beberapa proses reabsorpsi selama perjalanan menuju pelvis ginjal. Tubulus ini dapat dibagi menjadi tiga saluran utama, yaitu:
 - a) Tubulus proksimal, yakni saluran ini terletak pada bagian korteks ginjal yang berfungsi dalam melakukan reabsorpsi dan sekresi zat-zat tertentu.
 - b) Lengkung henle (*Loop of Henle*) yang terdiri atas lengkung desenden (menurun) dan lengkung asenden (naik), berfungsi dalam penentuan konsentrasi urine (pekat atau encer).
 - c) Tubulus distal dan saluran pengumpul (*collecting duct/ tubulus kolektivus*), yakni bagian ini berperan dalam kontrol reabsorpsi natrium dan air serta sekresi kalium dan ion hidrogen. Cairan yang meninggalkan saluran pengumpul adalah urine yang dialirkan ke pelvis ginjal.

► Struktur Vaskular

- 1) Arteriol aferen, yaitu membawa darah ke glomerulus.
- 2) Glomerulus ialah sekumpulan kapiler yang menyaring plasma bebas protein ke komponen tubular.
- 3) Arteriol eferen, yaitu membawa darah dari glomerulus.
- 4) Kapiler peritubular, yaitu memberikan nutrisi ke jaringan ginjal dan terlibat dalam pertukaran cairan di tubulus ginjal.



Sumber Gambar: Hall (2021), dengan perubahan berupa terjemah bahasa dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia

Gambar 10.6
Struktur Vaskular Ginjal.

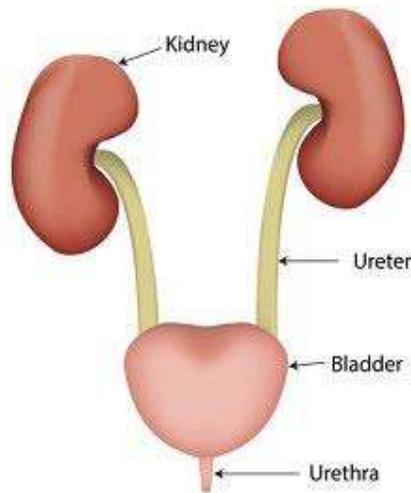
➤ Struktur Kombinasi Vaskular/Tubular

- 1) Juxtaglomerular apparatus, yaitu komponen yang menghasilkan zat-zat yang terlibat dalam fungsi ginjal.

c. Ureter

Ureter merupakan suatu jaringan otot polos dengan ukuran 25-30 cm. Ureter terdiri dari dua buah tabung atau saluran yang menghubungkan ginjal dengan kandung kemih (vesika urinaria). Sebagian ureter yang berada di dalam kavum abdominis disebut dengan *pars abdominalis*, dan sebagian lagi berada pada kavum pelvikum disebut *pars pelvina*. Pangkal ureter merupakan kelanjutan dari pelvis renalis yang meninggalkan ginjal melalui hilum renale, berada di sebelah vena renalis. Dinding ureter terdiri dari tiga lapisan. La-

pisan dalam adalah mukosa yang mengandung epitel transisi dengan lapisan di bawah jaringan ikat areolar. Lendir disekresikan oleh sel piala mukosa mencegah sel bersentuhan dengan urine, konsentrasi zat terlarut dan pH yang mungkin berbeda secara drastis dari sitosol sel yang terbentuk dinding ureter. Lapisan tengah terdiri dari otot polos. Urine diangkut dari pelvis ginjal ke kandung kemih melalui kontraksi peristaltik otot polos. Lapisan luar terdiri dari jaringan ikat areolar yang mengandung pembuluh darah, pembuluh limfatik, dan saraf.

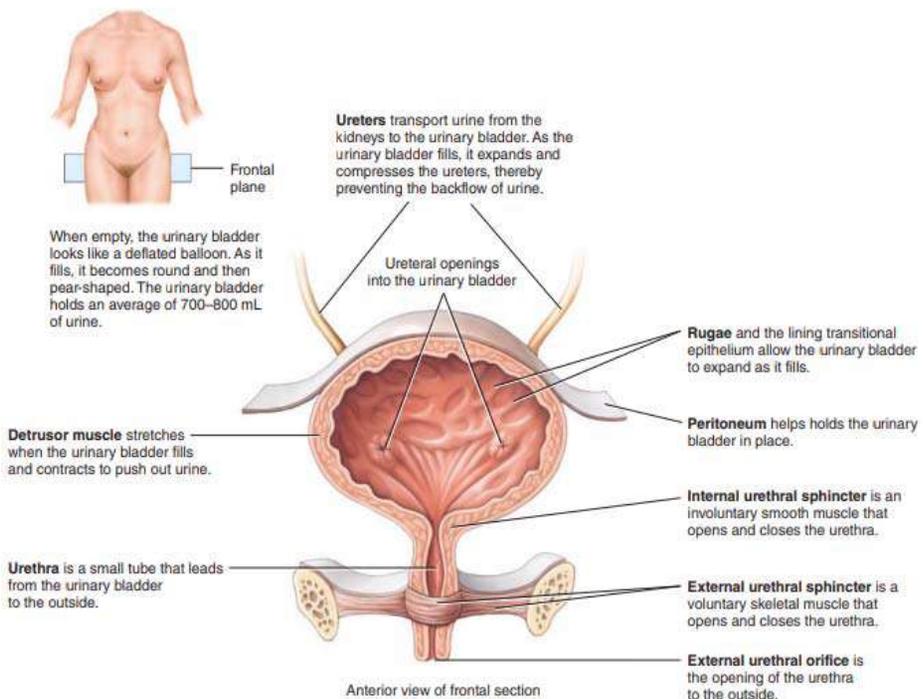


Gambar 10.7
Ginjal, Ureter, Kandung Kemih, dan Uretra.

d. Kandung kemih

Kandung kemih merupakan kantong yang dibentuk oleh jaringan ikat dan otot polos. Kandung kemih berfungsi sebagai tempat penyimpanan urine. Volume dari kandung kemih adalah 2.000-3.000 cc. Pada laki-laki, berada di depan dan pada wanita terletak di depan vagina dan di bawah rahim. Lipatan peritoneum menahan kandung kemih pada posisinya. Bentuk kandung kemih tergantung pada seberapa banyak urine yang dikandungnya. Saat kosong akan

terlihat seperti balon kempes. Terlihat seperti bentuk bola ketika sedikit diregangkan dan saat volume urine meningkat menjadi berbentuk buah pir dan naik ke rongga perut. Kapasitas kandung kemih lebih kecil pada perempuan, hal ini dikarenakan rahim menempati ruang di atas kandung kemih. Ureter mengalir ke kandung kemih melalui lubang ureter menuju dasar kandung kemih. Kandung kemih berisi mukosa epitel transisi, yang memungkinkan peregangan. Mukosa juga mengandung lipatan disebut rugae, yang juga memungkinkan perluasan kandung kemih. Lapisan otot kandung kemih dinding terdiri dari tiga lapisan otot polos disebut otot detrusor, yakni otot yang digunakan untuk menekan ke bawah.



Gambar 10.8
Kandung Kemih pada Wanita.
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

e. Uretra

Uretra merupakan bagian terminal dari sistem kemih, berbentuk tabung kecil yang mengarah dari dasar kandung kemih ke bagian luar tubuh. Pada wanita, letaknya tepat di belakang simfisis pubis dan tertanam di dinding depan vagina. Pembukaan uretra ke luar, lubang uretra eksternal, terletak di antara klitoris dan lubang vagina. Pada pria, uretra melewati prostat secara vertikal, bagian dalam otot perineum dan terakhir penis. Pada sekitar pintu masuk dari bukaan kandung kemih ke uretra adalah sfingter uretra internal yang terdiri dari otot polos. Pembukaan dan penutupan sfingter uretra internal dilakukan dengan tidak disengaja. Pada sfingter internal di bawahnya adalah uretra eksternal sfingter, yang terdiri dari otot rangka dan berada di bawah kontrol sukarela. Pada pria dan wanita, uretra merupakan lorong untuk mengeluarkan urine dari tubuh. Uretra pria juga berfungsi sebagai saluran saat air mani diejakulasi.

2. Proses Pembentukan Urine

Awal mula pembentukan urine dimulai dari filtrasi sejumlah besar cairan yang sudah bebas protein dari kapiler glomerulus menuju ke kapsula bowman. Tahapan dari proses pembentukan urine dimulai dari filtrasi glomerulus, reabsorpsi zat dari tubulus renalis ke dalam darah, dan sekresi zat dari darah ke tubulus renalis.

a. Proses pembentukan urine

1) Filtrasi

Proses filtrasi terjadi di glomerulus. Proses ini terjadi secara pasif dan terjadi karena dinding kapiler glomerulus merupakan lapisan tunggal sel endotelial pipih, yang memiliki banyak pori-pori besar yang sangat permeabel terhadap air dan zat-zat terlarut. Protein tidak difiltrasi secara bebas, namun filtrasi dilaku-

kan secara bebas pada sebagian besar zat dalam plasma. Hal ini menyebabkan konsentrasi pada filtrat glomerulus dalam kapsula bowman hampir sama dengan yang ada di dalam plasma. Cairan yang tersaring tersebut mengandung glukosa, air, sodium, klorida, sulfat, bikarbonat, dan beberapa komponen lain, selanjutnya diteruskan ke seluruh ginjal.

2) Reabsorpsi

Ketika cairan yang sudah difiltrasi meninggalkan kapsula bowman, kemudian mengalir melewati tubulus. Reabsorpsi terjadi di tubulus. Proses reabsorpsi merupakan suatu proses penyerapan ulang pada sebagian besar zat seperti sodium, klorida, fosfat, glukosa, serta beberapa ion karbonat yang dilakukan secara pasif. Proses reabsorpsi ini dikenal dengan sebutan reabsorpsi obligat di tubulus atas. Pada tubulus ginjal bagian bawah, jika diperlukan akan terjadi kembali penyerapan sodium dan ion karbonat. Reabsorpsi fakultatif merupakan penyerapan yang terjadi secara aktif dan sisanya dialirkan pada bagian papila renalis.

Zat-zat yang telah direabsorpsi, kemudian akan dibawa oleh kapiler peritubular ke sistem vena lalu diantarkan ke jantung untuk kembali disirkulasikan. Dari sekitar 180 liter plasma yang disaring, rata-rata sekitar 178,5 liter (lebih dari 99%) akan diserap kembali. Hanya sekitar 1,5 liter dari filtrat glomerulus yang akan dibuang ke urine. Secara umum, proses reabsorpsi ini akan menyerap kembali secara selektif zat-zat yang masih dibutuhkan oleh tubuh, sedangkan zat-zat yang harus dibuang akan tetap berada di urine.

3) Sekresi

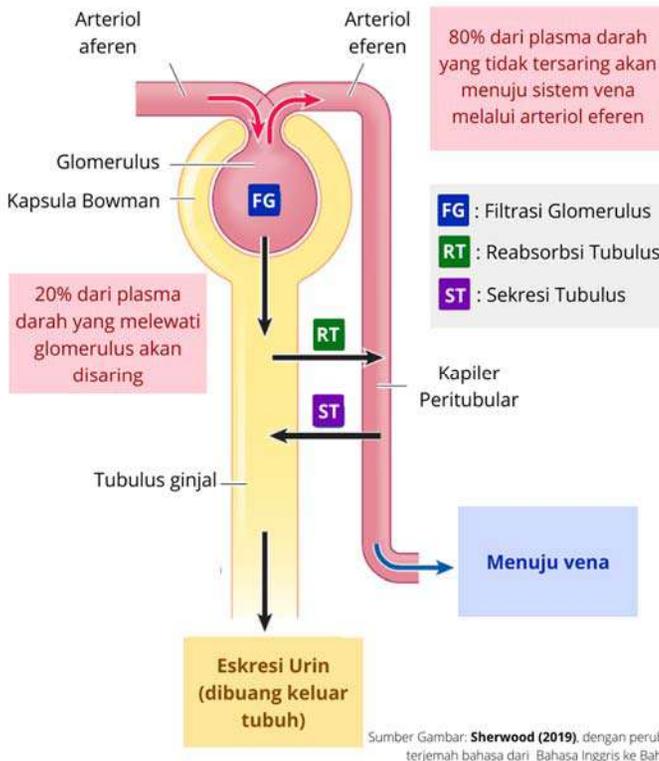
Sekresi berperan penting dalam menentukan jumlah ion kalium, hidrogen, kreatinin, serta beberapa zat lain yang akan diekskresi dalam urine. Proses ini juga penting dalam membuang zat-

zat yang belum tersaring dalam filtrat glomerulus, misalnya beberapa jenis obat, kelebihan ion kalium atau zat tertentu yang mengganggu keseimbangan pH darah.

4) Ekskresi

Beberapa zat yang merupakan produk sampah nitrogen harus dibersihkan dari darah, zat-zat tersebut merupakan produk akhir dari metabolisme seperti urea, kreatinin, asam urat, dan garam-garam asam urat akan dibuang (diekskresi) melalui urine. Urea, karena sifatnya yang dapat direabsorpsi secara pasif, maka hanya 50% dari urea yang tersaring pada filtrat glomerulus akan dibuang melalui urine. Rerata pembuangan ini cukup baik untuk menjaga konsentrasi urea di plasma tetap normal. Zat-zat lain selain urea karena tidak mudah direabsorpsi, maka akan dibuang dalam konsentrasi tinggi dalam urine.

Elektrolit seperti ion natrium, klorida, dan bikarbonat direabsorpsi dengan baik, sehingga dalam urine hanya ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit. Zat gizi seperti asam amino dan glukosa direabsorpsi secara penuh dari tubulus dan tidak akan ditemukan dalam urine, walaupun sejumlah besar zat tersebut lolos ke dalam tubulus dalam proses filtrasi kapiler glomerulus.



Gambar 10.9
Empat Proses Dasar yang Terjadi di Ginjal.

3. Regulasi Homeostasis Pada Proses Reabsorpsi dan Sekresi Tubulus

Terdapat beberapa hormon yang berperan dalam proses reabsorpsi dan sekresi pada tubulus ginjal, yaitu angiotensin II, aldosteron, ADH, *atrial natriuretic peptide*, dan hormon paratiroid (PTH).

a. Sistem renin-angiotensin-aldosteron

Sistem ini merupakan sistem yang mengatur volume darah dan resistensi pembuluh darah secara sistemik. Seperti namanya, sistem ini melibatkan tiga jenis hormone, yaitu renin, angiotensin II, dan aldosterone. Fungsi utama sistem ini adalah meningkatkan tekanan

darah dengan cara meningkatkan volume darah, ritme arterial melalui reabsorpsi natrium, air, dan pengaturan ritme pembuluh darah. Dengan cara tersebut, tekanan darah akan meningkat dan bertahan dalam waktu yang cukup lama. Proses yang terjadi dalam sistem ini meliputi:

- 1) Ketika terdapat stimulus, maka akan terjadi aktivasi sel-sel juxtaglomerular. Stimulus berupa penurunan tekanan darah, aktivasi beta atau aktivasi sel makula densa sebagai respons turunnya kadar natrium di tubulus distal.
- 2) Aktivasi sel juxtaglomerular akan merubah prorenin menjadi renin dan selanjutnya dilepaskan ke darah.
- 3) Enzim renin akan merubah angiotensinogen menjadi angiotensin I yang merupakan prekursor angiotensin II.
- 4) Langkah yang berikutnya angiotensin I diubah ke angiotensin II yang dilakukan oleh ACE (*angiotensin converting enzyme*).

Ketika angiotensin II terbentuk, maka hormon ini akan memberikan pengaruh pada fisiologi ginjal meliputi:

- Penurunan laju filtrasi glomerulus dengan cara menyempitkan arterioler aferen.
- Meningkatkan reabsorpsi natrium dan air pada tubulus proksimal.
- Menstimulasi korteks adrenal untuk melepaskan aldosteron untuk menstimulasi penyerapan natrium pada saluran pengumpul dan membuang lebih banyak ion kalium. Natrium yang terserap akan secara otomatis menarik air sehingga volume dan tekanan darah meningkat.

b. *Antidiuretic Hormon* (ADH)

ADH atau vasopresin adalah hormon yang dilepaskan kelenjar pituitari posterior, dan berperan dalam proses reabsorpsi air secara fakultatif dengan meningkatkan permeabilitas membran tubulus distal dan tubulus koletktivus (*collecting duct*) terhadap air.

Sistem pengaturan hormon ini adalah sistem *feedback* negatif. Dengan peningkatan reabsorpsi air secara fakultatif, maka molekul air secara cepat kembali ke dalam darah dan mengembalikan tekanan osmosis darah. Seperti telah dibahas sebelumnya pada sistem endokrin, hormon ADH dilepaskan sebagai respons peningkatan tekanan osmosis darah dan penurunan volume darah (misal pada kondisi dehidrasi).

c. *Atrial Natriuretic Peptide* (ANP)

Hormon ini disekresikan oleh jantung sebagai respons peningkatan volume darah yang signifikan. Hormon ini menghambat reabsorpsi natrium dan air di tubulus proksimal dan *collecting duct*. Selain itu, hormon ini juga menekan pelepasan aldosteron dan ADH yang memiliki fungsi meningkatkan tekanan dan volume darah (memiliki fungsi yang berkebalikan). Dengan ekskresi lebih banyak natrium, maka volume urine akan meningkat yang memberikan efek pada penurunan volume dan tekanan darah.

d. Hormon paratiroid

Hormon paratiroid disekresikan oleh kelenjar paratiroid sebagai respons penurunan level ion kalsium dalam darah, seperti telah dijelaskan pada bab endokrin. Pelepasan hormon ini akan meningkatkan reabsorpsi ion kalsium dan mencegah reabsorpsi ion fosfat, sehingga lebih banyak ion fosfat akan dibuang melalui urine.

Tabel 10.1

Rangkuman Regulasi Hormon terhadap Reabsorpsi dan Sekresi Tubulus.

| Hormon | Stimulus | Mekanisme dan lokasi kerja | Efek |
|----------------|---|--|--|
| Angiotensin II | Penurunan volume dan tekanan darah. | Tubulus proksimal dengan cara menstimulasi aktivitas antiporter $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ | Meningkatkan reabsorpsi air dan natrium, sehingga volume dan tekanan darah meningkat. |
| Aldosteron | Peningkatan kadar angiotensin dan level kalium plasma. | Peningkatan aktivitas pompa $\text{Na} - \text{K}$ di membrane saluran pengumpul. | Meningkatkan sekresi kalium dan meningkatkan absorpsi air dan natrium sehingga volume dan tekanan darah meningkat. |
| ADH | Peningkatan osmolaritas cairan ekstraseluler atau penurunan volume darah. | Menstimulasi insersi saluran air (aquaporin-2) pada tubulus distal dan saluran pengumpul (<i>collecting duct</i>). | Meningkatkan reabsorpsi fakultatif air, sehingga kadar air dalam darah meningkat dan osmolaritas menurun. |
| ANP | Peregangan atrium jantung. | Menekan reabsorpsi Na dan menghambat pelepasan ADH dan aldosteron. | Peningkatan sekresi ion natrium dan jumlah urine yang menurunkan tekanan dan volume darah. |
| PTH | Penurunan level ion kalsium dalam darah. | Menstimulasi pembukaan saluran kalsium pada membran tubulus distal. | Meningkatkan reabsorpsi ion kalsium. |

4. Komponen Urine

Jika hasil saringan glomerulus disebut dengan filtrat, maka hasil akhir proses yang terjadi pada ginjal disebut dengan urine. Sepanjang proses pada tubulus nefron, sebagian besar air, zat gizi, dan ion yang dibutuhkan oleh tubuh terserap kembali, sehingga pada urine hanya tersisa sampah-sampah nitrogen dan zat yang tidak dibutuhkan untuk selanjutnya dibuang keluar tubuh.

Pada orang dewasa, volume urine yang dikeluarkan per hari adalah 1-2 liter. Air menyumbang sekitar 95% dari total volume urine. Selain urea, kreatinin, kalium, dan amonia, zat terlarut khas yang biasanya ada dalam urine adalah asam urat serta ion-ion natrium, klorida, magnesium, sulfat, fosfat, dan kalsium. Jika ada penyakit yang mengganggu metabolisme tubuh atau fungsi ginjal, maka jejak zat yang seharusnya tidak ikut terbuang dapat muncul dalam urine. Selain itu, gangguan fungsi ginjal juga dapat menyebabkan komponen normal dalam urine muncul dalam jumlah yang tidak normal. Berikut ini adalah daftar beberapa konstituen abnormal dalam urine yang dapat dideteksi melalui urinalisis (pemeriksaan yang dilakukan melalui analisis sampel urine di laboratorium).

Tabel 10.2
Karakteristik Fisik pada Urine Normal.

| Karakteristik | Penjelasan |
|---------------|---|
| Volume | 1-2 liter dalam satu hari (tetapi sangat bervariasi). |
| Warna | Kuning atau kuning muda, tetapi warna akan bervariasi dengan konsentrasi urine dan diet. Warna disebabkan oleh <i>urochrome</i> (pigmen yang dihasilkan dari pemecahan empedu) dan <i>urobilin</i> (dari pemecahan hemoglobin). Urine pekat berwarna lebih gelap. Diet (urine kemerahan dari bit), obat-obatan, dan penyakit tertentu yang memengaruhi warna. |

| | |
|-------------|---|
| Kekeruhan | Transparan saat baru dikeluarkan, tetapi menjadi keruh setelah beberapa saat. |
| Bau | Berbau amoniak. |
| pH | pH berkisar antara 4,6 - 8,0, tetapi rata-rata pH adalah 6,0 (sangat bervariasi tergantung diet). Diet tinggi protein akan meningkatkan keasaman. |
| Berat Jenis | Berat jenis air seni spesifik berkisar dari 1,001 - 1,035. Semakin tinggi konsentrasi zat terlarut maka semakin tinggi juga berat jenis. Berat jenis spesifik lebih tinggi saat pagi hari di mana saat urine lebih pekat. |

Tabel 10.3
Kandungan Abnormal pada Urine.

| Kandungan Urin Abnormal | Penjelasan |
|-------------------------|--|
| Albumin | Konstituen plasma darah yang normal biasanya muncul hanya dalam jumlah yang sangat kecil dalam urine. Adanya albumin yang berlebihan dalam urine atau albuminuria menunjukkan peningkatan permeabilitas membran penyaring karena terjadi cedera atau penyakit, peningkatan tekanan darah, atau kerusakan sel ginjal. |
| Glukosa | Glukosuria atau adanya glukosa dalam urine biasanya mengindikasikan diabetes mellitus. |
| Sel darah merah | Hematuria atau adanya hemoglobin dari sel darah merah yang pecah dalam urine, dapat terjadi karena peradangan pada organ kemih akibat penyakit atau iritasi dari batu ginjal, tumor, trauma, dan penyakit ginjal. |
| Sel darah putih | Adanya sel darah putih dan komponen nanah lainnya dalam urine, yang disebut sebagai piuria menunjukkan infeksi pada ginjal atau organ kemih lainnya. |
| Keton | Kadar keton yang tinggi dalam urine disebut ketonuria, dapat mengindikasikan diabetes mellitus, anoreksia, kelaparan, atau terlalu sedikit karbohidrat dalam makanan. |

| | |
|--------------|---|
| Bilirubin | Ketika sel darah merah dihancurkan oleh makrofag, bagian globin dari hemoglobin dipisahkan dan heme diubah menjadi biliverdin. Sebagian besar biliverdin diubah menjadi bilirubin. Tingkat bilirubin di atas normal dalam urine disebut bilirubinuria. |
| Urobilinogen | Adanya urobilinogen (hasil pemecahan hemoglobin) dalam urine disebut urobilinogenuria. Jumlah jejak normal, tetapi urobilinogen yang meningkat mungkin karena terjadi anemia hemolitik atau pernisiiosa, infeksius hepatitis, obstruksi saluran empedu, ikterus, sirosis, gagal jantung kongestif, atau infeksi mononukleosis. |
| Mikroba | Jumlah dan jenis bakteri berbeda dengan infeksi tertentu di saluran kemih. Salah satu bakteri yang paling umum adalah E.coli. Jamur yang paling umum muncul dalam urine adalah Candida albicans, penyebab vaginitis. Protozoa yang paling sering terlihat adalah Trichomonas vaginalis, penyebab vaginitis pada wanita dan uretritis pada pria. |

5. Mikturisi (Berkemih)

Berkemih adalah proses pengosongan kantung kemih yang diregulasi oleh dua otot sfingter pada uretra, yaitu otot sfingter internal uretra dan sfingter eksternal uretra (*internal and external urethral sfingter*). Kedua otot ini berfungsi dalam pengaturan aliran urine dari kantung kemih.

Secara umum, proses berkemih distimulasi oleh peregangan otot kantung kemih. Ketika kantung kemih meregang dan menampung urine sekitar 200 ml, informasi akan disampaikan ke saraf tulang belakang untuk memberikan impuls balik ke kantung kemih sehingga muncul refleks kontraksi.

Proses kontraksi tersebut mendorong otot sfingter internal uretra sehingga muncul rasa ingin berkemih. Sebab otot sfingter eksternal uretra merupakan otot sadar, maka jika orang tersebut merasa nyaman atau memberikan perintah untuk berkemih secara sadar, maka otot

eksternal ini akan mengalami relaksasi dan proses berkemih dapat terjadi.

Jika seseorang memutuskan untuk menahan berkemih, maka kontraksi otot kantung kemih akan berhenti sementara dan pengumpulan urine kembali terjadi. Namun, jika urine yang terkumpul semakin banyak, maka rangsangan untuk berkemih akan kembali muncul. Pada kondisi tertentu, jika kantung kemih mencapai batas maksimalnya, maka berkemih akan terjadi baik ketika diinginkan maupun tidak diinginkan.

C. Rangkuman

1. Sistem saluran kemih pada tubuh manusia merupakan sistem pembentukan urine (air kemih), terdiri dari organ-organ berupa dua ginjal, dua ureter, satu kandung kemih, dan satu uretra
2. Ginjal adalah sepasang organ berbentuk seperti kacang merah. Panjangnya sekitar 11 cm, lebar 6 cm dan tebalnya 3 cm.
3. Berat ginjal antara laki-laki dan perempuan berbeda, ginjal laki-laki memiliki berat berkisar antara 125 - 175 gr, sedangkan pada perempuan memiliki berat 115 - 155 gr. Selama hampir 24 jam ginjal bertugas untuk menyaring darah sebanyak 170 liter dengan bantuan nefron yang berjumlah $\pm 1.000.000$.
4. Ginjal berbaring di kedua sisi tulang belakang antara peritoneum dan dinding belakang rongga perut setinggi dada ke-12 dan tiga lumbal pertama tulang belakang.
5. Ginjal kanan sedikit lebih rendah dari kiri karena hati menempati area yang luas di atas ginjal di sisi kanan.
6. Ginjal manusia dilapisi oleh tiga lapisan jaringan ikat, yang merupakan lapisan pembungkus paling luar (fasia renal).

7. Lemak perirenal merupakan bagian jaringan adiposa yang dibungkus oleh fascia ginjal. Jaringan ini memberikan bantalan pada ginjal dan membantu organ tetap pada posisinya.
8. Kapsul fibrosa (ginjal) merupakan suatu membran halus dan transparan yang membungkus ginjal secara langsung dan mudah dilepas.

D. Evaluasi

1. Berikut ini pernyataan anatomi sistem urinaria pada manusia yang tidak sesuai
 - a. Dua ginjal yang memproduksi urine
 - b. Satu ureter yang membawa urine**
 - c. Kandung kemih sebagai penampungan sementara
 - d. Dua uretra yang mengalirkan urine keluar tubuh
 - e. Ginjal kanan terletak lebih rendah dibandingkan ginjal kiri
2. Lubang kecil yang terletak di bagian dalam ginjal merupakan tempat masuk disebut
 - a. Renal korteks
 - b. Renal medulla
 - c. Hilum**
 - d. Nefron
 - e. Pelvis renalis
3. Ginjal mengekskresi urea, asam urat, kreatinin, dan produk penguraian hemoglobin dan hormon adalah fungsi ginjal sebagai
 - a. Pengaturan produksi sel darah merah
 - b. Pengaturan tekanan darah
 - c. Pengaturan keseimbangan asam-basa tubuh

d. Pengaturan konsentrasi ion-ion penting

e. **Pengeluaran zat organik**

4. Berikut ini proses pengeluaran urine yang benar adalah
- Urine - minor calyx - major calyx - pelvis renalis - ureter - kandung kemih (vesika urinaria) - uretra**
 - Urine - major calyx - minor calyx - pelvis renalis - uretra - kandung kemih (vesika urinaria) - ureter
 - Urine - major calyx - minor calyx - pelvis renalis - ureter - kandung kemih (vesika urinaria)-uretra
 - Urine - major calyx - minor calyx - pelvis renalis - ureter - uretra - kandung kemih (vesika urinaria)
 - Urine - major calyx - minor calyx - ureter - pelvis renalis - uretra - kandung kemih (vesika urinaria)
5. Tahapan dari proses pembentukan urine dimulai dari
- Filtrasi glomerulus, reabsorpsi zat dari tubulus renalis ke dalam darah, dan sekresi zat dari darah ke tubulus renalis.**
 - Filtrasi zat dari darah ke tubulus renalis, sekresi di glomerulus, dan reabsorpsi zat dari tubulus renalis ke dalam darah.
 - Filtrasi glomerulus, sekresi zat dari darah ke tubulus renalis, dan reabsorpsi zat dari tubulus renalis ke dalam darah.
 - Reabsorpsi zat dari tubulus renalis ke dalam darah, filtrasi glomerulus, dan sekresi zat dari darah ke tubulus renalis.
 - Sekresi zat dari darah ke tubulus renalis, reabsorpsi zat dari tubulus renalis ke dalam darah, dan filtrasi glomerulus.

6. Kondisi yang dapat mengindikasikan diabetes mellitus, anoreksia, kelaparan, atau terlalu sedikit karbohidrat dalam makanan adalah keadaan urine yang disebut
- Hematuria
 - Bilirubinuria
 - Ketonuria**
 - Glukosuria
 - Albuminuria
7. Suatu kondisi yang disebabkan oleh kerusakan fungsi ginjal, akibat penyakit yang terjadi dalam jangka panjang merupakan patofisiologi
- Gagal ginjal akut
 - Asam urat
 - Batu ginjal
 - Dehidrasi
 - Gagal ginjal kronis.**
8. Suatu penyakit yang disebabkan karena konsumsi tinggi zat yang menyebabkan batu terbentuk dan tersangkut menyebabkan sumbatan pada bagian
- Kandung kemih
 - Nefron
 - Ureter**
 - Uretra
 - Ginjal

9. Bagian utama ginjal, yaitu bagian luar yang berwarna merah terang disebut
- Pelvis renalis
 - Hilum
 - Korteks medulla
 - Korteks renal**
 - Vena renalis

BAB XI

SISTEM PENCERNAAN

A. Tujuan Pembelajaran

Dalam pembelajaran ini, mahasiswa akan mempelajari anatomi organ-organ pada sistem pencernaan. Setelah mempelajari pokok bahasan ini, diharapkan mahasiswa mampu menjelaskan organ-organ dan komponen lain yang bertanggung jawab dalam saluran pencernaan.

B. Materi Pembelajaran

1. Sistem Pencernaan

a. Gambaran umum dan fungsi sistem pencernaan

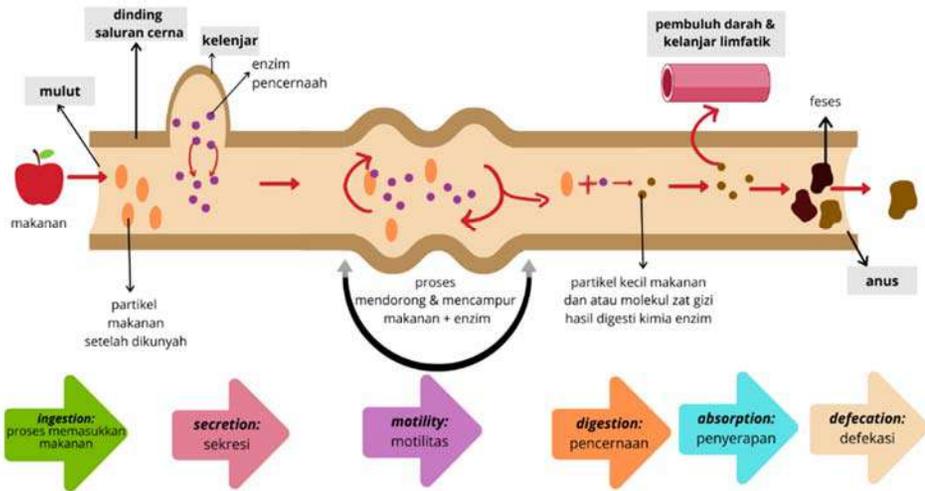
Sistem pencernaan manusia merupakan sistem yang memiliki fungsi memecah makanan dan minuman dari luar tubuh menjadi ukuran yang lebih kecil agar mampu diakses oleh enzim-enzim tubuh. Oleh enzim, pecahan makanan tersebut akan didigesti secara kimia menjadi zat gizi yang diserap dan ditransportasikan ke seluruh tubuh. Secara umum, sistem pencernaan manusia memainkan beberapa peran penting, yaitu:

- 1) Memastikan bahwa semua makanan dan cairan yang ditelan melalui mulut dapat dipecah menjadi nutrisi dan bahan kimia yang dapat digunakan tubuh.
- 2) Mempertahankan homeostasis tubuh dengan menyediakan zat gizi untuk proses metabolik, seperti menghasilkan energi ATP.

- 3) Menyediakan zat gizi yang berperan dalam proses perbaikan jaringan dan pertumbuhan.
- 4) Mengeluarkan zat sisa makanan yang tidak tercerna atau zat-zat sisa metabolisme, seperti bilirubin.

b. Proses dasar pada pencernaan

Secara umum, proses dasar pada pencernaan manusia terdiri atas enam tahapan, yaitu menelan, sekresi, motilitas, digesti, absorpsi, dan defekasi (Gambar 11.1).



Gambar 11.1
Enam Tahap Pencernaan Manusia.

1) Ingesti

Proses ini merupakan tahapan saat makanan dan minuman masuk ke mulut, atau biasa dikenal dengan proses makan dan minum.

2) Sekresi

Pada proses pencernaan, sel-sel pada dinding saluran pencernaan menyekresi berbagai zat yang berguna untuk proses pen-

cerna, antara lain air, asam-asam, elektrolit, buffer, dan enzim. Sel-sel pada dinding saluran cerna juga menyekresikan hormon-hormon pencernaan ke dalam darah untuk mengatur pergerakan usus dan sekresi kelenjar eksokrin.

3) Motilitas

Motilitas adalah kemampuan saluran cerna untuk menggerakkan dan mencampur zat-zat dalam saluran cerna (contoh: enzim dan partikel makanan) melalui gerakan kontraksi serta relaksasi dinding usus saluran cerna. Gerakan usus ini terbagi menjadi dua, yaitu:

- Gerakan propulsif, yaitu mengarahkan makanan untuk maju dan terus bergerak melalui saluran cerna hingga ke usus besar dan sisanya dikeluarkan lewat anus.
- Gerakan mencampur (*mixing*). Gerakan ini memiliki dua fungsi, pertama mencampur makanan dengan getah pencernaan, dan kedua adalah membantu partikel makanan yang dicerna dapat melakukan kontak dengan lapisan usus yang berfungsi dalam penyerapan zat gizi.

Pergerakan ini dipengaruhi oleh kerja dua jenis otot, yaitu otot polos (tak sadar) yang berada di sebagian besar saluran cerna, kecuali pada bagian-bagian yang berfungsi dalam mengunyah (mulut), menelan, dan defekasi (anus) diatur oleh kerja otot sadar.

4) Digesti (pencernaan)

Digesti atau pencernaan merupakan proses saat makanan yang dimasukkan ke dalam tubuh (ingesti) dipecah menjadi molekul yang dapat digunakan tubuh. Proses digesti ini dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- Digesti mekanik, yaitu proses pencernaan ini dilakukan dengan memotong dan menggiling makanan di mulut sebelum ditelan.

- Digesti kimia, yaitu proses ini ditujukan untuk memecah molekul besar zat gizi seperti karbohidrat, protein, dan lemak untuk dapat dipecah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil agar dapat diserap oleh usus melalui proses hidrolisis. Proses ini membutuhkan enzim-enzim kimia yang dihasilkan oleh kelenjar ludah, lidah, lambung, pankreas, dan usus halus sebagai katalisator. Contoh pemecahan karbohidrat menjadi molekul monosakarida (glukosa, fruktosa, galaktosa) atau protein menjadi asam-asam aminonya.

5) Absorpsi (penyerapan)

Absorpsi atau penyerapan merupakan proses perpindahan hasil pencernaan dari lumen usus ke pembuluh darah atau limfa, selanjutnya akan diedarkan ke bagian-bagian tubuh yang membutuhkan zat yang diserap tersebut. Proses absorpsi ini paling banyak terjadi di usus halus melalui baik melalui transpor aktif atau pasif. Beberapa zat dapat diabsorpsi tanpa melalui proses pencernaan, zat-zat tersebut antara lain vitamin, ion, kolesterol, dan juga air.

6) Defekasi

Defekasi adalah proses pengeluaran zat sisa metabolisme, zat-zat yang tidak tercerna, dan sel-sel saluran cerna yang terkelupas. Zat yang dikeluarkan sebagai hasil proses defekasi disebut dengan feses.

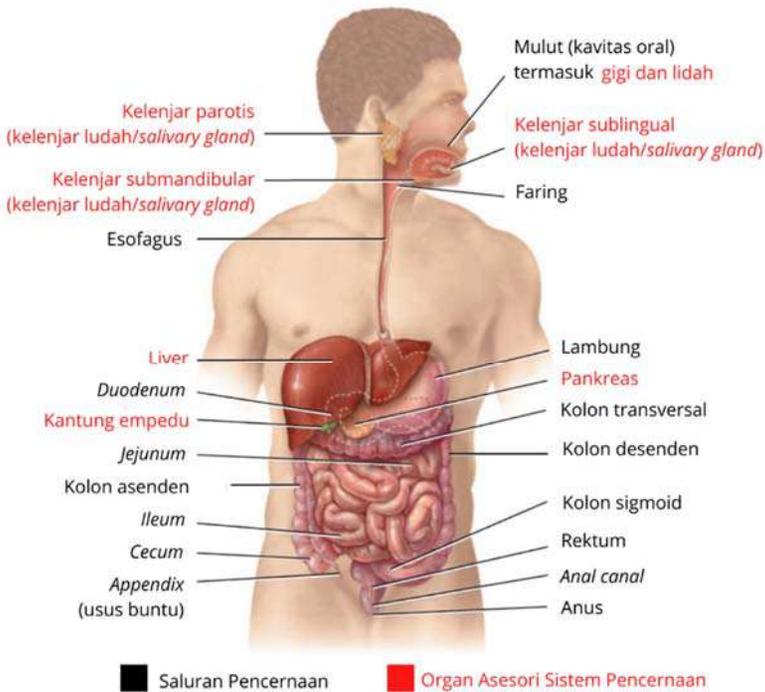
c. Komponen dalam sistem pencernaan

Sistem pencernaan merupakan sebuah sistem yang merupakan kumpulan organ yang berfungsi untuk memecah makanan dan cairan selama menjadi bentuk yang dapat diserap ke dalam aliran darah dan didistribusikan ke seluruh jaringan. Sistem ini terdiri atas

dua kelompok organ, yaitu saluran cerna (*alimentary canal*) dan organ aksesori sistem pencernaan.

Saluran cerna memiliki fungsi untuk menjalankan empat proses dasar pencernaan, yaitu ingesti, digesti, absorpsi, dan defekasi. Saluran pencernaan manusia terdiri dari mulut, atau rongga mulut dengan giginya untuk menggiling makanan dan lidahnya, yang berfungsi untuk menguleni makanan dan mencampurnya dengan air liur. Selanjutnya, ada tenggorokan atau faring, kerongkongan, perut, usus halus yang terdiri dari duodenum, jejunum, dan ileum, serta usus besar yang terdiri dari sekum, kantung tertutup yang menghubungkan ileum, kolon ascendens, kolon transversum, kolon descendens, dan kolon sigmoid yang berakhir di rektum.

Komponen utama lain dari sistem pencernaan adalah organ aksesori (tambahan) berupa gigi, lidah, hati, dan kelenjar lain (kelenjar saliva, kantung dan saluran empedu, pankreas) yang mengeluarkan cairan dan hormon yang diperlukan untuk proses pencernaan. Semua organ dan kelenjar dalam saluran pencernaan memiliki kontribusi dalam proses pemecahan fisik dan kimia makanan yang dicerna, dan diakhiri dengan menghilangkan limbah yang sudah tidak dapat dicerna oleh tubuh.



Gambar 11.2
Organ Penyusun Sistem Pencernaan Manusia
(Sumber: Sherwood (2019) dengan Penyesuaian Berupa Terjemah dari Bahasa Inggris ke Bahasa Indonesia).

d. Lapisan dalam saluran pencernaan

Saluran cerna memiliki desain yang sesuai dengan fungsinya untuk mencerna dan mengabsorpsi zat gizi, sekresi, dan juga memberikan respons imun. Dinding saluran cerna dari esofagus bagian bawah hingga *anal canal* memiliki empat lapisan jaringan yang disatukan oleh jaringan ikat dan elemen saraf dan pembuluh darah. Lapisan ini terdiri dari lapisan mukosa, submukosa, muskularis, dan serosa yang berurutan dari bagian dalam saluran cerna hingga ke bagian permukaan luar.

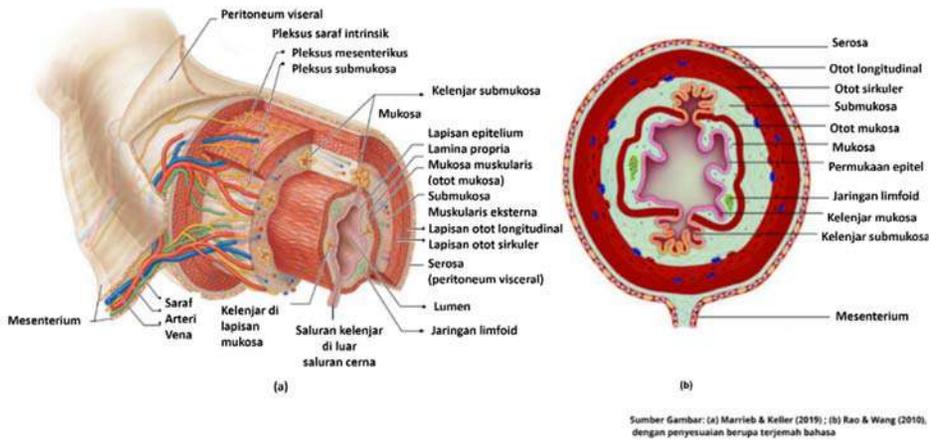
1) Mukosa

Lapisan mukosa atau lumen usus adalah lapisan yang menghasilkan lendir dan terbagi lagi menjadi tiga lapisan, yaitu:

- Epitelium, yaitu lapisan ini adalah lapisan yang kontak dengan makanan. Dalam lapisan ini, terdapat sel epitel eksokrin yang menyekresikan lendir dan air di lapisan lumen dan juga sel-sel enteroendokrin yang menyekresikan hormon.
- Lamina propria, yaitu lapisan ini mengandung banyak pembuluh darah dan limfa yang merupakan jalur pengangkutan zat gizi dari saluran cerna ke berbagai jaringan dalam tubuh manusia. Pada lapisan ini, mengandung banyak *mucosa associated lymphatic tissue* (MALT) berisi sel-sel imunitas yang berfungsi melawan penyakit.
- Otot polos *muskularis mukosa*, yaitu otot ini berbatasan dengan lapisan submukosa, pergerakan otot ini membantu makanan yang dicerna dapat kontak dengan permukaan usus, sehingga penyerapan dapat berjalan dengan maksimal.

2) Submukosa

Lapisan submukosa merupakan jaringan ikat yang mengandung banyak pembuluh darah dan terminal akhir saraf, MALT, dan saluran limfatik. Lapisan ini terletak tepat di bawah saluran mukosa.



Gambar 11.3
Penampang Lapisan-lapisan dalam Saluran Cerna.

3) Muskularis

Lapisan muskularis pada bagian mulut, faring, dan esofagus atas-tengah memiliki bagian berupa otot rangka yang bekerja secara sadar untuk mengunyah dan menelan. Selain itu, otot rangka juga terdapat pada sfingter eksternal anus yang mengontrol proses buang air besar secara sadar. Selain pada dua bagian di atas, bagian muskularis terdiri atas otot polos yang bekerja secara tidak sadar. Otot polos ini terdiri atas otot muskularis longitudinal pada bagian luar dan sirkuler pada bagian luar.

4) Serosa

Lapisan serosa pada saluran cerna merupakan bagian terluar. Pada bagian ini, terdapat peritoneum viseral yang terdiri atas satu lapisan penghasil cairan serosa (tidak seperti lapisan serosa pada umumnya yang terdiri atas dua lapisan berpasangan). Peritoneum viseral membentuk sambungan dengan peritoneum parietal yang membungkus kavitas abdomen dan pelvis dengan perpanjangan jaringan tersebut disebut sebagai mesenterium.

2. Organ-organ Sistem Pencernaan

a. Mulut

Mulut merupakan pintu gerbang pertama yang membukakan jalan masuk makanan ke dalam tubuh. Makanan yang sudah masuk ke dalam mulut kita selanjutnya akan diproses. Proses awal diawali dengan gigi yang menggigit potongan makanan atau memperkecil makanan dari ukuran besar menjadi lebih kecil lagi. Gigi bagian depan manusia bersifat tajam, hal ini dikarenakan gigi bagian depan dibuat untuk menggigit dan merobek makanan. Pada gigi di bagian belakang mulut berbentuk lebar dengan fungsi untuk mengunyah makanan. Gigi bagian belakang ini, akan menggiling makanan menjadi potongan-potongan kecil. Bagian langit-langit keras (*palatum durum*) terdiri dari tulang maksila dan palatina yang membentuk sebagian besar atap mulut dan sisanya dibentuk oleh otot langit-langit lunak. Menggantung dari langit-langit lunak (*palatum molle*) adalah struktur mirip jari yang disebut uvula. Ketika menelan, uvula bergerak ke atas dengan langit-langit lunak, agar mencegah masuknya makanan yang tertelan dan cairan masuk ke rongga hidung.

b. Lidah

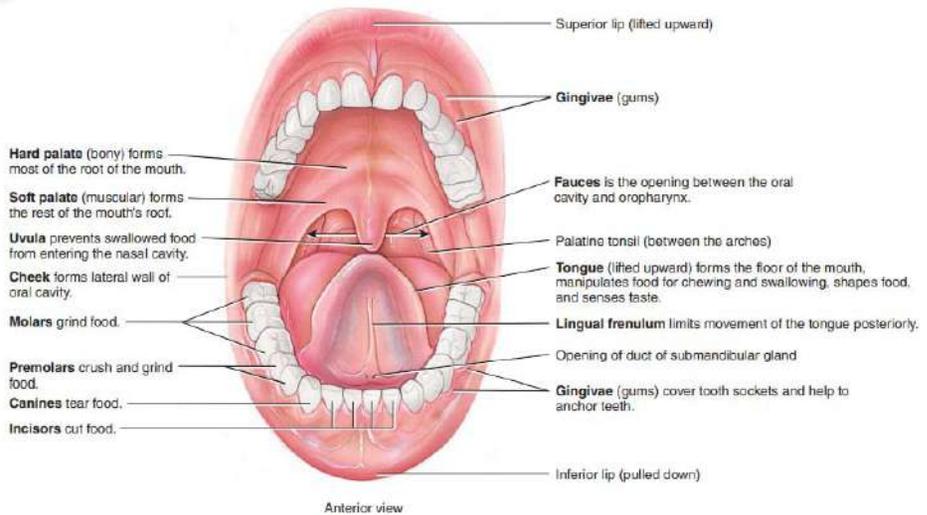
Lidah membentuk dasar rongga mulut dan merupakan organ pencernaan yang terdiri dari otot rangka dilapisi oleh membran mukosa. Otot-otot lidah akan menggerakkan makanan untuk dikunyah membentuk makanan menjadi massa bulat. Lidah juga memiliki fungsi untuk menggerakkan makanan, lidah juga membantu gigi mengunyah segalanya. Lidah manusia memiliki benjolan kecil yang dilapisi dengan perasa, hal ini bertujuan untuk mendeteksi berbagai rasa makanan saat dikunyah.

c. Kelenjar Ludah (*salivary gland*)

Pada mulut, juga terdapat kelenjar ludah yang bekerja sebelum makanan masuk ke mulut. Kelenjar ini membuat air liur atau ludah. Terdapat tiga pasang kelenjar yang bertugas untuk melepaskan air liur ke dalam mulut, yaitu:

- Kelenjar parotis terletak di inferior dan anterior telinga, antara kulit dan otot masseter. Kelenjar ini juga merupakan kelenjar terbesar dibandingkan dua kelenjar ludah lainnya.
- Kelenjar submandibular ditemukan di dasar mulut, yaitu berada di medial dan sebagian lebih rendah dari mandibula.
- Kelenjar sublingual berada di bawah lidah dan di atas kelenjar submandibular.

Terdapat cairan yang disekresikan oleh kelenjar ludah disebut air liur. Air liur terdiri dari 99,5% air dan 0,5% zat terlarut. Air liur dari kelenjar membuat makanan menjadi lebih lembab dan mulai memecah beberapa makanan menjadi molekul yang lebih kecil. Sekresi air liur dikendalikan oleh sistem saraf otonom. Gambar anatomi mulut dapat dilihat pada Gambar 11.4.



Gambar 11.4
Struktur Mulut
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

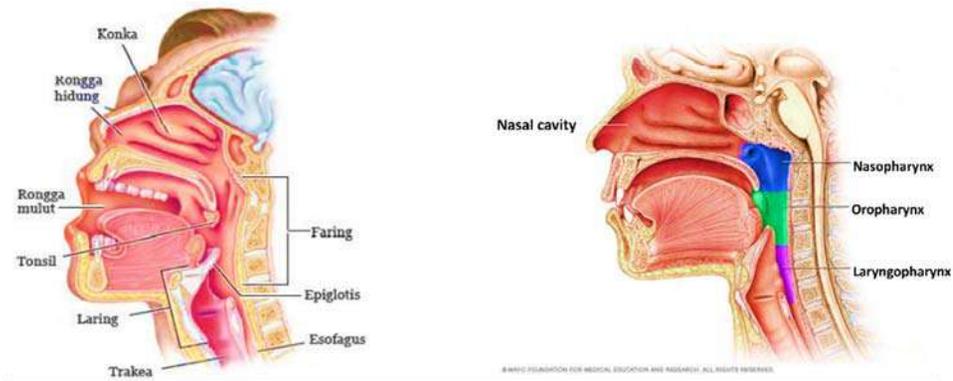
d. Faring

Faring atau tenggorokan secara kasar berbentuk corong pipih merupakan sebuah jalur yang mengarah dari hidung dan mulut menuju ke kerongkongan dan laring. Melalui tuba *eurachius*, faring menghubungkan dua sisi rongga telinga bagian tengah. Otot utama faring turut serta dalam mekanisme menelan.

Terdapat tiga divisi utama faring, yakni faring oral, faring hidung, dan faring laring. Nasofaring terletak di bagian belakang rongga hidung, dan hanya berhubungan dengan saluran pernapasan saat udara melewatinya dari rongga hidung. Bagian selanjutnya ialah faring oral atau orofaring yang merupakan lanjutan dari rongga mulut dan memiliki fungsi untuk meneruskan bolus ke arah faring laring yang berada di bawahnya. Otot pada langit-langit lunak akan berkontraksi untuk menutup koana saat bolus keluar dari rongga mulut. Hal ini terjadi agar makanan tidak masuk ke rongga

hidung. Bagian faring yang terakhir ialah faring laring yang terletak di bagian belakang yang bagian pembukaannya laring dan memiliki fungsi untuk menerima bolus dari faring oral. Selanjutnya, bolus diteruskan menuju esofagus.

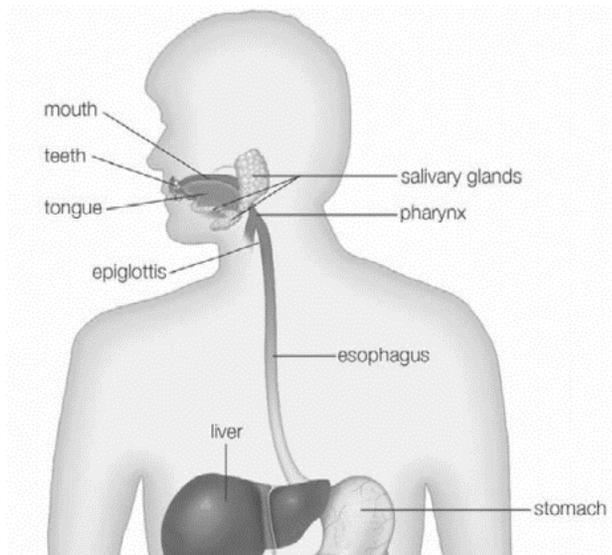
e. Esofagus



Gambar 11.5
Struktur Anatomi Esofagus.
(Tortora dan Derrickson, 2010).

Esofagus atau kerongkongan merupakan tabung berotot dilapisi dengan epitel skuamosa bertingkat yang terletak posterior ke trakea. Kerongkongan mengangkut makanan ke lambung dan mengeluarkan mucus yang dimulai dari ujung laringofaring melewati melalui mediastinum dan diafragma, serta terhubung ke aspek superior lambung. Memiliki panjang sekitar 25 cm dengan lebar yang bervariasi mulai dari 1,5 cm hingga 2 cm. Secara struktur anatomis terletak di belakang trakea dan jantung serta berada di depan tulang belakang. Jalurnya melewati otot diafragma sebelum memasuki perut. Selain otot sfingter yang menutup kedua ujungnya, kerongkongan juga mengandung empat lapisan jaringan longitudinal. Empat lapisan esofagus adalah mukosa, submukosa, muskularis,

dan tunika adventisia. Mukosa mengandung banyak kelenjar lendir dan dibuat dari epitel skuamosa berlapis. Submukosa merupakan jaringan ikat tebal-longgar dan terdapat lapisan yang menyatukan antara mukosa dengan muskularis. Bersama mukosa dan submukosa membentuk lipatan memanjang, sehingga penampang pembukaan kerongkongan akan terlihat seperti bentuk bintang. Lapisan dalam disebut juga dengan muskularis yang memiliki lapisan luar yang berbentuk serat panjang.



Gambar 11.6. Esofagus
(Rogers, 2011).

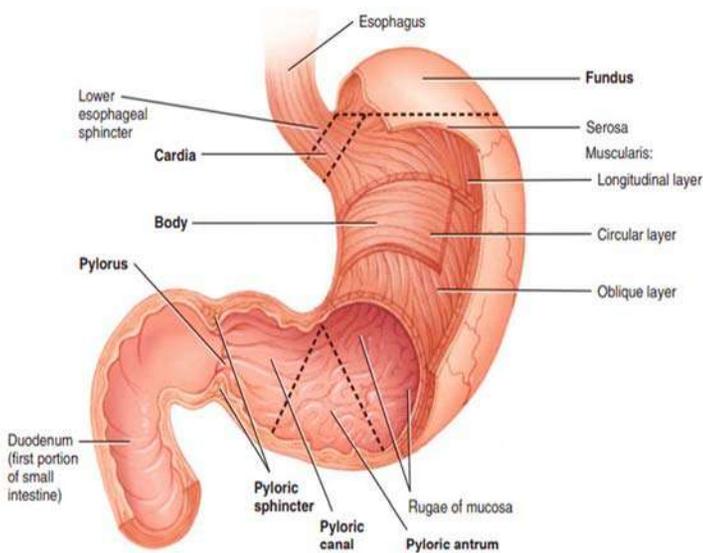
f. Lambung

Lambung ialah pembesaran dari saluran pencernaan yang mempunyai wujud serupa huruf “J”. Salah satu fungsi lambung adalah sebagai tempat pencampuran dan reservoir penampung hal ini dikarenakan makanan dimakan jauh lebih cepat dibandingkan dengan proses pencernaan dan penyerapan di usus. Lambung menerima makanan dan cairan yang tertelan dari kerongkongan dan me-

nahannya untuk digiling dan dicampur, sehingga partikel makanan lebih kecil dan lebih banyak larut. Tugas utama dari lambung ialah untuk mengawali proses pencernaan karbohidrat dan protein, mengganti makanan jadi chyme serta menghasilkan chyme ke dalam usus kecil secara berkala untuk fase pencernaan selanjutnya. Posisi dan ukuran lambung bervariasi, diafragma mendorongnya ke bawah dengan setiap inhalasi dan menariknya ke superior dengan setiap ekspirasi. Diketahui bahwa lambung dapat menampung makanan dalam jumlah besar, hingga sekitar 6,4 liter dan merupakan bagian paling elastis dari saluran pencernaan.

Posisi lambung manusia berada di bagian kiri atas tepat di bawah diafragma. Depan lambung adalah hati bagian dari diafragma dan dinding perut bagian depan. Belakang lambung terdapat pankreas, ginjal kiri, kelenjar adrenal kiri, limpa, dan usus besar. Lambung memiliki bentuk cembung di bagian kiri, dan sedikit cekung di bagian kanan. Ketika lambung dalam keadaan kosong, lapisan mukosa berubah menjadi lipatan yang disebut dengan *rugae*. Lipatan ini cenderung hilang saat lambung terisi.

Lambung memiliki empat wilayah utama, yakni kardia, fundus, badan, dan bagian pilorus. Letak kardia mengelilingi pembukaan kerongkongan ke dalam lambung. Bagian lambung kemudian melengkung ke atas. Bagian atas dan di sebelah kiri kardia ialah fundus. Bawah fundus adalah bagian tengah yang besar dari perut disebut “badan”. Baris sempit, wilayah paling inferior adalah bagian pilorus. Bagian pilorus terdiri dari saluran pilorus yang menghubungkan ke tubuh. Antrum pilorus menghubungkan ke bagian kanal pilorus dan pilorus yang terhubung ke duodenum. Antara pilorus dan duodenum adalah sfingter pilorus.



Gambar 11.7
Anatomi Lambung
 (Tortora dan Derrickson, 2010).

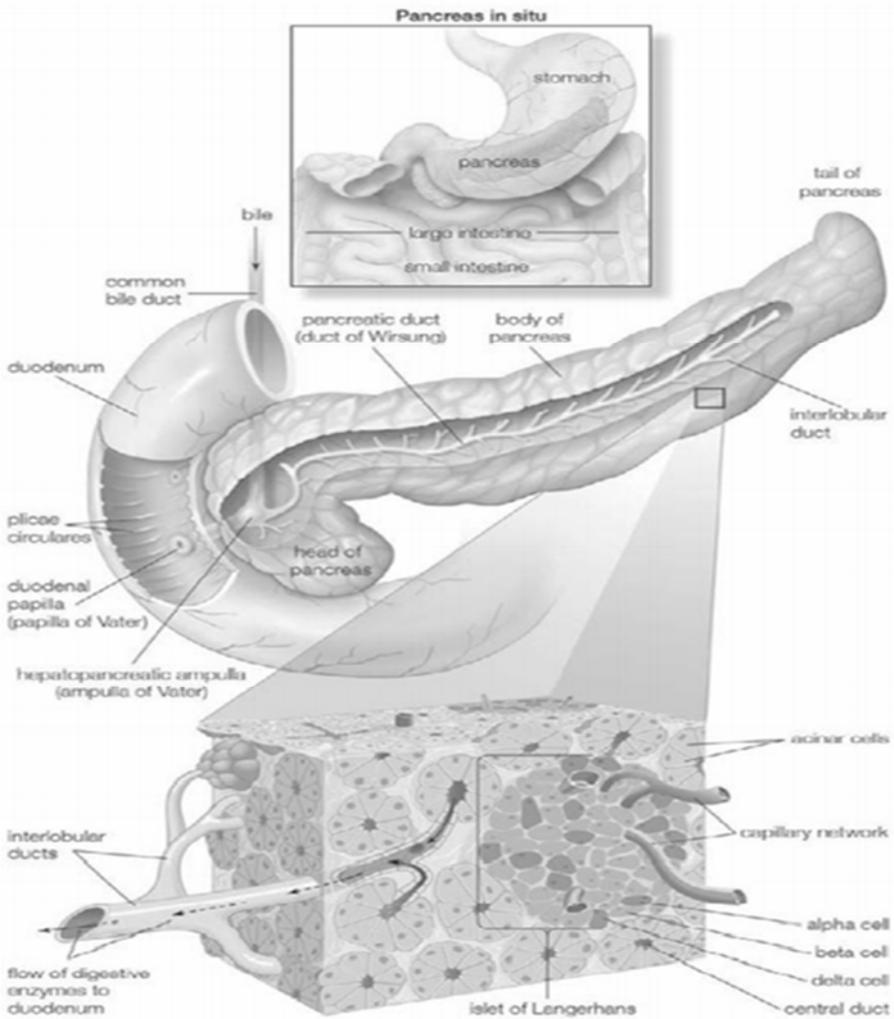
Fungsi utama lain dari lambung meliputi penyimpanan makanan sementara dan pencernaan makanan secara kimiawi dan mekanis. Bagian atas lambung, yaitu kardia, badan, dan fundus akan berelaksasi saat makanan masuk untuk memungkinkan lambung menahan jumlah makanan yang meningkat. Bagian bawah perut berkontraksi secara berirama (pencernaan mekanis) untuk membantu pemecahan makanan dan mencampurnya dengan cairan lambung (pencernaan kimiawi), juga berfungsi untuk memecah makanan dan menyiapkan campuran yang disebut chyme pada titik ini. Dengan interval sekitar 20 detik, gelombang pencampuran dihasilkan yang meningkat dengan intensitas saat mencapai bagian bawah perut. Pada setiap gelombang, sfingter pilorus memungkinkan sejumlah kecil cimus yang dicairkan atau dipecah ke dalam usus kecil yang dapat ditangani dan diatur oleh duodenum. Cairan lambung adalah cairan yang secara alami disekresikan oleh bagian fundus

lambung untuk tujuan pencernaan kimiawi dan termasuk asam klorida (HCl) dan enzim pepsin. Selain HCl, lambung juga memproduksi faktor intrinsik dalam sel parietalnya. Faktor intrinsik yang dihasilkan pada tahap pencernaan ini memungkinkan penyerapan vitamin B12 (cobalamin) nanti di usus kecil. Produksi faktor intrinsik sangat penting karena vitamin B12 memainkan peran penting dalam produksi sel darah merah dan fungsi neurologis. Lambung mampu memproses makanan dan mendistribusikannya ke duodenum rata-rata dalam waktu dua sampai empat jam.

g. Pankreas

Makanan yang berasal dari lambung kemudian berlanjut masuk ke dalam usus kecil untuk melanjutkan perjalanannya pada pencernaan kimiawi. Pencernaan kimia yang terjadi di usus halus bergantung pada aktivitas pankreas, hati, dan kantong empedu. Cibus bergerak keluar dari lambung dan masuk ke usus kecil melalui tabung yang memiliki panjang sekitar 6,1 meter pada orang dewasa. Tabung mengalir dari organ-organ ini ke usus kecil. Cairan melewati tabung dan bercampur dengan makanan di usus. Cairan dari pankreas memecah protein, lemak, dan karbohidrat. Cairan pankreas akan melemahkan asam kuat dari perut. Cairan dari hati masuk ke kantong empedu.

Pankreas terletak di belakang perut. Sekresi akan mengalir dari pankreas ke duodenum dari usus kecil melalui saluran pankreas yang bersatu dengan saluran empedu umum dari hati dan kantong empedu, membentuk duktus hepatopankreatika yang memasuki duodenum.



Gambar 11.8
Anatomi Pankreas
 (Rogers, 2011).

h. Usus Halus

Usus halus memecah sebagian besar dari makanan, selanjutnya tubuh dapat menyerap nutrisi dari makanan yang kita makan. Nutrisi meresap ke dalam dinding usus, kemudian pembuluh darah kecil di dinding mengambil nutrisi tersebut dan selanjutnya nutrisi

masuk ke darah dan dikirim ke seluruh tubuh. Usus halus dimulai dari pilorus, persimpangan dengan perut, berakhir di katup ileocecal, dan persimpangan dengan usus besar. Diameter dari usus halus rata-rata 2,5 cm dengan panjang sekitar 3 m pada orang hidup dan sekitar 6,5 m pada mayat. Hal ini dikarenakan hilangnya tonus otot polos setelah seseorang mati dan menempel pada pilorus lambung. Fungsi utama dari segmen usus halus adalah duodenum, jejunum, dan ileum.

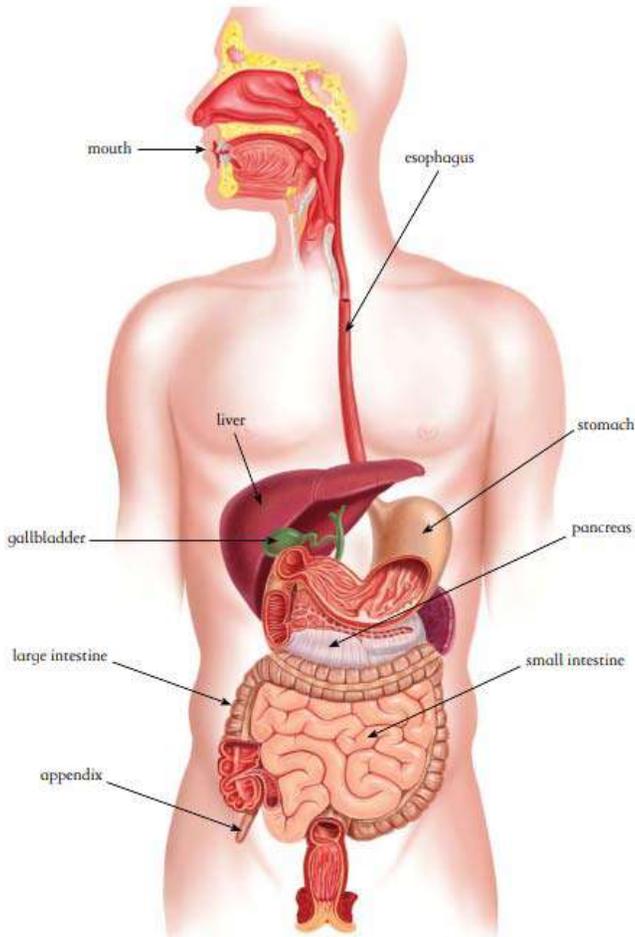
1) Duodenum

Duodenum berarti “dua belas” struktur ini dinamakan demikian karena panjangnya sekitar 12 jari. Terdapat empat bagian pada duodenum, yakni:

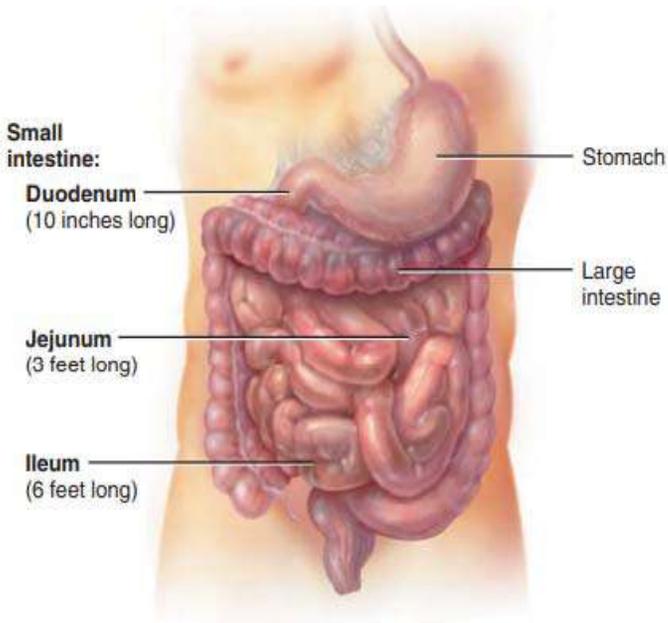
- Bagian pertama dari duodenum dikenal sebagai bohlam duodenum adalah bagian terluas dari usus halus. Berjalan horizontal, melewati belakang dan ke kanan dari pilorus, dan terletak agak di belakang ujung lebar kandung empedu.
- Bagian kedua duodenum berjalan vertikal ke bawah di depan hilus ginjal kanan (tempat masuk atau keluarnya pembuluh darah, saraf, dan ureter). Bagian ini juga melewati bagian papila duodenum (papilla Vater).
- Bagian ketiga duodenum berjalan horizontal ke kiri di depan aorta dan vena cava inferior (saluran utama untuk kembali ke jantung darah vena dari bagian bawah tubuh dan kaki).
- Bagian keempat naik ke sisi kiri vertebra lumbalis kedua (pada tingkat kecil belakang), kemudian menekuk tajam ke bawah dan ke depan untuk bergabung dengan bagian kedua dari usus kecil, jejunum.

2) Jejunum atau usus kosong dan ileum

Panjang yang dimiliki sekitar 1 m dan dinamakan demikian karena kosong pada saat kematian. Ileum merupakan bagian terakhir dan terpanjang dari usus halus yang memiliki ukuran sekitar 2 m dan bergabung dengan usus besar pada sfingter ileocecal, secara khusus bertanggung jawab untuk penyerapan vitamin B12 dan reabsorpsi garam empedu terkonjugasi.



Gambar 11.9
Anatomi Usus Halus
(Grey, 2014).



Gambar 11.10
Bagian dalam Saluran Pencernaan
(Tortora dan Derrickson, 2010).

i. Usus besar

Usus besar memiliki ukuran yang lebih pendek, jika dibandingkan dengan usus kecil. Usus besar memiliki panjang sekitar 1,5 m pada orang dewasa dan sebagian besar protein, lemak, serta karbohidrat sudah dipecah. Usus besar dimulai dari sisi kanan tubuh dan berjalan lurus ke atas hingga menyeberang ke sisi kiri. Kemudian, berjalan kembali ke bawah dan keluar dari tubuh. Usus besar dibagi menjadi bagian asendens, transversal, desendens, dan sigmoid. Usus besar memiliki fungsi sebagai tempat penyerapan air, vitamin dan nutrisi, serta pematatan tinja sebagai tempat untuk sekresi kalium dan klorida, juga memindahkan bahan limbah ke arah rektum.

Pada pembukaan ileum ke dalam usus besar terdapat katup yang disebut dengan sfingter ileosekal. Pada bagian ini, memungkinkan bahan dari usus kecil masuk ke dalam usus besar. Bagian yang terletak lebih rendah dari ileocecal sfingter adalah segmen pertama dari usus besar disebut sekum. Pada sekum terdapat tabung melingkar bengkok yang disebut dengan apendiks atau yang biasa kita kenal dengan usus buntu. Struktur ini memiliki nodul limfatik yang sangat terkonsentrasi untuk mengontrol bakteri yang masuk ke usus besar melalui sistem imun tanggapan. Ujung terbuka dari sekum menyatu dengan bagian terpanjang dari usus besar disebut usus besar.

Bagian pertama dari usus besar disebut dengan sekum. Sekum menempati bagian fossa iliaca dextra dan juga merupakan sebuah kantung dengan ujung tertutup, berada pada cekungan sisi medial ilium. Serabut otot sirkular ileum dan sekum bergabung membentuk otot sfingter sirkular dari katup ileosekal.

Colon ascendens memanjang dari sekum setinggi katup ileosekal hingga tikungan di kolon disebut fleksura hepatic, terletak di bawah dan di belakang lobus kanan hati. Bagian dorsal, menyentuh dengan dinding perut dorsal dan ginjal dextra. Peritoneum menutupi bagian *colon ascendens* kecuali pada permukaan dorsal.

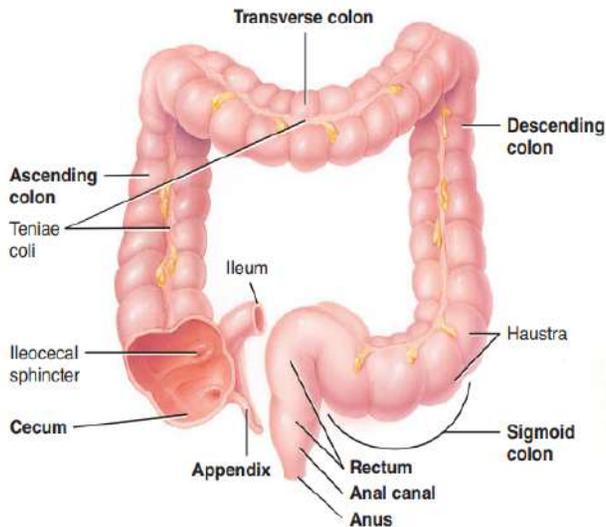
Colon descendens berjalan ke arah bawah dan di bagian anterior ginjal sinistra serta sisi sinistra dinding dorsal abdomen kebagian kista iliaka.

Selanjutnya adalah kolon transversum, yang memiliki posisi tergantung pada distensi abdomen. Pada sisi kiri perut, naik ke tikungan disebut fleksura limpa yang dapat membuat lekukan di limpa. Kolon transversum terikat pada diafragma di seberang iga ke-11 oleh lipatan peritoneum.

Kolon sigmoid terdiri dari dua bagian yakni bagian panggung dan iliaka. Kolon iliaka terletak dari bagian puncak ilium sampai

ke dalam otot psoas yang berada dibagian fossa iliaka kiri. Kolon iliaka sama seperti *colon descendens* yang ditutupi oleh peritoneum.

Bagian terakhir dari saluran pencernaan yang berada 2 hingga 3 cm terakhir dari rektum disebut saluran anus. Pembukaan saluran anus ke luar disebut anus. Bagian ini memiliki sfingter yang bersifat involunter dan sfingter eksternal otot rangka yang bersifat volunter. Biasanya, sfingter anal ditutup kecuali selama eliminasi dari kotoran. Berikut ini adalah anatomi dari usus besar.



Gambar 11.11
Bagian Usus Besar
(Tortora dan Derrickson, 2010).

3. Proses Pencernaan

a. Pencernaan dalam mulut

Pada rongga mulut, proses yang terjadi adalah ingesti dan digesti. Setelah makan masuk ke dalam mulut, maka pencernaan yang terjadi adalah secara mekanik, yaitu mengunyah untuk mengubah tekstur makanan menjadi lebih halus, proses ini disebut juga sebagai mastikasi (*mastication*). Bersamaan dengan proses tersebut, pen-

cernaan secara kimiawi terjadi dengan adanya enzim amilase ludah yang memecah karbohidrat kompleks menjadi disakarida maltose sehingga memunculkan rasa manis dari makanan. Selain mengandung enzim amilase, juga terdapat enzim lipase lingual yang memecah lemak. Meskipun diproduksi di mulut, lipase lingual ini akan teraktivasi oleh kondisi asam dalam lambung untuk memecah trigliserida menjadi asam lemak dan digliserida. Lendir dalam air liur juga berfungsi melumasi makanan sehingga dapat ditelan dengan mudah. Enzim lisozim membunuh bakteri, sehingga melindungi lendir membran mulut dari infeksi dan melindungi gigi dari pembusukan.

Meskipun pada tahap ini terjadi pencernaan kimiawi, tetapi pada tahap ini pencernaan yang utama adalah secara mekanik. Fungsi ludah lebih kepada pelumasan bahan makanan sehingga lebih mudah dikunyah dan ditelan. Lebih lanjut, setelah makanan cukup halus, makanan akan mengalami proses menelan atau deglutisi (*deglutition*). Proses menelan ini, melibatkan aktivitas otot-otot pada dinding esofagus (longitudinal dan sirkuler) yang gerakannya disebut sebagai gerakan peristaltik. Proses ini terdiri atas beberapa tahap, yaitu:

- 1) Fase buccal terjadi di mulut dan terjadi secara sadar, makanan akan ditelan dalam bentuk bolus yang didorong oleh lidah ke arah faring.
- 2) Fase faringeal-esofageal terjadi secara tidak sadar, makanan akan diantarkan melewati faring dan esofagus. Pada tahap ini, semua saluran yang tidak seharusnya dilewati makanan akan tertutup, yaitu lidah akan menutup mulut, palatum mole akan menutup saluran nafas, serta epiglotis akan menutup faring.

- 3) Ketika makanan sampai pada ujung bawah esofagus, hal tersebut akan merangsang otot sfingter pada ujung atas lambung untuk terbuka sehingga makanan dapat masuk ke lambung.

b. Pencernaan dalam lambung

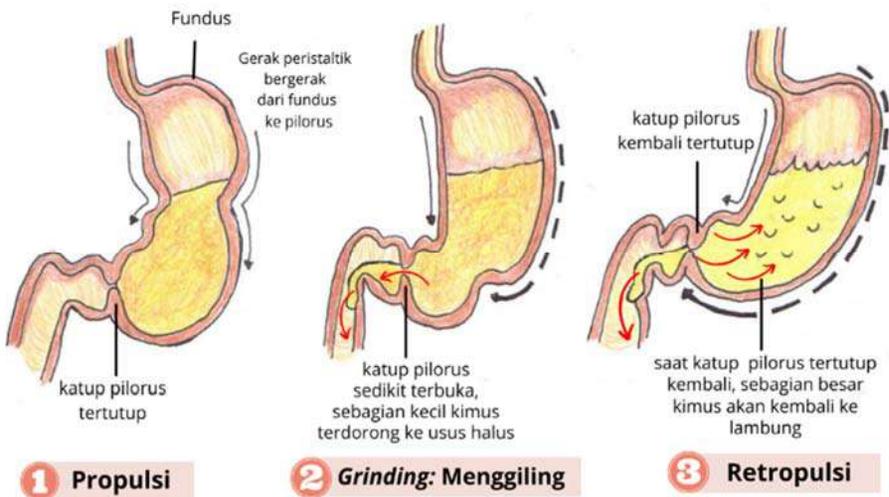
Saat makanan masuk ke dalam lambung, dinding lambung akan mengembang bersamaan dengan pengeluaran getah lambung. Lambung merupakan lokasi utama terjadinya digesti, meskipun beberapa pencernaan dalam jumlah kecil telah dimulai di mulut. Getah lambung diproduksi oleh kelenjar lambung, disekresi sekitar 2-3 liter/hari dengan komponen dijelaskan dalam Tabel 11.1 beserta jenis sel yang memproduksi.

Tabel 11.1
Komponen dalam Getah Lambung, Sel yang Memproduksi, dan Fungsinya.

| No. | Komponen dalam getah lambung | Sel yang memproduksi | Fungsi |
|-----|------------------------------|---------------------------------|---|
| 1. | Mukosa basa. | Sel mucus. | Melindungi lapisan lambung dari kerusakan akibat asam. |
| 2. | Intrinsik faktor. | Sel parietal. | Faktor yang penting dalam penyerapan B12. |
| 3. | Asam klorida (HCL). | | Menurunkan pH lambung. |
| 4. | Pepsinogen. | Sel chief (<i>zymogenic</i>). | Denaturasi dan pemecahan protein setelah mengalami aktivasi menjadi pepsin oleh kondisi asam HCL. |
| 5. | Lipase lambung. | | Pemecahan trigliserida. |
| 6. | Rennin (<i>Cymosine</i>). | | Menggumpalkan protein susu. |
| 7. | Hormon gastrin. | Sel G. | Menstimulasi aktivitas lambung. |

Pada lambung, makanan akan dicerna secara kimia dan secara mekanis untuk menghasilkan kimus yang akan dicerna lebih lanjut di usus halus. Secara mekanis, gerakan yang terjadi di lambung dapat dibedakan menjadi tiga tahapan (Gambar 11.12):

- 1) Propulsi, yaitu gerakan untuk mendorong makanan dari fundus menuju bagian bawah lambung mendekati bagian pilorus.
- 2) Grinding (menggiling), yaitu proses pencampuran terjadi secara kuat di daerah sekitar pilorus. Saat tekanan membesar sfingter pilorus akan sedikit membuka dan melepaskan sejumlah kecil kimus lalu menutup (kontraksi).
- 3) Retropulsi, yaitu saat sfingter lambung menutup, sebagian besar isi lambung akan kembali ke lambung.



Gambar 11.12
Gerakan Mekanis pada Lambung
 (Gambar di atas merupakan penggambaran ulang gerak mekanis lambung yang diadopsi dari Buku Marrieb & Keller (2018) dengan Beberapa Penyesuaian).

Proses ini memastikan bahwa kimus didorong menuju ke usus halus secara bertahap, sehingga proses penyerapan di usus halus dapat berjalan dengan optimal. Selain itu, jika di usus halus masih banyak terdapat kimus, maka tubuh akan mengirimkan sinyal untuk mengurangi gerak peristaltik lambung dan merangsang sfingter pilorus untuk berkontraksi lebih kuat.

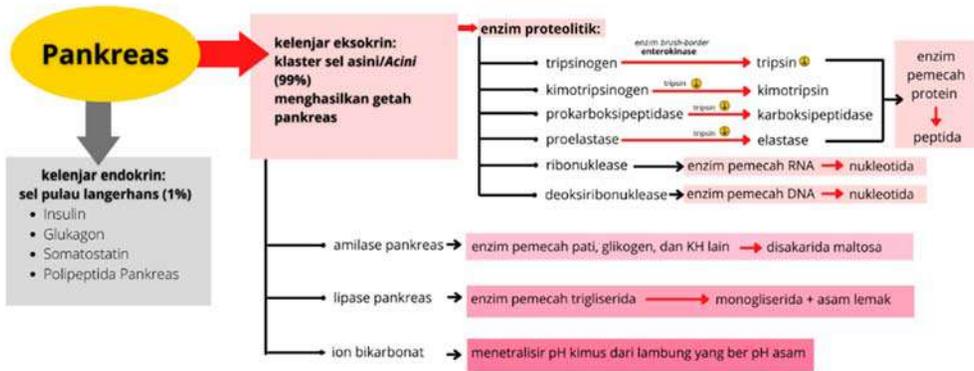
c. Pencernaan dalam usus halus

1) Pemecahan kimus

Setelah melalui lambung, kimus akan mencapai usus halus. Kimus yang mencapai usus halus merupakan kimus dalam kondisi setengah tercerna, sehingga dalam tahap ini proses pencernaan akan dilanjutkan sampai makanan telah tercerna secara sempurna, ketika mencapai bagian akhir usus halus, pada bagian ini pula proses absorpsi zat-zat dari makanan atau minuman sebagian besar terjadi.

Pada usus halus terdapat empat cairan yang terlibat dalam proses pencernaan, yaitu:

- a) Getah usus yang tidak banyak mengandung enzim, fungsi utamanya adalah memproduksi mukosa yang melindungi permukaan usus.
- b) Getah empedu yang dihasilkan sel hepatosit hati, utamanya mengandung garam empedu yang berfungsi dalam proses emulsifikasi lemak sehingga mudah dihidrolisis oleh enzim lipase pankreas.
- c) Getah pankreas banyak mengandung ion dan enzim yang berfungsi dalam pencernaan di usus halus seperti dijelaskan pada Gambar 11.13.



Gambar 11.13
Komponen dalam Getah Pankreas.

d) Enzim-enzim *brush border* yang dihasilkan oleh sel mikro-
vili usus halus berfungsi dalam pemecahan disakarida
menjadi gula sederhana dan juga sebagai faktor aktivasi
enzim pemecah protein. Enzim yang berperan dalam pe-
mecahan disakarida antara lain:

- Maltase, yaitu mengubah maltosa menjadi dua molekul glukosa.
- Sukrosa, yaitu mengubah sukrosa menjadi fruktosa + glukosa.
- Laktase, yaitu mengubah laktosa menjadi glukosa + ga-
laktosa.

2) Penyerapan zat-zat hasil pencernaan

Setelah makanan dicerna, penyerapan zat-zat hasil pencerna-
an dan air 90% terjadi pada usus halus. Sebagian besar penyerap-
an dilakukan dengan cara difusi aktif sel-sel mikro-
vili usus dan diangkat melalui aliran darah serta vena porta hepatica. Zat gizi
yang diangkat dengan cara difusi aktif ini antara lain adalah glu-

kosa, sedangkan lemak utamanya diserap melalui difusi pasif atau melalui fasilitasi protein.

Setelah melewati permukaan sel enterosit usus, monogliserida yang diserap akan diubah kembali menjadi trigliserida yang nantinya setelah melewati retikulum endoplasma dan badan golgi sel akan membentuk kilomikron. Kilomikron inilah yang nantinya akan dilepaskan melalui bagian basal sel enterosit untuk masuk ke lacteal dalam sistem limfatik untuk dibawa ke vena cava.

Pada bagian akhir ileum, zat tersisa adalah air, serat, dan zat-zat yang tidak tercerna, serta bakteri. Produk inilah yang nanti akan dilanjutkan untuk dicerna pada usus besar.

d. Pencernaan dalam usus besar

Pada usus besar tidak terjadi lagi proses pencernaan oleh enzim-enzim saluran cerna. Proses yang terjadi pada tahap ini adalah fermentasi zat-zat sisa pencernaan oleh bakteri di usus yang membentuk gas metana dan hidrogen sulfida atau yang biasa disebut dengan flatulensi/kentut.

Selain itu, terdapat beberapa proses lain dalam usus besar, yaitu:

- Bakteri di usus halus juga membentuk vitamin K dan beberapa jenis vitamin B, memecah protein menjadi asam amino dan memecahnya.
- Absorpsi air, vitamin, dan ion yang masih dibutuhkan tubuh.
- Pembentukan feses.

Feses terbentuk dari kimus yang mengendap di usus besar selama 3-10 jam dan berisi zat-zat sisa pencernaan, air, garam anorganik, sel-sel epitel usus yang terkelupas, bakteri, dan produk pembusukannya. Selain itu, pada feses juga terdapat hasil pemecahan bilirubin oleh bakteri usus menjadi pigmen warna yang memberikan warna coklat pada feses.

Saat feses yang terbentuk cukup memberikan tekanan pada dinding haustra (kompartemen-kompartemen pada usus besar), maka akan memunculkan refleks haustra yang menyebabkan haustra berkontraksi dan mendorong feses ke haustra selanjutnya yang lebih mendekati rektum. Pada proses inilah, konsumsi makanan yang tinggi serat akan menyebabkan konsistensi feses yang “bulky”, sehingga merangsang munculnya refleks yang melancarkan proses defekasi.

- Pengeluaran feses (defekasi)

Ketika feses telah mencapai rektum dan menyebabkan dinding rektum mengembang, reseptor di dinding rektum akan mengirimkan sinyal untuk menginduksi refleks defekasi. Perlu kita ingat kembali bahwa pada bagian sfingter anal internal sifatnya adalah otot tidak sadar, tetapi pada sfingter anal eksternal sifatnya diatur secara sadar. Dengan demikian, jika muncul dorongan untuk buang air besar (defekasi), tubuh kita dapat mengirimkan sinyal untuk mengizinkan proses defekasi terjadi atau tidak.

4. Pengaturan Sistem Pencernaan

Pada sistem pencernaan, pengaturan fungsi saluran cerna dapat dibedakan menjadi tiga fase, yaitu fase sefalik, fase gastrik, dan fase intestinal.

a. Fase sefalik

Fase ini dimulai bahkan sebelum makanan dan minuman masuk ke dalam mulut, hal tersebut merupakan proses yang ditujukan untuk mempersiapkan mulut dan lambung untuk menerima makanan atau disebut alarm awal tubuh untuk bersiap menerima makanan. Saat manusia memikirkan dan melihat makanan, mencium aroma, dan mencicipi makanan, maka sel-sel saraf pada bagian hipota-

lamus, korteks serebri, dan batang otak akan teraktivasi serta akan melanjutkan aktivasi pada hal berikut:

- Nervus facialis (VII) dan glosofaringeus (IX) yang menstimulasi sekresi saliva.
- Nervus vagus (X) yang menstimulasi sekresi getah lambung.

b. Fase gastrik

Fase ini dimulai ketika makanan masuk ke dalam lambung. Pada tahap ini, pengaturan dilakukan dengan dua mekanisme, yaitu mekanisme neural dan hormonal.

Tabel 11.2

Mekanisme Regulasi Neural dan Hormonal pada Tahap Gastrik.

| No. | Komponen | Fungsi | Stimulus | Respons |
|---------------------|---|--|---|--|
| 1) Mekanisme neural | | | | |
| a) | Kemoreseptor pada dinding lambung. | Memantau pH kimus. | Peningkatan pH. | Menurunkan pH dengan menginduksi <i>feedback</i> negatif. |
| b) | <i>Stretch receptor</i> : reseptor regangan pada dinding lambung. | Mengirimkan impuls ke plexus submukosa dan mengaktivasi neuron parasimpatik dan enterik. | Peregangan lambung karena masuknya makanan. | Merangsang gerak peristaltik lambung untuk mencampur, mencerna, dan menghantarkan makanan ke usus halus. |

| 2) Mekanisme hormonal | | | | |
|-----------------------|-----------------|---|--|--|
| a) | Hormon Gastrin. | <ul style="list-style-type: none"> - Mengatur pH lambung. - Mengatur proses pengosongan lambung. - Mencegah refluk esofagus. | <ul style="list-style-type: none"> - Peregangan lambung. - Protein yang tercerna sebagian. - Peningkatan pH lambung. - Kafein. | <ul style="list-style-type: none"> - Stimulasi sekresi getah lambung. - Memperkuat kontraksi sfingter esofagus untuk mencegah refluk. - Meningkatkan motilitas lambung. - Menstimulasi relaksasi sfingter pilorus untuk pengosongan lambung. |

c. Fase intestinal

Pada fase ini, saat makanan mulai masuk pada usus halus, maka pergerakan lambung akan berkurang untuk mencegah usus halus terlalu penuh oleh kimus. Hal tersebut dimaksudkan agar proses pencernaan dan absorpsi pada usus halus dapat terjadi secara optimal. Pada fase ini, pengaturan juga dilakukan melalui dua mekanisme hormonal dan neural.

Tabel 11.3
Mekanisme Regulasi Neural dan Hormonal pada Tahap Intestinal.

| No. | Komponen | Fungsi | Stimulus | Respons |
|-----------------------|--------------------------------|---|--|--|
| 1) Mekanisme neural | | | | |
| a) | Reseptor regangan di duodenum. | Menginduksi refleks enterogastrik. | Regangan usus halus saat kimus masuk. | Impuls saraf diantarkan ke medulla oblongata untuk mengurangi motilitas lambung dan menguatkan kontraksi sfingter pilorus. |
| 2) Mekanisme hormonal | | | | |
| a) | Hormon kolesitokinin. | Menstimulasi sekresi getah pankreas. | Kimus berisi protein dan lemak terdigesti parsial. | <ul style="list-style-type: none"> - Getah pankreas tersekresi dan berisi enzim pencernaan. - Kontraksi dinding kantung empedu dan relaksasi saluran empedu. - Kontraksi sfingter pilorus dan memunculkan efek kenyang. |
| b) | Hormon sekretin. | Menstimulasi sekresi getah pankreas dan getah empedu yang kaya akan ion bikarbonat. | Penurunan pH akibat kimus asam dari lambung. | - Ion bikarbonat yang disekresikan menetralkan asam dari kimus. |

| | | | | |
|--|--|--|--|------------------------------------|
| | | | | - Menghambat sekresi asam lambung. |
|--|--|--|--|------------------------------------|

5. Ilmu Gizi dan Sistem Pencernaan

Ilmu gizi memiliki kaitan yang sangat erat dengan pemahaman tentang sistem pencernaan, hal tersebut dikarenakan ilmu gizi merupakan ilmu yang mempelajari cara asupan makanan dapat menunjang fungsi-fungsi tubuh manusia dengan proses utamanya melalui sistem pencernaan sebagai berikut:

- a. Fisiologi sistem pencernaan menggambarkan tentang zat-zat gizi dalam makanan dicerna, dipecah, dan diserap untuk selanjutnya diangkut ke sel-sel tubuh yang membutuhkan.
- b. Fisiologi sistem pencernaan memberikan gambaran pengaruh gangguan organ pencernaan terhadap pencernaan zat-zat gizi. Sebagai contoh, pada kasus kanker usus besar, maka makanan yang diberikan harus rendah sisa untuk meringankan kerja usus besar.
- c. Fisiologi sistem pencernaan memberikan gambaran tentang faktor-faktor yang merangsang atau menghambat sistem pencernaan. Sebagai contoh, pada kasus gastritis dapat disebabkan oleh konsumsi makanan yang mengandung bakteri patogen, terlalu pedas atau asam, dan juga faktor psikologis seperti stres dan kelelahan yang merangsang pengeluaran asam lambung berlebih pemicu iritasi lambung yang menyebabkan peradangan.

C. Rangkuman

1. Sistem pencernaan manusia memainkan peran mendasar dan sangat penting dalam memastikan bahwa semua makanan dan cairan yang ditelan melalui mulut dapat dipecah menjadi nutrisi dan bahan kimia yang dapat digunakan tubuh.
2. Komponen utama lain dari sistem pencernaan adalah kelenjar yang mengeluarkan cairan dan hormon yang diperlukan untuk proses pencernaan, serta struktur terminal yang dilalui limbah padat dalam proses eliminasi dari tubuh.
3. Proses dasar pada pencernaan manusia terdiri atas enam tahapan, yaitu menelan, sekresi, motilitas, digesti, absorpsi, dan defekasi.
4. Saluran pencernaan awal manusia terdiri dari mulut, atau rongga mulut dengan giginya untuk menggiling makanan, serta lidahnya yang berfungsi untuk menguleni makanan dan mencampurnya dengan air liur.
5. Di dalam proses pencernaan, kelenjar yang menyumbang cairan pencernaan antara lain kelenjar ludah, kelenjar lambung di lapisan perut, pankreas, dan hati serta tambahannya, yaitu kandung empedu dan saluran empedu.

D. Evaluasi

1. Sistem pencernaan manusia terdiri dari dua kelompok organ saluran gastrointestinal dan organ pencernaan tambahan, berikut ini yang termasuk organ pencernaan tambahan adalah
 - a. Gigi, lidah, dan lambung
 - b. Gigi, kelenjar ludah, dan usus halus
 - c. Gigi, rectum, lidah
 - d. Gigi, lidah, dan kelenjar ludah**
 - e. Gigi, lidah, ke hati dan usus besar

2. Kelenjar saliva yang terletak di antara ramus mandibula, prosesus mastoideus, dan prosesus stiloideus adalah
 - a. **Kelenjar parotis**
 - b. Kelenjar submandibularis
 - c. Kelenjar endokrin
 - d. Kelenjar sublingualis
 - e. Kelenjar lingualis

3. Saluran yang menghubungkan tekak dengan lambung adalah
 - a. Faring
 - b. Laring
 - c. Lambung
 - d. **Esofagus**
 - e. Epiglottis

4. Bagian pada lambung yang terbentang dari sisi kiri osteum kardiak melalui fundus ventrikuli menuju ke kanan sampai ke pilorus inferior adalah
 - a. Korpus ventrikuli
 - b. Kurvatura minor
 - c. **Kurvatura mayor**
 - d. Antrum pilorus
 - e. Osteum kardiak

5. Bagian dari usus halus yang melengkung ke kiri dan pada lengkungannya terdapat pankreas disebut
 - a. Jejunum
 - b. Kolon desenden
 - c. Ileum
 - d. Kolon asendens
 - e. **Duodenum**

6. Pada usus besar terdapat bagian yang tergantung menyilang pada linea terminalis masuk ke dalam rongga pelvis minor, terletak horizontal di belakang sekum dan sering terjadi peradangan adalah
- Apendiks**
 - Rektum
 - Kolon ascendens
 - Kolon descendens
 - Sekum
7. Bagian sistem pencernaan yang terletak di bawah kolon sigmoid yang menghubungkan intestinum mayor dengan anus
- Sekum
 - Rektum**
 - Apendiks
 - Ileum
 - Anus
8. Proses dasar pencernaan saat zat-zat gizi dipindahkan dari lumen usus ke pembuluh darah disebut dengan
- Absorpsi**
 - Digesti
 - Motilitas
 - Defekasi
 - Ingesti
9. Lapisan saluran cerna yang merupakan bagian dari peritoneum merupakan lapisan
- Serosa**
 - Mukosa
 - Lamina propria

- d. Muskularis
 - e. Submukosa
10. Hal di bawah ini merupakan zat yang diproduksi di lambung, kecuali
- a. **Lipase lingual**
 - b. Pepsin
 - c. HCL
 - d. Hormon gastrin
 - e. Renin

DAFTAR PUSTAKA

- Hall JE. *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. 14th ed. Saunders Elsevier: 2020.
- Widmaier EP, Raff H, T. Strang K. *Vander's Human Physiology: The Mechanism of Body Function*. 14th ed. McGraw-Hill Higher Education: 2016.
- Sherwood L. *Human Physiology: From Cells to Systems*. 4th ed. Nelson Education Ltd.: 2019.
- Reber E, Gomes F, Vasiloglou MF, Schuetz P, Stanga Z. "Nutritional Risk Screening and Assessment". *J Clin Med*. 2019; 8 (7): 1065. doi:10.3390/jcm8071065.
- Marieb EN, Keller SM. *Essentials of Human Anatomy and Physiology*. 12th ed. (Beaupart S, ed.). Pearson: 2018.
- Whaley MM, Byers-Connon S, Lane J, Carruthers C, Walker L, Barber DL. The Aging Process. In: *Occupational Therapy with Elders: Strategies for the COTA: Fourth Edition*. 2019: 30-40. doi:10.1016/B978-0-323-49846-3.00003-2.
- Wang H, Leng Y, Gong Y. Bone Marrow. "Fat and Hematopoiesis". *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2018; 9 (November): 1-9. doi:10.3389/fendo.2018.00694.
- Marieb EN, Keller SM. *Essential of Human Anatomy and Physiology*. Vol 12nd. 12nd ed. Pearson: 2018. doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- Chapman J, Zhang Z. "Histology, Hematopoiesis". In: *Stat*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing: 2020: 4. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK534246/>.

- Hall BK. *Bones and Cartilage: Developmental and Evolutionary Skeletal Biology: Second Edition*. Elsevier: 2015. doi:10.1016/C2013-0-00143-0.
- Asahara H, Inui M, Lotz MK. "Tendons and Ligaments: Connecting Developmental Biology to Musculoskeletal Disease Pathogenesis". *J Bone Miner Res*. 2017; 32 (9): 1773-1782. doi:10.1002/jbmr.3199.
- Florencio-silva R, Rodrigues G, Sasso-cerri E, Simões MJ, Cerri PS, "Cells B. Biology of Bone Tissue: Structure , Function , and Factors That Influence Bone Cells". *Biomed Res Int*. 2015: 2015: 17. doi:10.1155/2015/421746.
- Cui L, Houston DA, Farquharson C, MacRae VE. "Characterisation of matrix vesicles in skeletal and soft tissue mineralisation". *Bone*. 2016; 87: 147-158. doi:10.1016/j.bone.2016.04.007.
- Whyte G, George K. "Chapter 48: Exercise and the heart". In: *Dialogues in Cardiovascular Medicine*. Vol 17.: 2012: 7-27. doi:10.1249/mss.0b013e318172ceec.
- Campbell M, Jialal I. "Physiology, Endocrine Hormones". In: *StatPearls [Internet]*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing: 2020: 1-21. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30860733>.
- Hamid AA, Issa MB, Nizar NNA. "Hormones". In: *Preparation and Processing of Religious and Cultural Foods*. Woodhead Publishing; 2018: 253-277. doi:10.1016/B978-0-08-101892-7.00013-4.
- Newton AC, Bootman MD, Scott J. Second messengers. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2016; 8 (8): 1-14. doi:10.1101/cshperspect.a005926.
- Davies A, Moores C. "STRUCTURE OF THE RESPIRATORY SYSTEM, RELATED TO FUNCTION". In: *The Respiratory System*. Vol 21. Elsevier: 2010: 1-9.

- Lutfi MF. "The physiological basis and clinical significance of lung volume measurements". *Multidiscip Respir Med*. 2017; 12 (1): 1-12. doi:10.1186/s40248-017-0084-5.
- Hallett S, Toro F, Ashurst J V. *Physiology, Tidal Volume*. Vol c. StatPearls Publishing; 2021. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482502>.
- Foundation EL. *Your Lungs and Exercise*. Vol 12. (Troosters T, Dupont L, Bott J, Hansen K, eds.): 2016. doi:10.1183/20734735.elf121.
- Berthon BS, Wood LG. "Nutrition and respiratory health—feature review". *Nutrients*. 2015; 7 (3): 1618-1643. doi:10.3390/nu7031618.
- J.Tortora G, Derrickson B. *Principles of Anatomy & Physiology*. 15th ed. Wiley: 2017.
- Sapra A, Malik A, Bhandari P. "Vital Sign Assesment". In: *StatPearls [Internet]*. Teasure Islans (FL): StatPearls Publishing; 2020. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK553213/>.
- Pollock JD, Makaryus AN. "Physiology , Cardiac Cycle". In: 2021:5-9.
- Casas R, Castro-Barquero S, Estruch R, Sacanella E. *Nutrition and Cardiovascular Health*. Vol 19.: 2018. doi:10.3390/ijms19123988.
- Matta CF, Massa L. *Information Theory and the Thermodynamic Efficiency of Biological Sorting Systems: Case Studies of the Kidney and of Mitochondrial ATP-Synthase. Case Studies of the Kidney and of Mitochondrial ATP-Synthase*. Elsevier Inc.: 2017. doi: 10.1016/B978-0-12-805413-0.00001-6.
- Fountain JH, Lappin SL. *Physiology, Renin Angiotensin System*. 2018. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29261862>.
- Rao JN, Wang J-Y. "Intestinal Architecture and Development". In: *NCBI Bookshelf*. 2010: 29-46. doi:10.1007/978-1-4302-2713

-7_2.

Sensoy I. "A review on the food digestion in the digestive tract and the used in vitro models". *Curr Res Food Sci.* 2021: 4 (April): 308-319. doi:10.1016/j.crfs.2021.04.004.

Sloane. Ethel. (2003). *Anatomi dan Fisiologi Untuk Pemula (Anatomy And Physiology: An Easy Learner)*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.

Manaba, Faizin. (2016). *Anatomi Fisiologi untuk Mahasiswa Gizi*, Edisi 3. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.

Ma S, Valle C. Anatomy , Abdomen and Pelvis, Pelvic Inlet. "Blood Supply and Lymphatics". *Anatomy, Abdomen Pelvis, Inguinal Lymph Node*. Published online 2020: 1-8.

GLOSARIUM

| | | |
|---|---|---|
| Absorpsi atau penyerapan | : | Proses perpindahan hasil pencernaan dari lumen usus ke pembuluh darah dan diedarkan ke bagian-bagian tubuh yang membutuhkan. |
| Anatomi | : | Ilmu yang mempelajari struktur dan hubungan antarstruktur pada tubuh manusia. |
| <i>Antidiuretic Hormon (ADH)</i> | : | Hormon yang dilepaskan kelenjar pituitary posterior dan berperan dalam proses reabsorpsi air secara fakultatif. |
| Astrosit | : | Sel berbentuk bintang yang jumlahnya hampir setengah dari setengah jaringan saraf. |
| Atom | : | Unit terkecil yang berpartisipasi dalam reaksi kimia. |
| <i>Atrial Natriuretic Peptide (ANP)</i> | : | Hormon ini disekresikan oleh jantung sebagai respons peningkatan volume darah yang signifikan dan menghambat reabsorpsi natrium dan air di tubulus proksimal dan <i>collecting duct</i> . |
| <i>Basal nuclei</i> | : | Bagian ini bertanggung jawab untuk membantu mengatur gerak otot sadar dengan memodifikasi instruksi. |
| Bronkus | : | Merupakan percabangan trakea dan terdiri dari bronkus utama kanan dan bronkus utama kiri. |
| <i>Cerebral kortex</i> | : | Bagian berwarna abu-abu yang memiliki fungsi terkait kemampuan bicara, berpikir logis, kesadaran, penafsiran stimulus sensoris, dan gerak sadar. |

| | | |
|-------------------------|---|--|
| Defekasi | : | Proses pengeluaran zat sisa metabolisme, zat-zat yang tidak tercerna, dan sel-sel saluran cerna yang terkelupas. |
| Dermis | : | Lapisan di bawah epidermis yang terdiri dari jaringan ikat padat fibrosa. |
| Diafragma | : | Merupakan lembaran otot yang terletak pada dasar dinding dada di sekitar tendon utama yang lebar. |
| Digesti atau pencernaan | : | Proses saat makanan yang dimasukkan ke dalam tubuh (ingesti) dipecah menjadi molekul yang dapat digunakan tubuh. |
| Ekspirasi | : | Proses menghembuskan napas secara umum merupakan proses pasif yang bergantung pada elastisitas jaringan paru. |
| Epidermis | : | Lapisan permukaan. |
| Eritrosit | : | Jenis sel darah yang bertanggung jawab dalam pengantaran oksigen ke seluruh tubuh. |
| Esofagus (kerongkongan) | : | Tabung berotot yang dilapisi dengan epitel skuamosa bertingkat yang terletak pada posterior ke trakea. |
| Faring | : | Jalur aliran udara yang terdiri atas otot dengan panjangnya sekitar 13 cm. |
| Faring (tenggorokan) | : | Merupakan sebuah lorong yang mengarah dari mulut dan hidung ke kerongkongan dan laring. |
| Fisiologi | : | Ilmu yang mempelajari tentang karakteristik khusus dan mekanisme yang mencirikan manusia sebagai makhluk hidup. |
| Frontal | : | Membagi tubuh menjadi bagian depan dan belakang. |

| | | |
|--------------------|---|---|
| Hemostasis | : | Sebuah proses reaksi untuk menghentikan perdarahan dan mencegah hilangnya banyak darah yang mengganggu homeostasis. |
| Homeostasis | : | Kondisi saat variabel fisiologis tubuh dalam kondisi dinamis. |
| Hormon | : | Substansi kimia yang disekresikan untuk mengatur aktivitas metabolik sel lain. |
| Hormon estrogen | : | Bertanggung jawab pada perkembangan karakteristik seks pada wanita termasuk perkembangan organ seksual dan karakteristik seks sekunder. |
| Hormon glucagon | : | Berfungsi meningkatkan kadar glukosa dalam darah. |
| Hormon progesteron | : | Bersama dengan estrogen meregulasi siklus menstruasi. Saat kehamilan hormon ini berperan dalam menenangkan otot dinding rahim agar tidak terjadi kontraksi dan keguguran. |
| Hormon insulin | : | Memiliki fungsi menurunkan kadar glukosa darah. |
| Inspirasi | : | Proses menarik napas, yakni saat diafragma dan otot intercostal berkontraksi sehingga ukuran kavitas dada membesar. |
| Jaringan | : | Sekelompok sel. |
| Kandung kemih | : | Merupakan kantong yang dibentuk oleh jaringan ikat dan otot polos yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan urine. |
| Kapsula Bowman | : | Berfungsi sebagai tempat menampung filtrat (hasil saringan) glomerulus. |
| Kartilago elastis | : | Kartilago berupa serat elastis yang ditemukan pada matriks ekstraseluler. |

| | | |
|---------------------------------------|---|--|
| Kartilago fibrosa | : | Disebut kartilago fibrosa jika dalam matriksnya mengandung serat kolagen. |
| Kartilago hialin | : | Kartilago yang menyusun tulang-tulang rawan pada laring. |
| Kelenjar | : | Jaringan epitel yang terdiri dari sel-sel yang memiliki fungsi sekresi. |
| Kelenjar endokrin | : | Menyerupai bentuk jutaan pulau-pulau kecil disebut sebagai pulau Langerhans membentuk massa jaringan yang tersebar di antara jaringan kelenjar eksokrin yang menghasilkan enzim. |
| Kelenjar kulit | : | Terbagi dalam dua kelompok, yakni kelenjar keringat dan kelenjar minyak. |
| Kelenjar paratiroid | : | Kumpulan jaringan tissue yang sering ditemukan pada bagian posterior permukaan kelenjar tiroid. |
| Kelenjar parotis | : | Kelenjar terbesar dibandingkan dua kelenjar ludah lainnya. |
| Kelenjar pineal | : | Kelenjar kecil yang menggantung pada atap ventrikel ketiga otak manusia. |
| Kelenjar <i>Pituitary</i> (Hipofisis) | : | Kelenjar sebesar biji kacang polong yang menggantung di bagian bawah hipotalamus dan memiliki dua lobus. |
| Kelenjar timus | : | Kelenjar yang menghasilkan hormon timosin yang mempercepat proliferasi dan pematangan fungsi limfosit T untuk imunitas tubuh. |
| Kolom ginjal | : | Perluasan pada korteks ginjal. |
| Korteks ginjal | : | Dua bagian utama, yaitu bagian luar yang berwarna merah terang. |
| Kuku | : | Modifikasi dari epidermis yang terdiri atas bagian sudut bebas. |

| | | |
|----------------|---|---|
| Laring | : | Mengatur agar udara dan makanan dapat berjalan sesuai jalurnya dan juga merupakan bagian yang berfungsi dalam produksi suara. |
| Leukosit | : | Lapisan tipis putih yang terbentuk antara plasma dan eritrosit yang berfungsi sebagai perlindungan terhadap patogen. |
| Ligamen tulang | : | Buntalan terpisah yang tersusun atas jaringan ikat fibrosa padat yang menyambungkan tulang. |
| Median | : | Bidang yang terdiri dari aksis longitudinal dan aksis sagittal. |
| Membran tubuh | : | Lapisan yang membungkus bagian-bagian tubuh dan membentuk lapisan pelindung di sekitar organ. |
| Membran serosa | : | Melapisi bagian tubuh yang tidak terpapar lingkungan luar. |
| Metabolisme | : | Serangkaian reaksi kimia yang terjadi di dalam tubuh manusia. |
| Mitokondria | : | Komponen dalam sel tubuh manusia yang berperan dalam pembentukan energi (ATP). |
| Nefron | : | Unit ginjal yang berperan baik sebagai unit struktural maupun unit fungsional yang bertanggung jawab dalam pembentukan urine. |
| Organ | : | Kumpulan dari organ membentuk struktur tubuh. |
| Osteoblas | : | Sel epitel kubus yang terletak sepanjang permukaan tulang yang berjumlah sekitar 4-6% dari total sel tulang. |
| Otot agonis | : | Otot penggerak utama. |

| | | |
|----------------------------|---|--|
| Otot antagonis | : | Otot yang bekerja berlawanan dengan otot agonis. Sebab, untuk membalikkan aksi agonis, otot pelengkap atau sekelompok otot harus bekerja ke arah yang berlawanan. |
| Otot fiksator | : | Otot yang mencegah tulang bergerak ke arah yang tidak diinginkan. |
| Otot rangka | : | Otot yang menghasilkan gerakan dengan menarik tendon yang dilanjutkan dengan menarik tulang. |
| Otot sinergis | : | Menambah kekuatan agonis dan membantu menstabilkan gerakan atau membatasi rentang gerakan dari agonis. |
| <i>Palatum durum</i> | : | Bagian langit-langit keras yang terdiri dari tulang maksila dan palatina yang membentuk sebagian besar atap mulut. |
| Pembuluh darah | : | Saluran tertutup saat darah mengalir di dalamnya menuju organ-organ yang membutuhkan pasokan oksigen, nutrisi, dan juga sebagai media pembuangan sampah metabolisme. |
| Pertumbuhan | : | Peningkatan ukuran tubuh manusia. |
| Platelet | : | Fragmen sel yang terletak dalam satu lapisan dengan leukosit yang berfungsi dalam pembekuan darah. |
| Rangka aksial | : | Kumpulan dari tulang-tulang yang membentuk sumbu poros tubuh yang berfungsi untuk melindungi organ. |
| Rangka <i>appendicular</i> | : | Menempel pada rangka aksial meliputi tungkai, gelang panggul, dan gelang bahu. |
| Responsif | : | Kemampuan tubuh untuk merespons perubahan lingkungan. |

| | |
|--------------------------------|---|
| <i>Second messenger system</i> | : Molekul kecil dan ion-ion yang menyampaikan sinyal yang diterima oleh reseptor pada permukaan sel ke protein efektor. |
| Sel | : Unit struktural dan fungsional dasar dari suatu organisme. |
| Sel ependimal | : Neuroglia yang melapisi rongga sentral pada otak dan sumsum tulang belakang. |
| Sendi | : Memiliki fungsi untuk menahan tulang-tulang tetap menyatu. |
| Siklus jantung | : Rentetan perubahan tekanan jantung yang menyebabkan pergerakan darah dari satu ruangan ke ruangan lain dalam jantung serta ke sel-sel tubuh secara keseluruhan. |
| Sistem <i>integument</i> | : Lapisan luar (eksternal) yang menutup seluruh tubuh (kulit). |
| Sistem kardiovaskular | : Sistem yang berfungsi sebagai sistem transpor pada tubuh yang membawa makanan, oksigen, dan semua zat-zat esensial ke sel-sel jaringan. |
| Sistem muskuloskeletal | : Terdiri dari sistem rangka dan otot untuk menjaga homeostasis tubuh. |
| Sistem organ | : Setiap individu. |
| Sistem pencernaan manusia | : Merupakan sistem yang memiliki fungsi untuk memecah makanan dan minuman dari luar tubuh menjadi ukuran yang lebih kecil. |
| Sistem respirasi | : Merupakan sistem tubuh yang bertanggung jawab untuk menyediakan oksigen sel-sel tubuh dan membuang karbon dioksida ke luar tubuh. |
| Sistem saluran kemih | : Merupakan sistem pembentukan urine (air kemih) manusia yang terdiri dari organ-organ be- |

| | | |
|----------------------|---|---|
| | | rupa dua ginjal, dua ureter, satu kandung kemih, dan satu uretra. |
| Sistem saraf somatik | : | Adalah sistem saraf yang secara sadar mengontrol otot rangka tubuh atau juga disebut sebagai saraf sadar. |
| Sistem skeletal | : | Terdiri atas tulang dan rangka, sendi, kartilago, dan ligamen. |
| Sistem saraf | : | Sebuah sistem yang terdiri atas beberapa organ yang saling berkaitan antara lain otak, saraf tulang belakang, serabut-serabut saraf, dan reseptor sensorik. |
| Sistem saraf otonom | : | Sistem saraf tidak sadar yang mengatur kegiatan bersifat otomatis atau tanpa sadar. |
| Tendon | : | Jaringan ikat yang kuat dan tersusun dari serat kolagen serta memiliki fungsi utama untuk melekatkan otot pada tulang/rangka. |
| Transversal | : | Membagi tubuh menjadi bagian atas dan bawah. |
| Tunika | : | Lapisan dari pembuluh darah yang memiliki tiga lapisan, yakni tunika intima, tunika media, dan tunika eksterna. |
| Ureter | : | Dua buah tabung atau saluran yang menghubungkan ginjal dengan kandung kemih. |
| Uretra | : | Bagian terminal dari sistem kemih berbentuk tabung kecil yang mengarah dari dasar kandung kemih ke bagian luar tubuh. |

| | | |
|---------------------|---|--|
| Volume tidal | : | Jumlah udara yang masuk dan keluar paru pada setiap satu siklus napas. |
| <i>White Matter</i> | : | Bagian putih dalam otak berisi bundel serat yang menghubungkan dan membawa impuls baik yang datang ke otak, meninggalkan otak maupun impuls yang disampaikan antarbagian otak. |

I NDEKS

- A**
Absorpsi, 248,
272, 280, 287
ADH, 151, 154,
166, 193, 233,
235, 236, 287
Anatomi, iii, iv,
v, vii, 1, 2, 7,
8, 9, 10, 11,
122, 198, 199,
200, 206, 220,
222, 225, 256,
259, 261, 263,
287
ANP, 194, 235,
236, 287
Astrosit, 119, 287
Atom, 2, 287
- B**
Basal nuclei, 130,
287
Bronkus, 175,
176, 287
- C**
Cerebral kortex,
287
- D**
Defekasi, 248,
280, 288
Dermis, 26, 28,
288
Diafragma, 84,
179, 288
Digesti, 247,
248, 280, 288
- E**
Ekspirasi, 180,
288
Epidermis, 28,
288
Eritrosit, 192,
194, 195, 216,
288
Esofagus, 256,
257, 279, 288
Estrogen, 167,
289
- F**
Faring, 173, 255,
279, 288
Fisiologi, iii, iv, v,
vii, x, 1, 2, 11,
179, 277, 288
Frontal, 48, 288
- G**
glucagon, 289
- H**
Hemostasis, 195,
289
Hormon, ix, x,
144, 145, 146,
149, 150, 151,
152, 153, 154,
155, 156, 157,
159, 160, 161,
162, 163, 164,
165, 166, 167,
235, 236, 268,
275, 276, 281,
287, 289

- I** 163, 254, 279,
 Inspirasi, 179,
 289
 Insulin, 145, 167,
 289
- J**
 Jaringan, v, viii,
 ix, 3, 14, 15,
 16, 17, 22, 23,
 27, 69, 71, 72,
 75, 119, 164,
 176, 241, 289,
 290, 291
- K**
 Kandung kemih,
 228, 241, 243,
 289
 Kapsula
 Bowman, 289
 Kartilago elastis,
 38, 289
 Kartilago fibrosa,
 38, 290
 Kartilago hialin,
 38, 290
 Kelenjar, ix, x,
 15, 29, 30,
 130, 151, 153,
 156, 157, 158,
 159, 160, 162,
- 163, 254, 279,
 290
 Kelenjar
 endokrin, x,
 279, 290
 Kelenjar kulit,
 29, 290
 Kolom ginjal,
 290
 Korteks ginjal,
 290
 Kuku, 30, 290
- L**
 Laring, 174, 279,
 291
 Leukosit, 193,
 216, 291
 Ligamen tulang,
 39, 291
- M**
 Median, 6, 291
 Membran serosa,
 26, 31, 291
 Membran tubuh,
 viii, 25, 30,
 291
 Metabolisme, 5,
 23, 291
 Mitokondria, 291
- N**
 Nefron, 22, 225,
 241, 243, 291
- O**
 Organ, v, vii, viii,
 x, xi, 2, 3, 4,
 17, 22, 23,
 118, 170, 172,
 219, 220, 250,
 253, 291
 Osteoblas, 40,
 65, 291
 Otot agonis, 73,
 112, 291
 Otot antagonis,
 73, 112, 291
 Otot fiksator,
 291
 Otot rangka, ix,
 71, 72, 74, 75,
 102, 103, 110,
 111, 112, 291
 Otot sinergis, 73,
 112, 291
- P**
Palatum durum,
 291
 Paratiroid, 159,
 166, 290
 Parotis, 290

- Pembuluh darah, 247, 268, 287,
206, 208, 216,
291
- Pertumbuhan,
viii, 6, 23, 39,
43, 157, 291
- Pituitary*, 290
- Platelet, 193,
216, 291
- Progesteron, 289
- R**
- Rangka aksial,
36, 45, 64, 291
- Rangka
Appendicular,
291
- Responsive*, 5, 291
- S**
- Second messenger
system*, 148,
291
- Sel, v, 3, 5, 13,
14, 22, 23, 28,
36, 40, 42, 45,
101, 107, 119,
120, 122, 142,
146, 163, 194,
195, 211, 238,
- 247, 268, 287,
291
- Sendi, 37, 55,
291
- Siklus jantung,
213, 291
- Sistem
integumen, viii,
27, 30, 291
- Sistem
kardiovaskular,
x, 191, 214,
291
- Sistem
musculoskeletal
, 291
- Sistem organ, v,
vii, viii, 17,
291
- Sistem
pencernaan
manusia, 245,
278, 291
- Sistem respirasi,
x, 169, 170,
189, 291
- Sistem saluran
kemih, 219,
240, 291
- Sistem saraf, ix,
115, 116, 118,
119, 127, 141,
142, 153, 161,
291
- Sistem saraf
somatik, 118,
291
- Sistem skeletal,
viii, 34, 64,
291
- T**
- Tendon, 72, 76,
100, 110, 291
- Timus, 160, 290
- Transversal, 9,
291
- Tunika, 206, 291
- U**
- Ureter, 227, 228,
229, 243, 291
- Uretra, 228, 230,
243, 291
- V**
- Volume tidal,
181, 295
- W**
- White Matter*,
295

TENTANG PENULIS



Khairunisa Ramadhani, lahir di Jakarta pada 17 Maret 1991. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana di Gizi Kesehatan Universitas Gadjah Mada pada 2013. Pendidikan magister diselesaikan dari Pendidikan Kesejahteraan Keluarga (Teknologi Boga) di Universitas Negeri Yogyakarta pada 2016. Penulis adalah pengajar di Program Studi Gizi, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Ahmad Dahlan UAD). Penulis mengampu mata kuliah Ilmu Gizi Dasar, Anatomi, Psikologi Kesehatan, Manajemen Kesehatan, Komunikasi Kesehatan, Penilaian Status Gizi, Gizi Dalam Daur Kehidupan, dan Sosiologi Antropologi Kesehatan. Selain mengajar, penulis juga melakukan banyak penelitian, penulisan ar-ti-kel jurnal, dan presentasi dalam banyak konferensi nasional dan internasional dengan tema gizi dan kesehatan.



Rachmawati Widyaningrum, lahir pada 28 Januari 1989 di Yogyakarta. Penulis menyelesaikan pendidikan sarjana di Gizi dan Kesehatan Universitas Gadjah Mada pada 2010. Pendidikan magister diselesaikan dari IKM Minat Gizi Universitas Gadjah Mada pada 2016. Penulis adalah pengajar di Program Studi Gizi,

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Ahmad Dahlan UAD). Penulis mengampu mata kuliah Fisiologi, Kimia, Ilmu Bahan Makanan, Gizi Makro, dan Komunikasi Kesehatan. Selain mengajar, penulis juga melakukan banyak penelitian, penulisan artikel jurnal, dan presentasi dalam banyak konferensi nasional maupun internasional dengan tema gizi dan kesehatan.