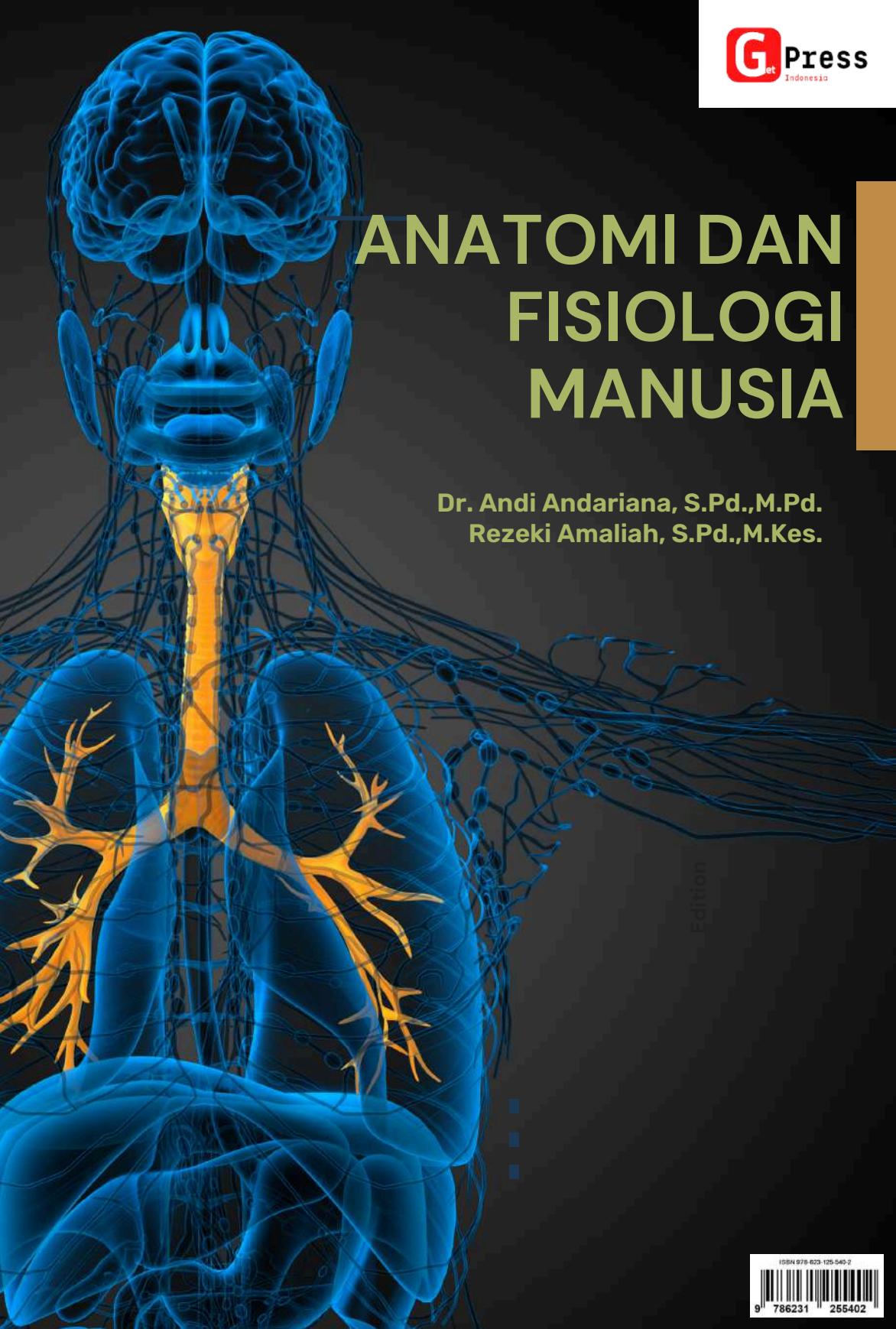


A detailed anatomical illustration of the human respiratory and nervous systems. The trachea, bronchi, and lungs are highlighted in a bright yellow-orange color, while the rest of the body, including the brain, nerves, and muscles, is shown in a translucent blue. The background is dark, making the anatomical structures stand out.

ANATOMI DAN FISIOLOGI MANUSIA

**Dr. Andi Andariana, S.Pd.,M.Pd.
Rezeki Amaliah, S.Pd.,M.Kes.**

Edition

ISBN 978-623-125-540-2



9 786231 255402

ANATOMI DAN FISILOGI MANUSIA

Penulis:

**Dr. Andi Andariana, S.Pd.,M.Pd.
Rezeki Amaliah, S.Pd.,M.Kes.**



GET PRESS INDONESIA

ANATOMI DAN FISILOGI MANUSIA

Penulis :

Dr. Andi Andariana, S.Pd.,M.Pd.
Rezeki Amaliah, S.Pd.,M.Kes.

ISBN : 978-623-125-540-2

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd.

PENERBIT GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001

Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Desember 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Anatomi dan Fisiologi Manusia dapat diselesaikan. Buku ini disusun sebagai salah satu sumber referensi utama bagi mahasiswa dan dosen dalam memahami secara komprehensif struktur dan fungsi tubuh manusia. Buku ini berisikan bahasan tentang konsep dasar anatomi dan fisiologi, sistem saraf, sistem otot, sistem rangka, sistem kardiovaskular, sistem pernapasan, sistem pencernaan, dan sistem urinaria.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Makassar, Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
BAB 1_PENDAHULUAN ANATOMI DAN FISILOGI	1
1.1 Definisi Anatomi dan Fisiologi.....	1
1.2 Tingkatan Organisasi Tubuh Manusia (Sel, Jaringan, Organ, Sistem Organ)	3
1.3 Homeostasis.....	5
1.4 Terminologi Anatomi.....	11
DAFTAR PUSTAKA.....	14
BAB 2_SISTEM SARAF.....	15
2.1 Pengantar Sistem Saraf.....	15
2.2 Pembagian Sistem Saraf	16
2.3 Neuroglia	21
2.4 Sumsum Tulang belakang dan Saraf Tulang Belakang.....	22
2.5 Otak dan Saraf Kranialis.....	31
DAFTAR PUSTAKA.....	39
BAB 3_SISTEM OTOT	41
3.1 Pendahuluan	41
3.2 Anatomi Otot Lurik.....	42
3.3 Mekanisme Kontraksi Otot.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	48
BAB 4_SISTEM RANGKA.....	49
4.1 Tulang dan Jaringan Tulang.....	49
4.2 Pembagian Sistem Rangka.....	56

DAFTAR PUSTAKA.....	60
BAB 5 <u>S</u>ISTEM KARDIOVASKULAR	61
5.1 Jantung	61
5.2 Darah.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
BAB 6 <u>S</u>ISTEM PERNAPASAN.....	67
6.1 Anatomi Sistem Pernapasan.....	67
6.2 Paru-Paru	77
DAFTAR PUSTAKA.....	80
BAB 7 <u>S</u>ISTEM PENCERNAAN.....	81
7.1 Pendahuluan	81
7.2 Organ pada Sistem Pencernaan.....	83
DAFTAR PUSTAKA.....	85
BAB 8 <u>S</u>ISTEM URINARIA.....	87
8.1 Organ pada Sistem Urinaria.....	87
8.2 Urin	89
DAFTAR PUSTAKA.....	93
INDEKS.....	94
GLOSARIUM.....	96
BIODATA PENULIS	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Tingkatan Organisasi Tubuh Manusia.....	5
Gambar 1. 2. Homeostasis dan Mekanisme Umpan Balik	9
Gambar 1. 3. Umpan Balik Negatif.....	10
Gambar 1. 4. Istilah Arah.....	13
Gambar 2. 1. Komponen Fungsional Sistem Saraf	17
Gambar 2. 2. Bagian neuron.....	18
Gambar 2. 3. Jenis Neuron	21
Gambar 2. 4. Jenis-jenis Neuroglia	22
Gambar 2. 5. Tulang Belakang dan Saraf Tulang Belakang.....	25
Gambar 2. 6. Melintang Sumsum Tulang Belakang	29
Gambar 2. 7. Saraf Spinalis (saraf tulang belakang).....	30
Gambar 2. 8. Daerah di Bagian Otak Kanan (seperti yang terlihat pada irisan midsagittal).....	33
Gambar 2. 9. Batang Otak dan Diensefalon.....	35
Gambar 2. 10. Saraf Kranial.....	38
Gambar 3. 1. Jenis-jenis Otot.....	42
Gambar 3. 2. Otot dan Serat Otot	43
Gambar 3. 3. Ilustrasi Sarkomer.....	44
Gambar 3. 4. Susunan filamen tebal dan tipis dalam serat otot lurik.....	45
Gambar 3. 5. Pergeseran filamen tebal melewati filamen tipis yang saling tumpang tindih menghasilkan pemendekan tanpa mengubah panjang filamen tebal atau tipis.	47
Gambar 4. 1. Bentuk tulang.....	52
Gambar 4. 2. Osifikasi	55
Gambar 5. 1. Bagian dalam Jantung	61
Gambar 5. 2. Sirkulasi paru dan sistemik dalam kaitannya dengan jantung. Sistem peredaran darah terdiri dari dua lingkaran pembuluh darah yang terpisah: sirkulasi paru, yang membawa darah antara jantung dan paru-paru; dan sirkulasi sistemik, yang membawa darah antara jantung dan sistem organ. Setiap lingkaran ini membentuk angka "8", dengan sirkulasi paru yang secara bersamaan memasok darah ke paru-paru kanan dan kiri, dan sirkulasi sistemik yang secara bersamaan memasok darah ke tubuh bagian atas dan tubuh bagian bawah.	63

Gambar 5. 3. Komponen darah. Sel darah memadat di bagian bawah tabung reaksi saat darah utuh disentrifugasi, meninggalkan plasma cair di bagian atas tabung. Sel darah merah merupakan sel darah yang paling banyak jumlahnya—sel darah putih dan trombosit hanya membentuk "lapisan buffy" tipis berwarna terang di bagian antara sel darah merah yang padat dan plasma.	64
Gambar 6. 1. Sistem Respirasi.....	68
Gambar 6. 2. Rongga Hidung dan Faring	70
Gambar 6. 3. Anatomi Laring.....	73
Gambar 6. 4. Trakea	75
Gambar 6. 5. Lobus dan Segmen Bronkopulmonalis Paru-paru.....	78
Gambar 7. 1. Organ-organ pada Sistem Pencernaan.....	81
Gambar 7. 2. Struktur Umum Saluran Pencernaan.....	82
Gambar 7. 3. A. Rongga perut (emas), organ perut dari sistem pencernaan dan organ panggul. B. Omentum mayor.	84
Gambar 8. 1. Sistem Urinaria.....	88
Gambar 8. 2. Pembentukan Urin	89
Gambar 8. 3. Struktur dasar nefron. (a) Organisasi anatomi. Makula densa bukanlah segmen yang jelas, melainkan plak sel di lengkung Henle yang menaik, tempat lengkung tersebut melewati arteriol yang memasok korpuskel ginjal asalnya. Area luar ginjal disebut korteks dan bagian dalam disebut medula. Panah hitam menunjukkan arah aliran urin. (b) Segmen nefron yang berurutan. Semua segmen di area yang disaring merupakan bagian dari tubulus ginjal; istilah di sebelah kanan tanda kurung umumnya digunakan untuk beberapa segmen yang berurutan.....	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Pembagian dan Fungsi Otak.....	31
Tabel 4. 1. Nama tulang dan Jumlahnya	58

BAB 1

PENDAHULUAN ANATOMI DAN FISILOGI

1.1 Definisi Anatomi dan Fisiologi

Tubuh manusia merupakan sistem yang kompleks, mirip dengan mesin canggih dan berteknologi tinggi. Meskipun berfungsi sebagai kesatuan, tubuh terdiri dari berbagai komponen operasional yang saling bergantung satu sama lain. Setiap komponen memiliki fungsi tertentu dan seringkali terhubung, yang sangat penting bagi kesejahteraan individu. Komponen-komponen ini tidak beroperasi secara mandiri, melainkan mereka bekerja sama dengan bagian-bagian lainnya, jika salah satu bagian mengalami gangguan, dampaknya akan meluas ke bagian lain, mengurangi kemampuan tubuh untuk berfungsi secara normal. Kerjasama yang harmonis antar bagian tubuh memastikan kelangsungan hidup individu. Oleh karena itu, kompleksitas tubuh manusia terlihat baik dari segi struktur maupun fungsinya.

Anatomi adalah disiplin ilmu yang mengkaji struktur tubuh. Ilmu ini berfokus pada bentuk, letak, ukuran, dan hubungan antar bagian tubuh. Misalnya, anatomi yang menggambarkan bentuk dan ukuran tulang. Selain itu, anatomi mengkaji hubungan antara struktur suatu bagian tubuh dan fungsinya. Sama seperti struktur dari palu yang membuatnya cocok digunakan untuk memukul paku. Struktur bagian tubuh tertentu memungkinkannya melakukan fungsi tertentu secara efektif. Memahami hubungan antara struktur dan fungsinya akan membuatnya lebih mudah untuk memahami anatomi.

Anatomi dapat dibedakan menjadi beberapa tingkatan. Anatomi perkembangan adalah Ilmu yang mempelajari tentang perubahan struktural yang terjadi antara konsepsi dan masa dewasa. Embriologi merupakan subspesialisasi anatomi perkembangan yang memperlihatkan perubahan dari konsepsi hingga akhir minggu kedelapan proses perkembangan. Sebagian cacat lahir terjadi selama perkembangan embriologis. Beberapa struktur seperti sel sangat kecil sehingga untuk mempelajarinya harus menggunakan mikroskop. Sitologi adalah ilmu yang mempelajari sel dan histologi adalah ilmu yang mempelajari jaringan, yaitu sel dan bahan-bahan di sekitarnya.

Anatomi besar (*gross anatomy*) adalah studi tentang struktur tubuh yang dapat diamati tanpa bantuan mikroskop, dan dapat dipelajari dari dua perspektif yaitu sistemik dan regional. Pendekatan sistemik, tubuh dipelajari berdasarkan sistem-sistem tertentu, seperti sistem saraf, pernapasan, rangka, dan otot, yang memiliki fungsi serupa. Sementara itu, dalam pendekatan regional, mempelajari tubuh berdasarkan area tertentu, seperti kepala, abdomen, atau lengan yang biasanya diterapkan dalam program pascasarjana di sekolah kedokteran dan kedokteran gigi, dimana setiap area mencakup berbagai sistem. Dalam pendekatan ini, semua sistem dalam wilayah dipelajari secara bersamaan.

Anatomi permukaan (*surface anatomy*) adalah kajian mengenai bentuk luar tubuh (eksternal) dan hubungannya dengan struktur yang lebih dalam. Contohnya tulang dada dan tulang rusuk dapat terlihat dan diraba di bagian depan dada, yang berfungsi sebagai penanda untuk mengidentifikasi area jantung serta titik di dada dimana bunyi jantung tertentu dapat terdengar dengan jelas. Pencitraan anatomi memanfaatkan teknik seperti radiografi (sinar-X), ultrasonografi, dan pencitraan resonansi magnetik (MRI) untuk menghasilkan gambaran struktur internal. Baik anatomi permukaan maupun pencitraan anatomi memberikan informasi penting dalam proses diagnosis penyakit.

Fisiologi, disisi lain adalah studi ilmiah mengenai proses dan fungsi makhluk hidup. Meskipun terkadang sulit didefinisikan, makhluk hidup bersifat dinamis dan selalu mengalami perubahan, tidak statis atau tanpa gerakan. Tujuan utama fisiologi adalah untuk memahami dan memprediksi respons tubuh terhadap rangsangan, serta memahami bagaimana tubuh mempertahankan kondisi dalam rentang nilai yang sempit di tengah perubahan lingkungan. Seperti halnya anatomi, fisiologi dapat ditinjau pada berbagai tingkatan. Fisiologi sel memfokuskan pada proses yang terjadi dalam sel, sementara fisiologi sistemik mempertimbangkan fungsi sistem organ. Neurofisiologi menitikberatkan pada sistem saraf, dan fisiologi kardiovaskular berhubungan dengan fungsi jantung dan pembuluh darah. Fisiologi seringkali lebih memusatkan perhatian pada sistem ketimbang wilayah tertentu, karena komponen sistem yang terlibat dalam fungsi tertentu dapat tersebar di beberapa wilayah (Waugh & Grant, 2004).

Studi tentang tubuh manusia seharusnya mencakup dua aspek, anatomi dan fisiologi, karena struktur dan fungsi, dan prosesnya saling terkait. Patologi adalah ilmu kedokteran yang mempelajari semua aspek penyakit, dengan penekanan pada penyebab dan perkembangan kondisi abnormal, serta perubahan struktural dan fungsional yang diakibatkan oleh penyakit. Fisiologi latihan berfokus pada perubahan fungsi dan struktur yang disebabkan oleh aktivitas fisik.

1.2 Tingkatan Organisasi Tubuh Manusia (Sel, Jaringan, Organ, Sistem Organ)

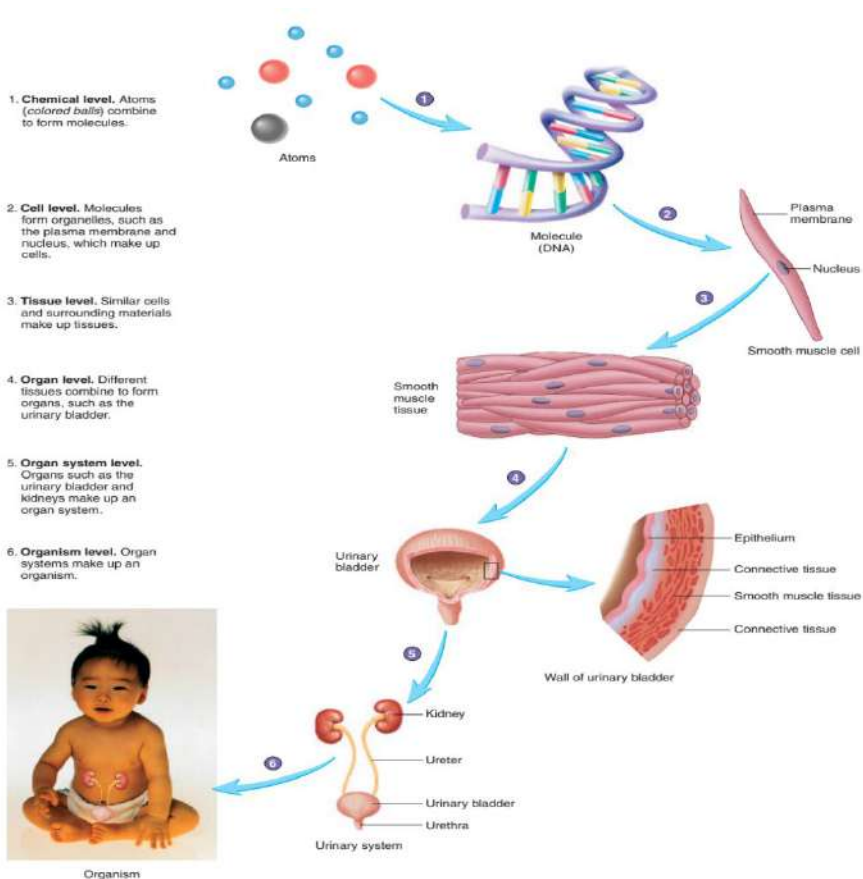
Secara konseptual, tubuh memiliki enam tingkatan struktural, yaitu kimia, sel, jaringan, organ, sistem organ, dan organisme lengkap (Gambar 1.1). Tingkat kimia melibatkan interaksi antara atom, yang merupakan blok penyusun materi yang sangat kecil. Atom dapat bergabung untuk membentuk molekul seperti air, gula, lemak, dan protein. Fungsi molekul

terkait erat dengan strukturnya. Misalnya, molekul kolagen adalah serta protein seperti tali yang memberikan kekuatan struktural dan fleksibilitas pada kulit. Seiring bertambahnya usia, struktur kolagen berubah, dan kulit menjadi rapuh serta lebih mudah robek.

Tingkat sel, sel adalah unit dasar dari semua makhluk hidup. Molekul dapat bergabung untuk membentuk organel (organ kecil) yang merupakan struktur kecil yang membentuk sel. Misalnya membran plasma membentuk batas luar sel dan nukleus mengandung informasi genetik sel. Meskipun jenis sel berbeda dalam struktur dan fungsinya, mereka memiliki banyak karakteristik yang sama. Pengetahuan tentang karakteristik ini dan variasinya sangat penting untuk pemahaman dasar tentang anatomi dan fisiologi.

Tingkat jaringan, jaringan adalah sekelompok sel yang sama dan bahan-bahan di sekitarnya. Karakteristik sel dan bahan-bahan di sekitarnya menentukan fungsi jaringan. Berbagai jaringan berbeda yang menyusun tubuh diklasifikasikan menjadi empat jenis dasar: epitel, ikat, otot, dan saraf. Tingkat organ. Organ terdiri dari dua atau lebih jenis jaringan yang melakukan satu atau lebih fungsi umum. Kandung kemih, jantung, kulit, dan mata adalah contoh organ.

Tingkat sistem organ, sistem organ adalah sekelompok organ yang memiliki fungsi umum atau serangkaian fungsi dan karenanya dipandang sebagai satu kesatuan. Misalnya, sistem urin terdiri dari ginjal, ureter, kandung kemih, dan uretra. Ginjal menghasilkan urin, yang diangkut oleh ureter ke kandung kemih, tempat urin disimpan hingga dikeluarkan dari tubuh melalui uretra. Tingkat organisme, organisme adalah makhluk hidup apapun yang dianggap sebagai satu kesatuan, baik yang terdiri dari satu sel seperti bakteri atau triliunan sel seperti manusia. Organisme manusia adalah kompleks sistem organ, yang semuanya saling bergantung satu sama lain.



Gambar 1. 1. Tingkatan Organisasi Tubuh Manusia

Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)

1.3 Homeostasis

Homeostasis berasal dari bahasa Yunani, dari kata *homeo* dan *statis*. *Homeo* artinya sama atau menyerupai dan statis diam atau tetap. Menurut W.B. Cannon sebagai orang yang pertama kali mengajukan istilah ini, homeostasis dimaksudkan untuk menjelaskan berbagai proses fisiologi yang berfungsi memulihkan suatu kondisi abnormal (gangguan) untuk kembali ke keadaan normal. Homeostasis merupakan suatu kerja

internal dalam tubuh manusia untuk mempertahankan kondisi lingkungan internal sehingga menyerupai kondisi diam atau tetap, walaupun senantiasa terjadi perubahan-perubahan di lingkungan eksternal maupun di lingkungan internal. Homeostasis menjadi sangat penting karena menyangkut kelangsungan hidup setiap sel dalam tubuh manusia. Sebaliknya, setiap sel melalui berbagai sistem tubuh ikut berkontribusi untuk proses homeostatis. Ketika satu atau lebih sistem tubuh agar berfungsi dengan benar sehingga lingkungan internal tidak dapat lagi dipertahankan secara optimal, maka akan timbul keadaan patologis. Gangguan homeostasis yang parah akan menyebabkan kematian (Patellongi, 2013).

Lingkungan tubuh manusia (suatu organisme multiseluler), dapat dibagi menjadi dua, yaitu lingkungan eksternal dan lingkungan internal. Lingkungan eksternal adalah atmosfir atau alam semesta di luar dari manusia sebagai individu, dimana dia berada, sedangkan lingkungan internal adalah cairan ekstrasel dalam tubuh manusia yang terdiri dari cairan intravaskuler (plasma) dan interstisial. Setiap sel dalam tubuh manusia berada dalam “lautan internal” atau lingkungan internal ini.

Istilah lingkungan internal pertama kali diperkenalkan oleh ahli fisiologi Prancis yaitu Claude Bernard lebih 100 tahun lalu, sebagai milieu interieur. Berbeda dengan amoeba (organisme uniseluler), amoeba memperoleh langsung nutrisi dan oksigen dari lingkungan eksternal disekitarnya. Pada manusia sebagian besar sel-sel, tubuhnya tidak berhubungan langsung dengan lingkungan eksternal tempat organisme tersebut hidup, sehingga tidak memperoleh langsung kebutuhan nutrisi dan oksigennya dari lingkungan eksternalnya tetapi harus melalui lingkungan internalnya, begitu pula produk metabolisme sel-selnya, tidak dapat langsung dibuang ke lingkungan eksternal. Diperlukan lingkungan internal yang langsung berhubungan dengan sel yang bersangkutan, yaitu cairan ekstraseluler.

Kontribusi Sistem tubuh terhadap Homeostasis, setiap sistem tubuh ikut berperan dalam mempertahankan homeostatis, sehingga lingkungan internal yang diperlukan untuk kelangsungan hidup dan berfungsi nya semua sel yang membentuk tubuh dapat tetap dipertahankan. Adapun peran masing-masing dari sistem tubuh tersebut adalah sebagai berikut:

a. Sistem saraf dan endokrin

Sistem Sistem saraf mengatur homeostasis dengan merespons secara cepat terhadap perubahan internal dan eksternal melalui impuls saraf. Misalnya, ketika suhu tubuh meningkat, sistem saraf memicu keringat untuk mendinginkan tubuh. Sistem Endokrin, sistem ini mengatur homeostasis melalui hormon yang disekresikan ke dalam aliran darah, yang bertindak lebih lambat tetapi memberikan efek yang lebih tahan lama. Contohnya adalah hormon insulin dan glukagon yang mengontrol kadar gula darah.

b. Sistem kardiovaskular

Sistem ini berperan dalam mendistribusikan darah, nutrisi, oksigen, dan hormon ke seluruh tubuh serta mengangkut limbah metabolik. Tekanan darah dan volume darah harus dijaga dalam rentang tertentu untuk mempertahankan homeostasis. Jika tekanan darah turun, jantung mempercepat denyutnya untuk memulihkan keseimbangan.

c. Sistem Pernapasan

Sistem ini menjaga homeostasis gas dalam tubuh, terutama kadar oksigen dan karbon dioksida. Ketika kadar CO_2 meningkat dalam darah, pusat pernapasan di otak merespons dengan meningkatkan frekuensi nafas untuk mengeluarkan CO_2 berlebih.

d. Sistem Pencernaan

Sistem ini mengatur penyerapan nutrisi dan pembuangan limbah. Nutrisi yang diserap digunakan oleh sel untuk berbagai fungsi metabolik, dan homeostasis energi dipertahankan oleh mekanisme seperti penyimpanan glukosa dalam bentuk glikogen di hati.

e. Sistem ekskresi (ginjal)

Ginjal berperan utama dalam homeostasis cairan tubuh dengan mengatur keseimbangan air dan elektrolit. Selain itu, ginjal juga mengatur pH darah dengan ekskresi ion hidrogen dan reabsorpsi ion bikarbonat.

f. Sistem imun

Sistem imun mempertahankan homeostasis dengan melawan patogen yang bisa mengganggu fungsi normal tubuh. Reaksi inflamasi adalah salah satu respons utama yang terjadi ketika ada cedera atau infeksi, yang pada akhirnya membantu proses penyembuhan.

g. Sistem muskuloskeletal

Sistem otot dan rangka tidak hanya berperan dalam pergerakan, tetapi juga dalam regulasi panas tubuh. Ketika suhu tubuh rendah, tubuh menghasilkan panas melalui kontraksi otot yang dikenal sebagai menggigil.

h. Sistem integumen

Kulit membantu homeostasis dengan mengatur suhu tubuh melalui keringat dan vasodilatasi atau vasokonstriksi pembuluh darah di dekat permukaan kulit. Lapisan lemak juga berfungsi sebagai isolator termal.

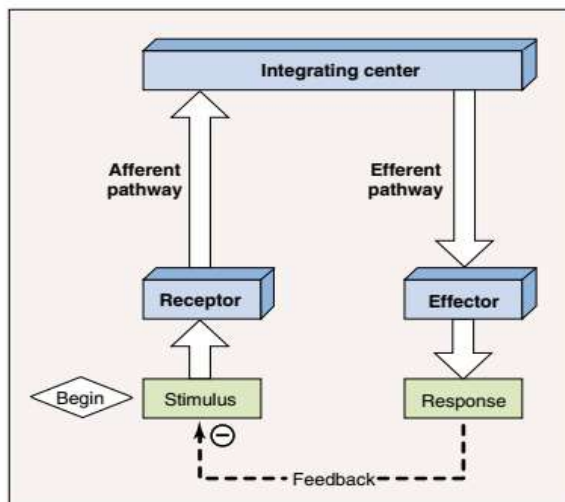
i. Sistem reproduksi

Meskipun tidak berperan langsung dalam homeostasis individu, sistem reproduksi penting untuk kelangsungan spesies. Namun, hormon-hormon dari sistem ini juga mempengaruhi homeostasis secara keseluruhan, seperti estrogen dan testosteron yang memiliki efek pada metabolisme dan pertumbuhan jaringan.

j. Sistem limfatik

Sistem ini mendukung sirkulasi cairan dalam tubuh dan membantu menghilangkan kelebihan cairan dari jaringan untuk mencegah pembengkakan (edema). Ini juga berperan dalam respons imun.

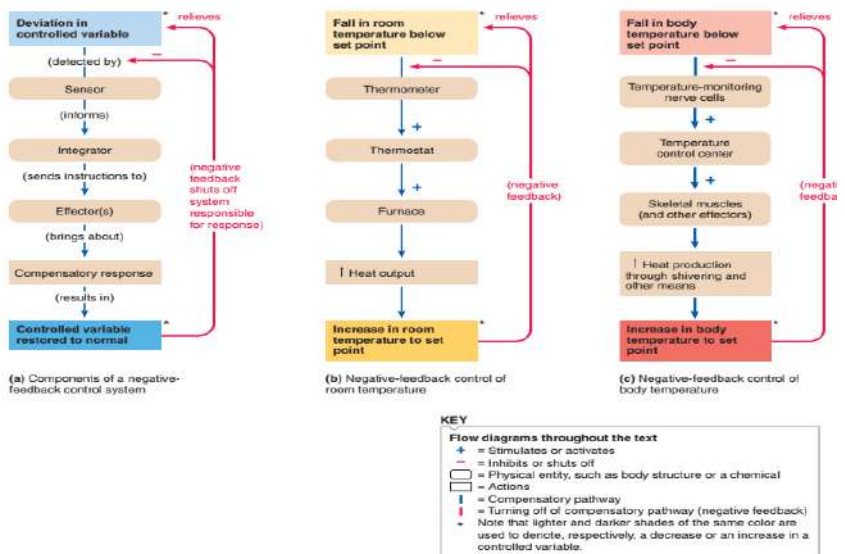
Homeostasis dikendalikan oleh sistem kontrol yang melibatkan tiga komponen utama: yaitu a) Reseptor (Sensor): Mendeteksi perubahan atau stimulus dari lingkungan internal atau eksternal. Reseptor akan mengirimkan sinyal ke pusat kontrol ketika ada perubahan yang melebihi batas normal. b) Pusat Kontrol (Integrator): Biasanya berupa otak atau sumsum tulang belakang yang memproses informasi yang datang dari reseptor. Pusat kontrol membandingkan nilai yang terdeteksi dengan nilai set point (nilai ideal) dan menentukan respon yang diperlukan. c) Efektor: Merupakan otot, organ, atau kelenjar yang melaksanakan respon dari pusat kontrol. Efektor bekerja untuk mengembalikan variabel tubuh ke set point yang diinginkan.



Gambar 1. 2. Homeostasis dan Mekanisme Umpan Balik

Sumber: (Vander, Sherman, & Luciano, 2001)

Umpan balik negatif adalah mekanisme utama yang digunakan oleh tubuh untuk mempertahankan homeostasis. Pada sistem ini, perubahan dalam satu arah akan memicu respon yang mengembalikan keadaan ke arah yang berlawanan. Contohnya: a) Regulasi Suhu Tubuh: Jika suhu tubuh meningkat di atas set point, reseptor termal di kulit dan otak mengirimkan sinyal ke hipotalamus (pusat kontrol). Hipotalamus kemudian mengaktifkan efektor seperti kelenjar keringat untuk menurunkan suhu tubuh dengan cara berkeringat dan vasodilatasi (pelebaran pembuluh darah di kulit). b) Regulasi Kadar Glukosa Darah: Saat kadar glukosa darah naik setelah makan, pankreas (reseptor dan pusat kontrol) merespons dengan melepaskan insulin (efektor) yang membantu sel tubuh menyerap glukosa, menurunkan kadar gula darah kembali ke tingkat normal. Ciri-ciri umpan balik negatif yaitu: mempertahankan keseimbangan internal, responnya selalu berlawanan arah dengan stimulus awal, efektivitasnya tergantung pada kepekaan reseptor dan efektor serta kemampuan pusat kontrol untuk memberikan sinyal yang tepat.



Gambar 1. 3. Umpan Balik Negatif
Sumber: (Sherwood, 2010)

Umpan balik positif memperkuat atau mempercepat perubahan dalam sistem, mendorong keadaan tubuh semakin jauh dari kondisi awal. Mekanisme ini jarang terjadi dalam homeostasis dan biasanya hanya aktif dalam kondisi tertentu. Misalnya, proses persalinan: ketika kontraksi rahim dimulai, hormon oksitosin dilepaskan untuk meningkatkan kontraksi. Peningkatan kontraksi menyebabkan lebih banyak oksitosin dilepaskan, yang mempercepat proses persalinan. Proses ini berlanjut hingga bayi dilahirkan, setelah itu umpan balik positif berhenti. Selain itu mekanisme umpan balik positif dapat pula dilihat dari pembekuan darah: ketika ada cedera pada pembuluh darah, trombosit menempel pada tempat luka dan melepaskan zat kimia yang menarik lebih banyak trombosit untuk membentuk bekuan darah. Proses ini berlanjut hingga luka tertutup. Ciri-ciri umpan balik positif yaitu: memperkuat stimulus awal, tidak mempertahankan homeostasis, tetapi mempercepat proses yang harus diselesaikan dengan cepat, dan biasanya diakhiri oleh suatu peristiwa yang mengembalikan sistem ke keadaan normal.

1.4 Terminologi Anatomi

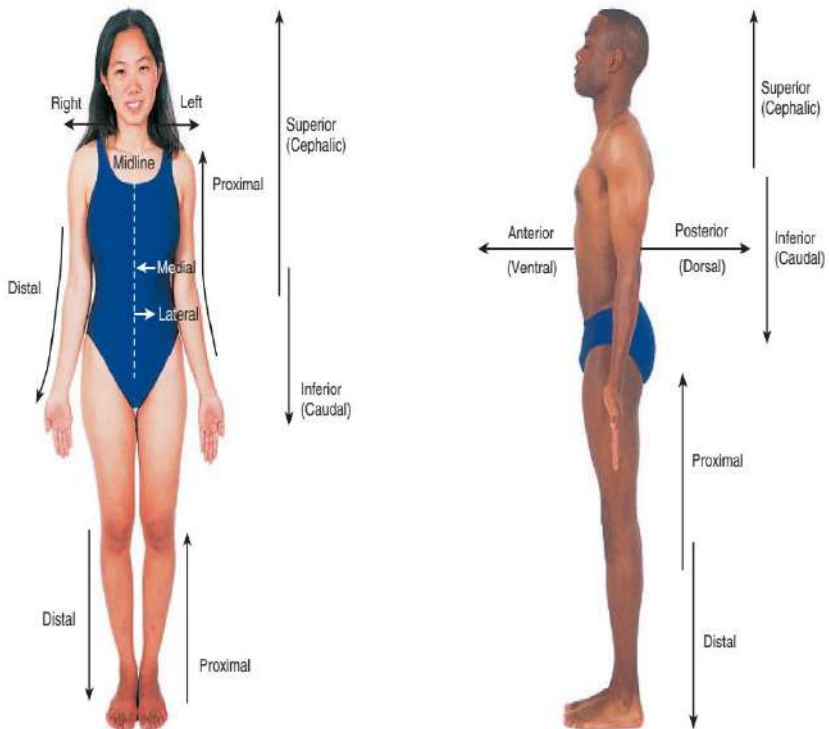
Penggunaan terminologi anatomi yang tepat sangat penting dalam studi anatomi dan fisiologi manusia. Terminologi ini memungkinkan deskripsi yang akurat dan efisien terkait letak dan fungsi struktur tubuh, baik dalam pendidikan, penelitian, maupun praktik medis. Posisi anatomi adalah posisi standar tubuh yang digunakan sebagai acuan dalam studi anatomi. Dalam posisi anatomi, tubuh digambarkan sebagai berikut: Tubuh berdiri tegak, Kaki rata di lantai dan sedikit terpisah, Lengan berada di samping tubuh dengan telapak tangan menghadap ke depan, serta Kepala menghadap lurus ke depan. Posisi ini penting karena memberikan referensi tetap untuk menggambarkan letak atau arah struktur tubuh, meminimalkan kebingungan.

Bidang anatomi digunakan untuk membagi tubuh menjadi bagian-bagian tertentu dan memudahkan deskripsi letak organ serta bagian tubuh lainnya. Ada tiga bidang utama dalam anatomi: a) Bidang Sagital: Bidang ini memotong tubuh dari depan ke belakang, membagi tubuh menjadi bagian kiri dan kanan. Jika pembagian ini persis di tengah tubuh, disebut *bidang midsagital(median). Jika pembagiannya tidak persis di tengah, disebut parasagital. b) Bidang Frontal (Koronal): Bidang ini memotong tubuh dari samping ke samping, membagi tubuh menjadi bagian depan (anterior) dan belakang (posterior). c) Bidang Transversal (Horizontal): Bidang ini memotong tubuh secara horizontal, membagi tubuh menjadi bagian atas (superior) dan bawah (inferior). Sering disebut sebagai bidang aksial.

Istilah-istilah yang berkaitan dengan arah dalam tubuh digunakan untuk menjelaskan lokasi organ atau bagian tubuh relatif terhadap struktur lainnya. Berikut beberapa istilah umum dalam anatomi: a) Superior (Cranial): Mengacu pada bagian tubuh yang lebih dekat ke kepala. Contoh: Hidung superior terhadap mulut. b) Inferior (Caudal): Mengacu pada bagian tubuh yang lebih dekat ke kaki. Contoh: Perut inferior terhadap dada. c) Anterior (Ventral): Mengacu pada bagian depan tubuh atau lebih dekat ke permukaan depan. Contoh: Tulang dada anterior terhadap tulang belakang. d) Posterior (Dorsal): Mengacu pada bagian belakang tubuh atau lebih dekat ke permukaan belakang. Contoh: Jantung posterior terhadap tulang dada. e) Medial: Mengacu pada bagian yang lebih dekat ke garis tengah tubuh. Contoh: Jari kelingking medial terhadap ibu jari. f) Lateral: Mengacu pada bagian yang lebih jauh dari garis tengah tubuh. Contoh: Paru-paru lateral terhadap jantung. g) Proksimal: Mengacu pada bagian yang lebih dekat ke pangkal atau asal mula struktur. Istilah ini sering digunakan untuk menggambarkan hubungan antara bagian-bagian ekstremitas tubuh. Contoh: Paha proksimal terhadap kaki. h) Distal: Mengacu pada bagian yang lebih jauh dari pangkal atau asal mula struktur. Contoh: Pergelangan tangan distal terhadap siku. i)

Superfisial (Eksternal): Mengacu pada bagian yang lebih dekat ke permukaan tubuh. Contoh: Kulit superfisial terhadap otot. J) Dalam (Internal): Mengacu pada bagian yang lebih dalam di dalam tubuh. Contoh: Otak dalam terhadap tulang tengkorak.

Istilah lain dalam terminologi anatomi a) Ipsilateral: Mengacu pada struktur yang berada di sisi yang sama dari tubuh. Contoh: Tangan kanan dan kaki kanan ipsilateral. b) Kontralateral: Mengacu pada struktur yang berada di sisi yang berlawanan dari tubuh. Contoh: Tangan kanan dan kaki kiri kontralateral. c) Intermediate: Mengacu pada struktur yang berada di antara dua struktur lainnya. Contoh: Tulang selangka intermediate terhadap tulang dada dan bahu.



Gambar 1. 4. Istilah Arah

Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)

DAFTAR PUSTAKA

- Patellongi, I. (2013). *Fisiologi Manusia*. Yogyakarta: Leutikabooks.
- Seeley, R. R., Stephens, T. D., & Philip, T. (2004). *Anatomy and Physiology, 6th*. Boston: The McGraw-Hill.
- Sherwood, L. (2010). *Human Physiology from Cell to System*. USA: Brooks/Cole.
- Vander, A. J., Sherman, J. H., & Luciano, D. S. (2001). *Human Physiology: The Mechanisms of Body Function*. Boston: McGraw-Hill.
- Waugh, A., & Grant, A. (2004). *Ross and Wilson: Anatomy and Physiology in Health and Illness*. Edinburg: Churchill Livingstone Elsevier.

BAB 2

SISTEM SARAF

2.1 Pengantar Sistem Saraf

Sistem saraf terdiri dari otak, sumsum tulang belakang, saraf, dan reseptor sensorik. Sistem ini bertanggung jawab atas persepsi sensorik, aktivitas mental, dan merangsang gerakan otot serta sekresi banyak kelenjar. Misalnya, saat orang yang lapar bersiap untuk minum secangkir sup panas, ia mencium aromanya dan mengantisipasi rasa sup tersebut. Merasakan kehangatan cangkir di tangannya, ia dengan hati-hati mengangkat cangkir ke bibirnya dan menyapnya. Sup itu begitu panas hingga lidahnya terbakar. Dengan cepat, ia menarik cangkir dari bibirnya dan tersentak kesakitan. Semua sensasi, pikiran, emosi, dan gerakan ini tidak akan mungkin terjadi tanpa sistem saraf.

Sel saraf atau neuron, membentuk sistem saraf, salah satu dari dua sistem kontrol utama pada tubuh. Sistem saraf melakukan kontrolnya terhadap hampir sebagian besar aktivitas otot dan kelenjar tubuh, yang sebagian besar ditujukan untuk mempertahankan homeostasis. Neuron dikhususkan untuk menghasilkan sinyal listrik dan biokimia cepat. Neuron juga mampu mengolah, memulai, mengkode, dan menghantarkan perubahan-perubahan pada potensial membrannya sebagai suatu cara untuk menyalurkan pesan dengan cepat melintasi panjangnya. Selain itu, neuron telah mengembangkan perantara kimiawi untuk menyampaikan informasi melalui jalur-jalur saraf yang berbelit-belit dari neuron ke neuron serta ke otot dan kelenjar.

Semua sel tubuh memiliki potensial membran yang berkaitan dengan distribusi yang tidak merata serta perbedaan permeabilitas dari Na^+ , K^+ , dan anion besar intrasel. Dua jenis

sel, sel saraf dan sel otot, telah mengembangkan kegunaan khusus untuk potensial membran ini. Secara spesifik sel-sel ini mampu mengalami perubahan yang cepat untuk sementara waktu pada potensial membrannya. Fluktuasi potensial ini, yang berfungsi sebagai sinyal listrik, memiliki dua bentuk dasar; 1) potensial berjenjang, yang berfungsi sebagai sinyal jarak dekat, dan 2) potensial aks, yang menjadi sinyal untuk jarak jauh.

Saraf dan otot dianggap sebagai jaringan yang dapat tereksitasi (*excitable tissue*) karena keduanya mampu menghasilkan sinyal listrik apabila dirangsang. Potensial membran konstan yang ada ketika sebuah sel jaringan yang dapat tereksitasi (*excitable*) tidak memperlihatkan perubahan potensial yang cepat disebut sebagai potensial membran istirahat (walaupun membran tersebut sebenarnya tidak “beristirahat” karena aktivitas kebocoran-pemompaan yang seimbang berlangsung terus menerus).

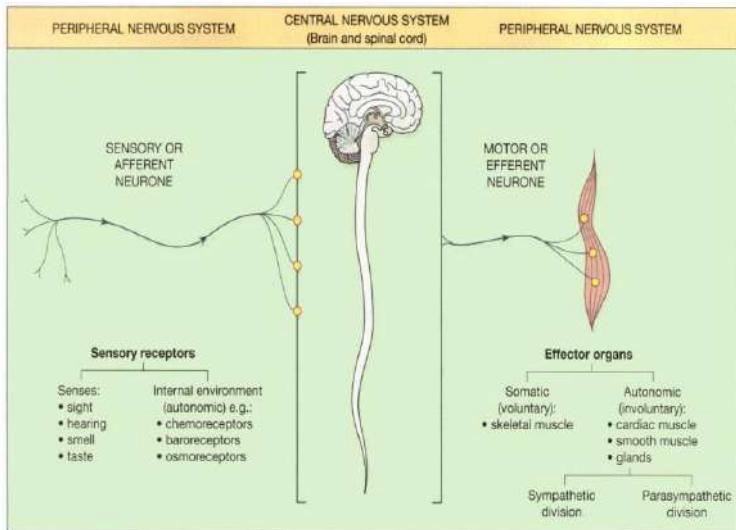
2.2 Pembagian Sistem Saraf

Sistem saraf dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu: 1) Sistem Saraf Pusat (*the central nervous system/CNS*): terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang. 2) Sistem Saraf tepi (*the peripheral nervous system/PNS*): terdiri dari semua saraf di luar otak dan sumsum tulang belakang. Otak merupakan pusat kendali tubuh, terdiri dari tiga bagian utama, yaitu Otak besar (*cerebrum*): bertanggung jawab atas fungsi-fungsi kognitif, seperti berpikir, ingatan, dan kesadaran. Otak kecil (*cerebellum*): mengontrol keseimbangan dan koordinasi motorik. Batang otak (*brainstem*): mengatur fungsi-fungsi vital, seperti pernapasan, denyut jantung, dan tekanan darah. Sumsum Tulang Belakang berperan dalam menghantarkan sinyal antara otak dan seluruh tubuh. Sumsum tulang belakang juga terlibat dalam gerakan refleks.

Sistem saraf tepi (PNS) terdiri dari saraf yang terhubung ke sistem saraf pusat, terdiri dari pasangan saraf kranialis dan spinalis, dimana beberapa bersifat sensorik (afere), beberapa bersifat motorik (eferen), dan sebagian lainnya bersifat

campuran. Secara fungsional, PNS dapat dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu: Divisi sensorik dan Divisi motorik (Gambar 2.1).

Divisi motorik selanjutnya dibedakan menjadi aktivitas yang bersifat: 1) sadar atau voluntary (sistem saraf somatik) yang mengendalikan pergerakan otot yang disadari. 2) fungsi yang tidak disadari (sistem saraf otonom) yang mengatur fungsi otot polos, otot jantung, serta kelenjar. Sistem saraf otonom terbagi lagi menjadi dua bagian: sistem saraf simpatik dan parasimpatik.



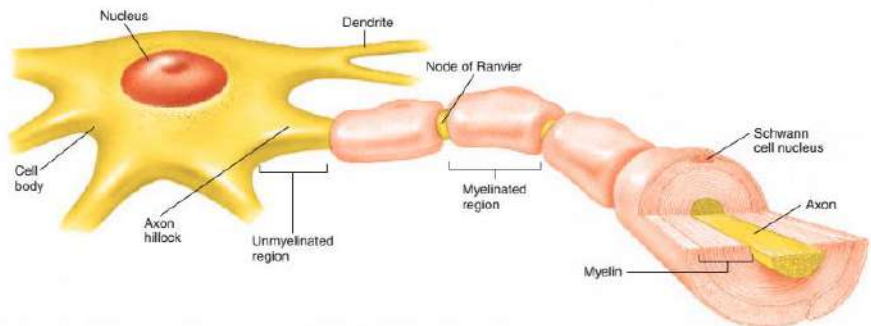
Gambar 2. 1. Komponen Fungsional Sistem Saraf

Sumber: (Waugh & Grant, 2004)

Sistem saraf terdiri dari dua jenis sel utama yaitu neuron dan sel penyokong (neuroglia). Neuron adalah unit struktural dan fungsional dasar dari sistem saraf. Neuron terspesialisasi untuk merespons rangsangan fisik dan kimia, menghantarkan impuls elektrokimia, dan melepaskan zat pengatur kimia. Melalui aktivitas ini, neuron memungkinkan persepsi rangsangan sensorik, pembelajaran, memori, dan pengendalian otot dan kelenjar. Sebagian besar neuron tidak dapat membelah

dengan mitosis, meskipun banyak yang dapat meregenerasi bagian yang terputus atau menumbuhkan cabang baru yang kecil dalam kondisi tertentu. Sel pendukung membantu fungsi neuron dan jumlahnya sekitar lima kali lebih banyak daripada neuron. Di sistem saraf pusat, sel pendukung secara kolektif disebut neuroglia, atau sel glia (glia = lem). Tidak seperti neuron, yang tidak membelah secara mitosis (kecuali untuk beberapa neuron tertentu), sel glia dapat membelah secara mitosis. Hal ini membantu menjelaskan mengapa tumor otak pada orang dewasa biasanya terdiri dari sel glia daripada neuron.

Meskipun neuron sangat bervariasi dalam ukuran dan bentuk, neuron umumnya memiliki tiga bagian utama: (1) badan sel, (2) dendrit, dan (3) akson (gambar 2.2). Dendrit dan akson secara umum dapat disebut sebagai prosesus, atau ekstensi dari badan sel. Badan sel adalah bagian neuron yang membesar yang berisi nukleus. Ini adalah "pusat nutrisi" neuron tempat makromolekul diproduksi. Badan sel juga mengandung area retikulum endoplasma kasar yang diwarnai padat yang dikenal sebagai badan Nissl yang tidak ditemukan di dendrit atau akson. Badan sel dalam sistem saraf pusat sering dikelompokkan menjadi kelompok yang disebut nukleus (jangan disamakan dengan nukleus sel). Badan sel di sistem saraf tepi biasanya terjadi dalam kelompok yang disebut ganglia.



Gambar 2. 2. Bagian neuron

Sumber: (Fox, 2004)

Dendrit (dendron = cabang pohon) adalah prosesus tipis dan bercabang yang memanjang dari sitoplasma badan sel. Dendrit menyediakan area reseptif yang menyalurkan impuls listrik ke badan sel. Akson adalah prosesus yang lebih panjang yang menghantarkan impuls menjauhi badan sel. Panjang akson bervariasi dari hanya satu milimeter hingga satu meter atau lebih (untuk akson yang memanjang dari SSP ke kaki). Asal akson di dekat badan sel adalah daerah yang diperluas yang disebut bukit akson; di sinilah impuls saraf berasal. Cabang samping yang disebut kolateral akson dapat memanjang dari akson.

Protein dan molekul lain diangkut melalui akson dengan kecepatan lebih cepat daripada yang dapat dicapai melalui difusi sederhana. Pergerakan cepat ini dihasilkan oleh dua mekanisme yang berbeda: aliran aksoplasma dan transportasi akson. Aliran aksoplasma, yang lebih lambat dari keduanya, dihasilkan dari gelombang kontraksi ritmis yang mendorong sitoplasma dari bukit akson ke ujung saraf. Pengangkutan akson, yang menggunakan mikrotubulus dan lebih cepat serta lebih selektif, dapat terjadi dalam arah terbalik (*retrograde*) maupun maju (*orthograde*). Memang, pengangkutan retrograde mungkin bertanggung jawab atas pergerakan virus herpes, virus rabies, dan toksin tetanus dari ujung saraf ke dalam badan sel.

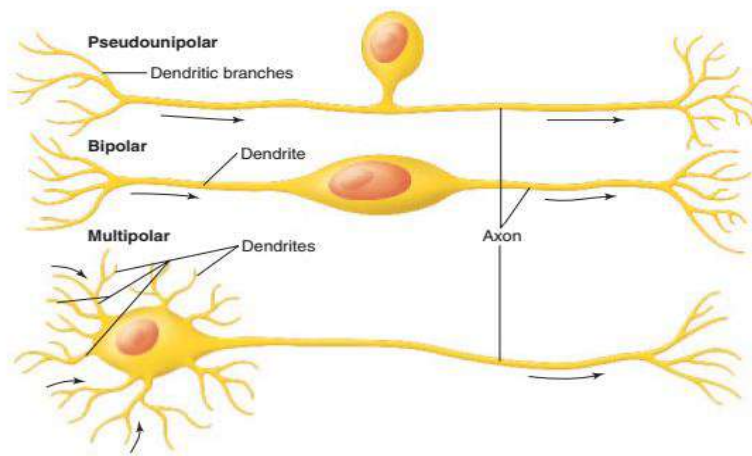
Neuron dapat diklasifikasikan menurut fungsi atau strukturnya. Klasifikasi fungsional didasarkan pada arah penghantaran impuls, seperti Neuron sensorik, atau aferen, menghantarkan impuls dari reseptor sensorik ke dalam SSP. Neuron motorik, atau eferen, menghantarkan impuls keluar dari SSP ke organ efektor (otot dan kelenjar). Neuron asosiasi, atau interneuron, terletak sepenuhnya di dalam SSP dan menjalankan fungsi asosiatif, atau integratif, dari sistem saraf.

Ada dua jenis neuron motorik: somatik dan otonom. Neuron motorik somatik bertanggung jawab atas kontrol refleks dan gerak sadar otot rangka. Neuron motorik otonom menginervasi (mengirim akson ke) efektor gerak tak sadar, seperti otot polos,

otot jantung, dan kelenjar. Badan sel neuron otonom yang menginervasi organ-organ ini terletak di luar SSP di ganglia otonom. Terdapat dua subdivisi neuron otonom: simpatis dan parasimpatis. Neuron motorik otonom, bersama dengan pusat kendali sentralnya, membentuk sistem saraf otonom.

Klasifikasi struktural neuron didasarkan pada jumlah prosesus yang memanjang dari badan sel neuron. Neuron pseudounipolar memiliki satu prosesus pendek yang bercabang seperti huruf T untuk membentuk sepasang prosesus yang lebih panjang. Neuron ini disebut pseudounipolar (pseudo = palsu) karena, meskipun berasal dari dua prosesus, selama perkembangan embrio awal, kedua prosesus tersebut bertemu dan sebagian menyatu. Neuron sensorik bersifat pseudounipolar dimana salah satu prosesus yang bercabang menerima rangsangan sensorik dan menghasilkan impuls saraf; yang lain menyalurkan impuls ini ke sinapsis di dalam otak atau sumsum tulang belakang. Secara anatomi, bagian dari prosesus yang menghantarkan impuls menuju badan sel dapat dianggap sebagai dendrit, dan bagian yang menghantarkan impuls menjauhi badan sel dapat dianggap sebagai akson. Namun, secara fungsional, kedua proses bercabang tersebut berperilaku sebagai akson tunggal yang panjang; hanya proyeksi kecil di ujung reseptif dari proses tersebut yang berfungsi sebagai dendrit yang khas. Neuron bipolar memiliki dua proses, satu di setiap ujungnya; jenis ini ditemukan di retina mata. Neuron multipolar, jenis yang paling umum, memiliki beberapa dendrit dan satu akson yang memanjang dari badan sel; neuron motorik adalah contoh yang baik dari jenis ini.

Saraf adalah kumpulan akson yang terletak di luar SSP. Sebagian besar saraf terdiri dari serat motorik dan sensorik dan dengan demikian disebut saraf campuran. Namun, beberapa saraf kranial hanya mengandung serat sensorik. Ini adalah saraf yang melayani indera khusus penglihatan, pendengaran, pengecap, dan penciuman.



Gambar 2. 3. Jenis Neuron

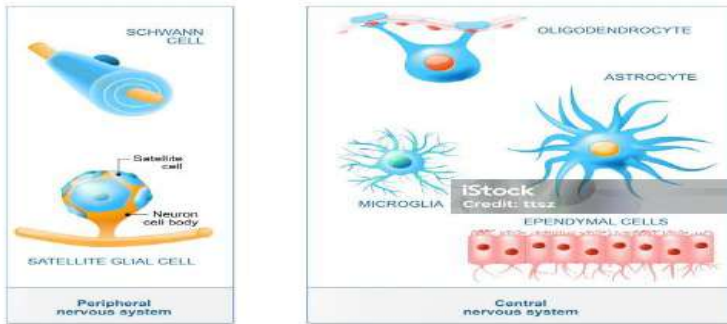
Sumber: (Fox, 2004)

2.3 Neuroglia

Tidak seperti organ lain yang "dikemas" dalam jaringan ikat yang berasal dari mesoderm (lapisan tengah jaringan embrionik), sel-sel pendukung sistem saraf berasal dari lapisan jaringan embrional yang sama (ektoderm) yang menghasilkan neuron. Ada dua jenis sel pendukung dalam sistem saraf tepi, yaitu 1). Sel Schwann, yang membentuk selubung mielin di sekitar akson tepi; dan 2). Sel satelit, atau gliosit ganglion, yang mendukung badan sel neuron di dalam ganglia PNS.

Ada empat jenis sel pendukung, yang disebut sel neuroglia (atau glia), dalam sistem saraf pusat, yaitu: 1). oligodendrosit, yang membentuk selubung mielin di sekitar akson SSP; 2). mikroglia, yang bermigrasi melalui SSP dan memfagositosis bahan asing dan yang mengalami degenerasi; 3). astrosit, yang membantu mengatur lingkungan eksternal neuron di SSP; dan 4). sel ependimal, yang melapisi ventrikel (rongga) otak dan kanal sentral sumsum tulang belakang. Bukti terbaru menunjukkan peran yang lebih menarik bagi sel ependimal yang melapisi ventrikel otak, dan juga bagi astrosit yang berdekatan

dengan wilayah ini, mereka dapat berfungsi sebagai sel induk saraf. Artinya, mereka dapat membelah dan keturunannya dapat berdiferensiasi (berspesialisasi) di sepanjang garis yang berbeda, untuk menjadi neuron dan sel neuroglia baru. Otak reptil dan burung diketahui menghasilkan neuron baru sepanjang hidup, tetapi baru-baru ini kemampuan ini ditunjukkan pada otak mamalia (termasuk manusia).



Gambar 2. 4. Jenis-jenis Neuroglia
Sumber: (Istockphoto, 2017)

2.4 Sumsum Tulang belakang dan Saraf Tulang Belakang

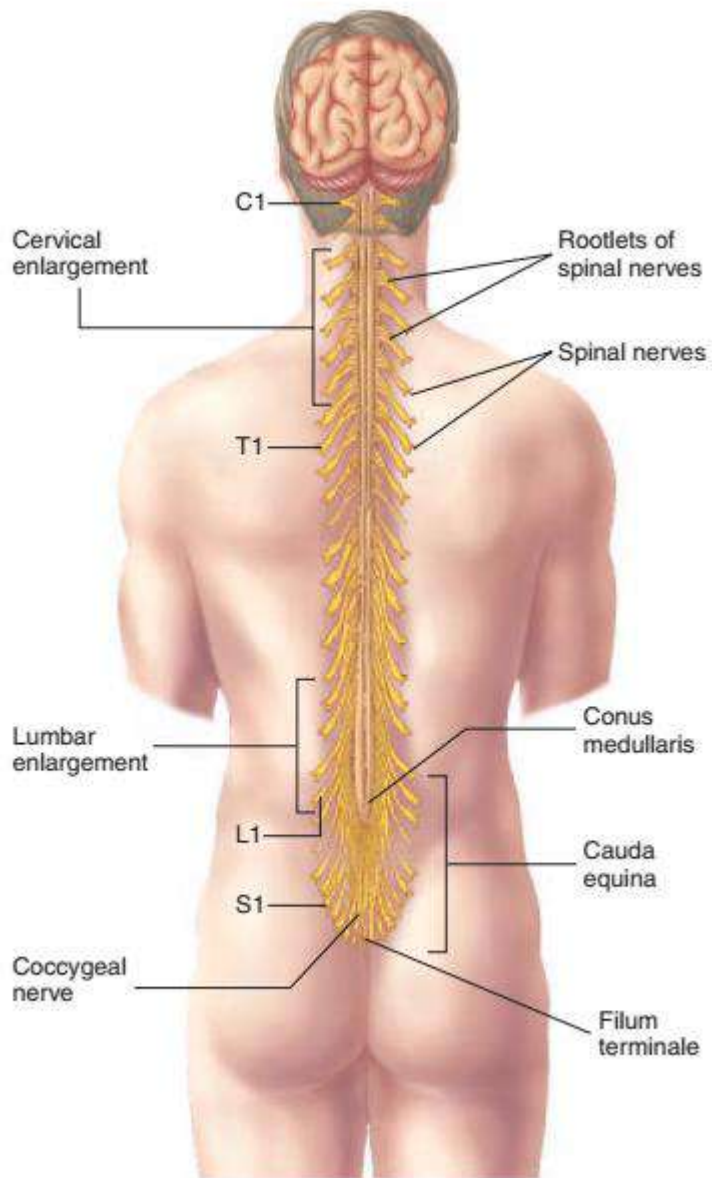
Sistem saraf pusat (SSP) terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang, dengan pembagian antara kedua bagian SSP ini ditempatkan agak sembarangan pada tingkat foramen magnum. Sistem saraf tepi (SST) terdiri dari saraf dan ganglia di luar rongga tengkorak dan tulang belakang. Saraf adalah kumpulan akson dan sel Schwann, dikelilingi oleh selubung jaringan ikat. Ganglia adalah akumulasi badan sel di SST. SST mencakup 12 pasang saraf kranial dan 31 pasang saraf tulang belakang (spinal). SSP menerima informasi sensorik, mengevaluasi informasi tersebut, menyimpan beberapa informasi, dan memulai reaksi. SST mengumpulkan informasi dari berbagai sumber baik di dalam maupun di luar tubuh dan menyampaikannya melalui akson neuron sensorik ke SSP. Akson

neuron motorik di SST menyampaikan informasi dari SSP ke berbagai bagian tubuh, terutama ke otot dan kelenjar, sehingga mengatur aktivitas di struktur tersebut.

Sumsum tulang belakang sangat penting bagi fungsi keseluruhan sistem saraf. Sumsum tulang belakang merupakan penghubung komunikasi antara otak dan sistem saraf tepi (SST) yang terletak di bawah kepala; sumsum tulang belakang mengintegrasikan informasi yang masuk dan menghasilkan respons melalui mekanisme refleksi. Sumsum tulang belakang (gambar 2.5) memanjang dari foramen magnum hingga setinggi vertebra lumbar kedua. Sumsum tulang belakang jauh lebih pendek daripada tulang belakang/kolom vertebra (*vertebral column*) karena tidak tumbuh secepat kolom vertebra selama perkembangan. Sumsum tulang belakang terdiri dari segmen serviks, toraks, lumbar, dan sakral, yang dinamai sesuai dengan bagian kolom vertebra tempat saraf masuk dan keluar. Sumsum tulang belakang terdiri dari 31 pasang saraf tulang belakang, yang keluar dari kolom vertebra melalui foramen intervertebralis. Saraf dari segmen bawah turun beberapa jarak di kanal vertebra sebelum keluar karena sumsum tulang belakang lebih pendek daripada kolom vertebra.

Sumsum tulang belakang tidak memiliki diameter yang seragam di seluruh panjangnya. Diameternya lebih besar di ujung atasnya, dan diameternya secara bertahap berkurang ke arah ujung bawahnya. Dua pelebaran terjadi di tempat saraf yang mensuplai anggota tubuh bagian atas dan bawah masuk dan keluar dari sumsum tulang belakang. Pembesaran serviks di daerah serviks inferior berhubungan dengan lokasi tempat akson yang mensuplai anggota tubuh bagian atas masuk dan keluar dari sumsum tulang belakang. Pembesaran lumbar di daerah toraks inferior dan lumbar superior adalah lokasi tempat akson yang mensuplai anggota tubuh bagian bawah masuk atau keluar dari sumsum tulang belakang.

Tepat di bawah pelebaran lumbar, sumsum tulang belakang meruncing membentuk daerah seperti kerucut yang disebut konus medullaris. Ujungnya adalah ujung bawah sumsum tulang belakang dan memanjang hingga setinggi vertebra lumbar kedua. Saraf yang mensuplai anggota tubuh bagian bawah dan struktur tubuh bagian bawah lainnya muncul dari saraf lumbar kedua hingga saraf sakral kelima. Saraf tersebut keluar dari pelebaran lumbar dan konus medullaris, berjalan ke arah bawah melalui kanal vertebra, dan keluar melalui foramen intervertebralis dari lumbar kedua hingga vertebra sakral kelima. Konus medullaris dan banyak saraf yang memanjang ke arah bawah darinya, di dalam kanal vertebra, menyerupai ekor kuda dan oleh karena itu disebut cauda (kawda, ekor). Sumsum tulang belakang dan otak dikelilingi oleh membran jaringan ikat yang disebut meningen (me-ninje-z). Membran yang paling superfisial dan paling tebal adalah dura mater (doora ma-ter; ibu yang kuat). Dura mater mengelilingi sumsum tulang belakang dan bersambung dengan epineurium saraf tulang belakang. Dura mater di sekitar sumsum tulang belakang dipisahkan dari periosteum kanal tulang belakang oleh ruang epidural. Ini adalah ruang sebenarnya di sekitar sumsum tulang belakang yang berisi pembuluh darah, jaringan ikat areolar, dan lemak. Anestesi epidural pada saraf tulang belakang diinduksi dengan menyuntikkan anestesi ke dalam ruang ini. Anestesi epidural sering diberikan kepada wanita saat melahirkan.



Gambar 2. 5. Tulang Belakang dan Saraf Tulang Belakang
Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)

Membran meningeal berikutnya adalah mater araknoid (a[~]-raknoid; mirip laba-laba; yaitu, sarang laba-laba) yang sangat tipis. Ruang antara membran ini dan dura mater adalah ruang subdural dan hanya berisi sedikit cairan serosa. Lapisan meningeal ketiga, pia mater (pi[~]a[~]; afeksi) terikat sangat erat pada permukaan otak dan sumsum tulang belakang. Di luar konus medullaris, pia mater membentuk filum terminale (fi[~]lu[~]m termi-nale[~]), filamen jaringan ikat, yang memanjang ke bawah hingga tulang ekor tempat ia mengikat sumsum tulang belakang. Di antara arachnoid mater dan piamater terdapat ruang subarachnoid, yang berisi untaian seperti jaring dari arachnoid mater, pembuluh darah, dan cairan serebrospinal (CSF).

Sumsum tulang belakang tertahan di tempatnya di dalam kanal tulang belakang oleh serangkaian helai jaringan ikat yang menghubungkan pia mater dengan dura mater. Hal ini menyebabkan arachnoid mater membentuk titik-titik di antara saraf tulang belakang bagian atas. Karena titik-titik tersebut menciptakan tampilan "bergigi", perlekatan ini disebut ligamen denticulate (den-tiku[~]-la[~]t). Penampang melintang sumsum tulang belakang menunjukkan bahwa sumsum terdiri dari bagian putih di bagian tepi dan bagian abu-abu di bagian tengah. Materi putih terdiri dari akson bermielin yang membentuk jalur saraf, dan materi abu-abu terdiri dari badan sel neuron, dendrit, dan akson. Fisura median anterior dan sulkus median posterior adalah celah dalam yang sebagian memisahkan kedua bagian sumsum. Zat putih di setiap bagian sumsum tulang belakang tersusun menjadi tiga kolom, atau funikuli (fu-niku-li), yang disebut kolom ventral (anterior), dorsal (posterior), dan lateral. Setiap kolom dibagi lagi menjadi traktus saraf atau fasikuli (fa-siku-li); yang juga disebut sebagai jalur. Akson-akson individual yang naik ke otak atau turun dari otak biasanya dikelompokkan bersama dalam traktus saraf.

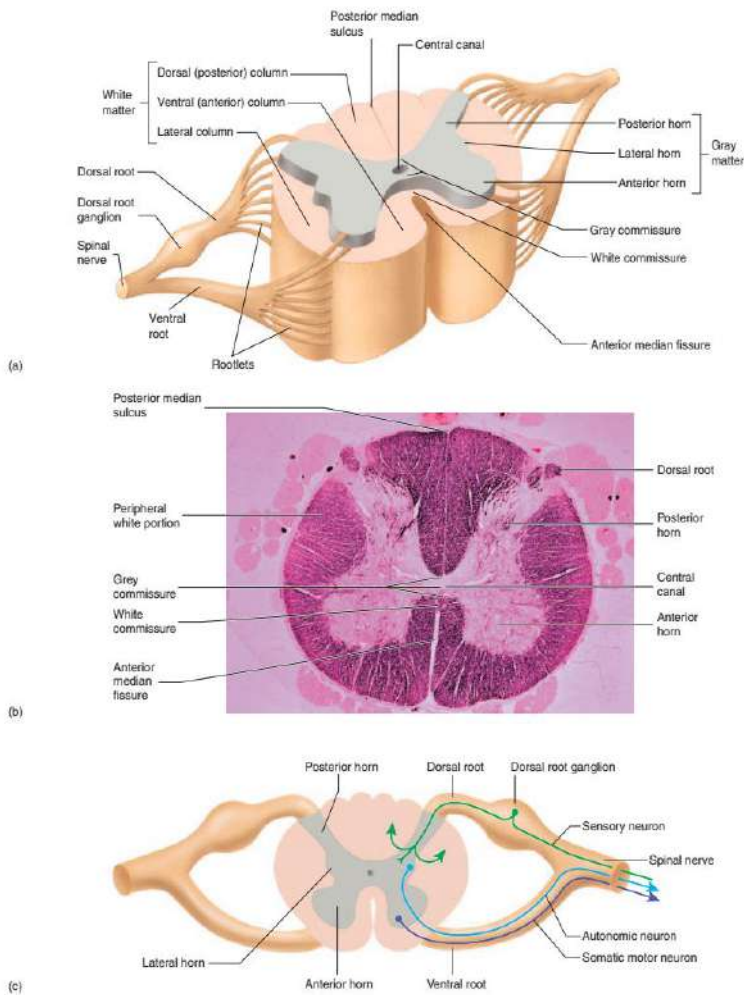
Akson-akson dalam traktus saraf tertentu pada dasarnya membawa jenis informasi yang sama, meskipun mereka mungkin tumpang tindih sampai batas tertentu. Misalnya, satu traktus saraf yang naik membawa potensial aksi yang terkait dengan sensasi nyeri dan suhu, sedangkan yang lain berfungsi untuk membawa potensial aksi yang terkait dengan sentuhan ringan.

Substansi abu-abu sentral tersusun menjadi tanduk. Setiap bagian dari substansi abu-abu sentral sumsum tulang belakang terdiri dari tanduk posterior (dorsal) yang relatif tipis dan tanduk anterior (ventral) yang lebih besar. Tanduk lateral kecil terdapat pada tingkat sumsum yang terkait dengan sistem saraf otonom. Dua bagian sumsum tulang belakang dihubungkan oleh komisura abu-abu dan putih (lihat gambar 2.6). Komisura putih dan abu-abu berisi akson yang menyilang dari satu sisi sumsum tulang belakang ke sisi lainnya. Kanal sentral berada di tengah komisura abu-abu. Saraf tulang belakang muncul dari banyak akar kecil di sepanjang permukaan dorsal dan ventral sumsum tulang belakang (lihat gambar 2.6). Sekitar enam hingga delapan akar kecil ini bergabung untuk membentuk setiap akar ventral di sisi ventral (anterior) sumsum tulang belakang, dan enam hingga delapan lainnya membentuk setiap akar dorsal di sisi dorsal (posterior) sumsum tulang belakang di setiap segmen. Akar ventral dan dorsal bergabung satu sama lain tepat di sebelah lateral sumsum tulang belakang untuk membentuk saraf tulang belakang. Setiap akar dorsal mengandung ganglion, yang disebut akar dorsal, atau ganglion tulang belakang (ganggle-on; pembengkakan atau simpul).

Badan sel neuron sensorik berada di ganglia akar dorsal (gambar 2.6c). Akson neuron unipolar ini memanjang dari berbagai bagian tubuh dan melewati saraf tulang belakang ke ganglia akar dorsal. Akson tidak bersinaps di ganglion akar dorsal tetapi melewati akar dorsal dan menonjol ke tanduk posterior materi abu-abu sumsum tulang belakang. Akson

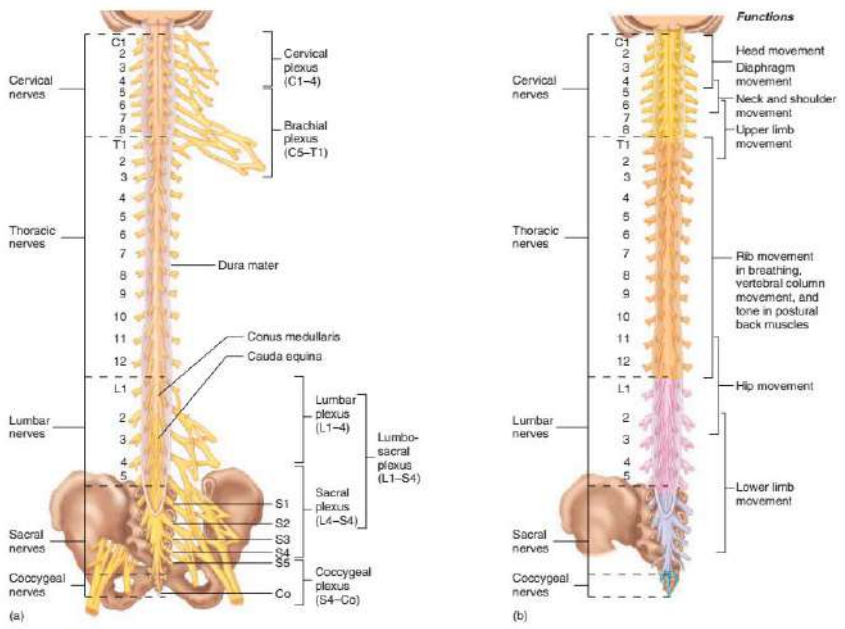
bersinaps dengan interneuron di tanduk posterior atau masuk ke materi putih dan naik atau turun di sumsum tulang belakang.

Badan sel neuron motorik, yang menyuplai otot dan kelenjar, terletak di tanduk anterior dan lateral materi abu-abu sumsum tulang belakang (lihat gambar 2.5c). Neuron motorik somatik multipolar berada di tanduk anterior, yang juga disebut tanduk motorik, dan neuron otonom berada di tanduk lateral. Akson dari neuron motorik membentuk akar ventral dan masuk ke saraf tulang belakang. Jadi, akar dorsal mengandung akson sensorik, akar ventral mengandung akson motorik, dan saraf tulang belakang memiliki akson sensorik dan motorik.



Gambar 2. 6. Melintang Sumsum Tulang Belakang

(a) Gambar 3-D segmen sumsum tulang belakang yang memperlihatkan satu akar dorsal dan satu akar ventral di setiap sisi dan akar kecil yang membentuknya. (b) Foto potongan melintang melalui daerah pinggang tengah. Area yang berwarna lebih gelap adalah materi putih, tempat traktus berada. Area yang lebih terang adalah materi abu-abu, tempat badan sel neuron berada. (c) Hubungan neuron sensorik dan motorik dengan sumsum tulang belakang. Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)



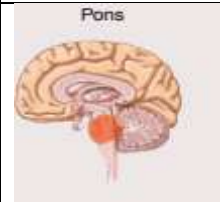
Gambar 2. 7. Saraf Spinalis (saraf tulang belakang)
 Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)

Saraf tulang belakang berasal dari sumsum tulang belakang sebagai pasangan saraf yang terdiri dari serat sensorik dan motorik yang berfungsi sebagai perantara antara sistem saraf pusat (SSP) dan perifer. Saraf campuran ini secara kolektif mengirimkan impuls sensorik, motorik, dan otonom antara sumsum tulang belakang dan bagian tubuh lainnya. Secara total, ada 31 pasang saraf tulang belakang yang dikelompokkan secara regional berdasarkan daerah tulang belakang. Lebih khusus lagi, ada delapan pasang saraf serviks (C1-C8), dua belas pasang saraf toraks (T1-T12), lima pasang saraf lumbar (L1-L5), 5 sakral (S1-S5), dan satu pasang saraf koksigeal. Sementara saraf bercabang langsung dari sumsum tulang belakang dan sistem saraf pusat, saraf tulang belakang tergolong sebagai bagian dari sistem saraf perifer (Kaiser & Lugo-Pico, 2023).

2.5 Otak dan Saraf Kranialis

Otak adalah bagian dari sistem saraf pusat yang terdapat dalam rongga tengkorak (gambar 2.6). Otak merupakan pusat kendali bagi banyak fungsi tubuh. Otak sangat mirip dengan komputer pusat yang kompleks, tetapi dengan fungsi tambahan yang belum dapat ditandingi oleh komputer manapun. Memang, salah satu tujuan dalam teknologi komputer adalah membuat komputer yang dapat berfungsi lebih seperti otak manusia. Otak terdiri dari batang otak, otak kecil (cerebellum), diensefalon, dan otak besar (cerebrum).

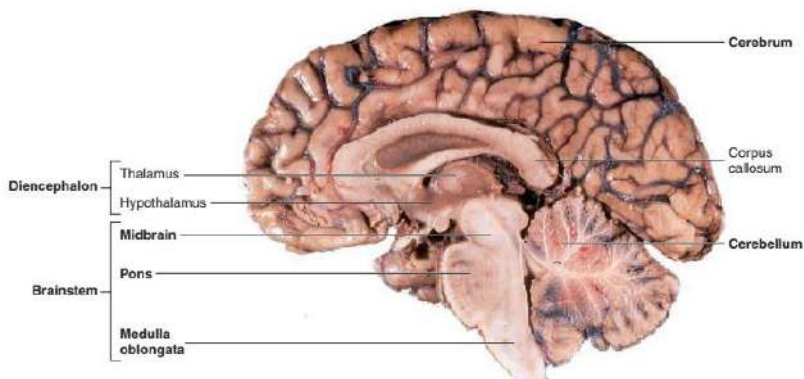
Tabel 2. 1. Pembagian dan Fungsi Otak

Gambar Bagian Otak	Fungsi
	Batang otak: Menghubungkan sumsum tulang belakang ke otak besar; lokasi inti saraf kranial
	Medulla oblongata: Jalur untuk jalur saraf naik dan turun; pusat untuk beberapa refleks penting (misalnya, detak jantung, pernapasan, menelan, muntah)
	Pons: Berisi jalur saraf naik dan turun; penghubung antara otak besar dan otak kecil; pusat refleks
	Otak tengah: Berisi jalur saraf naik dan turun; pusat refleks visual; bagian dari jalur pendengaran

Gambar Bagian Otak	Fungsi
 Reticular formation	Formasi retikuler: Tersebar di seluruh batang otak; mengendalikan aktivitas siklus seperti siklus tidur-bangun
 Cerebellum	Otak kecil: Pengendalian gerakan dan tonus otot; mengatur tingkat gerakan yang disengaja; terlibat dalam pembelajaran keterampilan motorik
 Diencephalon	Diensefalon terdiri dari: Thalamus: Pusat utama penginderaan; mempengaruhi suasana hati dan gerakan Subthalamus: Berisi jalur saraf dan nukleus Epithalamus: Berisi nukleus yang merespons rangsangan penciuman dan berisi badan pineal Hipotalamus: Pusat kontrol utama untuk menjaga homeostasis dan mengatur fungsi endokrin
 Cerebrum	Otak besar: Persepsi sadar, pikiran, dan aktivitas motorik sadar; dapat mengesampingkan sebagian besar sistem lainnya Nukleus basal: Kontrol aktivitas otot dan postur Sistem limbik Respons otonom terhadap

Gambar Bagian Otak	Fungsi
	bau, emosi, suasana hati, dan fungsi-fungsi lainnya

Batang otak meliputi medula oblongata, pons, otak tengah, dan formasi retikuler. Struktur otak dijelaskan dalam bab ini. Fungsinya terutama dibahas dalam bab berikutnya. Dua belas pasang saraf kranial, yang merupakan bagian dari sistem saraf tepi, muncul langsung dari otak. Dua pasang muncul dari otak besar, dan 10 pasang sisanya muncul dari batang otak.



Gambar 2. 8. Daerah di Bagian Otak Kanan (seperti yang terlihat pada irisan midsagittal)

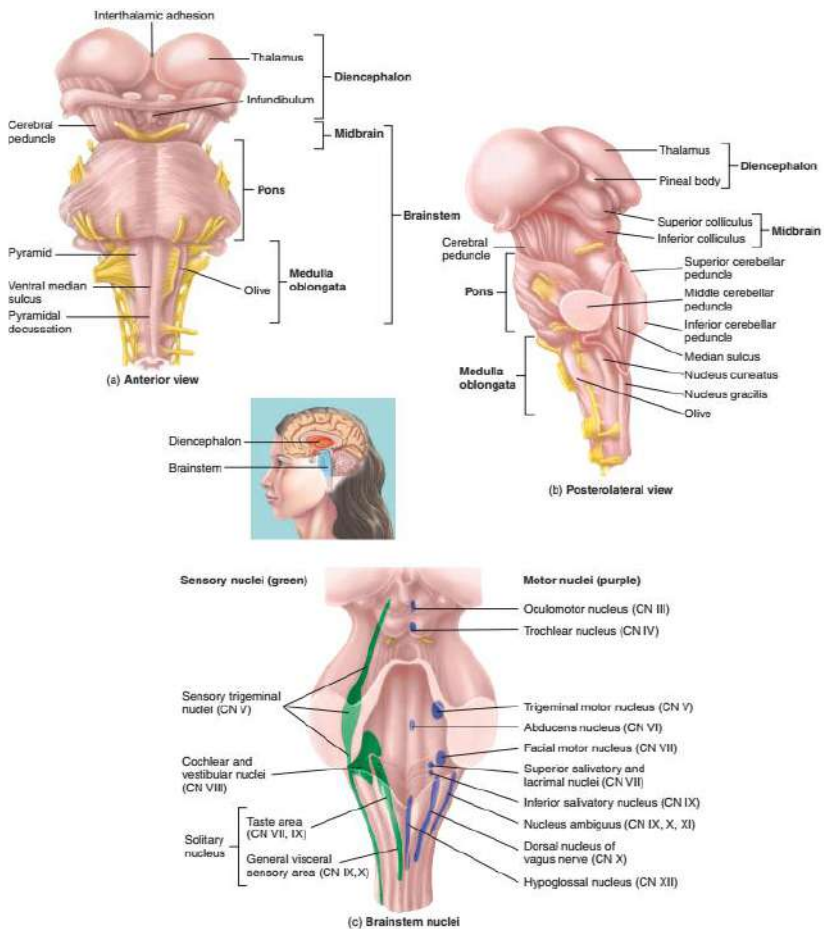
Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)

Medula oblongata, pons, dan otak tengah merupakan batang otak. Batang otak menghubungkan sumsum tulang belakang ke bagian otak lainnya dan bertanggung jawab atas banyak fungsi penting. Kerusakan pada area batang otak kecil sering kali menyebabkan kematian karena banyak refleks yang penting untuk bertahan hidup terintegrasi di batang otak, sedangkan area otak besar atau otak kecil dapat rusak tanpa mengancam jiwa. Medula oblongata, sering disebut medula, panjangnya sekitar 3 cm, merupakan bagian paling bawah dari batang otak, dan berlanjut ke bagian bawah dengan sumsum

tulang belakang. Medula oblongata berisi traktus saraf asendens dan desendens; nukleus saraf kranial; nukleus lain yang terkait; dan bagian dari formasi retikuler.

Di permukaan, sumsum tulang belakang menyatu dengan sumsum tulang belakang, tetapi secara internal terdapat beberapa perbedaan. Nukleus diskrit, kelompok materi abu-abu yang sebagian besar terdiri dari badan sel neuron dan memiliki fungsi khusus, ditemukan di sumsum oblongata, sedangkan materi abu-abu sumsum tulang belakang meluas sebagai massa kontinu di bagian tengah sumsum. Selain itu, traktus saraf di dalam sumsum tulang belakang tidak memiliki organisasi yang sama dengan sumsum tulang belakang. Beberapa nukleus meduler berfungsi sebagai pusat refleks, seperti yang terlibat dalam pengaturan denyut jantung, diameter pembuluh darah, pernapasan, menelan, muntah, cegukan, batuk, dan bersin.

Dua pelebaran menonjol pada permukaan anterior medula oblongata disebut piramida karena lebih lebar di dekat pons dan meruncing ke arah sumsum tulang belakang (gambar 2.8a). Piramida adalah traktus saraf desenden yang terlibat dalam pengendalian otot rangka secara sadar. Di dekat ujung inferiornya, sebagian besar serabut traktus saraf desenden menyilang ke sisi yang berlawanan, atau menyilang (kata Latin *decussatus* berarti membentuk X, seperti pada angka Romawi X). Silang ini menjelaskan, sebagian, fakta bahwa masing-masing bagian otak mengendalikan bagian tubuh yang berlawanan. Perannya sebagai jalur konduksi dibahas dalam uraian traktus saraf asendens dan desendens. Dua struktur bulat dan oval, yang disebut zaitun, menonjol dari permukaan anterior medula oblongata tepat di samping tepi atas piramida (gambar 2.8a dan b). Zaitun adalah nukleus yang terlibat dalam fungsi seperti keseimbangan, koordinasi, dan modulasi suara dari telinga bagian dalam. Nukleus saraf kranial V (trigeminal), IX (glossofaringeal), X (vagus), XI (aksesori), dan XII (hipoglosus) juga terletak di dalam medula (gambar 2.8c).



Gambar 2. 9. Batang Otak dan Diensefalon

(a) Tampak anterior. (b) Tampak posterolateral. (c) Nukleus batang otak. Nukleus sensoris ditunjukkan di sebelah kiri (hijau). Nukleus motorik ditunjukkan di sebelah kanan (ungu). Meskipun nukleus hanya ditunjukkan di satu sisi, masing-masing bagian batang otak memiliki nukleus sensoris dan motorik. Sisipan menunjukkan lokasi diensefalon (merah) dan batang otak (biru). (Saraf kranial CN).
Sumber: (Vander, Sherman, & Luciano, 2001)

Tegmentum (tegmentum; dasar) otak tengah sebagian besar terdiri dari traktus menaik, seperti lemniskus tulang belakang dan lemniskus medial, dari sumsum tulang belakang ke otak. Tegmentum juga mengandung inti merah berpasangan, yang dinamai demikian karena pada spesimen otak segar, warnanya merah muda sebagai hasil dari pasokan darah yang melimpah. Inti merah membantu pengaturan dan koordinasi aktivitas motorik yang tidak disadari.

Pedunkulus serebral (kaki kolom) membentuk bagian otak tengah yang berada di ventral tegmentum. Mereka terutama terdiri dari traktus menurun dari serebrum ke batang otak dan sumsum tulang belakang dan merupakan salah satu jalur motorik utama sistem saraf pusat. Substantia nigra (substansia hitam) adalah massa nukleus antara tegmentum dan tangkai serebral, yang mengandung butiran melanin sitoplasma yang memberikannya warna abu-abu gelap atau hitam (Substantia nigra) saling berhubungan dengan nukleus basal serebrum lainnya, yang dijelaskan kemudian dalam bab ini, dan terlibat dalam menjaga tonus otot dan dalam mengkoordinasikan gerakan.

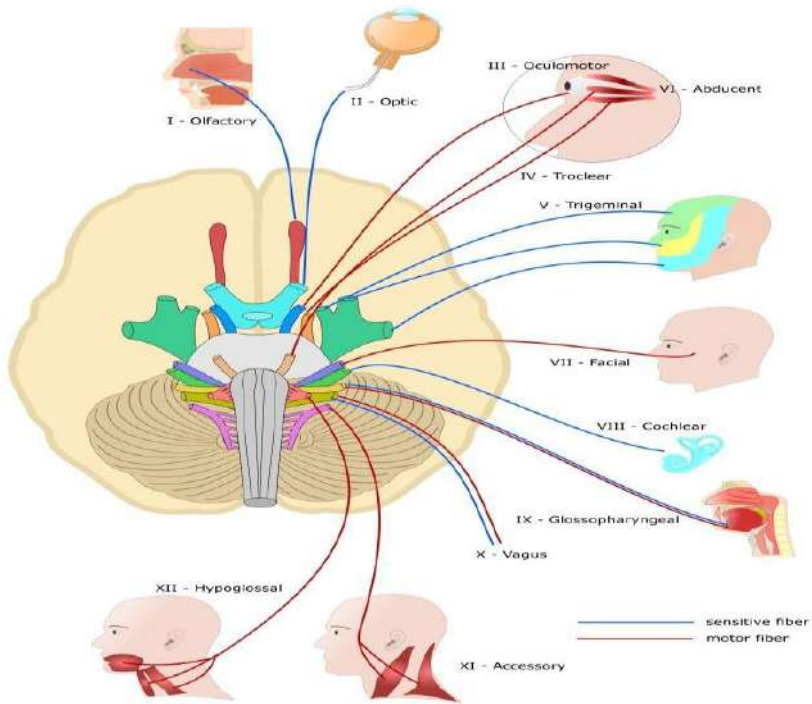
Sekelompok nukleus yang secara kolektif disebut formasi retikuler tersebar seperti awan di sepanjang batang otak. Formasi retikuler menerima akson dari sejumlah besar sumber dan terutama dari saraf yang menginervasi wajah. Istilah serebelum berarti otak kecil. Serebelum melekat pada batang otak di belakang pons. Ia berkomunikasi dengan daerah lain dari sistem saraf pusat melalui tiga jalur saraf besar: tangkai serebelum superior, medius, dan inferior, yang masing-masing menghubungkan serebelum dengan otak tengah, pons, dan medula oblongata. Serebelum memiliki korteks dan nukleus abu-abu, dengan medula putih di antaranya. Korteks serebelum memiliki tonjolan yang disebut folia. Zat putih medula menyerupai pohon yang bercabang dan disebut *arbor vitae* (ar bo-r vi - te; pohon kehidupan). Nukleus serebelum terletak di bagian tengah inferior yang dalam dari zat putih. Otak kecil

terdiri dari tiga bagian: bagian bawah yang kecil, lobus flocculonodular (floccular, yang berarti sejumput wol); vermis sentral yang sempit (berbentuk cacing); dan dua hemisfer lateral yang besar. Lobus flocculonodular adalah bagian otak kecil yang paling sederhana dan membantu mengendalikan keseimbangan dan gerakan mata. Vermis dan bagian medial hemisfer lateral terlibat dalam pengendalian postur, penggerak, dan koordinasi motorik halus, sehingga menghasilkan gerakan yang halus dan mengalir. Bagian utama hemisfer lateral terlibat, bersama korteks serebral lobus frontal, dalam merencanakan, melatih, dan mempelajari gerakan kompleks.

Ada 12 pasang saraf kranial yang berhubungan dengan otak. Saraf-saraf ini unik dalam tubuh manusia dan dapat membawa satu, beberapa, atau banyak jenis serat di dalamnya. Saraf kranial sangat berbeda dengan saraf tulang belakang (atau akar) karena tidak mengandung akar dorsal dan ventral. Bahkan, beberapa saraf kranial mungkin memiliki satu ganglion, beberapa, atau tidak sama sekali. Bahkan, saraf optik, yang bertanggung jawab untuk menyampaikan sensasi penglihatan, dianggap sebagai hasil langsung dari otak, dan dapat dibandingkan dengan jalur serat dari SSP.

Saraf kranial berasal dari otak, berbeda dengan saraf tulang belakang yang berasal dari sumsum tulang belakang. Ada 12 pasang saraf kranial. Beberapa murni motorik (misalnya, hipoglossus (XII) yang mempersarafi otot-otot lidah); beberapa murni sensorik (misalnya, saraf optik (II) yang berasal dari retina); beberapa campuran (misalnya, saraf trigeminal (V) yang bersifat sensorik terhadap wajah dan kulit kepala serta motorik terhadap otot-otot pengunyahan). Saraf-saraf kranial melekat pada otak: a) Otak depan yaitu Saraf penciuman (I) dan saraf optik (II), b) Otak tengah : Saraf okulomotor (III) dan troklearis (IV). (Troklearis unik karena muncul dari permukaan dorsal batang otak.), dan Otak belakang (Rea, 2015).

Saraf kranial (dengan nama yang sesuai) adalah sebagai berikut: I (penciuman), II (optik), III (okulomotor), IV (troklear), V (trigeminal), VI (abduksen), VII (wajah), VIII (vestibulokoklea), IX (glosfaringeal), X (vagus), XI (aksesori) dan XII (hipoglosal). Saraf kranial dapat dikelompokkan, berdasarkan fungsinya, menjadi tiga kelompok: a) Sensorik murni: I (saraf penciuman), II (saraf optik), VIII (saraf vestibulokoklea). b) Motorik murni: III (okulomotor), IV (troklearis), VI (abduksen), XI (aksesoris), XII (hipoglosus). c) Campuran motorik dan sensorik: V (trigeminal), VII (wajah), IX (glossopharyngeal), X (vagus) (Bazira, 2021).



Gambar 2. 10. Saraf Kranial

Sumber: (Sonne & Ojeda, 2022)

DAFTAR PUSTAKA

- Bazira, P. J. (2021). An Overview of the Nervous System. *Surgery*, 451-462.
- Fox, S. I. (2004). *Human Physiology 8th Edition*. Boston: McGraw-Hill.
- Hermawan, d. (2007). *Media Pembelajaran SD*. Bandung: UPI Press.
- Istockphoto. (2017, Oktober 24). *Istock*. Retrieved from Tts7: <https://www.istockphoto.com/id/vektor/jenis-neuroglia-gm865910046-143855337>
- Kaiser, J. T., & Lugo-Pico, J. G. (2023, Agustus 24). *StatPearls [Internet]*. Retrieved from Treasure Island (FL): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542218/>
- Rea, P. (2015). Tinjauan Umum Sistem Saraf. In *Essential Clinically Applied Anatomy of the Peripheral Nervous System in the Limbs* (pp. 1-40). Amsterdam: Elsevier.
- Seeley, R. R., Stephens, T. D., & Philip, T. (2004). *Anatomy and Physiology, 6th*. Boston: The McGraw-Hill.
- Sonne, J., & Ojeda, W. L. (2022, Desember 22). *StatPearls [Internet]*. Retrieved from Treasure Island (FL): <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470353/>
- Vander, A. J., Sherman, J. H., & Luciano, D. S. (2001). *Human Physiology: The Mechanisms of Body Function*. Boston: McGraw-Hill.
- Waugh, A., & Grant, A. (2004). *Ross and Wilson: Anatomy and Physiology in Health and Illness*. Edinburg: Churchill Livingstone Elsevier.

BAB 3

SISTEM OTOT

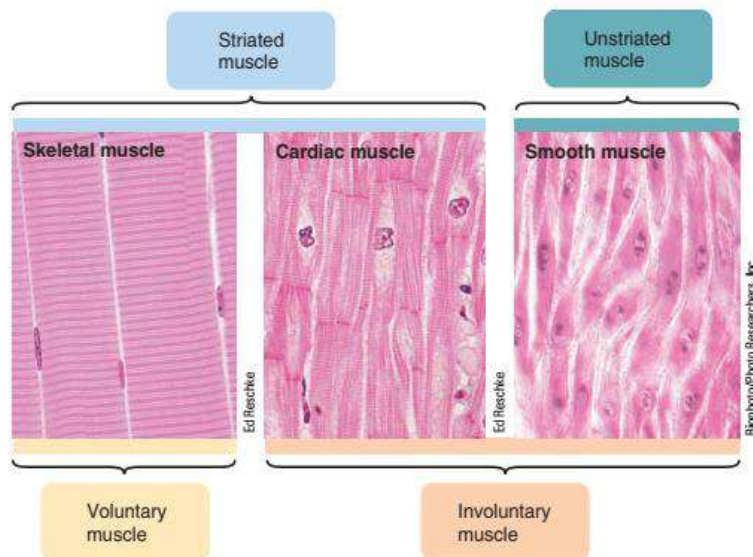
3.1 Pendahuluan

Dengan menggerakkan komponen intraseluler yang terspesialisasi, sel otot dapat mengembangkan ketegangan dan memendek, yaitu berkontraksi. Ingatlah bahwa tiga jenis otot adalah otot rangka, otot jantung, dan otot polos. Melalui kemampuannya yang sangat berkembang untuk berkontraksi, kelompok sel otot yang bekerja bersama dalam otot dapat menghasilkan gerakan dan melakukan kerja. Kontraksi otot yang terkendali memungkinkan (1) gerakan yang bertujuan pada seluruh tubuh atau bagian tubuh (seperti berjalan atau melambatkan tangan), (2) manipulasi objek eksternal (seperti mengendarai mobil atau memindahkan perabot), (3) mendorong isi melalui berbagai organ internal berongga (seperti sirkulasi darah atau pergerakan makanan melalui saluran pencernaan), dan (4) mengosongkan isi organ tertentu ke lingkungan eksternal (seperti buang air kecil atau melahirkan).

Otot terdiri dari kelompok jaringan terbesar dalam tubuh, yang mencakup sekitar setengah dari berat tubuh. Otot rangka sendiri membentuk sekitar 40% dari berat tubuh pada pria dan 32% pada wanita, sedangkan otot polos dan otot jantung membentuk 10% dari berat total. Meskipun ketiga jenis otot tersebut berbeda secara struktural dan fungsional, mereka dapat diklasifikasikan dalam dua cara berbeda menurut karakteristik umumnya. Pertama, otot dikategorikan sebagai otot lurik (otot rangka dan otot jantung) atau otot polos (otot polos), tergantung pada apakah pita gelap dan terang yang berselang-seling, atau lurik (garis-garis), dapat terlihat ketika otot dilihat di bawah mikroskop cahaya. Kedua, otot dikategorikan sebagai otot

volunter (otot rangka) atau otot involunter (otot jantung dan otot polos), masing-masing tergantung pada apakah otot tersebut dipersarafi oleh sistem saraf somatik dan tunduk pada kontrol volunter, atau dipersarafi oleh sistem saraf otonom dan tidak tunduk pada kontrol volunter.

Meskipun otot rangka dikategorikan sebagai otot yang dapat dikendalikan secara sadar, banyak aktivitas otot rangka juga tunduk pada regulasi bawah sadar dan tidak sadar, seperti yang terkait dengan postur, keseimbangan, dan gerakan stereotip seperti berjalan.



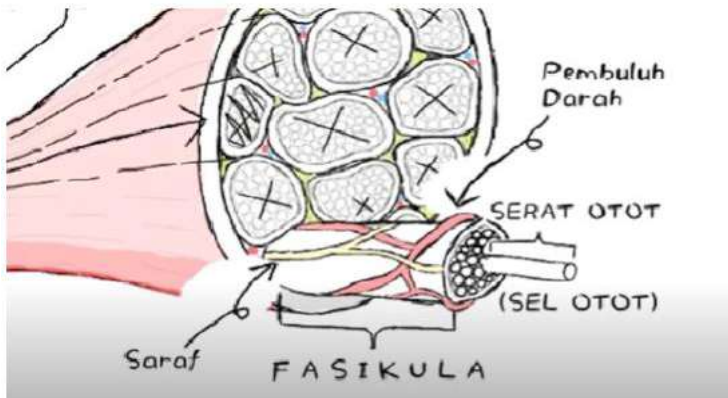
Gambar 3. 1. Jenis-jenis Otot

Sumber: (Sherwood, 2010)

3.2 Anatomi Otot Lurik

Otot lurik atau otot rangka (*skeletal muscle*), misal pada otot bicep atau otot lengan atas, yang pada orang aktif melakukan gym atau latihan beban, terlihat ototnya keras dan berbentuk. Satu otot bicep disebut sebagai organ otot. Kenapa

disebut organ?, organ adalah struktur yang tersusun dari jaringan-jaringan. Jadi satu otot bisep disebut sebagai organ karena tersusun dari jaringan-jaringan. Jaringan tersebut tersusun atas sel-sel. Jika dilihat sekilas organ otot seperti tersusun atas bulatan yang dipisahkan jaringan ikat. Tapi sebenarnya struktur bulat bulat ini bentuknya memanjang seperti tali. Misal satu bulatan ditarik keluar, maka satu struktur tali seperti pada gambar 3.2 disebut dengan fasikula. Jadi satu organ otot tersusun dari beberapa fasikula.

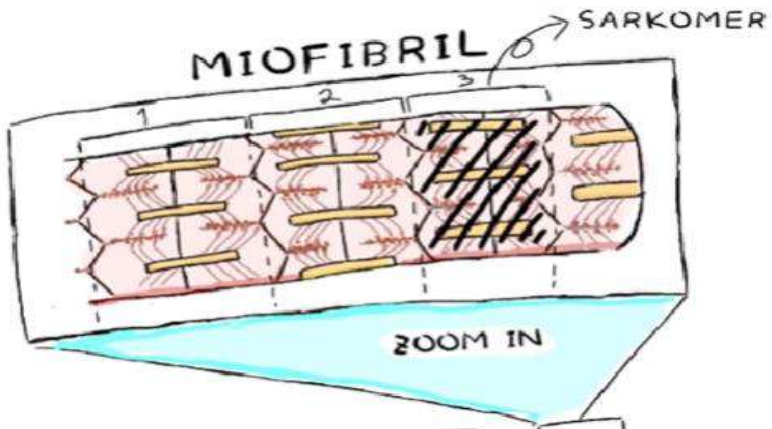


Gambar 3. 2. Otot dan Serat Otot

Sumber; (Ramadhan, 2020)

Satu organ otot tersusun dari beberapa fasikula dan jika diperhatikan fasikula dikelilingi oleh berbagai jaringan seperti pembuluh darah dan jaringan saraf. Hal ini menunjukkan organ otot memang tersusun atas berbagai macam jaringan dan mereka saling bekerjasama secara kompleks agar otot dapat beraktifitas sesuai semestinya. Setiap fasikula tersusun atas struktur yang berbentuk seperti tali-tali yang lebih kecil lagi. Jika 1 struktur tali yang tipis ini ditarik keluar ini disebut dengan serat otot atau sel otot. Karena sel maka memiliki organel-organel sel sama halnya pada sel umumnya, seperti mitokondria untuk menghasilkan energi. Namun, karena beban kerja otot lurik cukup berat sehingga memiliki banyak mitokondria, memiliki membran sel yang melapisinya yang disebut dengan

sarkolema, memiliki nukleus (inti sel). Uniknya sel otot memiliki beberapa inti sel di dalam satu sel. Satu sel otot ini pula tersusun atas struktur tali yang lebih kecil lagi dan tipis. Struktur ini disebut dengan miofibril dan akan ditemukan aktin dan miosin. Serat miofibril tersusun atas bentuk yang berulang-ulang. Satu bentuk yang berulang seperti pada gambar disebut dengan 1 sarkomer. Jadi pada gambar 3.2 tersusun atas 3 sarkomer. Setiap sarkomer tersusun atas filamen tebal dan filamen tipis. Filamen bisa dikatakan serat seperti benang. Filamen tipis disebut dengan aktin sedangkan filamen tebal disebut dengan miosin.

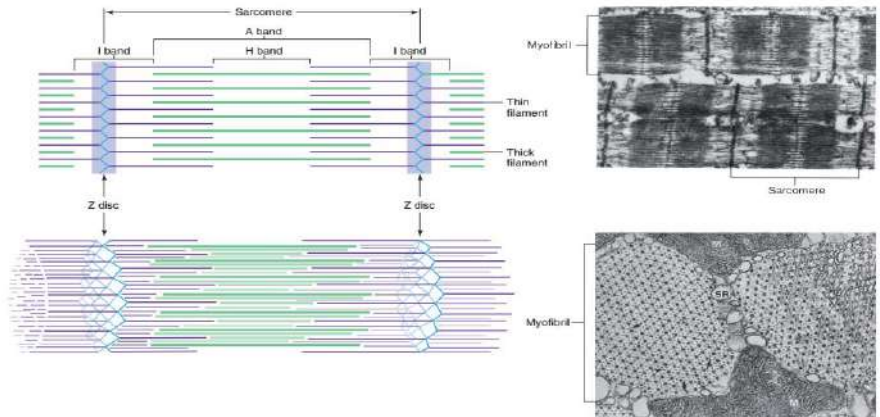


Gambar 3. 3. Ilustrasi Sarkomer

Sumber: (Ramadhan, 2020)

Sebelah kanan dan kiri sarkomer dibatasi oleh garis Z. Bagian tengah sarkomer terdapat garis M. Miosin berikatan dengan garis M sedangkan aktin berikatan dengan garis Z. Aktin dan miosin berperan dalam kontraksi otot. Oleh karena itu, sarkomer disebut juga sebagai unit kontraksi. Maksudnya setiap sarkomer ini dapat berkontraksi. Kontraksi bisa dikatakan mengecil dan mengeras. Jika sekelompok sarkomer berkontraksi maka 1 buah miofibril akan berkontraksi. Jika sekelompok miofibril berkontraksi maka satu sel otot akan berkontraksi. Jika

sekelompok sel otot berkontraksi maka satu buah fasikula berkontraksi, dan tentunya jika sekelompok fasikula berkontraksi maka satu organ otot akan berkontraksi.



Gambar 3. 4. Susunan filamen tebal dan tipis dalam serat otot lurik.

(a) Pada potongan memanjang, filamen tebal dan tipis terlihat membentuk unit berulang yang disebut sarkomer. Pola pita sarkomer diberi label I, A, dan H, seperti yang ditunjukkan. Mikrograf elektron yang sesuai (53.000×) ditunjukkan di sebelah kanan ilustrasi. (b) Struktur tiga dimensi sarkomer diilustrasikan. Struktur tiga dimensi ini dapat dilihat pada potongan melintang miofibril yang diambil melalui daerah filamen tebal dan tipis yang saling tumpang tindih. Dalam mikrograf elektron, anak panah menunjuk ke jembatan silang antara filamen tebal (titik gelap) dan filamen tipis (titik terang). (SR = retikulum sarkoplasma; M = mitokondria).

Sumber: (Fox, 2004)

3.3 Mekanisme Kontraksi Otot

Posisi aktin dan miosin sebelum proses kontraksi dimulai, miosin dalam keadaan istirahat dan menempel pada aktin. Untuk memulai proses kontraksi hal pertama yang terjadi adalah datangnya ATP (*adenosine triphosphate*) sebagai sumber energi dan ATP akan menempel ke kepala miosin (bagian miosin yang bulat). Menempelnya ATP menyebabkan kepala miosin

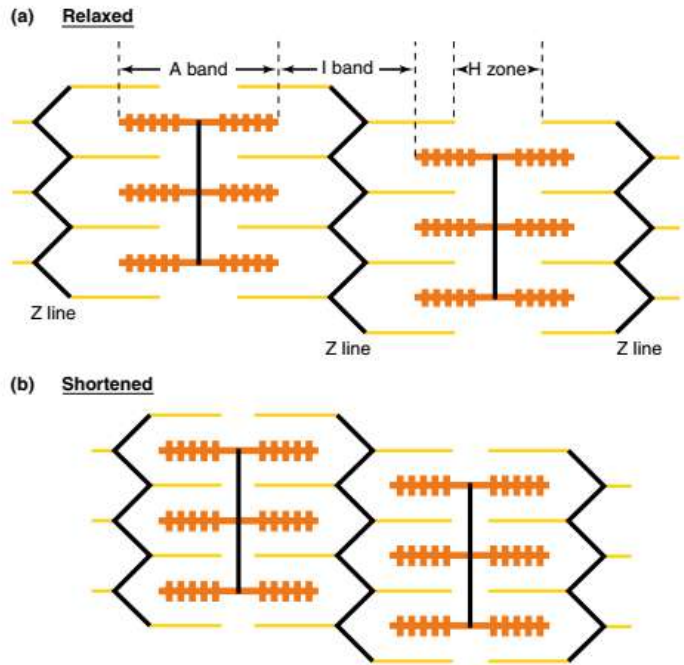
lepas dari aktin. Ini merupakan tahap pertama. Sebelum masuk ke tahap kedua, kita harus paham terlebih dahulu mengenai cara kerja ATP sebagai sumber energi.

ATP adalah struktur yang tersusun dari 1 buah adenosin dan 3 buah fosfat. Diantara 3 buah fosfat ini terdapat energi ikatan yang sangat kuat. Lepasnya 1 buah fosfat dari ATP akan menyebabkan energi tinggi dari 1 buah ikatan ini untuk lepas juga. ATP akan berubah menjadi ADP (adenosine diphosphate). Karena sisa fosfat yang menempel pada adenosin sisa 2. Reaksi kimianya dapat dituliskan seperti ini, $ATP \rightarrow ADP + P + E$. Energi yang dilepas dapat digunakan oleh jaringan maupun sel sebagai sumber energi.

Tahap kedua, miosin adalah sebuah *ATPase*, *ase* artinya enzim, yang berarti ATPase adalah enzim yang dapat mengubah ATP menjadi pecahan-pecahannya. Pada tahap kedua ini miosin sebagai ATPase akan memecah ATP menjadi $ADP + P + E$. Energi yang dilepas dari ikatan fosfat sekaan-akan diubah atau dikonversi menjadi energi kepala miosin. Selanjutnya kepala miosin masuk ke tahap tinggi energi. Maksudnya adalah miosin sekarang dalam kondisi penuh energi.

Tahap ketiga, walaupun ATP sudah pecah menjadi ADP, fosfat, dan energi. ADP dan fosfat masih menempel pada miosin yang berada dalam kondisi tinggi energi ini. Tahap ketiga fosfat akan lepas dari kepala miosin dan ternyata ini menyebabkan terlepasnya energi yang terkurung di dalam kepala miosin yang berada dalam kondisi tinggi energi tadi. Lepasnya energi ini akan membuat miosin mendorong aktin. Dorongan ini menyebabkan aktin bergerak ke tengah atau ke arah garis M. Karena aktin berikatan dengan garis Z. Aktin yang bergerak ke tengah akan sekaligus menarik dinding-dinding sarkomer agar 1 sarkomer menyempit dan berkontraksi. Tahap akhir, kepala miosin kembali ke posisi awal yang mana masih terdapat ADP. ADP akan dilepas sehingga kondisi miosin kembali lagi 100% seperti kondisi awal. Tahap pertama sampai dengan tahap akhir

adalah satu buah siklus kerja aktin dan miosin. Jika siklus tersebut berulang maka kontraksi ototnya semakin kencang.



Gambar 3. 5. Pergeseran filamen tebal melewati filamen tipis yang saling tumpang tindih menghasilkan pemendekan tanpa mengubah panjang filamen tebal atau tipis.

Sumber: (Vander, Sherman, & Luciano, 2001)

DAFTAR PUSTAKA

- Fox, S. I. (2004). *Human Physiology 8th Edition*. Boston: McGraw-Hill.
- Ramadhan, G. M. (Director). (2020). *Anatomi Otot Lurik (Overview)* [Motion Picture].
- Sherwood, L. (2010). *Human Physiology from Cell to System*. USA: Brooks/Cole.
- Vander, A. J., Sherman, J. H., & Luciano, D. S. (2001). *Human Physiology: The Mechanisms of Body Function*. Boston: McGraw-Hill.

BAB 4

SISTEM RANGKA

4.1 Tulang dan Jaringan Tulang

Duduk, berdiri, berjalan, mengambil pensil, dan menarik napas semuanya melibatkan sistem rangka. Kerangka struktural inilah yang memberi bentuk pada tubuh dan memberikan perlindungan bagi organ dalam dan jaringan lunak. Sistem rangka memiliki empat komponen: tulang, tulang rawan, tendon, dan ligamen. Istilah rangka berasal dari kata Yunani yang berarti kering, yang menunjukkan bahwa rangka adalah bagian kering dan keras yang tersisa setelah bagian yang lebih lunak dibuang. Bahkan setelah daging dan organ dibuang, rangka mudah dikenali sebagai manusia. Meskipun dikaitkan dengan kematian, sistem rangka sebenarnya terdiri dari jaringan hidup yang dinamis yang mampu tumbuh, beradaptasi dengan stres, dan menjalani perbaikan setelah cedera.

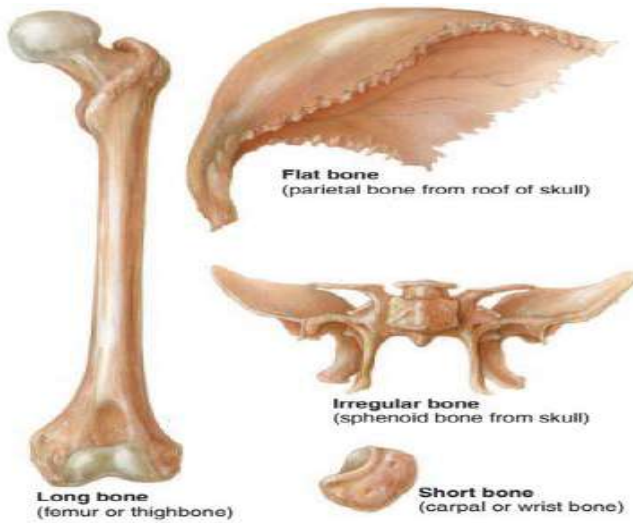
Sistem rangka memberikan dukungan dan perlindungan, memungkinkan gerakan tubuh, menyimpan mineral dan lemak, dan merupakan tempat produksi sel darah. 1) Dukungan, tulang yang kaku dan kuat sangat cocok untuk menahan beban dan merupakan jaringan pendukung utama tubuh. Tulang rawan memberikan dukungan yang kuat namun fleksibel dalam struktur tertentu, seperti hidung, telinga luar, rongga dada, dan trakea. Ligamen adalah pita kuat jaringan ikat fibrosa yang menempel pada tulang dan menyatukannya. 2) Perlindungan, tulang keras dan melindungi organ yang dikelilinginya. Misalnya, tengkorak membungkus dan melindungi otak, dan tulang belakang mengelilingi sumsum tulang belakang. Tulang rusuk melindungi jantung, paru-paru, dan organ lain di dada. 3) Gerakan, otot rangka menempel pada tulang melalui tendon, yang merupakan pita kuat jaringan ikat. Kontraksi otot rangka

menggerakkan tulang, menghasilkan gerakan tubuh. Sendi, yang terbentuk saat dua atau lebih tulang bertemu, memungkinkan pergerakan antar tulang. Tulang rawan halus menutupi ujung tulang di beberapa sendi, yang memungkinkan tulang bergerak bebas. Ligamen memungkinkan pergerakan antar tulang tetapi mencegah pergerakan berlebihan. 4) Penyimpanan, beberapa mineral dalam darah diserap ke tulang dan disimpan. Jika kadar mineral ini dalam darah menurun, mineral dilepaskan dari tulang ke dalam darah. Mineral utama yang disimpan adalah kalsium dan fosfor. Lemak (jaringan adiposa) juga disimpan di rongga tulang. Jika diperlukan, lemak dilepaskan ke dalam darah dan digunakan oleh jaringan lain sebagai sumber energi. 5) Produksi sel darah. Banyak tulang mengandung rongga yang diisi dengan sumsum tulang yang menghasilkan sel darah dan trombosit.

Tulang rawan terbagi menjadi tiga jenis: tulang rawan hialin, tulang rawan fibrosa, dan tulang rawan elastis. Meskipun setiap jenis tulang rawan dapat memberikan dukungan, tulang rawan hialin paling erat kaitannya dengan tulang. Pemahaman tentang tulang rawan hialin penting karena sebagian besar tulang dalam tubuh berkembang darinya. Selain itu, pertumbuhan panjang tulang dan perbaikan tulang seringkali melibatkan produksi tulang rawan hialin yang diikuti dengan penggantinya dengan tulang. Tulang rawan hialin terdiri dari sel-sel khusus yang menghasilkan matriks yang mengelilingi sel-sel tersebut. Sel-sel yang menghasilkan matriks tulang rawan baru adalah kondroblas (kon dro⁻-blastz; chondro berasal dari kata Yunani chondrion dan berarti tulang rawan). Ketika matriks mengelilingi kondroblas, ia menjadi kondrosit (kon dro⁻-si^t), yang merupakan sel bulat yang menempati ruang di dalam matriks yang disebut lacuna (la[~]-koo na[~]). Matriks mengandung kolagen, yang memberikan kekuatan, dan proteoglikan, yang membuat tulang rawan menjadi tangguh dengan memerangkap air.

Perikondrium (per-i-kon dre-ũm) adalah selubung jaringan ikat berlapis ganda yang menutupi sebagian besar tulang rawan. Lapisan luar perikondrium adalah jaringan ikat padat tidak beraturan yang mengandung fibroblas. Lapisan dalam yang lebih halus memiliki lebih sedikit serat dan mengandung kondroblas. Pembuluh darah dan saraf menembus lapisan luar perikondrium tetapi tidak memasuki matriks tulang rawan, sehingga nutrisi harus berdifusi melalui matriks tulang rawan untuk mencapai kondrosit. Tulang rawan artikular (ar-tik u-lãr), yaitu tulang rawan yang menutupi ujung tulang tempat tulang-tulang tersebut bersatu untuk membentuk sendi, tidak memiliki perikondrium, pembuluh darah, atau saraf.

Tulang-tulang individual diklasifikasikan menurut bentuknya sebagai tulang panjang, pendek, pipih, atau tidak beraturan. Tulang panjang lebih panjang daripada lebarnya. Sebagian besar tulang anggota tubuh bagian atas dan bawah adalah tulang panjang. Tulang pendek kira-kira selebar panjangnya. Tulang pendek berbentuk hampir kubus atau bundar dan dicontohkan oleh tulang pergelangan tangan (karpal) dan pergelangan kaki (tarsal). Tulang pipih memiliki bentuk yang relatif tipis, pipih, dan biasanya melengkung. Contoh tulang pipih adalah tulang tengkorak tertentu, tulang rusuk, tulang dada (sternum), dan tulang belikat (scapula). Tulang tidak beraturan, seperti tulang belakang dan tulang wajah, memiliki bentuk yang tidak mudah masuk ke dalam tiga kategori lainnya.



Gambar 4. 1. Bentuk tulang

Sumber: (Guyton & Hall, 2006)

Tulang terdiri dari matriks tulang ekstraseluler dan sel-sel tulang. Komposisi matriks tulang bertanggung jawab atas karakteristik tulang. Sel-sel tulang menghasilkan matriks tulang, terperangkap di dalamnya, dan memecahnya sehingga matriks baru dapat menggantikan matriks lama. Berdasarkan beratnya, matriks tulang dewasa biasanya terdiri dari sekitar 35% bahan organik dan 65% bahan anorganik. Bahan organik utamanya terdiri dari kolagen dan proteoglikan. Bahan anorganik utamanya terdiri dari kristal kalsium fosfat yang disebut hidroksiapatit, yang memiliki rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Komponen kolagen dan mineral bertanggung jawab atas karakteristik fungsional utama tulang. Matriks tulang dapat dikatakan menyerupai beton bertulang. Kolagen, seperti batang baja tulangan, memberikan kekuatan fleksibel pada matriks, sedangkan komponen mineral, seperti beton, memberikan kekuatan kompresi (menahan beban) pada matriks. Jika semua mineral dihilangkan dari tulang panjang, kolagen menjadi

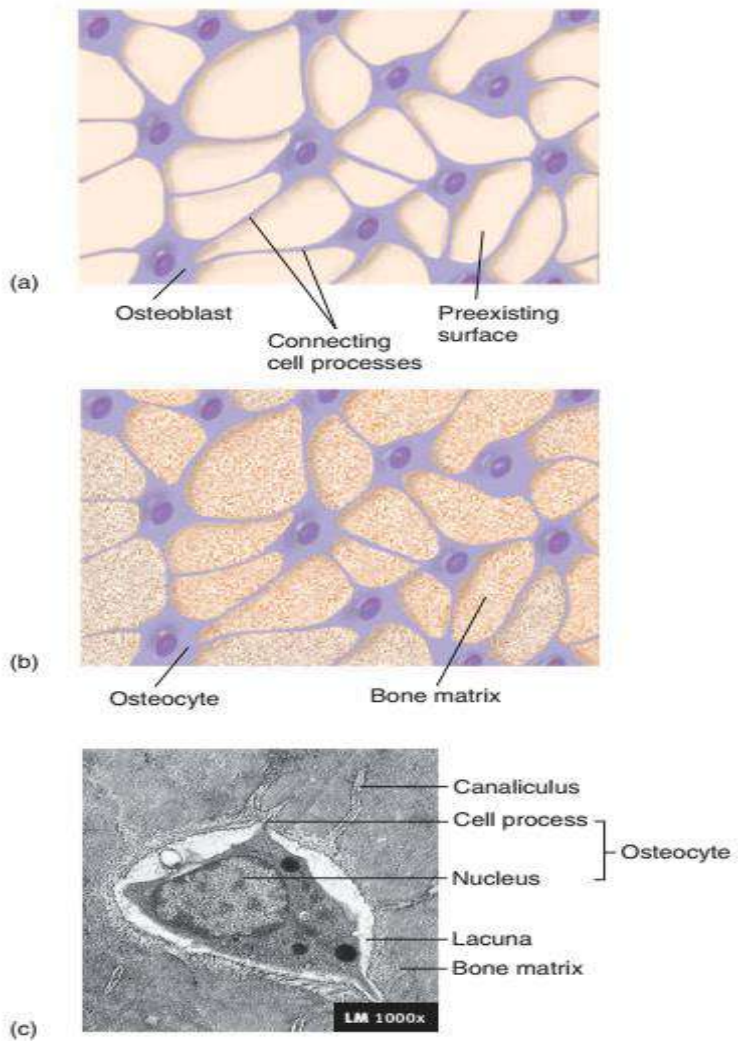
penyusun utama, dan tulang menjadi terlalu fleksibel. Di sisi lain, jika kolagen dihilangkan dari tulang, komponen mineral menjadi penyusun utama, dan tulang menjadi sangat rapuh.

Sel tulang dikategorikan sebagai osteoblas, osteosit, dan osteoklas, yang memiliki fungsi dan asal berbeda. Osteoblas memiliki retikulum endoplasma yang luas dan banyak ribosom. Mereka menghasilkan kolagen dan proteoglikan, yang dikemas ke dalam vesikel oleh aparatus Golgi dan dilepaskan dari sel melalui eksositosis. Osteoblas juga membentuk vesikel yang mengumpulkan ion kalsium (Ca^{2+}), ion fosfat (PO_4^{2-}), dan berbagai enzim. Isi vesikel ini dilepaskan dari sel melalui eksositosis dan digunakan untuk membentuk kristal hidroksiapatit. Sebagai hasil dari proses ini, matriks tulang yang termineralisasi terbentuk. Osifikasi atau osteogenesis adalah pembentukan tulang oleh osteoblas. Proses sel memanjang dari osteoblas terhubung ke proses sel osteoblas lain melalui *gap junction*. Osteoblas kemudian membentuk matriks tulang ekstraseluler yang mengelilingi sel dan prosesusnya.

Setelah osteoblas dikelilingi oleh matriks tulang, ia menjadi sel tulang dewasa yang disebut osteosit (osteosit). Osteosit menjadi relatif tidak aktif dibandingkan dengan kebanyakan osteoblas, tetapi mereka mungkin menghasilkan komponen yang dibutuhkan untuk mempertahankan matriks tulang. Ruang yang ditempati oleh badan sel osteosit disebut lacunae (lakuna), dan ruang yang ditempati oleh prosesus sel osteosit disebut kanalikuli (kanalikuli; yang berarti kanal kecil) Dalam arti tertentu, sel-sel dan prosesusnya membentuk "cetakan" yang di sekelilingnya matriks terbentuk. Tulang berbeda dari tulang rawan karena prosesus sel-sel tulang bersentuhan satu sama lain melalui kanalikuli. Alih-alih berdifusi melalui matriks mineralisasi, nutrisi dan gas dapat melewati sejumlah kecil cairan yang mengelilingi sel-sel dalam kanalikuli dan lakuna atau berpindah dari sel ke sel melalui sambungan celah yang menghubungkan prosesus sel.

Osteoklas adalah sel besar dengan beberapa inti dan bertanggung jawab atas resorpsi, atau kerusakan, tulang. Di mana membran plasma osteoklas bersentuhan dengan matriks tulang, ia membentuk banyak tonjolan yang disebut batas bergelombang. Ion hidrogen dipompa melintasi batas bergelombang dan menghasilkan lingkungan asam yang menyebabkan dekalsifikasi matriks tulang. Osteoklas juga melepaskan enzim yang mencerna komponen protein matriks. Melalui proses endositosis, sebagian produk kerusakan resorpsi tulang dibawa ke osteoklas. Osteoklas memecah tulang paling baik saat bersentuhan langsung dengan matriks tulang yang termineralisasi. Osteoblas membantu resorpsi tulang oleh osteoklas dengan menghasilkan enzim yang memecah lapisan tipis matriks organik tak termineralisasi yang biasanya menutupi tulang. Penghapusan lapisan ini oleh osteoblas memungkinkan osteoklas bersentuhan dengan tulang yang termineralisasi.

Jaringan ikat berkembang secara embriologis dari sel-sel mesenkim. Beberapa sel mesenkim menjadi sel-sel induk, yang memiliki kemampuan untuk bereplikasi dan menghasilkan jenis sel yang lebih terspesialisasi. Sel-sel progenitor osteokondral adalah sel-sel induk yang memiliki kemampuan untuk menjadi osteoblas atau kondroblas. Sel-sel progenitor osteokondral terletak di lapisan dalam perikondrium, lapisan dalam periosteum, dan di endosteum. Dari lokasi-lokasi ini, mereka dapat menjadi sumber potensial osteoblas atau kondroblas baru. Osteoblas berasal dari sel-sel progenitor osteokondral, dan osteosit berasal dari osteoblas. Apakah osteosit yang dibebaskan dari matriks tulang di sekitarnya melalui resorpsi dapat kembali menjadi osteoblas aktif atau tidak masih menjadi masalah yang diperdebatkan. Osteoklas tidak berasal dari sel-sel progenitor osteokondral, tetapi berasal dari sel-sel induk di sumsum tulang merah. Sel induk sumsum tulang yang menghasilkan jenis sel darah putih, yang disebut monosit, juga merupakan sumber osteoklas. Osteoklas berinti banyak kemungkinan merupakan hasil fusi banyak keturunan sel induk.



Gambar 4. 2. Osifikasi

(a) Osteoblas pada permukaan yang sudah ada sebelumnya, seperti tulang rawan atau tulang. Proses sel dari berbagai osteoblas bergabung bersama. (b) Osteoblas telah menghasilkan matriks tulang. Osteoblas sekarang menjadi osteosit. (c) Fotomikrograf osteosit dalam lakuna dengan proses sel di kanalikuli

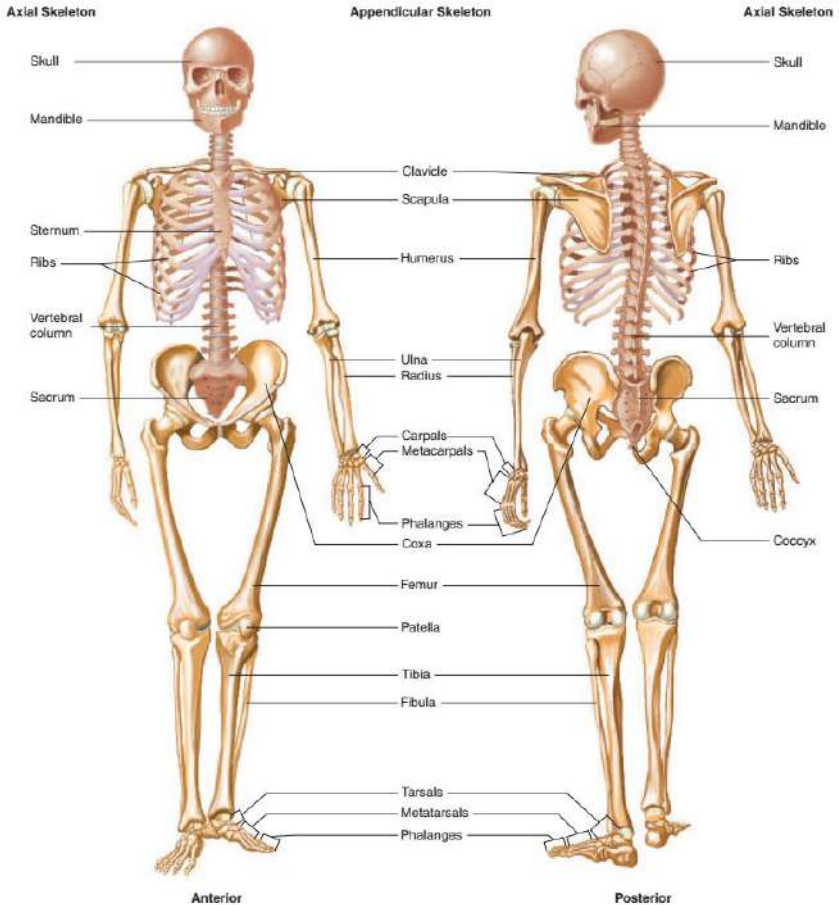
Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)

4.2 Pembagian Sistem Rangka

Jika tubuh tidak memiliki kerangka, tubuh mungkin terlihat seperti boneka kain yang tidak diisi dengan baik. Tanpa sistem rangka, kita tidak akan memiliki kerangka untuk membantu mempertahankan bentuk dan kita juga tidak akan dapat banyak bergerak. Sebagian besar otot bekerja pada tulang untuk menghasilkan gerakan, seringkali menarik tulang dengan kekuatan yang cukup besar. Jadi tanpa kerangka, otot tidak akan membuat tubuh bergerak. Tulang manusia sangat kuat dan dapat menahan gaya tekukan dan tekanan yang luar biasa tanpa patah. Meskipun demikian, setiap tahun hampir 2 juta orang Amerika berhasil mematahkan tulang. Sistem rangka meliputi tulang, tulang rawan, ligamen, dan tendon. Namun, untuk mempelajari anatomi kasar kerangka, tulang yang dikeringkan dan disiapkan digunakan. Hal ini memungkinkan fitur utama tulang individu terlihat jelas tanpa terhalang oleh jaringan lunak terkait, seperti otot, tendon, ligamen, tulang rawan, saraf, dan pembuluh darah. Namun, sebagai konsekuensinya, hubungan penting antara tulang dan jaringan lunak mudah diabaikan, dan fakta bahwa tulang hidup memiliki jaringan lunak, seperti periosteum.

Kerangka orang dewasa rata-rata memiliki 206 tulang (gambar 4.3 dan tabel 4.1). Meskipun ini adalah jumlah tradisional, jumlah tulang yang sebenarnya bervariasi dari orang ke orang dan berkurang seiring bertambahnya usia karena beberapa tulang menyatu. Sebagian besar fitur ini didasarkan pada hubungan antara tulang dan jaringan lunak terkait. Jika tulang memiliki tuberkel (toober-kl; benjolan) atau proses (proyeksi), struktur tersebut biasanya ada karena ligamen atau tendon melekat pada tuberkel atau proses tersebut selama hidup. Jika tulang memiliki permukaan artikular yang halus, permukaan tersebut merupakan bagian dari sendi dan ditutupi dengan tulang rawan artikular. Jika tulang memiliki foramen (fo⁻-ra⁻men; jamak foramina; f⁻ o-rami-n[~] a; lubang) di dalamnya,

foramen tersebut ditempati oleh sesuatu seperti saraf atau pembuluh darah.



Gambar 4.3 Rangka Lengkap
Sumber: (Waugh & Grant, 2004)

Beberapa tulang mengandung ruang udara yang dilapisi selaput lendir yang disebut sinus. Tulang-tulang ini tersusun dari tulang padat yang tipis dan tembus cahaya, serta memiliki sedikit atau tidak ada bagian tengah kanselus

Rangka aksial terbagi menjadi tengkorak, tulang hyoid, tulang belakang, dan rongga toraks, atau rongga tulang rusuk. Rangka aksial membentuk sumbu tegak tubuh. Kerangka ini juga melindungi otak, sumsum tulang belakang, dan organ-organ vital yang berada di dalam toraks. Kerangka apendikular (lihat gambar 4.3) terdiri dari tulang-tulang anggota tubuh bagian atas dan bawah serta korset yang menghubungkannya dengan tubuh. Istilah korset berarti sabuk atau zona dan mengacu pada dua zona, dada dan panggul, tempat anggota tubuh terhubung dengan tubuh.

Tabel 4. 1. Nama tulang dan Jumlahnya

Tulang	Jumlah	Tulang	Jumlah
Rangka Axial		Rangka Apendikular	
Tengkorak (kranium)		Korset dada	
Neurocranium		Scapula	2
Parietal	2	Klavikula	2
Temporal	2	Anggota tubuh bagian atas	
Frontal	1	Humerus	2
Sphenoid	1	Ulna	2
Oksipital	1	Radius	2
Etmoid	1	Carpals	16
Wajah		Metacarpals	10
Maxilla	2	Phalanges	28
Zigomatic	2	Total	64
Palatine	2	Pelvic girdle	
Lacrima	2	Coxa	2
Nasal	2	Anggota tubuh bagian bawah	
Inferior nasal concha	2	Femur	2
Mandibula	2	Tibia	2
Vomer	2	Fibula	2
Total	22	Patella	2
Tulang-tulang yang berhubungan dengan		Tarsals	14
Tengkorak		Metatarsals	10
Malleus	2	Phalanges	28
Incus	2		
Stapes	2		
Hyoid	1		
Total	7		
Tulang belakang			
Cervical vertebrae	7		

Tulang	Jumlah	Tulang	Jumlah
Thoracic vertebrae	12		
Lumbar vertebrae	5		
Sacrum	1		
Coccyx	1		
Total	26		
Rongga dada			
Tulang rusuk (ribs)	24		
Tulang dada (sternum)	1		
Total	25		

Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)

DAFTAR PUSTAKA

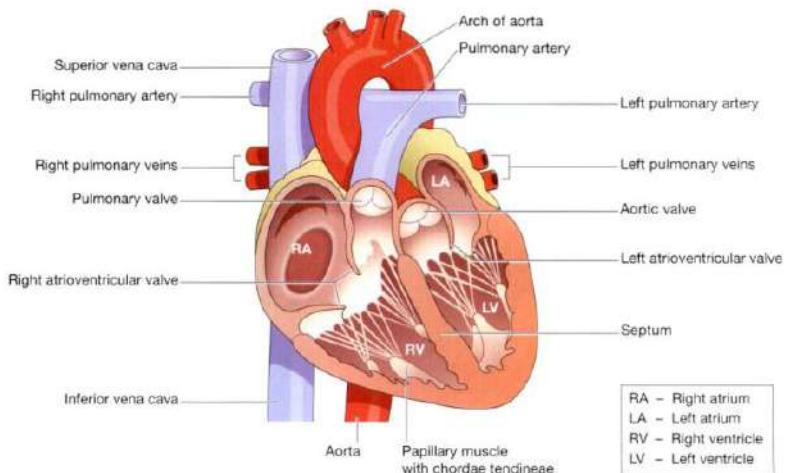
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2006). *Medical Physiology eleventh edition*. Amsterdam: Elsevier.
- Seeley, R. R., Stephens, T. D., & Philip, T. (2004). *Anatomy and Physiology, 6th*. Boston: The McGraw-Hill.
- Waugh, A., & Grant, A. (2004). *Ross and Wilson: Anatomy and Physiology in Health and Illness*. Edinburg: Churchill Livingstone Elsevier.

BAB 5

SISTEM KARDIOVASKULAR

5.1 Jantung

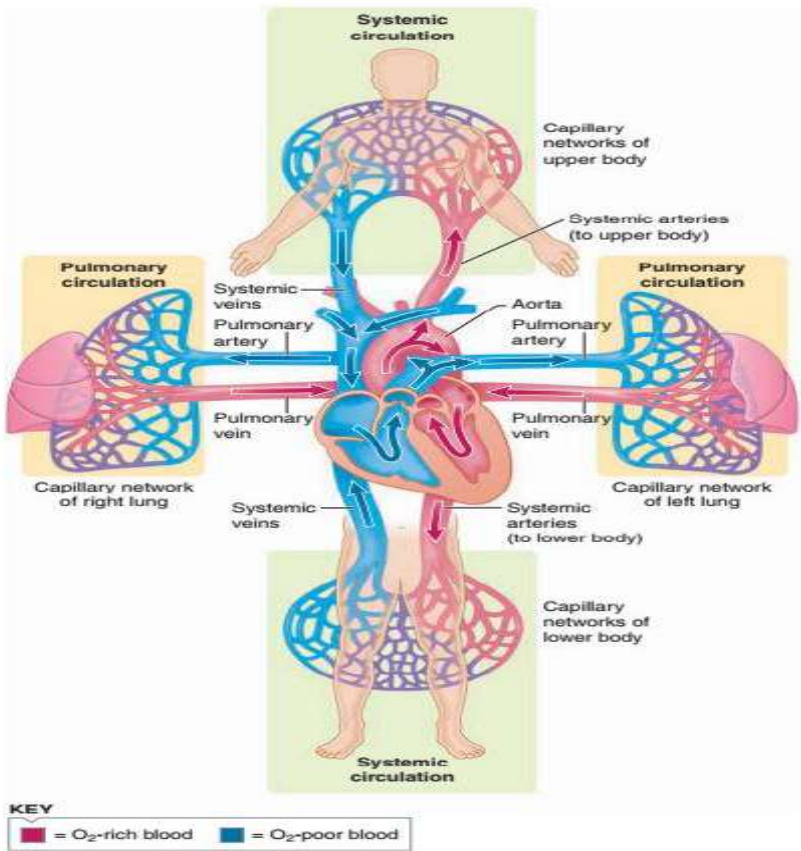
Sistem peredaran darah manusia membentuk suatu lingkaran tertutup. Hal ini berarti bahwa darah akan terus menerus dipompa oleh jantung ke dalam suatu seri pembuluh darah yaitu arteri. Jantung merupakan pusat dari sistem kardiovaskular yang terletak di dalam rongga dada dan dibungkus oleh satu kantung membran serosa yaitu pericardium. Jantung dilapisi oleh bagian-bagian sebagai berikut : Pericardium visceralis, Pericardium parietalis, Myocardium, dan Endocardium. Jantung terdiri atas empat rongga yaitu: Atrium kanan dan Atrium kiri dipisahkan oleh septum interatrialis, Ventrikel kanan dan Ventrikel kiri :dipisahkan oleh septum interventrikularis.



Gambar 5. 1. Bagian dalam Jantung

Sumber; (Waugh & Grant, 2004)

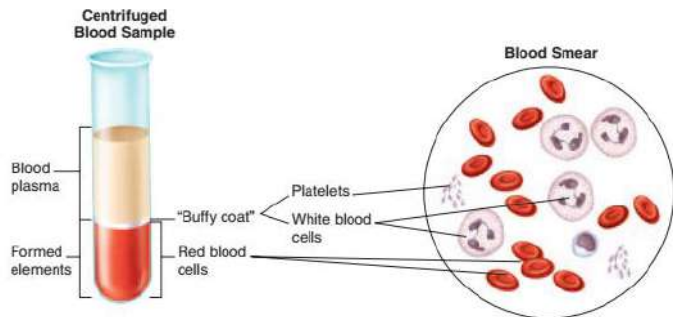
Jantung dapat berkontraksi dan berelaksasi tanpa sedikitpun dipengaruhi impuls dan sistem saraf. Hal ini dapat terjadi karena jantung sendiri memiliki sistem konduksi yang terdiri dari jaringan otot jantung khusus ($\pm 1\%$ dari sel otot jantung) yang dapat menghasilkan dan menyalurkan impuls sendiri, impuls inilah yang menyebabkan jantung berkontraksi. Hukum Starling, dalam batas-batas normal otot jantung akan berkontraksi lebih kuat bila serabutnya diregangkan. Sewaktu olahraga sejumlah darah vena akan kembali ke dalam atrium kanan terus ke ventrikel kanan dengan cepat dan banyak. Pembuluh Darah terdiri dari Arteri, arteriola, kapiler, venula, dan vena merupakan bagian dari pembuluh darah. Tekanan Darah, tekanan yang diberikan oleh darah yang mengalir terhadap pembuluh darah. Jadi tekanan darah terdapat baik arteri kapiler maupun vena. Fisiologi pertukaran zat melalui kapiler, zat-zat yang larut dalam lemak dapat menembus sel-sel endotel kapiler secara difusi. Sedangkan ion-ion dapat menembus kapiler dengan melalui lubang-lubang (pore) yang diduga terletak pada zat-zat interseluler diantara sel endotel. Reservoir Darah terdapat pada vena-vena di hati, limpa dan kulit. Bila terjadi pendarahan hebat maka vena-vena ini akan berkontraksi memompakan darahnya menuju sirkulasi sistemik.



Gambar 5. 2. Sirkulasi paru dan sistemik dalam kaitannya dengan jantung. Sistem peredaran darah terdiri dari dua lingkaran pembuluh darah yang terpisah: sirkulasi paru, yang membawa darah antara jantung dan paru-paru; dan sirkulasi sistemik, yang membawa darah antara jantung dan sistem organ. Setiap lingkaran ini membentuk angka "8", dengan sirkulasi paru yang secara bersamaan memasok darah ke paru-paru kanan dan kiri, dan sirkulasi sistemik yang secara bersamaan memasok darah ke tubuh bagian atas dan tubuh bagian bawah. Sumber: (Sherwood, 2010)

5.2 Darah

Setiap saat sel dalam tubuh kita memerlukan nutrisi dan oksigen untuk melakukan metabolisme. Sedangkan sampah hasil metabolismenya perlu dikeluarkan dari sel. Sel-sel tubuh juga memerlukan hormon untuk memperlancar aktivitas-aktivitasnya. Darah lebih berat dari air. Berat jenis darah 1,058, darah lebih kental dari air dengan kekentalan 4,5-5,5. Volume Darah tergantung dari berat badan seseorang, jenis kelamin, kegemukan, keadaan hidrasi tubuh, dan keadaan sistem kardiovaskular. Komposisi Darah terdiri dari dua komponen utama, yaitu :plasma, sel-sel darah dan lempengan-lempengan darah. Permukaan membrane sel darah merah (eritrosit) mengandung berbagai jenis glikoprotein yang bersifat antigen. Antigen-antigen disebut juga aglutinogen. Berdasarkan berbagai jenis aglutinogen yang terdapat pada eritrositnya. Ada dua penggolongan darah menurut sistem ABO dan system rhesus.



Gambar 5. 3. Komponen darah. Sel darah memadat di bagian bawah tabung reaksi saat darah utuh disentrifugasi, meninggalkan plasma cair di bagian atas tabung. Sel darah merah merupakan sel darah yang paling banyak jumlahnya—sel darah putih dan trombosit hanya membentuk "lapisan buffy" tipis berwarna terang di bagian antara sel darah merah yang padat dan plasma. Sumber: (Fox, 2004)

DAFTAR PUSTAKA

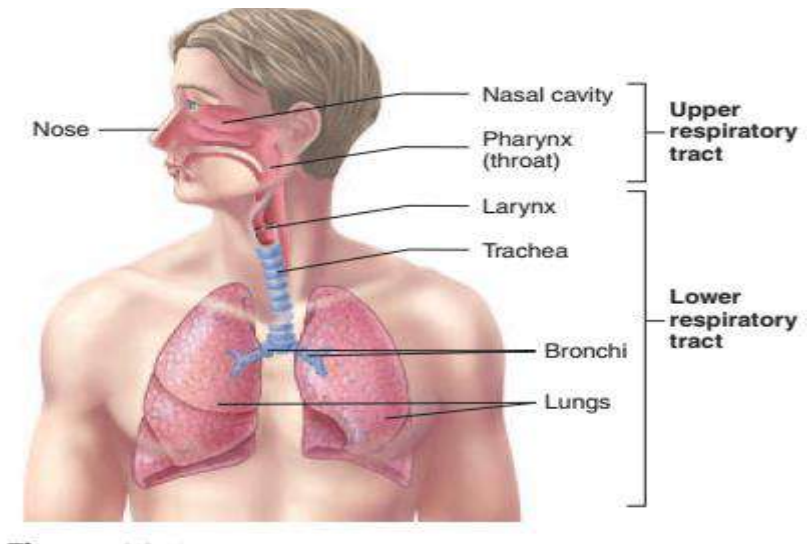
- Fox, S. I. (2004). *Human Physiology 8th Edition*. Boston: McGraw-Hill.
- Sherwood, L. (2010). *Human Physiology from Cell to System*. USA: Brooks/Cole.
- Waugh, A., & Grant, A. (2004). *Ross and Wilson: Anatomy and Physiology in Health and Illness*. Edinburg: Churchill Livingstone Elsevier.

BAB 6

SISTEM PERNAPASAN

6.1 Anatomi Sistem Pernapasan

Pernapasan diperlukan karena semua sel hidup dalam tubuh membutuhkan oksigen dan menghasilkan karbon dioksida. Sistem pernapasan membantu pertukaran gas dan juga menjalankan fungsi lainnya. a) Pertukaran gas. Sistem pernapasan memungkinkan oksigen dari udara masuk ke dalam darah dan karbon dioksida keluar dari darah dan masuk ke udara. Sistem kardiovaskular mengangkut oksigen dari paru-paru ke sel-sel tubuh dan karbon dioksida dari sel-sel tubuh ke paru-paru. Dengan demikian, sistem pernapasan dan kardiovaskular bekerja sama untuk memasok oksigen ke semua sel dan membuang karbon dioksida. b) Pengaturan pH darah. Sistem pernapasan dapat mengubah pH darah dengan mengubah kadar karbon dioksida dalam darah. c) Produksi suara. Pergerakan udara melewati pita suara memungkinkan terjadinya suara dan ucapan. d) Penciuman. Sensasi penciuman terjadi ketika molekul di udara ditarik ke dalam rongga hidung. e) Perlindungan. Sistem pernapasan memberikan perlindungan terhadap beberapa mikroorganisme dengan mencegah masuknya mikroorganisme ke dalam tubuh dan membuangnya dari permukaan pernapasan.



Gambar 6. 1. Sistem Respirasi

Sumber: (Fox, 2004)

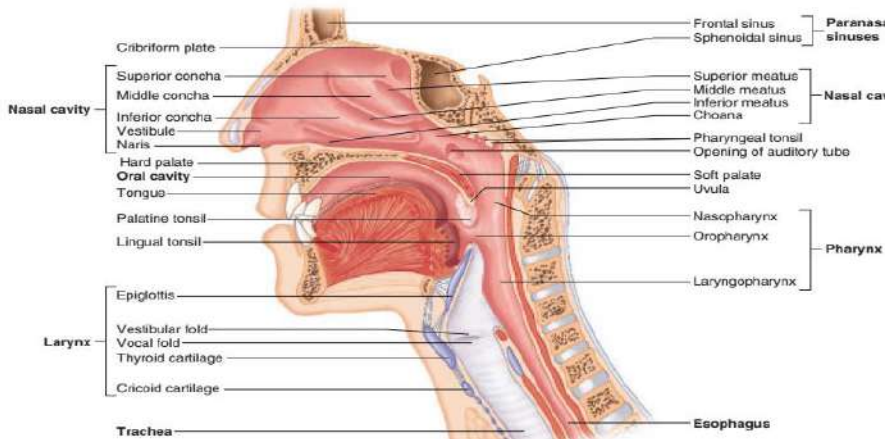
Sistem pernapasan terdiri dari rongga hidung, faring, laring, trakea, bronkus, dan paru-paru (gambar 6.1). Istilah saluran pernapasan atas mengacu pada hidung, faring, dan struktur terkait; dan saluran pernapasan bawah meliputi laring, trakea, bronkus, dan paru-paru. Diafragma dan otot-otot dinding toraks dan perut bertanggung jawab atas gerakan pernapasan.

Nasus (naˈsuːs), atau hidung, terdiri dari hidung bagian luar dan rongga hidung. Hidung bagian luar adalah struktur yang terlihat yang membentuk fitur wajah yang menonjol. Bagian terbesar dari hidung bagian luar terdiri dari lempeng tulang rawan. Pangkal hidung terdiri dari tulang-tulang nasal ditambah dengan ekstensi tulang frontal dan maksilaris. Rongga hidung memanjang dari nares ke choanae. Nares (naˈres; tunggal, naˈris), atau lubang hidung, adalah bukaan eksternal rongga hidung dan choanae (koˈan-eː) adalah bukaan ke faring. Bagian anterior rongga hidung, tepat di dalam setiap naris, adalah vestibulum (vestiˈbool; ruang masuk). Vestibulum dilapisi

dengan epitel skuamosa berlapis yang berkesinambungan dengan epitel skuamosa berlapis pada kulit. Langit-langit keras (pala't) adalah lempeng tulang yang ditutupi oleh selaput lendir yang membentuk dasar rongga hidung. Langit-langit keras memisahkan rongga hidung dari rongga mulut. Septum hidung adalah sekat yang membagi rongga hidung menjadi bagian kanan dan kiri. Bagian anterior septum hidung adalah tulang rawan, dan bagian posterior terdiri dari tulang vomer dan lempeng tegak lurus tulang etmoid.

Tiga tonjolan tulang yang disebut konka (konke'; menyerupai cangkang keong) memodifikasi dinding lateral rongga hidung. Di bawah setiap konka terdapat lorong yang disebut meatus (me'-a-tu's; terowongan atau lorong). Di dalam meatus superior dan medius terdapat bukaan dari berbagai sinus paranasal, dan bukaan duktus nasolakrimal (na'-zo'-lakri-ma'l) terdapat di dalam setiap meatus inferior. Rongga hidung memiliki beberapa fungsi: a) Rongga hidung merupakan saluran udara yang terbuka bahkan saat mulut penuh makanan. b) Rongga hidung membersihkan udara. Ruang depan dilapisi dengan rambut yang menangkap sebagian partikel debu besar di udara. Sekat hidung dan konka hidung meningkatkan luas permukaan rongga hidung dan membuat aliran udara di dalam rongga lebih bergolak, sehingga meningkatkan kemungkinan udara bersentuhan dengan selaput lendir yang melapisi rongga hidung. Selaput lendir ini terdiri dari epitel kolumnar bersilia semu berlapis dengan sel goblet, yang mengeluarkan lapisan lendir. Lendir menangkap serpihan di udara, dan silia pada permukaan selaput lendir menyapu lendir ke belakang ke faring, tempat lendir ditelan dan dikeluarkan oleh sistem pencernaan. c) Rongga hidung melembabkan dan menghangatkan udara. Kelembaban dari epitel mukosa dan kelebihan air mata yang mengalir ke rongga hidung melalui duktus nasolakrimal ditambahkan ke udara saat melewati rongga hidung. Darah hangat yang mengalir melalui selaput lendir menghangatkan udara di dalam rongga hidung sebelum masuk ke faring, sehingga mencegah kerusakan akibat udara dingin pada saluran

pernapasan lainnya. d) Epitelium olfaktorius, organ sensori untuk penciuman, terletak di bagian paling atas rongga hidung. e) Rongga hidung dan sinus paranasal merupakan ruang resonansi untuk berbicara.



Gambar 6. 2. Rongga Hidung dan Faring

Sumber: (Guyton & Hall, 2006)

Faring (far ingks; tenggorokan) adalah lubang umum bagi sistem pencernaan dan pernapasan. Faring menerima udara dari rongga hidung dan udara, makanan, dan minuman dari rongga mulut. Di bagian bawah, faring terhubung ke sistem pernapasan di laring dan ke sistem pencernaan di esofagus. Faring dibagi menjadi tiga daerah: nasofaring, orofaring, dan laringofaring. Nasofaring adalah bagian atas faring dan memanjang dari koanae ke langit-langit lunak, yang merupakan sekat otot dan jaringan ikat yang tidak lengkap yang memisahkan nasofaring dari orofaring. Uvula (u⁻ vu⁻la[~]; buah anggur) adalah perpanjangan posterior dari langit-langit lunak. Langit-langit lunak mencegah bahan yang tertelan memasuki nasofaring dan rongga hidung. Nasofaring dilapisi dengan selaput lendir yang mengandung epitel kolumnar bersilia berlapis semu dengan sel goblet. Lendir yang mengandung kotoran dari rongga hidung dipindahkan melalui nasofaring dan ditelan. Dua saluran

pendengaran dari telinga tengah terbuka ke nasofaring. Udara melewatinya untuk menyamakan tekanan udara antara atmosfer dan telinga tengah. Permukaan posterior nasofaring mengandung tonsil faring, atau adenoid (ad eñ-noyd), yang membantu melindungi tubuh dari infeksi.

Tonsil faring yang membesar dapat mengganggu pernapasan normal dan aliran udara melalui saluran pendengaran. Orofaring memanjang dari uvula ke epiglottis. Rongga mulut terbuka ke orofaring melalui fauces (faw señz). Dengan demikian, udara, makanan, dan minuman semuanya melewati orofaring. Epitel skuamosa berlapis yang lembab melapisi orofaring dan melindunginya dari abrasi. Dua set amandel yang disebut amandel palatina dan amandel lingual terletak di dekat fauces. Laringofaring memanjang dari ujung epiglottis ke esofagus dan melewati posterior laring. Laringofaring dilapisi dengan epitel skuamosa berlapis yang lembab.

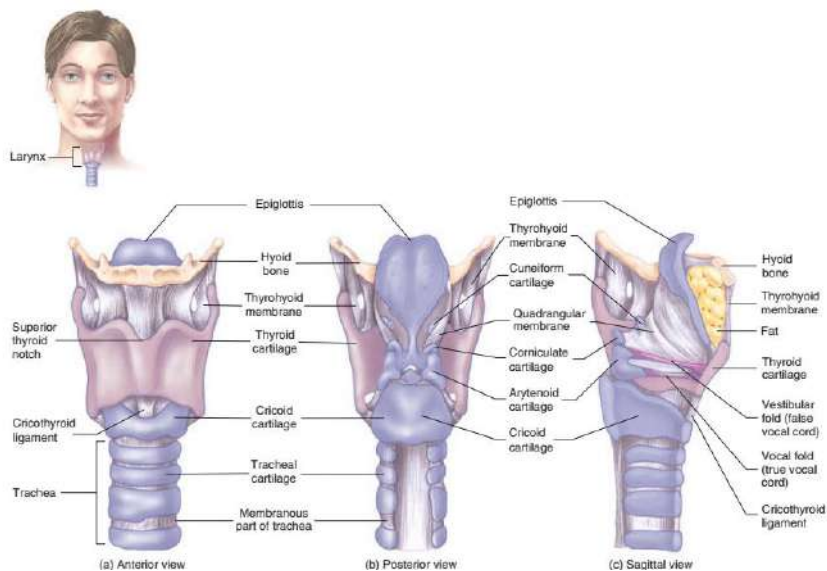
Laring (laringks) terdiri dari selubung luar yang terdiri dari sembilan tulang rawan yang saling terhubung oleh otot dan ligamen. Enam dari sembilan tulang rawan tersebut berpasangan, dan tiga tidak berpasangan. Tulang rawan yang terbesar adalah tulang rawan tiroid (perisai; mengacu pada bentuk tulang rawan) yang tidak berpasangan, atau jakun. Tulang rawan laring yang paling bawah adalah tulang rawan krikoid (kri ñkoyd; berbentuk cincin) yang tidak berpasangan, yang membentuk dasar laring tempat tulang rawan lainnya berada.

Tulang rawan ketiga yang tidak berpasangan adalah epiglottis (ep-i-glotis; pada glotis). Tulang rawan ini melekat pada tulang rawan tiroid dan menonjol sebagai lipatan bebas ke arah lidah. Epiglottis berbeda dari tulang rawan lainnya karena terdiri dari tulang rawan elastis, bukan tulang rawan hialin. Selama menelan, epiglottis menutupi lubang laring dan mencegah masuknya bahan ke dalamnya. Tulang rawan aritenoid (ar-i-teñoyd; berbentuk sendok sayur) yang

berpasangan berartikulasi dengan batas posterior superior tulang rawan krikoid, dan tulang rawan kornikulata (kor-niku-la-t; berbentuk tanduk) yang berpasangan melekat pada ujung superior tulang rawan aritenoid. Tulang rawan kuneiform (kune-i-form; berbentuk baji) yang berpasangan terbungkus dalam membran mukosa di anterior tulang rawan kornikulata.

Dua pasang ligamen memanjang dari permukaan anterior tulang rawan aritenoid ke permukaan posterior tulang rawan tiroid. Ligamen superior ditutupi oleh membran mukosa yang disebut lipatan vestibular, atau pita suara palsu. Ketika lipatan vestibular menyatu, mereka mencegah makanan dan cairan memasuki laring selama menelan dan mencegah udara meninggalkan paru-paru, seperti ketika seseorang menahan napas.

Ligamen inferior ditutupi oleh selaput lendir yang disebut lipatan vokal, atau pita suara sejati. Lipatan vokal dan bukaan di antara keduanya disebut glotis (glotis). Lipatan vestibular dan pita suara dilapisi dengan epitel skuamosa berlapis. Sisa laring dilapisi dengan epitel kolumnar bersilia berlapis semu. Peradangan epitel mukosa pita suara disebut laringitis (lar-in-jitis). Laring melakukan tiga fungsi penting, yaitu a) Tulang rawan tiroid dan krikoid menjaga jalan terbuka untuk pergerakan udara. b) Epiglottis dan lipatan vestibular mencegah bahan yang tertelan bergerak ke laring. c) Pita suara merupakan sumber utama produksi suara. Udara yang bergerak melewati pita suara menyebabkan pita suara bergetar dan menghasilkan suara. Semakin besar amplitudo getaran, semakin keras suara yang dihasilkan. Kekuatan udara yang bergerak melewati pita suara menentukan amplitudo getaran dan kerasnya suara. Frekuensi getaran menentukan nada, dengan getaran frekuensi yang lebih tinggi menghasilkan suara bernada lebih tinggi dan getaran frekuensi yang lebih rendah menghasilkan suara bernada lebih rendah.



Gambar 6. 3. Anatomi Laring

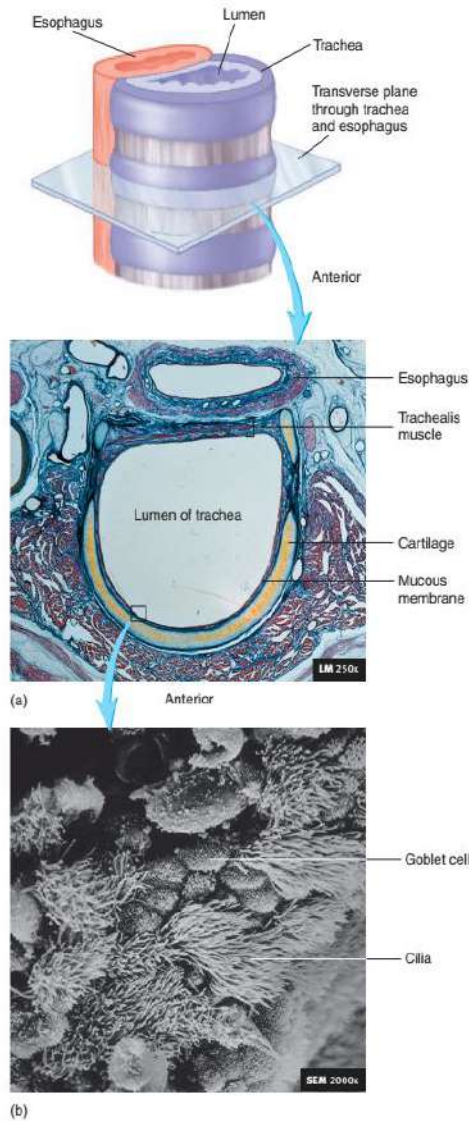
Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)

Variasi panjang segmen pita suara yang bergetar mempengaruhi frekuensi getaran. Nada yang lebih tinggi dihasilkan ketika hanya bagian anterior pita yang bergetar, dan nada yang lebih rendah dihasilkan ketika bagian lipatan yang lebih panjang bergetar. Karena pria biasanya memiliki pita suara yang lebih panjang daripada wanita, mereka biasanya memiliki suara bernada rendah. Suara yang dihasilkan oleh pita suara yang bergetar dimodifikasi oleh lidah, bibir, gigi, dan struktur lain untuk membentuk kata-kata. Seseorang yang laringnya telah diangkat karena karsinoma laring dapat menghasilkan suara dengan menelan udara dan menyebabkan kerongkongan bergetar.

Pergerakan tulang rawan aritenoid dan tulang rawan lainnya dikendalikan oleh otot rangka, sehingga mengubah posisi dan panjang pita suara. Ketika hanya bernapas, rotasi lateral tulang rawan aritenoid mengabduksi pita suara, yang

memungkinkan pergerakan udara yang lebih besar. Rotasi medial tulang rawan aritenoid mengadduksi pita suara, menempatkannya pada posisi untuk menghasilkan suara, dan mengubah ketegangan pada pita suara. Pergerakan anterior/posterior tulang rawan aritenoid juga mengubah panjang dan ketegangan pita suara.

Trakea (tra`ke`-a~), atau batang tenggorokan, adalah tabung bermembran yang terdiri dari jaringan ikat padat teratur dan otot polos yang diperkuat dengan 15–20 potongan tulang rawan berbentuk C. Tulang rawan menopang sisi anterior dan lateral trakea. Tulang rawan melindungi trakea dan menjaga jalan udara tetap terbuka.



Gambar 6. 4. Trakea

(a) Fotomikrograf penampang melintang trakea. Esofagus berada di sebelah otot trakealis, yang menghubungkan ujung-ujung tulang rawan. **(b)** Mikrograf elektron pemindaian permukaan selaput lendir yang melapisi trakea. Sel goblet dengan mikrovili pendek tersebar di antara sel-sel bersilia. Sumber: (Sherwood, 2010)

Dinding posterior trakea tidak memiliki tulang rawan dan mengandung membran ligamen elastis dan kumpulan otot polos yang disebut otot trakealis (traˈke-a-lis). Kontraksi otot polos dapat mempersempit diameter trakea. Selama batuk, tindakan ini menyebabkan udara bergerak lebih cepat melalui trakea, yang membantu mengeluarkan lendir dan benda asing. Esofagus terletak tepat di posterior dinding posterior trakea yang bebas tulang rawan. Selaput lendir yang melapisi trakea terdiri dari epitel kolumnar bersilia semu berlapis dengan banyak sel goblet. Silia mendorong lendir dan partikel asing yang tertanam di dalamnya menuju laring, tempat lendir memasuki faring dan ditelan. Iritasi terus-menerus pada trakea, seperti yang terjadi pada perokok, dapat menyebabkan epitel trakea menjadi epitel skuamosa berlapis lembap yang tidak memiliki silia dan sel goblet. Akibatnya, fungsi normal epitel trakea hilang.

Bronkus primer terbagi menjadi bronkus sekunder (lobar) di dalam setiap paru-paru. Dua bronkus sekunder terdapat di paru-paru kiri, dan tiga terdapat di paru-paru kanan. Bronkus sekunder, selanjutnya, membentuk bronkus tersier (segmental). Bronkus terus bercabang, akhirnya membentuk bronkiolus (bronkeolus), yang berdiameter kurang dari 1 mm. Bronkiolus juga terbagi beberapa kali menjadi bronkiolus terminal yang lebih kecil lagi.

Saat saluran udara paru-paru menjadi lebih kecil, struktur dindingnya berubah. Seperti trakea, bronkus primer disokong oleh tulang rawan berbentuk C yang dihubungkan oleh otot polos. Pada bronkus sekunder, tulang rawan berbentuk C digantikan dengan lempeng tulang rawan, dan otot polos membentuk lapisan antara tulang rawan dan selaput lendir. Saat bronkus menjadi lebih kecil, tulang rawan menjadi lebih jarang dan otot polos menjadi lebih banyak. Bronkiolus terminal tidak memiliki tulang rawan, dan lapisan otot polos menonjol. Relaksasi dan kontraksi otot polos di dalam bronkus dan bronkiolus dapat mengubah diameter saluran udara dan dengan demikian mengubah volume udara yang bergerak melaluinya.

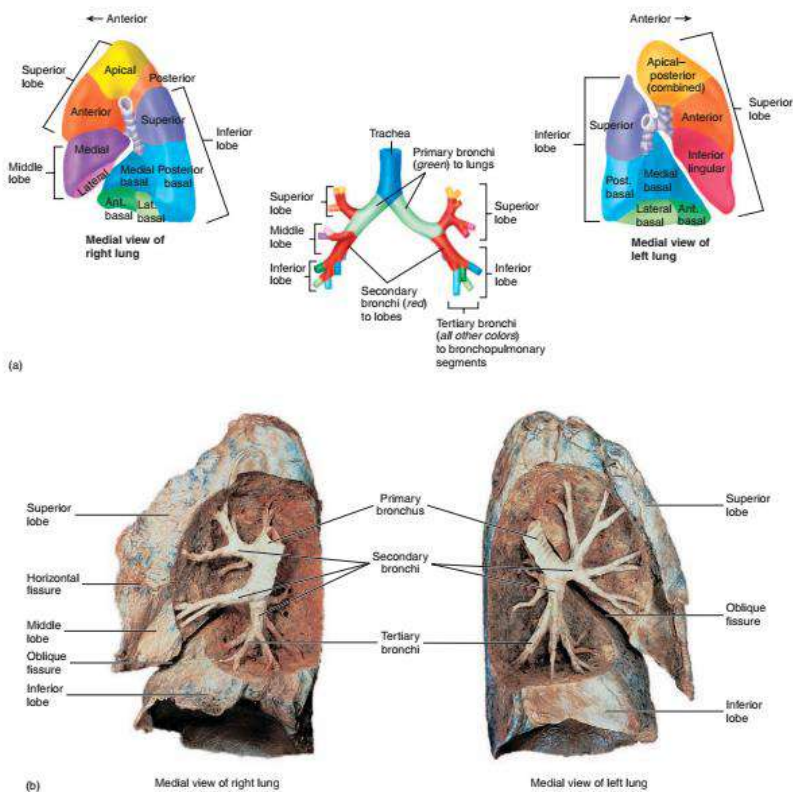
Misalnya, selama berolahraga, diameter dapat meningkat, yang mengurangi hambatan terhadap aliran udara dan dengan demikian meningkatkan volume udara yang bergerak. Namun, selama serangan asma, kontraksi otot polos di bronkiolus terminal, yang tidak memiliki tulang rawan di dindingnya, dapat mengakibatkan penurunan diameter, peningkatan hambatan terhadap aliran udara, dan aliran udara yang sangat berkurang. Dalam kasus yang parah, pergerakan udara dapat sangat terbatas hingga mengakibatkan kematian.

Bronkus dilapisi dengan epitel kolumnar bersilia semu berlapis. Bronkiolus yang lebih besar dilapisi dengan epitel kolumnar sederhana bersilia, yang berubah menjadi epitel kuboid sederhana bersilia di bronkiolus terminal. Epitel di bagian konduksi saluran udara berfungsi sebagai eskalator lendir-silia, yang menjebak serpihan di udara dan mengeluarkannya dari sistem pernapasan.

6.2 Paru-Paru

Paru-paru adalah organ utama pernapasan, dan berdasarkan volume paru-paru merupakan salah satu organ terbesar dalam tubuh. Setiap paru-paru berbentuk kerucut, dengan pangkalnya bersandar pada diafragma dan puncaknya memanjang ke atas hingga ke titik sekitar 2,5 cm di atas klavikula. Paru-paru kanan lebih besar daripada paru-paru kiri dan beratnya rata-rata 620 g, sedangkan paru-paru kiri beratnya rata-rata 560 g. Hilum (hilum) adalah daerah pada permukaan medial paru-paru tempat struktur, seperti bronkus primer, pembuluh darah, saraf, dan pembuluh limfatik, masuk atau keluar dari paru-paru. Semua struktur yang melewati hilum disebut sebagai akar paru-paru. Paru-paru kanan memiliki tiga lobus, dan paru-paru kiri memiliki dua lobus (gambar 6.5). Lobus-lobus dipisahkan oleh fisura yang dalam dan menonjol pada permukaan paru-paru, dan setiap lobus disuplai oleh bronkus sekunder. Lobus dibagi lagi menjadi segmen-segmen bronkopulmonalis, yang disuplai oleh bronkus tersier. Sembilan

segmen bronkopulmonalis terdapat di paru-paru kiri, dan 10 terdapat di paru-paru kanan.



Gambar 6. 5. Lobus dan Segmen Bronkopulmonalis Paru-paru.
(a) Trakea (biru), bronkus primer (hijau), bronkus sekunder (merah), dan bronkus tersier (semua warna lainnya) berada di tengah gambar, dikelilingi oleh dua pandangan setiap paru-paru, yang menunjukkan segmen bronkopulmonalis. Secara umum, setiap segmen bronkopulmonalis disuplai oleh bronkus tersier (diberi kode warna agar sesuai dengan segmen bronkopulmonalis yang disuplainya). (b) Foto paru-paru yang menunjukkan bronkus yang menyuplai lobus paru-paru. Sumber: (Vander, Sherman, & Luciano, 2001)

Segmen-segmen bronkopulmonalis dipisahkan satu sama lain oleh partisi jaringan ikat, yang tidak terlihat sebagai fisura permukaan. Segmen-segmen bronkopulmonalis yang sakit dapat diangkat melalui pembedahan, sehingga paru-paru lainnya tetap utuh, karena pembuluh darah utama dan bronkus tidak melewati partisi jaringan ikat. Segmen-segmen bronkopulmonalis dibagi lagi menjadi lobulus oleh dinding jaringan ikat yang tidak lengkap. Lobulus disuplai oleh bronkiolus..

DAFTAR PUSTAKA

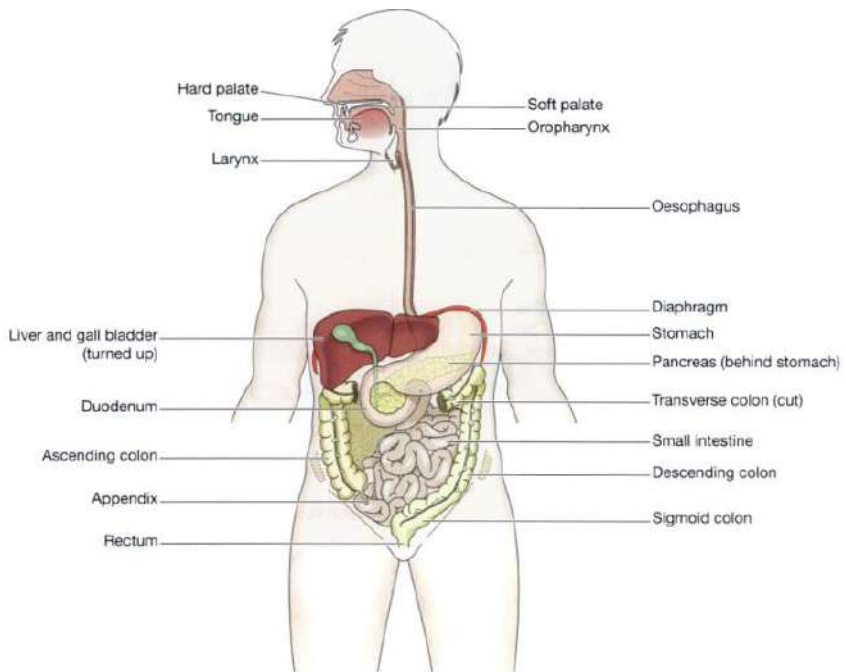
- Fox, S. I. (2004). *Human Physiology 8th Edition*. Boston: McGraw-Hill.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2006). *Medical Physiology eleventh edition*. Amsterdam: Elsevier.
- Seeley, R. R., Stephens, T. D., & Philip, T. (2004). *Anatomy and Physiology, 6th*. Boston: The McGraw-Hill.
- Sherwood, L. (2010). *Human Physiology from Cell to System*. USA: Brooks/Cole.
- Vander, A. J., Sherman, J. H., & Luciano, D. S. (2001). *Human Physiology: The Mechanisms of Body Function*. Boston: McGraw-Hill.

BAB 7

SISTEM PENCERNAAN

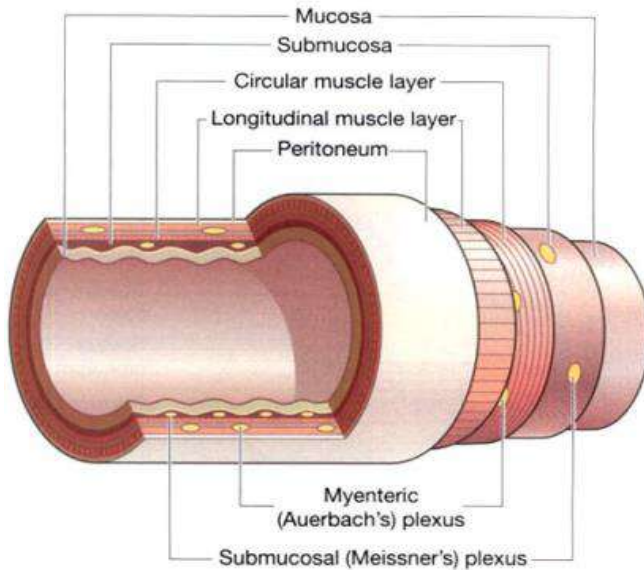
7.1 Pendahuluan

Sistem pencernaan adalah nama kolektif yang digunakan untuk menggambarkan saluran pencernaan, beberapa organ aksesori, dan berbagai proses pencernaan yang berlangsung di berbagai tingkat saluran untuk menyiapkan makanan yang dimakan dalam makanan untuk diserap. Saluran pencernaan dimulai di mulut, melewati toraks, perut, dan panggul, serta berakhir di anus (Gambar 7.1).



Gambar 7. 1. Organ-organ pada Sistem Pencernaan
Sumber: (Fox, 2004)

Saluran pencernaan memiliki struktur umum yang dimodifikasi di berbagai tingkat untuk menyediakan proses yang terjadi di setiap tingkat (Gambar 7.2). Kompleks proses pencernaan secara bertahap memecah makanan yang dimakan hingga berada dalam bentuk yang sesuai untuk diserap. Misalnya, daging, meskipun dimasak, secara kimiawi terlalu rumit untuk diserap dari saluran pencernaan. Oleh karena itu, daging mengalami serangkaian perubahan yang melepaskan nutrisi penyusunnya: asam amino, garam mineral, lemak, dan vitamin. Zat kimia atau enzim yang menyebabkan perubahan ini disekresikan ke dalam kanal oleh kelenjar khusus, beberapa di antaranya berada di dinding kanal dan beberapa di luar kanal, tetapi dengan saluran yang mengarah ke dalamnya.



Gambar 7. 2. Struktur Umum Saluran Pencernaan

Sumber: (Guyton & Hall, 2006)

Setelah penyerapan, nutrisi digunakan untuk mensintesis komponen tubuh. Nutrisi menyediakan bahan baku untuk pembuatan sel baru, hormon dan enzim, serta energi yang dibutuhkan untuk proses ini dan proses lainnya dan untuk

pembuangan bahan limbah. Aktivitas dalam sistem pencernaan dapat dikelompokkan ke dalam lima bagian utama. a) Pencernaan, ini adalah proses memasukkan makanan ke dalam saluran pencernaan. b) Propulsi, ini menggerakkan isi makanan di sepanjang saluran pencernaan. c) Pencernaan, ini terdiri dari:

- pemecahan makanan secara mekanis, misalnya dengan mengunyah,
- pencernaan makanan secara kimiawi oleh enzim yang terdapat dalam sekresi yang dihasilkan oleh kelenjar dan organ aksesori sistem pencernaan.

d) Penyerapan, ini adalah proses di mana zat makanan yang dicerna melewati dinding beberapa organ saluran pencernaan ke dalam kapiler darah dan limfa untuk diedarkan ke seluruh tubuh. e) Eliminasi, zat makanan yang telah dimakan tetapi tidak dapat dicerna dan diserap dikeluarkan oleh usus sebagai feses

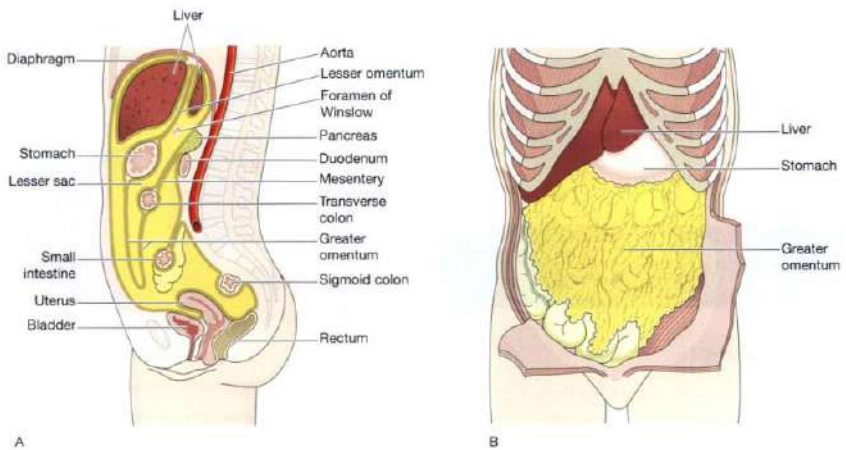
7.2 Organ pada Sistem Pencernaan

Saluran pencernaan, ini adalah tabung panjang tempat makanan lewat. Saluran ini bermula di mulut dan berakhir di anus, dan berbagai bagiannya diberi nama yang berbeda, meskipun secara struktural sangat mirip. Bagian-bagiannya adalah: mulut, faring, esofagus, lambung, usus halus, usus besar, rektum dan saluran anus.

Organ aksesori, berbagai sekresi dituangkan ke dalam saluran pencernaan, sebagian oleh kelenjar di lapisan membran organ, misalnya cairan lambung yang disekresikan oleh kelenjar di lapisan lambung, dan sebagian oleh kelenjar yang terletak di luar saluran. Yang terakhir adalah organ aksesori pencernaan dan sekresinya melewati saluran untuk memasuki saluran. Mereka terdiri dari: 3 pasang kelenjar ludah, pankreas, hati dan saluran empedu.

Organ dan kelenjar saling terkait secara fisiologis dan anatomis, yaitu pencernaan dan penyerapan terjadi secara bertahap, setiap tahap bergantung pada tahap atau tahap sebelumnya. Lapisan dinding saluran pencernaan mengikuti pola yang konsisten dari esofagus dan seterusnya. Struktur

dasar ini tidak berlaku secara jelas pada mulut dan faring. Pada organ yang berbeda dari esofagus dan seterusnya, ditemukan modifikasi struktur yang terkait dengan fungsi khusus. Struktur dasar dijelaskan di sini dan modifikasi apapun dalam struktur dan fungsi dijelaskan di bagian yang sesuai. Dinding saluran pencernaan dibentuk oleh empat lapisan jaringan, yaitu: adventitia atau lapisan luar, lapisan otot, lapisan submukosa, dan lapisan mukosa.



Gambar 7. 3. A. Rongga perut (emas), organ perut dari sistem pencernaan dan organ panggul. B. Omentum mayor. Sumber: (Waugh & Grant, 2004)

DAFTAR PUSTAKA

- Fox, S. I. (2004). *Human Physiology 8th Edition*. Boston: McGraw-Hill.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2006). *Medical Physiology eleventh edition*. Amsterdam: Elsevier.
- Waugh, A., & Grant, A. (2004). *Ross and Wilson: Anatomy and Physiology in Health and Illness*. Edinburg: Churchill Livingstone Elsevier.

BAB 8

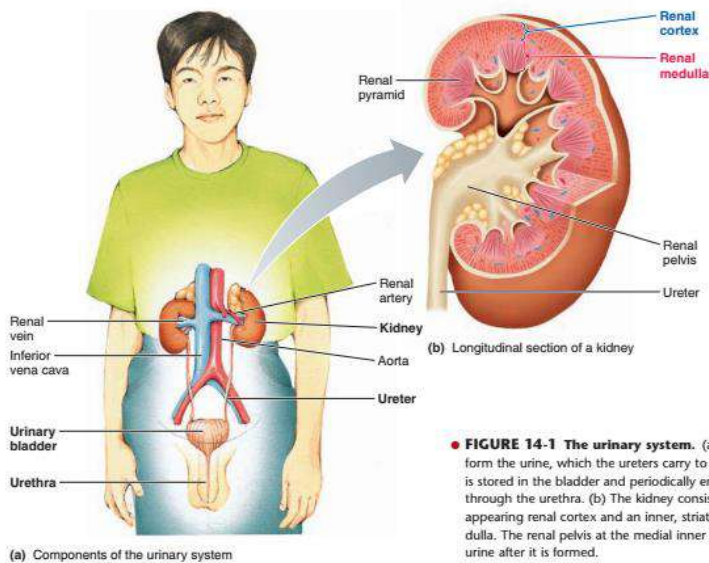
SISTEM URINARIA

8.1 Organ pada Sistem Urinaria

Metabolisme dari karbohidrat, protein, lemak, didalam tubuh menghasilkan sampah antara lain: H_2O , H^+ , CO_2 , Kreatinin, amonia, urea dan panas. Tubuh kita memiliki organ dan sistem yang mampu mengekskresikan sampah-sampah metabolisme, sistem pencernaan, dan sistem integumen (kelenjar keringat). Sistem urinaria terdiri dari 2 ginjal, 2 ureter, 1 kandung kemih, (vesica urinaria dan uretra).

Ginjal memiliki anatomi seperti kacang, terletak diatas garis pinggang., berada di belakang peritoneum diantara T12 dan L3. Struktur ginjal terdiri dari bagian dalam yang berwarna merah coklat disebut medula dan bagian luar yang berwarna merah disebut cortex. Struktur mikroskopis ginjal terlihat sebagai struktur-struktur yang berbentuk tubulus (tabung) yang disebut nefron. Suplai darah dari arteri renalis cabang dari aorta. Arteri renalis ini bercabang-cabang menjadi arteri interlobalis. Pada perbatasan cortex arteri interlobalis membelok menjadi arteri arcuata.

Persyarafan ginjal berasal dari sistem saraf otonom baik simpatik maupun parasimpatik. Cara kerja nefron. Nefron adalah unit fungsional dari ginjal, dapat berfungsi memproduksi urine karena masing-masing nefron ini bekerja menunaikan tugasnya. Ada tiga proses pembentukan urine oleh nefron yaitu: filtrasi glomerulus, reabsorpsi tubulus, sekresi tubular.



● **FIGURE 14-1 The urinary system.** (a) The pair of kidneys form the urine, which the ureters carry to the urinary bladder. Urine is stored in the bladder and periodically emptied to the exterior through the urethra. (b) The kidney consists of an outer, granular-appearing renal cortex and an inner, striated-appearing renal medulla. The renal pelvis at the medial inner core of the kidney collects urine after it is formed.

Gambar 8. 1. Sistem Urinaria

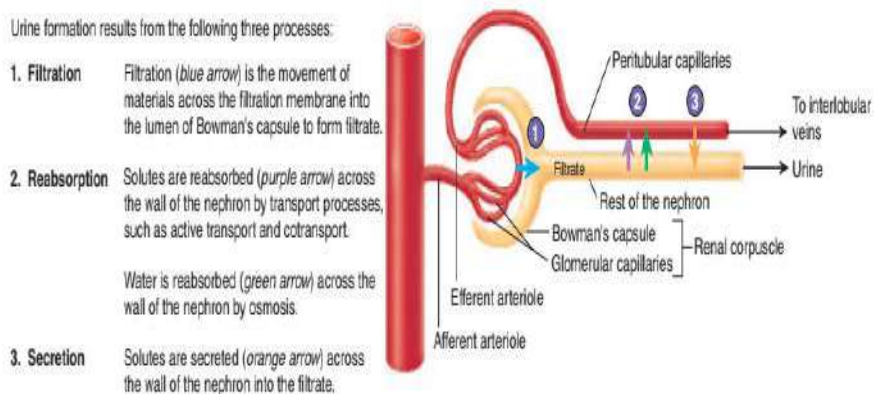
Sumber: (Sherwood, 2010)

Ginjal merupakan organ ekskresi utama tubuh. Kulit, hati, paru-paru, dan usus membuang beberapa produk limbah, tetapi jika ginjal gagal berfungsi, organ ekskresi lainnya tidak dapat menggantikannya secara memadai. Fungsi-fungsi berikut dilakukan oleh ginjal: 1) Penyaringan darah. Protein dan sel darah tertahan dalam darah, sementara sejumlah besar filtrat diproduksi. Sebagian besar volume filtrat diserap kembali ke dalam darah bersama dengan molekul dan ion yang berguna. Sejumlah kecil air, limbah metabolisme, molekul beracun, dan ion berlebih tetap berada dalam filtrat. Produk limbah tambahan disekresikan ke dalam filtrat dan hasilnya adalah pembentukan urin. 2) Pengaturan volume darah. Ginjal memainkan peran utama dalam mengendalikan volume cairan ekstraseluler dalam tubuh dengan memproduksi sejumlah besar urin encer atau sejumlah kecil urin pekat. 3) Pengaturan konsentrasi zat terlarut dalam darah. Ginjal membantu mengatur konsentrasi ion-ion utama seperti Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} , dan HPO_4^{2-} . 4) Pengaturan pH

cairan ekstraseluler. Ginjal mengeluarkan sejumlah H yang bervariasi untuk membantu mengatur pH cairan ekstraseluler. 5) Pengaturan sintesis sel darah merah. Ginjal mengeluarkan hormon, eritropoietin, yang mengatur sintesis sel darah merah di sumsum tulang 6) Sintesis vitamin D. Ginjal memainkan peran penting dalam mengendalikan kadar Ca^{2+} dalam darah dengan mengatur sintesis vitamin D.

8.2 Urin

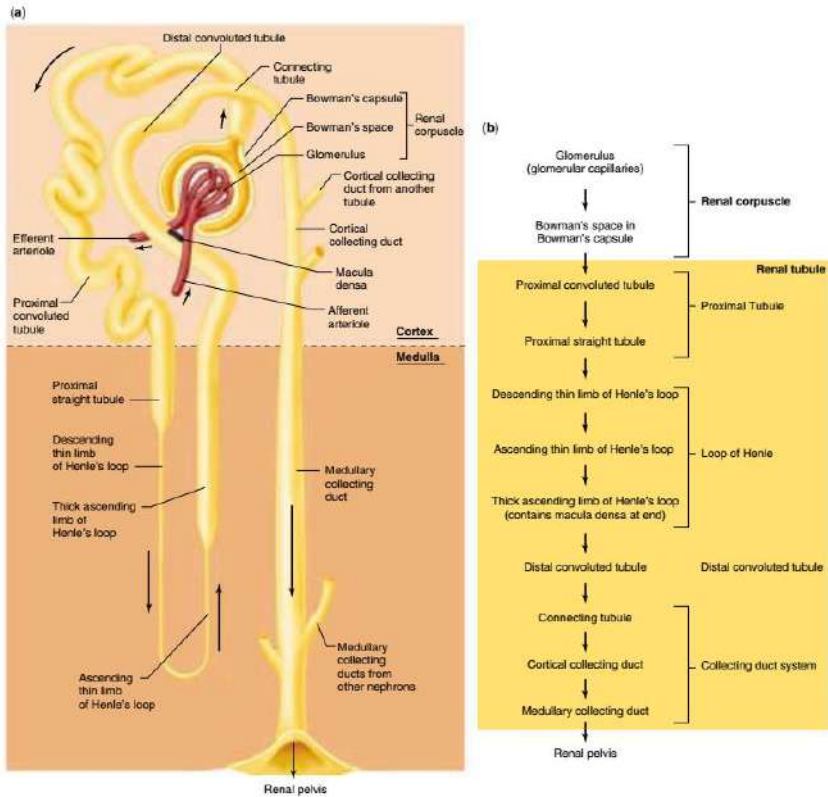
Nefron disebut sebagai unit fungsional ginjal karena merupakan komponen struktural terkecil yang mampu menghasilkan urin. Filtrasi, reabsorpsi, dan sekresi merupakan tiga proses utama yang penting untuk pembentukan urin (gambar 8.2). Filtrasi adalah pergerakan cairan melintasi membran filtrasi sebagai akibat dari perbedaan tekanan. Cairan yang masuk ke nefron disebut filtrat. Reabsorpsi adalah pergerakan zat dari filtrat kembali ke dalam darah. Secara umum, sebagian besar air dan zat terlarut yang berguna diserap kembali, sedangkan produk limbah, zat terlarut berlebih, dan sejumlah kecil air tidak diserap.



Gambar 8. 2. Pembentukan Urin

Sumber: (Seeley, Stephens, & Philip, 2004)

Sekresi adalah pengangkutan zat terlarut secara aktif ke dalam nefron. Urin yang diproduksi oleh nefron terdiri dari zat terlarut dan air yang disaring dan zat terlarut yang disekresikan ke dalam nefron dikurangi zat terlarut dan air yang diserap kembali.



Gambar 8. 3. Struktur dasar nefron. (a) Organisasi anatomi. Makula densa bukanlah segmen yang jelas, melainkan plak sel di lengkung Henle yang menaik, tempat lengkung tersebut melewati arteriol yang memasok korpuskel ginjal asalnya. Area luar ginjal disebut korteks dan bagian dalam disebut medula. Panah hitam menunjukkan arah aliran urin. **(b) Segmen nefron yang berurutan.** Semua segmen di area yang disaring merupakan bagian dari tubulus ginjal; istilah di sebelah kanan tanda kurung umumnya digunakan untuk beberapa segmen yang berurutan. Sumber: (Vander, Sherman, & Luciano, 2001)

Filtrasi, bagian dari total curah jantung yang melewati ginjal disebut fraksi renal. Fraksi ginjal bervariasi dari 12%–30% dari curah jantung pada orang dewasa sehat yang sedang beristirahat, tetapi rata-ratanya 21%. Ini berarti laju aliran darah ginjal rata-rata adalah 1176 mL/menit. Plasma yang mengalir melalui ginjal setiap menit, disebut laju aliran plasma ginjal, sama dengan laju aliran darah ginjal dikalikan dengan porsi darah yang terdiri dari plasma, yaitu sekitar 55% (1176 mL/menit $\times$ 0,55 = 646,8 mL plasma/menit, atau sekitar 650 mL plasma/menit). Bagian plasma yang mengalir melalui ginjal yang disaring melalui membran filtrasi ke dalam lumen kapsul Bowman untuk menjadi filtrat disebut fraksi filtrasi. Fraksi filtrasi rata-rata 19% dari plasma yang mengalir melalui ginjal (650 mL plasma/menit $\times$ 0,19 = 123,5 mL plasma/menit). Dengan demikian, sekitar 125 mL filtrat diproduksi setiap menit. Jumlah filtrat yang diproduksi setiap menit disebut laju filtrasi glomerulus (glomerular filtration rate/GFR), yang setara dengan sekitar 180 L filtrat yang diproduksi setiap hari. Karena hanya 1–2 L urin yang diproduksi setiap hari oleh orang yang sehat, jelas bahwa tidak semua filtrat menjadi urin. Sekitar 99% volume filtrat diserap kembali saat melewati nefron, dan kurang dari 1% menjadi urin.

Komposisi, pH, volume dari urin yang dibentuk sangat bervariasi tergantung pada kebutuhan tubuh akan zat-zat tertentu. Beberapa penyakit yang dapat menimbulkan kelainan-kelainan pada urine yaitu diabetes mellitus, batu ginjal, hepatitis, penyakit hemolytic dan glomerulonephritis. Pembentukan Urine Kental Bila tubuh kekurangan cairan (dehidrasi), akan merangsang produksi ADH oleh hipotalamus dan merangsang pelepasan ADH oleh hypophyse ke dalam darah, ADH mempengaruhi saluran pengumpul menjadi permeabel terhadap air dan terbentuk urine yang kental. Pembentukan Urine Encer Sewaktu banyak minum, ADH tidak diproduksi oleh hipotalamus juga tidak disekresikan oleh neurohypophysis, saluran pengumpul tidak permeabel terhadap air, cairan urine

tidak akan mengalami pemekatan dan terbentuklah urine yang encer.

DAFTAR PUSTAKA

- Seeley, R. R., Stephens, T. D., & Philip, T. (2004). *Anatomy and Physiology, 6th*. Boston: The McGraw-Hill.
- Sherwood, L. (2010). *Human Physiology from Cell to System*. USA: Brooks/Cole.
- Vander, A. J., Sherman, J. H., & Luciano, D. S. (2001). *Human Physiology: The Mechanisms of Body Function*. Boston: McGraw-Hill.

INDEKS

A

Anatomi, ii, i, ii, iii, iv, 1, 2, 11, 42, 48,
67, 73, 99, 101
atmosfir, 6
atom, 3

E

eksternal, 2, 6, 7, 9, 21, 41, 68
Embriologi, 2
esofagus, 70, 71, 83

F

fisiologi, i, 3, 4, 5, 6, 11, 100, 101

H

Homeostasis, ii, iv, 5, 7, 9

I

internal, 2, 6, 7, 9, 10, 34, 41

J

jaringan, 2, 3, 4, 8, 9, 16, 21, 22, 24, 26,
41, 43, 46, 49, 51, 56, 62, 70, 74, 79,
84

K

kardiovaskular, i, 3, 7, 61, 64, 67, 101
kelenjar, 9, 10, 15, 17, 19, 20, 23, 28, 82,
83, 87

M

metabolisme, 6, 8, 64, 87, 88

N

neuron, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 26,
27, 28, 29, 34

O

organ, iv, 3, 4, 9, 12, 19, 20, 21, 41, 42,
43, 45, 49, 58, 63, 70, 77, 81, 83, 84,
87, 88, 101
organel, 4, 43

P

posterior, 12, 26, 27, 69, 70, 71, 72, 74,
76

R

reabsorpsi, 8, 87, 89

S

saraf, i, 2, 3, 4, 7, 15, 16, 17, 18, 19, 20,
21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 30, 31, 32,
33, 34, 36, 37, 38, 42, 43, 51, 56, 57,
62, 77, 87, 101
sel, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 15, 16, 17, 18, 19,
20, 21, 22, 26, 27, 28, 29, 34, 41, 43,
44, 46, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 62, 64,
67, 69, 70, 75, 76, 82, 88, 90
Sistem Saraf Pusat, 16
Sistem Saraf tepi, 16
sistemik, 2, 3, 62, 63
sumsum tulang belakang, 9, 15, 16, 20,
21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31,
33, 34, 36, 37, 49, 58

U

uniseluler, 6

V

vasodilatasi, 8, 10

vasokonstriksi, 8

volume, 7, 76, 77, 88, 91

GLOSARIUM

Anatomi : Ilmu yang mempelajari struktur tubuh makhluk hidup dan bagian-bagian yang membentuknya.

Arteri: Pembuluh darah yang membawa darah beroksigen dari jantung ke seluruh tubuh.

Fisiologi: Ilmu yang mempelajari fungsi-fungsi organ dan sistem tubuh makhluk hidup.

Ginjal: Organ berpasangan yang berfungsi menyaring darah dan membentuk urin

Jantung: Organ berotot yang memompa darah ke seluruh tubuh melalui sistem peredaran darah.

Kandung kemih: Organ yang menyimpan urin sebelum dikeluarkan dari tubuh.

Lambung: Organ dalam yang berfungsi untuk mencerna makanan secara kimiawi dengan bantuan asam lambung.

Neuron: Sel saraf yang berfungsi untuk menghantarkan impuls saraf dari satu bagian tubuh ke bagian lain.

Otot Jantung: Otot khusus yang hanya ditemukan di jantung, berfungsi memompa darah ke seluruh tubuh.

Otot Polos: Otot yang tidak disadari (involunter), ditemukan di organ-organ dalam seperti lambung dan usus.

Otot Rangka: Otot yang melekat pada tulang dan bertanggung jawab untuk gerakan volunter (sadar).

Paru-paru: Organ utama sistem pernapasan yang berfungsi untuk menyerap oksigen dari udara dan mengeluarkan karbon dioksida dari darah.

Sendi: Tempat pertemuan antara dua tulang yang memungkinkan gerakan tertentu, seperti sendi bahu, siku, dan lutut.

Sistem Kardiovaskular: Sistem yang terdiri dari jantung, pembuluh darah, dan darah, berfungsi untuk mengedarkan darah, oksigen, dan nutrisi ke seluruh tubuh.

Sistem Otot: Sistem tubuh yang terdiri dari otot-otot yang memungkinkan gerakan tubuh dan pemeliharaan postur.

Sistem Pencernaan: Sistem tubuh yang memproses makanan, menyerap nutrisi, dan membuang sisa-sisa makanan yang tidak tercerna.

Sistem Pernapasan: Sistem tubuh yang bertanggung jawab untuk pertukaran gas (oksigen dan karbon dioksida) antara tubuh dan lingkungan.

Sistem Rangka: Sistem tubuh yang terdiri dari tulang, sendi, dan jaringan pendukung yang menyediakan struktur dan perlindungan bagi tubuh.

Sistem Saraf: Sel saraf yang berfungsi untuk menghantarkan impuls saraf dari satu bagian tubuh ke bagian lain.

Sistem Urinaria: Sistem tubuh yang bertanggung jawab untuk membuang zat-zat sisa dan menjaga keseimbangan cairan serta elektrolit dalam tubuh.

Trakea: Saluran udara yang menghubungkan laring ke bronkus dan paru-paru.

Tulang: Struktur keras yang membentuk kerangka tubuh, berfungsi sebagai penyangga tubuh dan tempat melekatnya otot.

Ureter: Saluran yang membawa urin dari ginjal ke kandung kemih.

Uretra: Saluran yang mengeluarkan urin dari kandung kemih ke luar tubuh.

Usus Halus: Otot yang tidak disadari (involunter), ditemukan di organ-organ dalam seperti lambung dan usus.

Vena: Pembuluh darah yang membawa darah terdeoksigenasi kembali ke jantung.

BIODATA PENULIS



Dr. Andi Andarian, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Magister Pendidikan Biologi
Fakultas Pascasarjana

Penulis lahir di Cabbeng tanggal 28 Desember 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Magister Pendidikan Biologi Fakultas Pascasarjana, Universitas Patompo. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Biologi dan melanjutkan S2, dan S3 pada Jurusan Pendidikan Biologi. Penulis aktif melakukan publikasi penelitian dan menekuni bidang menulis terkait model-model pembelajaran pada mata kuliah Anatomi dan Fisiologi.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:

andi.andariana@unpatompo.ac.id

BIODATA PENULIS



Rezeki Amaliah, S.Pd.,M.Kes.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Dosen Pendidikan Biologi Universitas Patompo Makassar sejak tahun 2015, lahir di Pangkajene Kabupaten Pangkep Sulawesi Selatan pada tanggal 28 Agustus 1989. Menyelesaikan pendidikan sarjana S1 pada program studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Negeri Makassar tahun 2011. Pada tahun 2015 menyelesaikan pendidikan S2 pada konsentrasi Fisiologi pada Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin. Pengalaman mengajar pada mata kuliah fisiologi keguruan, profesi keguruan, perkembangan peserta didik, inovasi pembelajaran dan, entomologi. Aktif menulis artikel penelitian pada konsep fisiologi, modul pembelajaran, dan beberapa *book chapter*.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:

amaliahrezeki28@gmail.com, amaliah.rezeki@unpatompo.ac.id

SINOPSIS BUKU

Buku “Anatomi dan Fisiologi Manusia” ini menyajikan pemahaman tentang struktur dan fungsi tubuh manusia. Dengan penjelasan yang komprehensif, buku ini membahas bagaimana organ dan sistem tubuh bekerja secara harmonis untuk mempertahankan homeostasis serta memungkinkan berbagai aktivitas kehidupan. Setiap bab memaparkan organ-organ utama seperti sistem saraf, otot, rangka, kardiovaskular, pernapasan, pencernaan, dan urinaria serta bagaimana sistem-sistem ini saling berinteraksi. Dirancang untuk mahasiswa dan dosen. Buku ini menekankan pentingnya hubungan antara anatomi (struktur) dan fisiologi (fungsi). Selain itu, buku ini dilengkapi dengan ilustrasi yang memperjelas konsep-konsep kompleks dan tabel ringkasan.