

EDITOR
dr. Tomy Nurtamin, M.Sc, M.Ked.Klin, Sp.U
dr. Satrio Wicaksono, M.Sc., Sp.N



SISTEM TUBUH MANUSIA 1



Arfiyan Sukmadi | Radzmi Junaid | Biomechy Oktomalia Putri
Nita Damayanti | Erwin Samsul | Santi Damayanti | Suparto | Suci Anggraini
Frisca Angreni | Andika Pradana | Hapsari Galih Setyowati | Eko Retnowati
Hafizah | Neiliel Fitriana Anies | Yossi Maryanti

SISTEM TUBUH MANUSIA 1

Buku Sistem Tubuh Manusia 1 yang berada di tangan pembaca ini terdiri dari 15 bab:

- Bab 1 Prinsip Homeostasis dan Organisasi Fungsional Sistem Tubuh Manusia
- Bab 2 Prinsip Terminologi Medis dan Prinsip Dasar Anatomi Fungsional
- Bab 3 Sistem Integumen: Struktur Histologis, Fungsi, dan Relevansi Klinis
- Bab 4 Anatomi Regional & Biomekanika Kepala dan leher
- Bab 5 Sistem Saraf : Organisasi Neuroanatomi dan Mekanisme Transmisi Impuls
- Bab 6 Sistem Kardiovaskular: Anatomi Jantung dan Sistem Vaskular
- Bab 7 Fisiologi Sirkulasi dan Regulasi Hemodinamik
- Bab 8 Sistem Limfatik dan Mekanisme Dasar Respon Imun Sistemik
- Bab 9 Sistem Respirasi: Struktur Anatomi dan Mekanisme Ventilasi Paru
- Bab 10 Fisiologi Pernapasan dan Sistem Pertukaran Gas
- Bab 11 Sistem Digestif: Struktur Morfofungsional Saluran Pencernaan
- Bab 12 Fisiologi Pencernaan dan Mekanisme Nutrien
- Bab 13 Sistem Endokrin: Regulasi Hormon dan Homeostasis Metabolik
- Bab 14 Anatomi dan Fisiologi Sistem Reproduksi
- Bab 15 Integrasi Sistem Tubuh dalam Mekanisme Respon Stres dan Inflamasi

SISTEM TUBUH MANUSIA 1

Penulis:

**Arfiyan Sukmadi, S.ST., M.Tr.Kep
apt. Radzmi Junaid., S.Farm., M.Si.
dr. Biomechy Oktomalio Putri, M.Biomed
dr. Nita Damayanti, Sp. KFR, AIFO-K, CHt®
apt. Erwin Samsul, S.Farm., M.Si.
Santi Damayanti, S.Kep.,Ns.,M.Kep.Sp.Kep.M.B
dr. Suparto, Sp.An-FCTA, M.M
Suci Anggraini, S.Gz, M.Biomed
dr. Frisca Angreni, M.Biomed
Dr. dr. Andika Pradana, M.Ked(Paru), Sp.P(K)
dr. Hapsari Galih Setyowati SpPA
apt. Eko Retnowati, S.Si.,M.Si.,M.Farm
Hafizah, S.ST., M.Biomed
Ns. Neiliel Fitriana Anies, M.Kep
dr. Yossi Maryanti, M. Biomed, SpN**

Editor:

**dr. Tomy Nurtamin, M.Sc, M.Ked.Klin, Sp.U
dr. Satrio Wicaksono, M.Sc., Sp.N**



eureka
media aksara

PENERBIT CV. EUREKA MEDIA AKSARA

SISTEM TUBUH MANUSIA 1

Penulis : Arfiyan Sukmadi, S.ST., M.Tr.Kep |
apt. Radzmi Junaid., S.Farm., M.Si. |
dr. Biomechy Oktomalia Putri, M.Biomed |
dr. Nita Damayanti, Sp. KFR, AIFO-K, CHt® |
apt. Erwin Samsul, S.Farm., M.Si. | Santi
Damayanti, S.Kep.,Ns.,M.Kep.Sp.Kep.M.B |
dr. Suparto, Sp.An-FCTA, M.M | Suci
Anggraini, S.Gz, M.Biomed | dr. Frisca
Angreni, M.Biomed | Dr. dr. Andika Pradana,
M.Ked(Paru), Sp.P(K) | dr. Hapsari Galih
Setyowati SpPA | apt. Eko Retnowati,
S.Si.,M.Si.,M.Farm | Hafizah, S.ST., M.Biomed
| Ns. Neiliel Fitriana Anies, M.Kep | dr. Yossi
Maryanti, M. Biomed, SpN

Editor : dr. Tomy Nurtamin, M.Sc, M.Ked.Klin, Sp.U
dr. Satrio Wicaksono, M.Sc., Sp.N

Desain Sampul : Eri Setiawan

Tata Letak : Adesya Ramadhini

ISBN : 978-634-315-235-4

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, JULI 2026**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992
Surel : eurekamediaaksara@gmail.com
Cetakan Pertama : 2026

All rights reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh
isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun,
termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman
lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

BAB 9

SISTEM RESPIRASI: STRUKTUR ANATOMI DAN MEKANISME VENTILASI PARU

dr. Frisca Angreni, M.Biomed

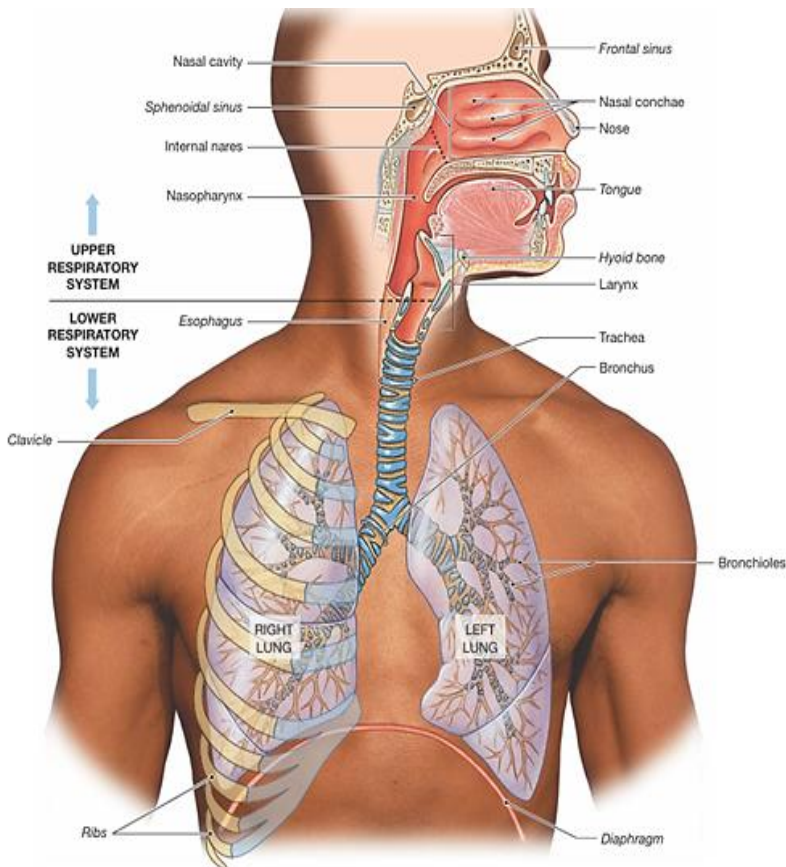
A. Pendahuluan

Sistem respirasi merupakan salah satu sistem penting dalam tubuh manusia yang berfungsi untuk melakukan pertukaran gas, yaitu mengambil oksigen (O_2) dari luar tubuh dan mengeluarkan karbondioksida (CO_2) sebagai hasil metabolisme. Secara anatomi, sistem respirasi terdiri dari saluran pernapasan atas dan bawah, yang meliputi rongga hidung (cavum nasi), pharynx, larynx, trachea, bronchus, bronchiolus, hingga alveolus sebagai tempat utama pertukaran gas. Struktur-struktur ini tersusun sedemikian rupa untuk memastikan udara dapat masuk, disaring, dilembapkan, dan akhirnya mencapai paru-paru secara efisien.

Proses masuk dan keluarnya udara dalam paru-paru dikenal sebagai ventilasi paru. Mekanisme ini melibatkan kerja sama antara otot pernapasan, terutama diafragma dan otot intercostalis, serta perubahan tekanan di dalam cavum thorax (rongga dada). Saat inspirasi, diafragma berkontraksi dan rongga dada membesar sehingga tekanan intrapulmonal menurun dan udara masuk ke paru. Sebaliknya, saat ekspirasi, diafragma relaksasi, volume cavum thorax berkurang, tekanan meningkat, dan udara terdorong keluar. Pemahaman tentang anatomi sistem respirasi dan mekanisme ventilasi paru sangat penting sebagai dasar untuk mempelajari fungsi pernapasan serta gangguan yang dapat terjadi pada sistem tersebut.

B. Struktur Anatomi Sistem Respirasi

Struktur anatomi dari sistem respirasi dimulai dari hidung dan berakhir di alveoli paru.

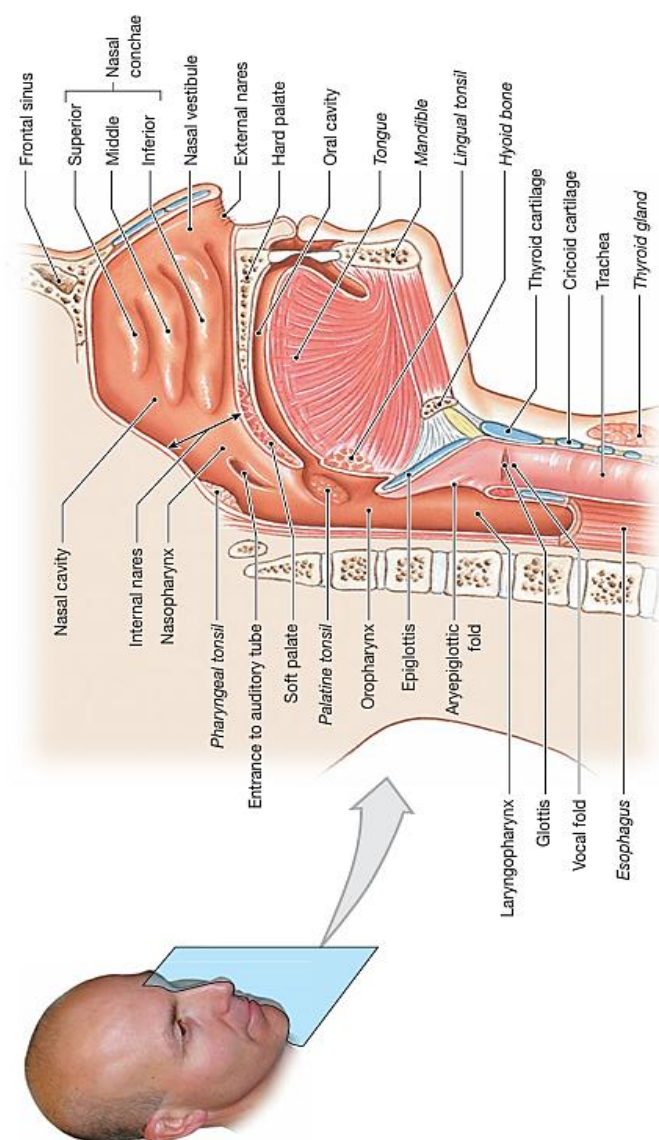


Gambar 9.1 Anatomi Sistem Respirasi Atas dan Bawah

1. Sistem Respirasi Atas

a. Hidung (Nasal)

Hidung adalah jalur utama masuknya udara ke sistem pernapasan. Udara biasanya masuk ke sistem pernapasan melalui lubang hidung luar (nares), yang terbuka ke rongga hidung. Vestibulum hidung, bagian rongga hidung yang tertutup oleh jaringan fleksibel hidung (Gambar 9.2),



a A sagittal section of the head and neck

Gambar 9.2 Hidung, Cavum Nasi dan Nasopharynx

Epitel vestibulum hidung mengandung rambut kasar yang membentang di seluruh lubang hidung luar.

Partikel udara besar seperti pasir, serbuk gergaji, dan bahkan serangga terperangkap di rambut ini dan dicegah masuk ke cavum nasi .

Septum nasi memisahkan bagian kanan dan kiri cavum nasi. Bagian tulang septum nasi dibentuk oleh fusi lempeng tegak lurus os etmoid dan lempeng vomer. Bagian anterior septum nasi dibentuk dari cartilago hialin. Lempeng cartilago ini menopang dorsum nasi, dan apex (ujung) nasi. Sekresi lendir yang dihasilkan di sinus paranasal dibantu oleh air mata yang mengalir melalui ductus nasolacimalis, membantu menjaga permukaan rongga hidung tetap lembap dan bersih. Bagian superior, atau daerah olfaktori (penciuman) cavum nasi meliputi area yang dilapisi epitel penciuman permukaan inferior lamina cribosa.

b. Pharynx

Hidung, mulut, dan tenggorokan terhubung satu sama lain melalui saluran yang disebut pharynx. Pharynx digunakan bersama oleh sistem pencernaan dan pernapasan. Pharynx membentang di antara apertura nasalis anterior bagian dalam dan pintu masuk ke trakea dan esophagus. Dinding superior dan posterior yang melengkung terikat erat pada kerangka aksial, tetapi dinding lateral cukup fleksibel dan berotot. Pharynx dibagi menjadi tiga wilayah (nasopharynx, oropharynx, dan laryngopharynx).

1) *Nasopharynx* (bagian superior dari faring).

Rongga ini terhubung ke bagian posterior rongga hidung melalui lubang hidung bagian dalam, dan dipisahkan dari rongga mulut oleh langit-langit lunak (palatum mole). Nasofaring dilapisi oleh epitel pernapasan yang khas. Tonsila pharyngea terletak di dinding posterior nasofaring; dinding lateral berisi ostium tuba auditiva eustachii.

2) *Oropharynx*

Oropharynx membentang di antara palatum mole dan pangkal lidah setinggi os hyoid. Bagian posterior cavum nasi berhubungan langsung dengan oropharynx, begitu pula bagian posterior dan inferior nasopharynx.

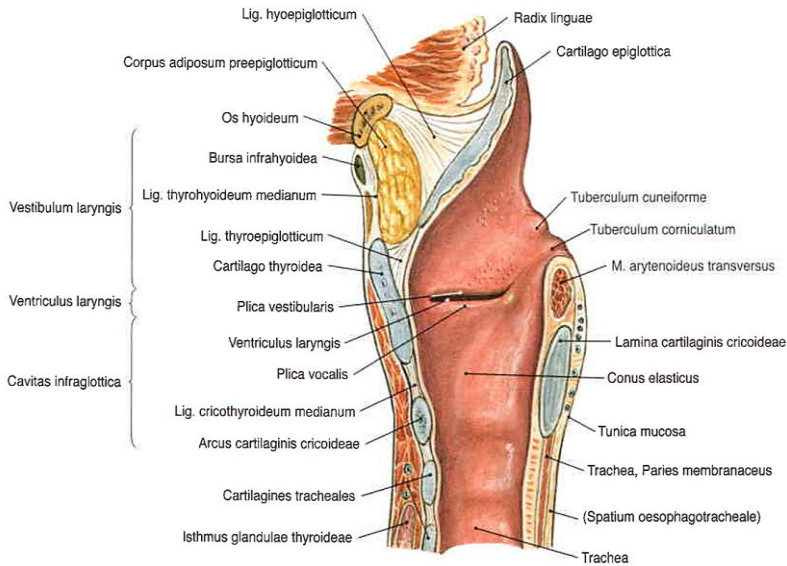
3) *Laryngopharynx*

Termasuk dalam regio pharynx diantara os hyoid dan pintu masuk ke oesophagus. Laryngopharynx adalah bagian paling inferior dari pharynx.

2. Sistem Pernapasan Bawah

a. Larynx

Udara yang dihirup meninggalkan pharynx dengan melewati lubang sempit, glottis. Larynx dimulai pada tingkat vertebra C4 atau C5 dan berakhir pada tingkat vertebra C7. Pada dasarnya, larynx adalah silinder yang dinding tulang rawannya distabilkan oleh ligamen atau otot rangka atau keduanya. Larynx dibentuk oleh 9 cartilago. Tiga cartilago berpasangan dan tiga cartilago yyang tidak berpasangan. Cartilago yang tidak berpasangan adalah cartilago thyroidea, cartilago cricoidea, dan cartilago epiglottica. Cartilago yang berpasangan adalah cartilago cuneiforme, cartilago corniculata, dan cartilago arytenoidea.



Gambar 9.3 *Larynx*

1) *Cartilago thyroid*

Cartilago ini adalah cartilago larynx terbesar. Tulang rawan ini membentuk sebagian besar dinding anterior dan lateral laring (Gambar 9.3).

Cartilago thyroid, jika dilihat dalam penampang sagital, terlihat tidak memenuhi bagian posterior. Permukaan anterior cartilago ini memiliki tonjolan tebal, yaitu *prominencia laryngea*. Tonjolan ini mudah dilihat dan diraba, umumnya disebut *jakun*.

Permukaan inferior tulang rawan thyroid berartikulasi dengan tulang rawan cricoid; permukaan superior memiliki perlekatan ligamen ke epiglottis dan tulang rawan laring yang lebih kecil.

2) *Cartilago cricoid*

Cartilago cricoid terletak di inferior dari cartilago thyroid. Tulang rawan ini berbentuk cincin lengkap yang bagian posteriornya sangat melebar, memberikan dukungan jika tidak ada cartilago thyroid. Cartilago cricoid dan thyroid melindungi glottis serta pintu masuk trakea, dan permukaannya

yang lebar menyediakan tempat untuk perlekatan otot dan ligamen larynx yang penting. Permukaan superior cartilago cricoid berartikulasi dengan cartilago arytenoid kecil yang berpasangan.

3) *Cartilago epiglottica* (epiglottis)

Epiglottis yang berbentuk seperti tanduk sepatu menonjol ke atas glotis. Tulang rawan epiglottis yang menopangnya memiliki perlekatan ligamen ke batas anterior dan superior cartilago thyroid dan os hyoid. Selama menelan, larynx terangkat, dan epiglottis melipat ke belakang di atas glotis, mencegah masuknya cairan atau makanan padat ke dalam saluran pernapasan.

4) *Cartilago cuneiforme*

Tulang rawan ini berpasangan, berbentuk baji, memanjang dan melengkung. Terletak di dalam plica aryepiglottica yang membentang antara aspek lateral setiap cartilago arytenoid dan epiglottis.

5) *Cartilago corniculata*

Tulang rawan ini berbentuk tanduk berartikulasi dengan cartilago arytenoid. Cartilago corniculata dan arytenoid berperan dalam pembukaan dan penutupan glotis serta produksi suara.

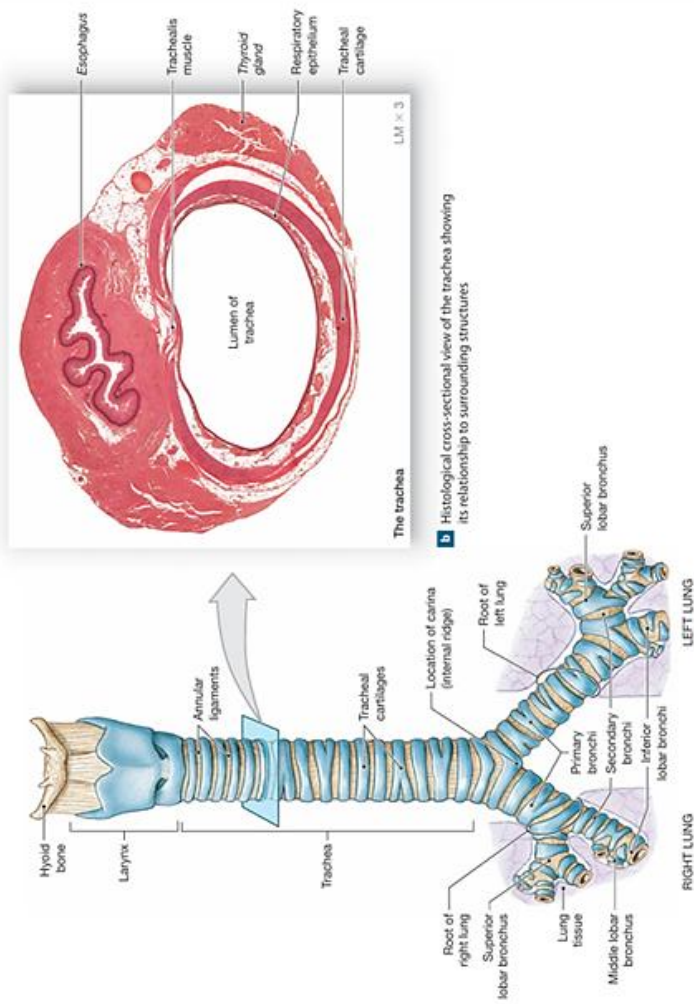
6) *Cartilago arytenoidea*

Tulang rawan arytenoid (berbentuk seperti sendok) yang berpasangan berartikulasi dengan batas atas bagian yang membesar dari cartilago cricoid.

b. Trachea

Trachea atau “tenggorokan,” adalah tabung yang kuat dan fleksibel dengan diameter sekitar 2,5 cm (1 inci) dan panjang sekitar 11 cm (4,25 inci). Trakea dimulai di anterior vertebra C6 dalam perlekatan ligamen ke cartilago cricoid. Trachea berakhir di mediastinum, pada tingkat vertebra T5, bercabang membentuk bronchus principalis dextra dan sinistra. Lapisan trachea terdiri dari epitel pernapasan yang melapisi lapisan jaringan ikat

longgar yang disebut lamina propria. Lamina propria memisahkan epitel pernapasan dari cartilago di bawahnya.



b Histological cross-sectional view of the trachea showing its relationship to surrounding structures

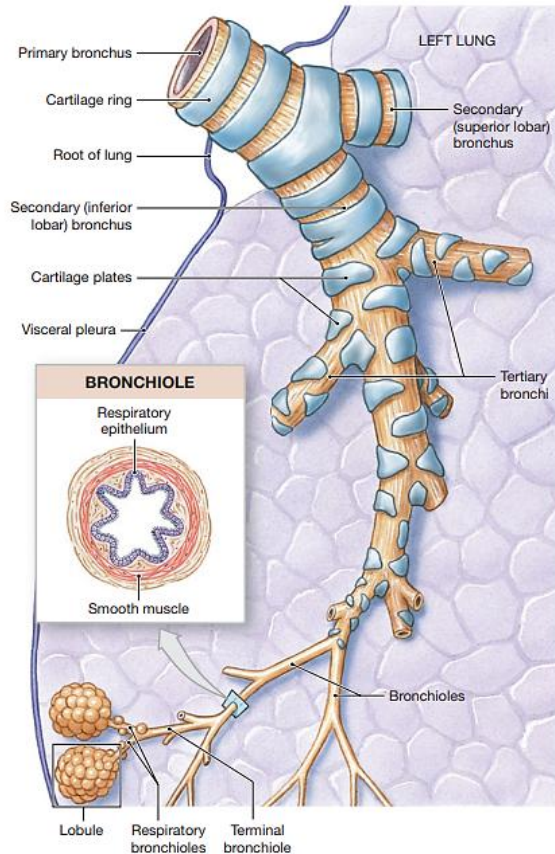
Gambar 9.4 Trachea

Di permukaan submukosa, trachea mengandung 15-20 cartilago trachea (Gambar 9.4). Setiap cartilago trachea terikat pada tulang rawan di sekitarnya oleh ligamen annular elastis. Tulang rawan trachea memperkuat dinding trachea dan melindungi saluran napas.

Tulang rawan ini mencegah kondisi kolaps atau berkembang berlebihan. Setiap tulang rawan trachea berbentuk C. Bagian tertutup dari C melindungi permukaan anterior dan lateral trachea. Bagian terbuka dari tulang rawan trachea menghadap ke posterior, ke arah esofagus (Gambar 9.4). Karena tulang rawan tidak berlanjut mengelilingi trachea, dinding trachea posterior dapat dengan mudah berubah bentuk selama menelan, memungkinkan lewatnya massa makanan yang besar di sepanjang oesophagus.

Ligamen elastis dan pita otot polos trakealis menghubungkan ujung setiap tulang rawan trakea (Gambar 9.4). Kontraksi otot trakealis mengubah diameter lumen trakea, mengubah resistensi terhadap aliran udara. Aktivasi simpatik menyebabkan relaksasi otot trakealis, meningkatkan diameter trakea dan memudahkan pergerakan volume udara yang besar di sepanjang saluran pernapasan.

c. *Bronchial tree*



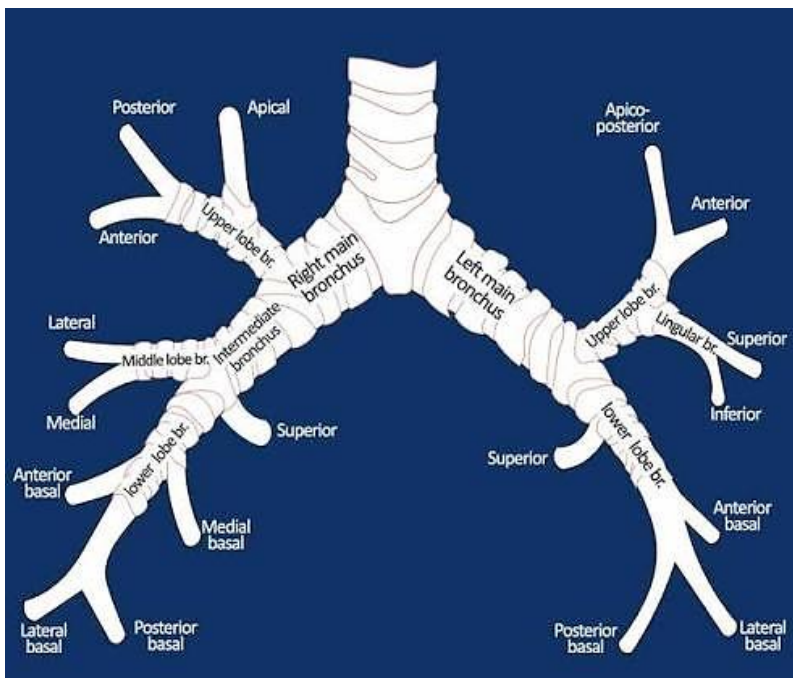
Gambar 9.5 *Bronchus* dan Percabangannya

Bronchial tree adalah pohon bronchial (gambar 9.5). Hal ini diartikan sebagai kesatuan yang berfungsi sebagai jalur utama udara masuk menuju paru-paru. Fungsi utama pohon bronchial ini adalah untuk mengangkut udara yang dihirup untuk sampai ke alveoli dan terjadi proses respirasi.

Struktur bronchial dimulai pada bidang toraks transversal, trakea bercabang menjadi dua bronchus principalis, satu untuk masing-masing pulmo. Bronchus principalis memasuki pulmo di bagian inferolateral melalui hilum pulmonalis. Bronkus principalis dextra

memiliki diameter yang lebih besar dan lebih lurus dibanding bronchus principalis dextra sehingga corpus alienum lebih sering masuk melalui bronchus principalis ini.

Pada pulmo dextra bronchus principalis dextra akan bercabang menjadi bronchus lobaris superior, media dan inferior. Untuk pulmo sinistra bronchus principalis sinistra akan bercabang menjadi bronchus lobaris superior dan inferior. Tiap bronchus lobaris akan bercabang menjadi bronchus segmentalis untuk masing-masing lobus pulmo (gambar 9.6).



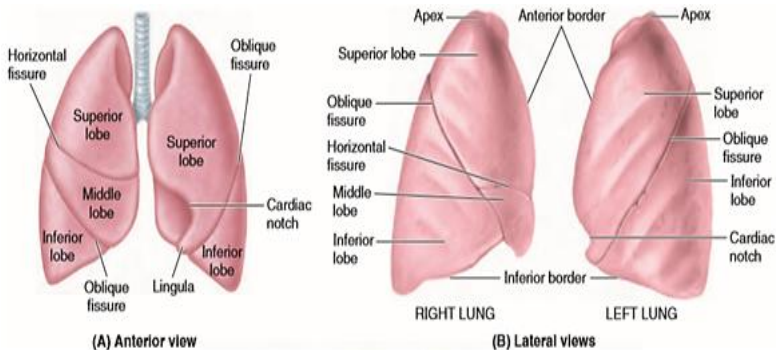
Gambar 9.6 *Bronchus Segmentalis*

Pada lobus superior pulmo dextra terdapat tiga bronchus segmentalis yaitu bronchus segmentalis apicalis, anterior, posterior. Pada lobus media pulmo terdapat bronchus segmentalis medial dan lateral. Lobus inferior pulmo dextra terdapat bronchus segmentalis superior, basalis medial, basalis lateral, basalis posterior

dan basalis anterior. Pada lobus superior pulmo sinistra terdapat empat bronchus segmentalis yaitu, bronchus segmentalis apicoposterior, anterior, lingularis superior dan lingularis inferior. Pada lobus inferior pulmo sinistra terdapat bronchus segmentalis superior, basalis medial, basalis lateral, basalis posterior dan basalis anterior.

d. Paru dan Pleura

Pulmo (paru) merupakan organ pernapasan yang terletak pada cavum thorax. Manusia memiliki sepasang paru di sisi kiri dan kanan cavum thorax. Setiap pulmo memiliki puncak (apex pulmo) dan dasar (basis pulmo). Setiap jaringan paru yang sehat memiliki karakteristik yang lembut, ringan dan berongga. Karakteristik yang dimiliki inilah yang membuat pulmo elastis, dapat mengembang dan kembali seperti semula untuk fungsi pernapasan normal yang dinamis.

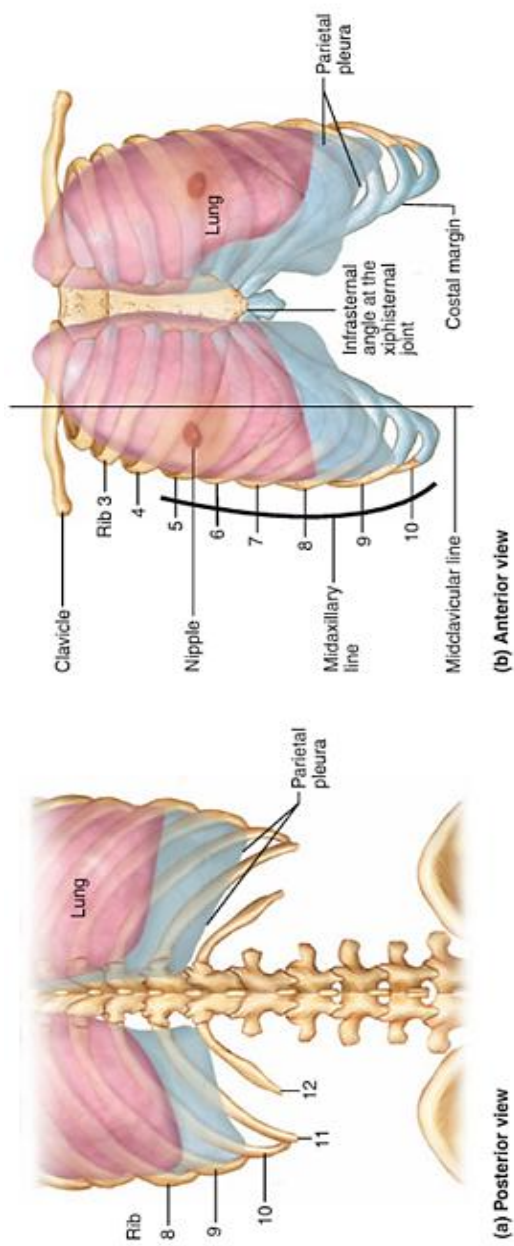


Gambar 9.7 Pulmo

Pulmo dextra memiliki tiga lobus sedangkan pulmo sinistra memiliki dua lobus. Seluruh pulmo dilapisi oleh 2 lapis pembungkus paru (pleura) yang disebut pleura visceralis dan pleura parietalis. Diantara kedua pleura tersebut memiliki ruang potensial yang dinamakan cavum pleura.

Di bagian inferior, cavum pleura memanjang di bawah batas inferior paru-paru seperti yang diilustrasikan pada gambar 9.8. Di bagian posterior, tepi

inferior pleura parietal terletak berdekatan dengan vertebra T12 di dekat garis tengah posterior (Gambar 9.8a) dan membentang secara horizontal di punggung hingga mencapai costae 10 di midaxillaris. Di bagian anterior, pleura parietal naik ke costae 8 di linea midclavicularis (Gambar 9.8b) dan ke level articulatio xiphisternal di dekat garis tengah anterior. Batas inferior pulmo terletak dua costae di atas batas pleura. Di bagian anterior, pulmo bertemu dengan tepi pleura di dekat articulatio xiphisternal.



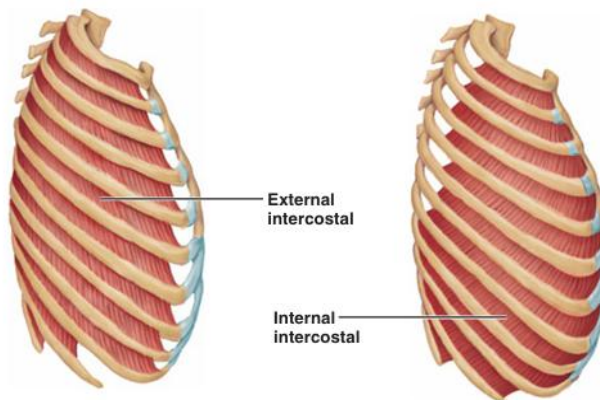
Gambar 9.8 Posisi Paru dan *Cavum Pleura* terhadap *Cavum Thorax*

C. Mekanisme Ventilasi Paru

Pernapasan, atau ventilasi paru-paru, terdiri dari dua fase: inspirasi (menghirup O₂), periode ketika udara mengalir ke dalam pulmo. Ekspirasi (menghembuskan CO₂), periode ketika gas keluar dari paru-paru. Mekanisme ventilasi ini melibatkan otot-otot pernapasan.

1. Otot Pernapasan

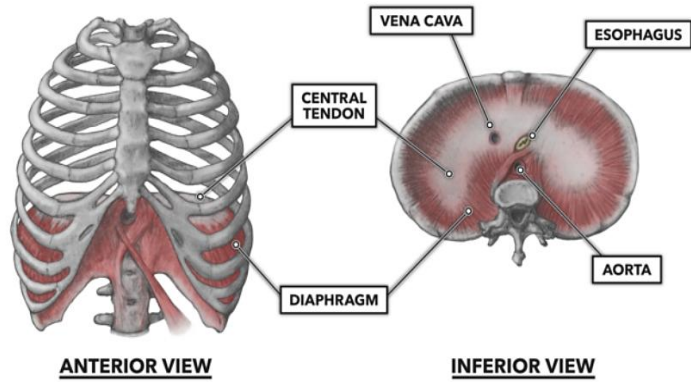
Fungsi utama dari otot-otot pernapasan adalah untuk menyediakan gerakan yang diperlukan untuk ventilasi. Pernapasan memiliki dua fase, yaitu inspirasi (udara masuk ke dalam paru) dan ekspirasi, atau udara keluar dari paru. Hal ini disebabkan oleh perubahan siklik pada volume rongga dada. Otot-otot dada berukuran sangat pendek, sebagian besar hanya membentang dari satu costae ke costae berikutnya. Otot-otot ini membentuk tiga lapisan di dinding dada. M. Intercostalis externus membentuk lapisan paling superfisial. Otot-otot ini mengangkat costae sehingga meningkatkan ukuran anteroposterior dan lateral cavum thorax.



Gambar 9.9 Otot-Otot *Intercostalis*

Hal tersebut menyebabkan musculus intercostalis externus berfungsi selama inspirasi. Musculus intercostalis externus adalah otot pernapasan utama selain diaphragma. Musculus intercostalis internus membentuk lapisan otot posterior terhadap musculus intercostalis externus. Musculus

intercostalis internus adalah otot pernapasan tambahan, otot-otot ini dapat membantu ekspirasi paksa dengan menekan cavum thorax.



Gambar 9.10 *Diaphragma*

Otot pernapasan ketiga yaitu musculus diaphragma (diaphragma) (gambar 9.10). Otot ini menempel pada bagian paling sital dari cavum thorax, dan merupakan lapisan yang memisahkan cavum thorax dan cavum abdomen.

Dalam keadaan istirahat, diaphragma berbentuk kubah. Ketika diaphragma berkontraksi, otot tersebut bergerak ke bawah dan mendatar, hal tersebut menghasilkan peningkatan volume cavum thorax.

Otot diaphragma berkontraksi secara ritmis selama pernapasan. Tetapi otot ini juga dapat berkontraksi secara volunter untuk menekan organ visceral abdomen dan meningkatkan tekanan di cavum abdomen untuk mengeluarkan isi organ abdomen dan panggul seperti saat buang air besar, buang air kecil, ataupun melahirkan bayi. Otot diaphragma juga berguna pada saat mengangkat beban berat karena otot tersebut menjadi pilar yang kokoh dan tidak akan melorot saat seseorang menarik napas dalam saat mengangkat beban. Otot intercostalis dipersarafi oleh nervus intercostalis. Diaphragma dipersarafi oleh nervus phrenicus.

Saat terjadi sesak maka otot-otot bantu pernapasan diaktifkan seperti *musculus scalenus*, *musculus sternocleidomastoideus* yang membantu mengelevasi *costae*. Ketika otot-otot bantu tersebut berkontraksi maka akan terlihat retraksi sela iga ataupun pergerakan dari otot-otot tersebut secara kasat mata.

2. Inspirasi

Proses inspirasi dibayangkan sebagai wadah yang bisa mengembang dengan satu pintu masuk di bagian atas. Wadah tersebut adalah *cavum thorax* dengan *trachea* sebagai pintu masuknya. Dimensi wadah yang meningkat turut meningkatkan volumenya sehingga menurunkan tekanannya. (tekanan dan volume berbanding terbalik)

Penurunan tekanan *intrathoracal* menyebabkan udara dari luar paru masuk ke dalam paru, karena gas mengalir darinyang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah. Pada inspirasi tenang terjadi kontraksi otot-otot utama pernapasan yaitu *musculus intercostalis externus* dan *diaphragma* yang berfungsi untuk meningkatkan *cavum thorax* (*intrathoracal*).

Ujung posterior *costae* berartikulasi dengan *columna vertebralis*, sedangkan ujung anterior sebagian besar *costae* berartikulasi dengan *sternum* atau *costae* yang berdekatan. Karena ujung anterior *costae* lebih rendah daripada ujung posterior, ketika *costae* terangkat, *costae* menggerakkan *sternum* ke atas dan ke depan. Selain itu, sudut antara *corpus sterni* dan *manubrium sterni* mungkin menjadi sedikit kurang tajam. Ketika *costae* ditekan, *sternum* bergerak ke bawah dan ke belakang. Gerakan “pegangan pompa” ini mengubah dimensi toraks dalam arah anteroposterior (Gambar 9.11).

Selain ujung anterior *costae* yang lebih rendah daripada ujung posteriornya, bagian tengah *corpus costae* cenderung lebih rendah daripada kedua ujungnya. Ketika *corpus costae* terangkat, bagian tengah bergerak ke lateral.

Gerakan “pegangan ember” ini meningkatkan dimensi lateral toraks.

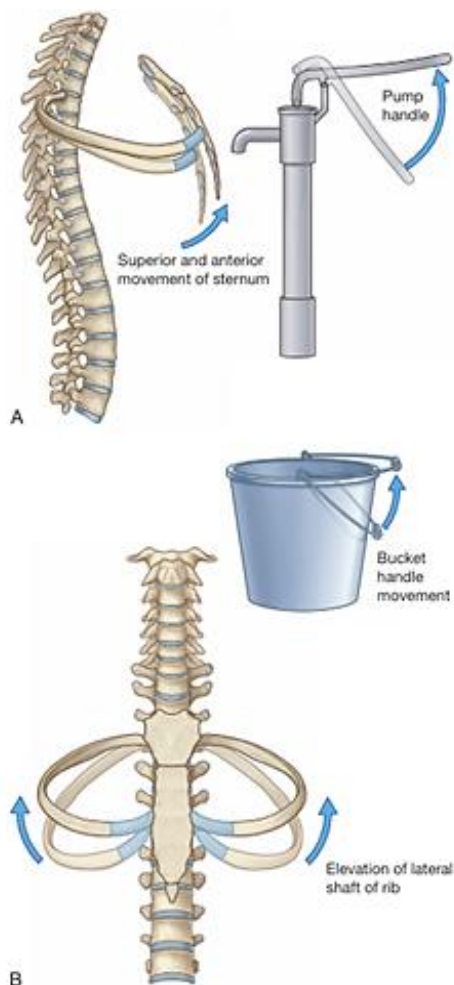
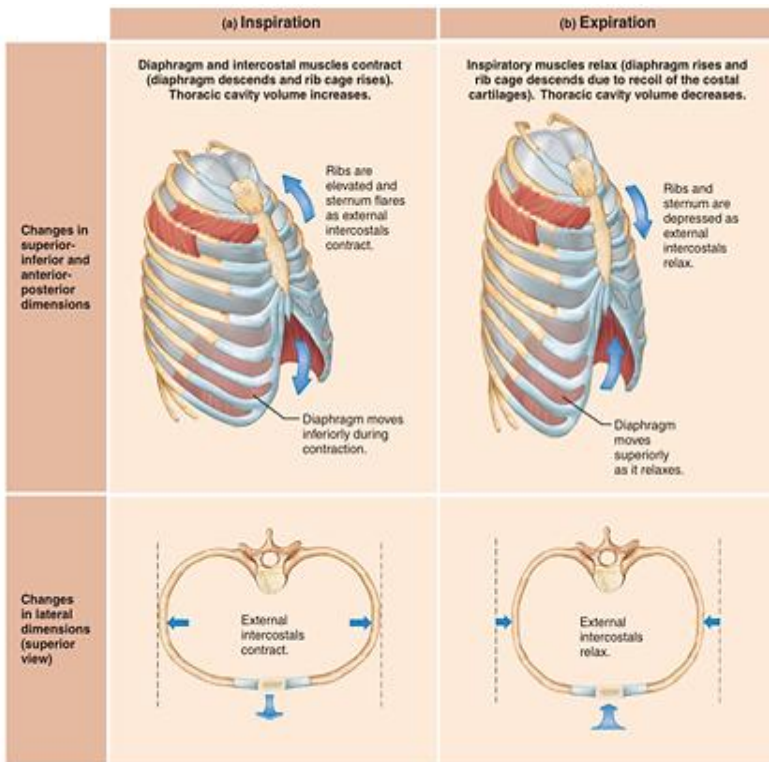


Fig. 3.28 Movement of thoracic wall during breathing. **A.** Pump handle movement of ribs and sternum. **B.** Bucket handle movement of ribs.

Gambar 9.11 Ilustrasi Pergerakan Dinding *Thorax* pada Ventilasi

Kontraksi otot-otot utama pernapasan:

- Diaphragma. Ketika diaphragma berkontraksi, ia bergerak ke distal dan melebar. Akibatnya, dimensi superoinferior cavum thorax meningkat.
- Musculus intercostalis externus. Otot intercostalis eksternal berkontraksi untuk mengangkat costae. Costae-costae yang terangkat menyebabkan dimensi lateral dada dan anteroposteriornya membesar.



Gambar 9.12 Pergerakan Dinding *Thorax* pada Ventilasi

Seperti yang sudah dijelaskan diatas, pulmo dilapisi oleh dua lapis pleura. Diantara dua lapis pleura tersebut dinamakan cavum pleura. Udara di dalam paru berada pada tekanan atmosfer dan tekanan di cavum pleura lebih rendah daripada tekanan atmosfer, menyebabkan paru-paru

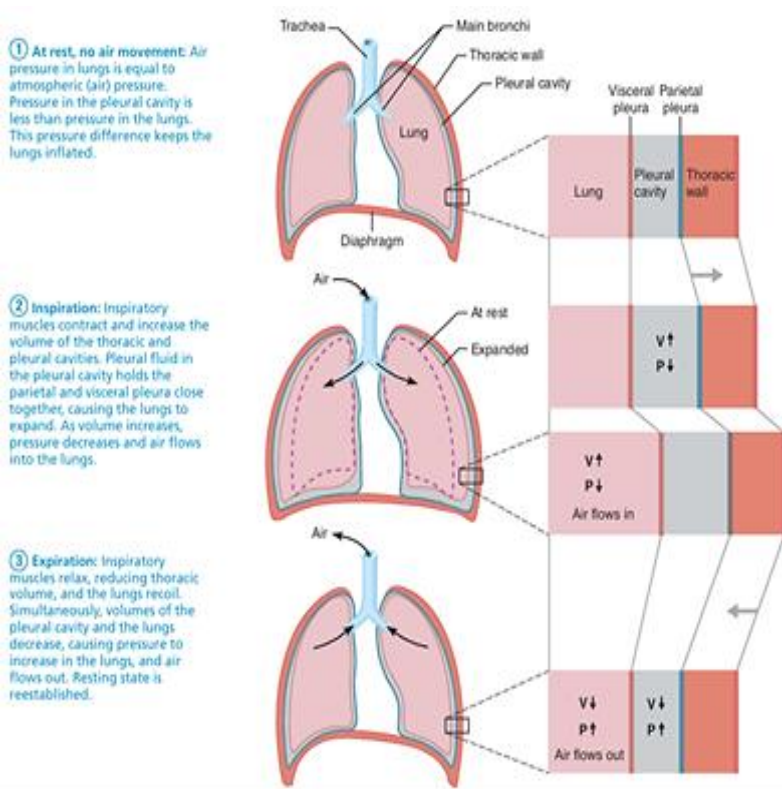
mengembang dan menekan cavum pleura terhadap dinding dada (Gambar 9.12).

Saat cavum thorax membesar karena kerja otot inspirasi, cavum pleura juga membesar, begitu pula volume paru. Peningkatan volume mengakibatkan penurunan tekanan di cavum pleura dan di dalam pulmo. Pulmo terbuka ke atmosfer melalui bronchus dan trachea, ketika tekanan di dalam pulmo menurun, udara dari atmosfer mengalir masuk. Agar ventilasi terjadi, cavum pleura harus intak. Jika integritas cavum pleura terganggu akibat trauma atau proses penyakit dan perbedaan tekanan antara paru-paru dan cavum pleura hilang, pulmo akan kolaps, dan ventilasi normal tidak dapat terjadi.

Selama inspirasi dalam atau inspirasi paksa, otot-otot bantu pernapasan berkontraksi dan semakin meningkatkan volume toraks. Musculus sternocleidomastoideus yang berada di sekitar leher dan musculus scalenus serta musculus pectoralis minor di dada berkontraksi dan mengangkat costae. Selain itu, musculus quadratus lumborum menstabilkan costae ke-12, menghasilkan tarikan ke bawah yang lebih kuat dari diaphragma. Di saat yang sama musculus erector spinae berkontraksi lengkungan toraks diluruskan sehingga thorax posterior memanjang.

3. Ekspirasi

Proses ekspirasi pada ventilasi normal merupakan proses pasif. Saat otot inspirasi beristirahat costae turun karena gaya gravitasi dan diaphragma yang rileks akan kembali bergerak ke atas (Gambar 9.13). Pada saat yang sama, banyak serat elastis di dalam pulmo mengerut. Akibatnya, volume cavum thorax dan pulmo berkurang secara bersamaan, meningkatkan tekanan di dalam pulmo dan mendorong udara keluar dari paru (Gambar 9.13).

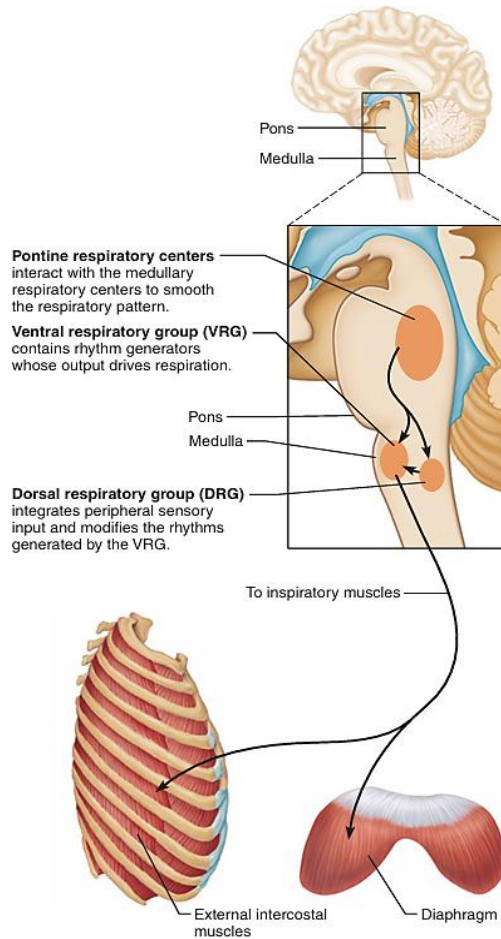


Gambar 9.13 Perubahan Volume dan Tekanan yang Dihasilkan pada Ventilasi Paru

Sebaliknya, pada kondisi sesak terjadi ekspirasi paksa. Proses tersebut merupakan proses aktif yang dihasilkan oleh kontraksi otot-otot di dinding perut, terutama musculus obliquus externus et internus abdominis serta musculus transversus abdominis. Kontraksi ini meningkatkan tekanan intra abdominal, memaksa diaphragma untuk kembali naik, dan menekan costae secara tajam, mengurangi volume thorax. Musculus intercostalis internus dan latissimus dorsi juga membantu menekan cavum thorax.

Pada pulmo yang sehat, alveoli tetap terbuka setiap saat dan tidak kolaps selama ekspirasi. Hal ini bertentangan dengan hukum fisika, karena lapisan air melapisi permukaan internal alveoli, dan terjadi tegangan permukaan yang

seharusnya menyebabkan alveoli kolaps setelah setiap napas. Keadaan kolaps pada alveoli tidak terjadi karena lapisan alveolus mengandung cairan surfaktan yang disekresikan oleh sel-sel alveolus tipe II, yang merusak daya tarik antar molekul air, sehingga mengurangi tegangan permukaan dan memungkinkan alveolus tetap terbuka.



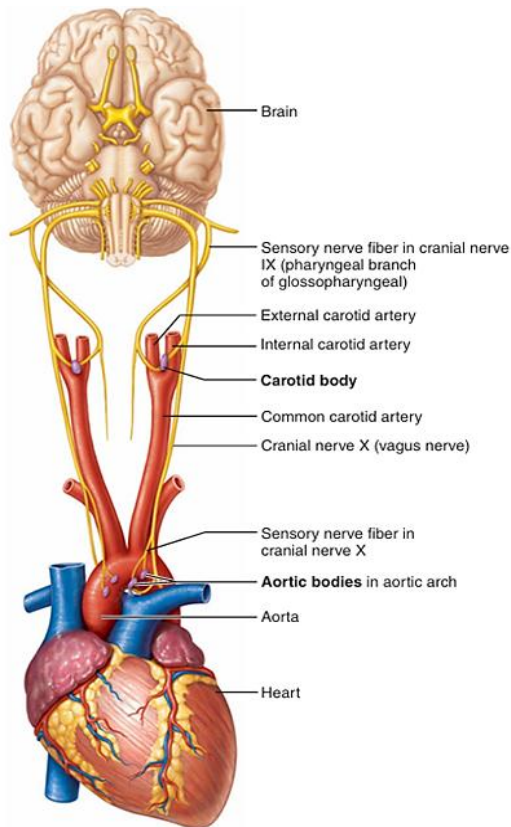
Gambar 9.14 Pusat Respirasi di Batang Otak

4. Kontrol Saraf pada Ventilasi

Pusat pernapasan terpenting di otak terletak di formasio reticularis medula oblongata. *Ventral Respiratory Grup* (VRG), merupakan pusat pernapasan yang mengatur

irama neuron penghasil ritme dan laju ventilasi dasar dengan sinyal dari pusat di pons dan dorsal medula (Gambar 9.15). Neuron dari medula merangsang neuron motorik somatik ke otot-otot pernapasan. Pola ventilasi dasar ini dapat dimodifikasi oleh pusat-pusat yang lebih tinggi di otak, seperti sistem limbik dan hipotalamus.

Hipotalamus berhubungan dengan emosi, sehingga emosi meningkat maka pernapasan pun meningkat (terengah-engah). Cortex cerebri berhubungan dengan kesadaran, sehingga seseorang bisa mengatur laju dan kedalaman pernapasan secara sadar (volunter)



Gambar 9.15 Lokasi dan Innervasi Kemoreseptor Perifer dan Central

Walaupun pusat pernapasan yang ada di medula oblongata mengatur laju pernapasan, tetapi proses ini juga dipengaruhi dari input dari kimia darah. Hal ini disebut kemoreseptor. Kemoreseptor ini berespons terhadap penurunan kadar O_2 dalam darah, peningkatan kadar CO_2 atau perubahan asam basa darah dengan cara mengirimkan sinyal ke pusat pernapasan dan terjadilah peningkatan laju dan kedalaman pernapasan. Peningkatan ini berguna untuk mengembalikan gas darah ke kadarnya yang normal. Terdapat dua jenis kemoreseptor yaitu kemoreseptor central (medula oblongata) dan kemoreseptor perifer (badan aorta yang ada di lengkung aorta dan badan carotis yang ditemukan di percabangan arteri carotis communis) (Gambar 9.15). Badan aorta mengirimkan informasi sensoriknya ke medula oblongata melalui nervus vagus, sedangkan badan carotis mengirimkan informasinya melalui nervus glossofaringeal. Pada manusia, tampaknya badan karotis merupakan kemoreseptor yang lebih penting untuk mengatur pernapasan.

D. Kesimpulan

Anatomi sistem respirasi terdiri dari organ-organ utama seperti hidung, faring, laring, trakea, bronkus, bronkiolus, dan paru-paru yang bekerja secara terintegrasi untuk proses pertukaran gas. Paru-paru sebagai organ utama memiliki alveolus yang berfungsi sebagai tempat difusi oksigen (O_2) ke dalam darah dan karbon dioksida (CO_2) keluar dari darah.

Mekanisme ventilasi adalah proses keluar-masuknya udara ke dalam paru-paru yang melibatkan inspirasi dan ekspirasi. Inspirasi terjadi ketika diafragma berkontraksi dan rongga dada membesar sehingga udara masuk, sedangkan ekspirasi terjadi saat diafragma relaksasi dan rongga dada mengecil sehingga udara keluar. Proses ini dipengaruhi oleh perubahan tekanan di dalam paru-paru dibandingkan dengan tekanan udara luar.

Secara keseluruhan, sistem respirasi dan mekanisme ventilasi bekerja sama untuk memastikan tubuh mendapatkan oksigen yang cukup dan membuang karbon dioksida sebagai hasil metabolisme.

DAFTAR PUSTAKA

- Amador C, Weber C, Varacallo MA. Anatomy, Thorax, Bronchial. (2023) In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan
- Drake RL, Vogl AW, Mitchell AWM. (2014) *Gray's Basic Anatomy*. Elsevier.
- Hickey SM, Sankari A, Giwa AO. Mechanical Ventilation. (2024) In: StatPearls Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan
- Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2023). *Human anatomy & physiology* (12th ed.). Pearson.
- Martini FH, Nath JL, Bartholomew EF. (2012) *Fundamentals of anatomy & physiology*. San Fransisco: Pearson.
- Martini, F. H., Tallitsch, R. B., & Nath, J. L. (2018). *Human Anatomy* (9th ed.). Pearson.
- Nata SC, Launico MV. Anatomy, Airway. (2025) In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan
- Netter Atlas of Human Anatomy* (8th ed.), use: Netter, Frank, H.. "Netter Atlas of Human Anatomy : Classic Regional Approach". 8th ed Philadelphia: Elsevier, 2023.
- Schunke M, Sculte E, Schumacher U. (2021). *Atlas Anatomi Manusia Prometheus*. Alih bahasa: Santoso BWA, Wanandi SI. EGC
- Waschke J, Bokkers TM, Paulsen F. (2018) *Buku Ajar Anatomi Sobotta*. Editor by Gunardi. S, Liem IK: Elsevier