

MODUL FISILOGI FISILOGI PERNAFASAN



Disusun Oleh:
Kesit Ivanali

**UNIVERSITAS ESA UNGGUL
FAKULTAS FISIOTERAPI
JAKARTA**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 PENGERTIAN RESPIRASI

Pengertian pernafasan atau respirasi adalah suatu proses mulai dari pengambilan oksigen, pengeluaran karbohidrat hingga penggunaan energi di dalam tubuh. Manusia dalam bernapas menghirup oksigen dalam udara bebas dan membuang karbon dioksida ke lingkungan. [1]

Respirasi dapat dibedakan atas dua jenis, yaitu :

- Respirasi Luar merupakan pertukaran antara O₂ dan CO₂ antara darah dan udara.
- Respirasi Dalam merupakan pertukaran O₂ dan CO₂ dari aliran darah ke sel-sel tubuh.

Dalam mengambil nafas ke dalam tubuh dan membuang napas ke udara dilakukan dengan dua cara pernapasan, yaitu :

1. Respirasi / Pernapasan Dada

- Otot antar tulang rusuk luar berkontraksi atau mengerut
- Tulang rusuk terangkat ke atas
- Rongga dada membesar yang mengakibatkan tekanan udara dalam dada kecil sehingga udara masuk ke dalam badan.

2. Respirasi / Pernapasan Perut

- Otot diafragma pada perut mengalami kontraksi
- Diafragma datar
- Volume rongga dada menjadi besar yang mengakibatkan tekanan udara pada dada mengecil sehingga udara masuk ke paru-paru.

Normalnya manusia butuh kurang lebih 300 liter oksigen perhari. Dalam keadaan tubuh bekerja berat maka oksigen atau O₂ yang diperlukan pun menjadi berlipat-lipat kali dan bisa sampai 10 hingga 15 kalilipat. Ketika oksigen menembus selaput alveolus, hemoglobin akan mengikat oksigen yang banyaknya akan disesuaikan dengan besar kecil tekanan udara.

Pada pembuluh darah arteri, tekanan oksigen dapat mencapai 100 mmHg dengan 19 cc oksigen. Sedangkan pada pembuluh darah vena tekanannya hanya 40 milimeter air raksa

dengan 12 cc oksigen. Oksigen yang kita hasilkan dalam tubuh kurang lebih sebanyak 200 cc di mana setiap liter darah mampu melarutkan 4,3 cc karbondioksida / CO₂. CO₂ yang dihasilkan akan keluar dari jaringan menuju paru-paru dengan bantuan darah. Proses Kimiawi Respirasi Pada Tubuh Manusia :

- Pembuangan CO₂ dari paru-paru : $H + HCO_3 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H_2 + CO_2$
- Pengikatan oksigen oleh hemoglobin : $Hb + O_2 \rightarrow HbO_2$
- Pemisahan oksigen dari hemoglobin ke cairan sel : $HbO_2 \rightarrow Hb + O_2$
- Pengangkutan karbondioksida di dalam tubuh : $CO_2 + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$

Alat-alat pernapasan berfungsi memasukkan udara yang mengandung oksigen dan mengeluarkan udara yang mengandung karbon dioksida dan uap air. Tujuan proses pernapasan yaitu untuk memperoleh energi. Pada peristiwa bernapas terjadi pelepasan energy.

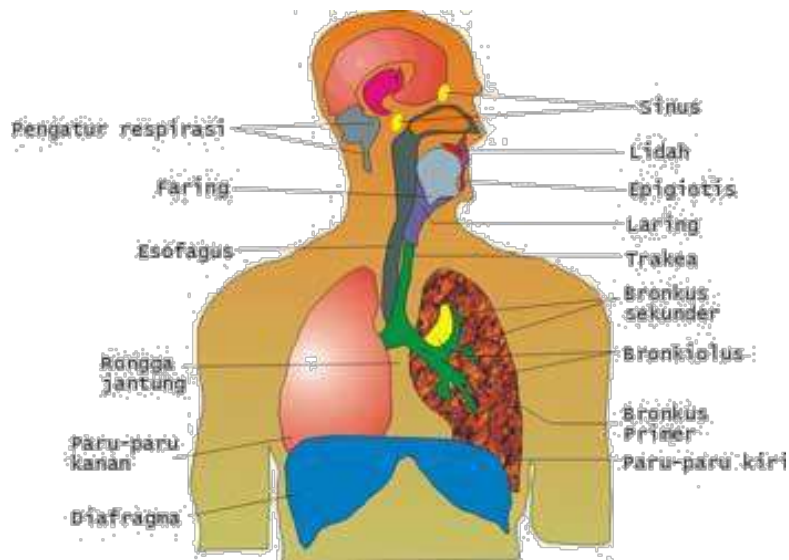
Sistem Pernapasan pada Manusia terdiri atas:

1. Hidung
2. Faring
3. Trakea
4. Bronkus
5. Bronkiouls
6. paru-paru

1.2 ALAT – ALAT PERNAPASAN PADA MANUSIA

1. Rongga Hidung (Cavum Nasalis)

Udara dari luar akan masuk lewat rongga hidung (cavum nasalis). Rongga hidung berlapis selaput lendir, di dalamnya terdapat kelenjar minyak (kelenjar sebacea) dan kelenjar keringat (kelenjar sudorifera). Selaput lendir berfungsi menangkap benda asing yang masuk lewat saluran pernapasan. Selain itu, terdapat juga rambut pendek dan tebal yang berfungsi menyaring partikel kotoran yang masuk bersama udara. Juga terdapat konka yang mempunyai banyak kapiler darah yang berfungsi menghangatkan udara yang masuk. Di sebelah belakang rongga hidung terhubung dengan nasofaring melalui dua lubang yang disebut choanae. [4]



Pada permukaan rongga hidung terdapat rambut-rambut halus dan selaput lendir yang berfungsi untuk menyaring udara yang masuk ke dalam rongga hidung.

2. Faring (Tenggorokan)

Udara dari rongga hidung masuk ke faring. Faring merupakan percabangan 2 saluran, yaitu saluran pernapasan (*nasofarings*) pada bagian depan dan saluran pencernaan (*orofarings*) pada bagian belakang.

Pada bagian belakang faring (posterior) terdapat *laring (tekak)* tempat terletakinya *pita suara (pita vocalis)*. Masuknya udara melalui faring akan menyebabkan pita suara bergetar dan terdengar sebagai suara.

Makan sambil berbicara dapat mengakibatkan makanan masuk ke saluran pernapasan karena saluran pernapasan pada saat tersebut sedang terbuka. Walaupun demikian, saraf kita akan mengatur agar peristiwa menelan, bernapas, dan berbicara tidak terjadi bersamaan sehingga mengakibatkan gangguan kesehatan.

Fungsi utama faring adalah menyediakan saluran bagi udara yang keluar masuk dan juga sebagai jalan makanan dan minuman yang ditelan, faring juga menyediakan ruang dengung (resonansi) untuk suara percakapan. [4]

3. Batang Tenggorokan (Trakea)

Tenggorokan berupa pipa yang panjangnya ± 10 cm, terletak sebagian di leher dan sebagian di rongga dada (torak). Dinding tenggorokan tipis dan kaku, dikelilingi oleh

cincin tulang rawan, dan pada bagian dalam rongga bersilia. Silia-silia ini berfungsi menyaring benda-benda asing yang masuk ke saluran pernapasan.

Batang tenggorok (trakea) terletak di sebelah depan kerongkongan. Di dalam rongga dada, batang tenggorok bercabang menjadi dua cabang tenggorok (bronkus). Di dalam paru-paru, cabang tenggorok bercabang-cabang lagi menjadi saluran yang sangat kecil disebut bronkiolus. Ujung bronkiolus berupa gelembung kecil yang disebut gelembung paru-paru (alveolus). [4]

4. Pangkal Tenggorokan (laring)

Laring merupakan suatu saluran yang dikelilingi oleh tulang rawan. Laring berada diantara orofaring dan trakea, didepan lariofaring. Salah satu tulang rawan pada laring disebut epiglotis. Epiglotis terletak di ujung bagian pangkal laring.

Laring diselaputi oleh membrane mukosa yang terdiri dari epitel berlapis pipih yang cukup tebal sehingga kuat untuk menahan getaran-getaran suara pada laring. Fungsi utama laring adalah menghasilkan suara dan juga sebagai tempat keluar masuknya udara.

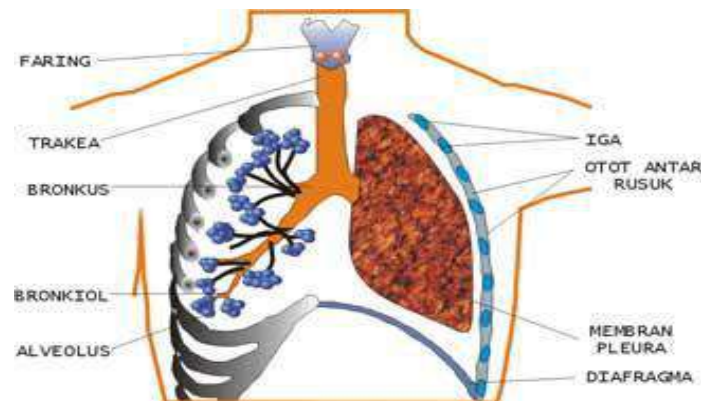
Pangkal tenggorok disusun oleh beberapa tulang rawan yang membentuk jakun. Pangkal tenggorok dapat ditutup oleh katup pangkal tenggorok (epiglotis). Pada waktu menelan makanan, katup tersebut menutup pangkal tenggorok dan pada waktu bernapas katu membuka. Pada pangkal tenggorok terdapat selaput suara yang akan bergetar bila ada udara dari paru-paru, misalnya pada waktu kita bicara. [4]

5. Cabang Batang Tenggorokan (Bronkus)

Tenggorokan (trakea) bercabang menjadi dua bagian, yaitu bronkus kanan dan bronkus kiri. Struktur lapisan mukosa bronkus sama dengan trakea, hanya tulang rawan bronkus bentuknya tidak teratur dan pada bagian bronkus yang lebih besar cincin tulang rawannya melingkari lumen dengan sempurna. Bronkus bercabang-cabang lagi menjadi bronkiolus.

Batang tenggorokan bercabang menjadi dua bronkus, yaitu bronkus sebelah kiri dan sebelah kanan. Kedua bronkus menuju paru-paru, bronkus bercabang lagi menjadi bronkiolus. Bronkus sebelah kanan(bronkus primer) bercabang menjadi tiga bronkus lobaris (bronkus sekunder), sedangkan bronkus sebelah kiri bercabang menjadi dua bronkiolus. Cabang-cabang yang paling kecil masuk ke dalam gelembung paru-paru atau alveolus. Dinding alveolus mengandung kapiler darah, melalui kapiler-kapiler darah dalam alveolus inilah oksigen dan udara berdifusi ke dalam darah. Fungsi utama bronkus adalah menyediakan jalan bagi udara yang masuk dan keluar paru-paru. [4]

6. Paru-paru (Pulmo)



Paru-paru terletak di dalam rongga dada bagian atas, di bagian samping dibatasi oleh otot dan rusuk dan di bagian bawah dibatasi oleh diafragma yang berotot kuat. Paru-paru ada dua bagian yaitu paru-paru kanan (pulmo dekster) yang terdiri atas 3 lobus dan paru-paru kiri (pulmo sinister) yang terdiri atas 2 lobus. Paru-paru dibungkus oleh dua selaput yang tipis, disebut pleura. Selaput bagian dalam yang langsung menyelaputi paru-paru disebut pleura dalam (pleura visceralis) dan selaput yang menyelaputi rongga dada yang bersebelahan dengan tulang rusuk disebut pleura luar (pleura parietalis). Paru-paru tersusun oleh bronkiolus, alveolus, jaringan elastik, dan pembuluh darah. Bronkiolus tidak mempunyai tulang rawan, tetapi rongga bronkus masih bersilia dan dibagian ujungnya mempunyai epitelium berbentuk kubus bersilia. Setiap bronkiolus terminalis bercabang-cabang lagi menjadi bronkiolus respirasi, kemudian menjadi duktus alveolaris. Pada dinding duktus alveolaris mengandung gelembung-gelembung yang disebut alveolus. [4]

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 ANATOMI SISTEM PERNAFASAN

Bagian-bagian sistem pernafasan yaitu Cavum nasi, faring, laring, trakea, karina, bronchus principalis, bronchus lobaris, bronchus segmentalis, bronchiolus terminalis, bronchiolus respiratoryus, saccus alveolus, ductus alveolus dan alveoli. Terdapat Lobus, dextra ada 3 lobus yaitu lobus superior, lobus media dan lobus inferior. Sinistra ada 2 lobus yaitu lobus superior dan lobus inferior. Pulmo dextra terdapat fissura horizontal yang membagi lobus superior dan lobus media, sedangkan fissura oblique membagi lobus media dengan lobus inferior. Pulmo sinistra terdapat fissura oblique yang membagi lobus superior dan lobus inferior. Pembungkus paru (pleura) terbagi menjadi 2 yaitu parietalis (luar) dan Visceralis (dalam), diantara 2 lapisan tersebut terdapat rongga pleura (cavum pleura).^[4]

1. Hidung

Tersusun atas tulang dan tulang rawan hialin, kecuali naris anterior yang dindingnya tersusun atas jaringan ikat fibrosa dan tulang rawan. Permukaan luarnya dilapisi kulit dengan kelenjar sebacea besar dan rambut. Terdapat epitel respirasi: epitel berlapis silindris bersilia bersel goblet dan mengandung sel basal. Didalamnya ada konka nasalis superior, medius dan inferior. Lamina propria pada mukosa hidung umumnya mengandung banyak pleksus pembuluh darah. ^[4]

2. Alat penghidu

Mengandung epitel olfaktorik: bertingkat silindris tanpa sel goblet, dengan lamina basal yang tidak jelas. Epitelnya disusun atas 3 jenis sel: sel penyokong, sel basal dan sel olfaktorik. ^[4]

3. Sinus paranasal

Merupakan rongga-rongga berisi udara yang terdapat dalam tulang tengkorak yang berhubungan dengan rongga hidung. Ada 4 sinus: maksilaris, frontalis, etmoidalis dan sphenoidalis. ^[4]

4. Faring

Lanjutan posterior dari rongga mulut. Saluran napas dan makanan menyatu dan menyilang. Pada saat makan makanan dihantarkan ke oesophagus. Pada saat bernapas udara dihantarkan ke laring. Ada 3 rongga : nasofaring, orofaring, dan laringofaring.

Mukosa pada nasofaring sama dengan organ respirasi, sedangkan orofaring dan laringofaring sama dengan saluran cerna. Mukosa faring tidak memiliki muskularis mukosa. Lamina propria tebal, mengandung serat elastin. Lapisan fibroelastis menyatu dengan jaringan ikat interstisiel. Orofaring dan laringofaring dilapisi epitel berlapis gepeng, mengandung kelenjar mukosa murni. [4]

5. Laring

Organ berongga dengan panjang 42 mm dan diameter 40 mm. Terletak antara faring dan trakea. Dinding dibentuk oleh tulang rawan tiroid dan krikoid. Muskulus ekstrinsik mengikat laring pada tulang hyoid. Muskulus intrinsik mengikat laring pada tulang tiroid dan krikoid berhubungan dengan fonasi. Lapisan laring merupakan epitel bertingkat silia. Epiglottis memiliki epitel selapis gepeng, tidak ada kelenjar. Fungsi laring untuk membentuk suara, dan menutup trakea pada saat menelan (epiglottis). Ada 2 lipatan mukosa yaitu pita suara palsu (lipat vestibular) dan pita suara (lipat suara). Celah diantara pita suara disebut rima glottis. Pita suara palsu terdapat mukosa dan lamina propria. Pita suara terdapat jaringan elastis padat, otot suara (otot rangka). Vaskularisasi: A.V Laringeal media dan Inferior. Inervasi: N Laringealis superior. [4]

6. Trakea

Tersusun atas 16 – 20 cincin tulang rawan. Celah diantaranya dilapisi oleh jaringan ikat fibro elastik. Struktur trakea terdiri dari: tulang rawan, mukosa, epitel bersilia, jaringan limfoid dan kelenjar. [4]

7. Bronchus

Cabang utama trakea disebut bronki primer atau bronki utama. Bronki primer bercabang menjadi bronki lobar \diamond bronki segmental \diamond bronki subsegmental. Struktur bronkus primer mirip dengan trakea hanya cincin berupa lempeng tulang rawan tidak teratur. Makin ke distal makin berkurang, dan pada bronkus subsegmental hilang sama sekali. Otot polos tersusun atas anyaman dan spiral. Mukosa tersusun atas lipatan memanjang. Epitel bronkus : kolumnar bersilia dengan banyak sel goblet dan kelenjar submukosa. Lamina propria : serat retikular, elastin, limfosit, sel mast, eosinofil. [9]

8. Bronchiolus

Cabang ke 12 – 15 bronkus. Tidak mengandung lempeng tulang rawan, tidak mengandung kelenjar submukosa. Otot polos bercampur dengan jaringan ikat longgar.

Epitel kuboid bersilia dan sel bronkiolar tanpa silia (sel Clara). Lamina propria tidak mengandung sel goblet. [9]

9. Bronchiolus respiratorius

Merupakan peralihan bagian konduksi ke bagian respirasi paru. Lapisan : epitel kuboid, kuboid rendah, tanpa silia. Mengandung kantong tipis (alveoli). [9]

10. Duktus alveolaris

Lanjutan dari bronkiolus. Banyak mengandung alveoli. Tempat alveoli bermuara. [9]

11. Alveolus

Kantong berdinding sangat tipis pada bronkioli terminalis. Tempat terjadinya pertukaran oksigen dan karbondioksida antara darah dan udara yang dihirup. Jumlahnya 200 - 500 juta. Bentuknya bulat poligonal, septa antar alveoli disokong oleh serat kolagen, dan elastis halus. [9]

Sel epitel terdiri sel alveolar gepeng (sel alveolar tipe I), sel alveolar besar (sel alveolar tipe II). Sel alveolar gepeng (tipe I) jumlahnya hanya 10% , menempati 95 % alveolar paru. Sel alveolar besar (tipe II) jumlahnya 12 %, menempati 5 % alveolar. Sel alveolar gepeng terletak di dekat septa alveolar, bentuknya lebih tebal, apikal bulat, ditutupi mikrovili pendek, permukaan licin, memiliki badan berlamel. Sel alveolar besar menghasilkan surfaktan pulmonar. Surfaktan ini fungsinya untuk mengurangi kolaps alveoli pada akhir ekspirasi. Jaringan diantara 2 lapis epitel disebut interstisial. Mengandung serat, sel septa (fibroblas), sel mast, sedikit limfosit. Septa tipis diantara alveoli disebut pori Kohn. Sel fagosit utama dari alveolar disebut makrofag alveolar. Pada perokok sitoplasma sel ini terisi badan besar bermembran. Jumlah sel makrofag melebihi jumlah sel lainnya. [9]

12. Pleura

Membran serosa pembungkus paru. Jaringan tipis ini mengandung serat elastin, fibroblas, kolagen. Yang melekat pada paru disebut pleura viseral, yang melekat pada dinding toraks disebut pleura parietal. Ciri khas mengandung banyak kapiler dan pembuluh limfe. Saraf adalah cabang n. frenikus dan n. interkostal. [4]

2.2 FISILOGI SISTEM PERNAFASAN

1) Sistem Respirasi

a. Fisiologi ventilasi paru

Masuk dan keluarnya udara antara atmosfer dan alveoli paru. Pergerakan udara ke dalam dan keluar paru disebabkan oleh:

1. Tekanan pleura : tekanan cairan dalam ruang sempit antara pleura paru dan pleura dinding dada. Tekanan pleura normal sekitar $-5 \text{ cm H}_2\text{O}$, yang merupakan nilai isap yang dibutuhkan untuk mempertahankan paru agar tetap terbuka sampai nilai istirahatnya. Kemudian selama inspirasi normal, pengembangan rangka dada akan menarik paru ke arah luar dengan kekuatan yang lebih besar dan menyebabkan tekanan menjadi lebih negatif (sekitar $-7,5 \text{ cm H}_2\text{O}$).
2. Tekanan alveolus : tekanan udara di bagian dalam alveoli paru. Ketika glotis terbuka dan tidak ada udara yang mengalir ke dalam atau keluar paru, maka tekanan pada semua jalan nafas sampai alveoli, semuanya sama dengan tekanan atmosfer (tekanan acuan 0 dalam jalan nafas) yaitu tekanan $0 \text{ cm H}_2\text{O}$. Agar udara masuk, tekanan alveoli harus sedikit di bawah tekanan atmosfer. Tekanan sedikit ini ($-1 \text{ cm H}_2\text{O}$) dapat menarik sekitar $0,5$ liter udara ke dalam paru selama 2 detik. Selama ekspirasi, terjadi tekanan yang berlawanan.
3. Tekanan transpulmonal : perbedaan antara tekanan alveoli dan tekanan pada permukaan luar paru, dan ini adalah nilai daya elastis dalam paru yang cenderung mengempiskan paru pada setiap pernafasan, yang disebut tekanan daya lenting paru. [3]

b. Fisiologi kendali persarafan pada pernafasan

Terdapat dua mekanisme neural terpisah bagi pengaturan pernafasan.

1. Mekanisme yang berperan pada kendali pernafasan volunter. Pusat volunter terletak di cortex cerebri dan impuls dikirimkan ke neuron motorik otot pernafasan melalui jaras kortikospinal.
2. Mekanisme yang mengendalikan pernafasan otomatis. Pusat pernafasan otomatis terletak di pons dan medulla oblongata, dan keluaran eferen dari sistem ini terletak di rami alba medulla spinalis di antara bagian lateral dan ventral jaras kortikospinal.

Serat saraf yang meneruskan impuls inspirasi, berkumpul pada neuron motorik N.Phrenicus pada kornu ventral C3-C5 serta neuron motorik intercostales externa pada kornu ventral sepanjang segmen toracal medulla. Serat saraf yang membawa impuls ekspirasi, bersatu terutama pada neuron motorik intercostales interna sepanjang segmen toracal medulla. [1]

Neuron motorik untuk otot ekspirasi akan dihambat apabila neuron motorik untuk otot inspirasi diaktifkan, dan sebaliknya. Meskipun refleks spinal ikut berperan pada persarafan timbal-balik (*reciprocal innervation*), aktivitas pada jaras descendens-lah yang berperan utama. Impuls melalui jaras descendens akan merangsang otot agonis dan menghambat yang antagonis. Satu pengecualian kecil pada inhibisi timbal balik ini adalah terdapatnya sejumlah kecil aktifitas pada akson N.Phrenicus untuk jangka waktu singkat, setelah proses inspirasi. Fungsi keluaran pasca inspirasi ini nampaknya adalah untuk meredam daya rekoil elastik jaringan paru dan menghasilkan pernafasan yang halus (*smooth*). [1]

c. Pengaturan aktivitas pernafasan

Baik peningkatan PCO₂ atau konsentrasi H⁺ darah arteri maupun penurunan PO₂ akan memperbesar derajat aktivitas neuron pernafasan di medulla oblongata, sedangkan perubahan ke arah yang berlawanan mengakibatkan efek inhibisi ringan. Pengaruh perubahan kimia darah terhadap pernafasan berlangsung melalui *kemoreseptor* pernafasan di glomus karotikum dan aortikum serta sekumpulan sel di medulla oblongata maupun di lokasi lain yang peka terhadap perubahan kimiawi dalam darah. Reseptor tersebut membangkitkan impuls yang merangsang pusat pernafasan. Bersamaan dengan dasar pengendalian pernafasan kimiawi, berbagai aferen lain menimbulkan pengaturan non-kimiawi yang memengaruhi pernafasan pada keadaan tertentu. Untuk berbagai rangsang yang memengaruhi pusat pernafasan dapat dilihat pada tabel dibawah ini: [4]

<u>Berbagai rangsang yang memengaruhi pusat pernafasan</u> ⁴	
Pengendalian kimia	
CO ₂ (melalui konsentrasi H ⁺ di LCS dan cairan interstitiel otak)	
O ₂ } H ⁺ }	(melalui glomus karotikum dan aortikum)
Pengendalian non-kimia	
Aferen nervus vagus dari reseptor di saluran pernafasan dan paru	
Aferen dari pons, hipotalamus dan sistem limbik	
Aferen dari proprioseptor	
Aferen dari baroreseptor: arteri, atrium, ventrikel, pulmonal	

d. Pengendalian kimiawi pernafasan

Mekanisme pengaturan kimiawi akan menyesuaikan ventilasi sedemikian rupa sehingga PCO_2 alveoli pada keadaan normal dipertahankan tetap. Dampak kelebihan H^+ di dalam darah akan dilawan, dan PO_2 akan ditingkatkan apabila terjadi penurunan mencapai tingkat yang membayakan. Volume pernafasan semenit berbanding lurus dengan laju metabolisme, tetapi penghubung antara metabolisme dan ventilasi adalah CO_2 , bukan O_2 . Reseptor di glomus karotikum dan aortikum terangsang oleh peningkatan PCO_2 ataupun konsentrasi H^+ darah arteri atau oleh penurunan PO_2 . Setelah denervasi kemoreseptor karotikum, respons terhadap penurunan PO_2 akan hilang, efek utama hipoksia setelah denervasi glomus karotikum adalah penekanan langsung pada pusat pernafasan. Respon terhadap perubahan konsentrasi H^+ darah arteri pada pH 7,3-7,5 juga dihilangkan, meskipun perubahan yang lebih besar masih dapat menimbulkan efek. Sebaliknya, respons terhadap perubahan PCO_2 darah arteri hanya sedikit dipengaruhi,; dengan penurunan tidak lebih dari 30-35%.^[3]

- Kemoreseptor dalam batang otak

Kemoreseptor yang menjadi perantara terjadinya hiperventilasi pada peningkatan PCO_2 darah arteri setelah glomus karotikum dan aortikum didenervasi terletak di medulla oblongata dan disebut kemoreseptor medulla oblongata. Reseptor ini terpisah dari neuron respirasi baik dorsal maupun ventral, dan terletak pada permukaan ventral medulla oblongata.

Reseptor kimia tersebut memantau konsentrasi H^+ dalam LCS, dan juga cairan interstisiel otak. CO_2 dengan mudah dapat menembus membran, termasuk sawar darah otak, sedangkan H^+ dan HCO_3^- lebih lambat menembusnya. CO_2 yang memasuki otak dan LCS segera dihidrasi. H_2CO_3 berdisosiasi, sehingga konsentrasi H^+ lokal meningkat. Konsentrasi H^+ pada cairan interstisiel otak setara dengan PCO_2 darah arteri. ^[1]

- Respons pernafasan terhadap kekurangan oksigen

Penurunan kandungan O_2 udara inspirasi akan meningkatkan volume pernafasan semenit. Selama PO_2 masih diatas 60 mmHg, perangsangan pada pernafasan hanya ringan saja, dan perangsangan ventilasi yang kuat hanya terjadi bila PO_2 turun lebih rendah. Nsmun setiap penurunan PO_2 arteri dibawah 100 mmHg menghasilkan peningkatan lepas muatan dari kemoreseptor karotikum dan

aortikum. Pada individu normal, peningkatan pelepasan impuls tersebut tidak menimbulkan kenaikan ventilasi sebelum PO_2 turun lebih rendah dari 60 mmHg karena Hb adalah asam yang lebih lemah bila dibandingkan dengan HbO_2 , sehingga PO_2 darah arteri berkurang dan hemoglobin kurang tersaturasi dengan O_2 , terjadi sedikit penurunan konsentrasi H^+ dalam darah arteri. Penurunan konsentrasi H^+ cenderung menghambat pernafasan. Di samping itu, setiap peningkatan ventilasi yang terjadi, akan menurunkan PCO_2 alveoli, dan hal inipun cenderung menghambat pernafasan. Dengan demikian, manifestasi efek perangsangan hipoksia pada pernafasan tidaklah nyata sebelum rangsang hipoksia cukup kuat untuk melawan efek inhibisi yang disebabkan penurunan konsentrasi H^+ dan PCO_2 darah arteri. [4]

- Pengaruh H^+ pada respons CO_2

Pengaruh perangsangan H^+ dan CO_2 pada pernafasan tampaknya bersifat aditif dan saling berkaitan dengan kompleks, serta berceda halnya dari CO_2 dan O_2 . Sekitar 40% respons ventilasi terhadap CO_2 dihilangkan apabila peningkatan H^+ darah arteri yang dihasilkan oleh CO_2 dicegah. 60% sisa respons kemungkinan terjadi oleh pengaruh CO_2 pada konsentrasi H^+ cairan spinal atau cairan interstitial otak. [3]

e. **Pengangkutan oksigen ke jaringan**

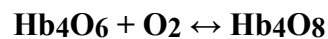
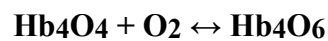
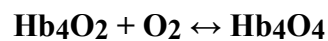
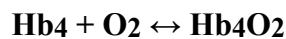
Sistem pengangkut oksigen di dalam tubuh terdiri atas paru dan sistem kardiovaskuler. Pengangkutan oksigen menuju jaringan tertentu bergantung pada: jumlah oksigen yang masuk ke dalam paru, adanya pertukaran gas dalam paru yang adekuat, aliran darah menuju jaringan dan kapasitas darah untuk mengangkut oksigen. Aliran darah bergantung pada derajat konstiksi jalinan vaskular di dalam jaringan serta curah jantung. Jumlah oksigen di dalam darah ditentukan oleh jumlah oksigen yang larut, jumlah hemoglobin dalam darah dan afinitas hemoglobin terhadap oksigen. [4]

2.3 BIODINAMIKA

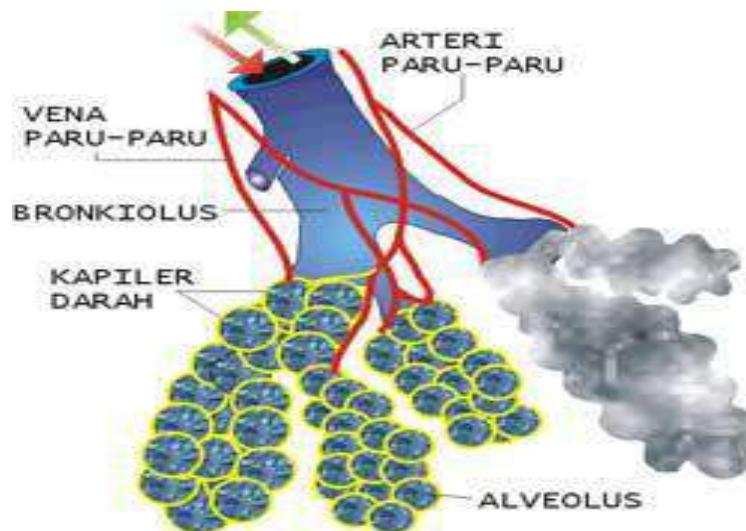
1. **Reaksi hemoglobin dan oksigen**

Dinamika reaksi pengikatan O_2 oleh hemoglobin menjadikannya sebagai pembawa O_2 yang sangat serasi. Hemoglobin adalah protein yang dibentuk dari empat sub unit, masing-masing mengandung gugus **heme** yang melekat pada sebuah rantai

polipeptida. Pada seorang dewasa normal, sebagian besar hemoglobin mengandung dua rantai α dan dua rantai β . Heme adalah kompleks yang dibentuk dari suatu porfirin dan satu atom besi fero. Masing-masing dari keempat atom besi dapat mengikat satu molekul O_2 secara reversibel. Atom besi tetap berada dalam bentuk fero, sehingga reaksi pengikatan O_2 merupakan suatu reaksi **oksigenasi**, bukan reaksi oksidasi. Reaksi pengikatan hemoglobin dengan O_2 lazim ditulis sebagai $Hb + O_2 \leftrightarrow HbO_2$. Karena setiap molekul hemoglobin mengandung empat unit Hb, maka dapat dinyatakan sebagai Hb_4 , dan pada kenyataannya bereaksi dengan empat molekul O_2 membentuk Hb_4O_8 . [3]



Reaksi ini berlangsung cepat, membutuhkan waktu kurang dari 0,01 detik. Deoksigenasi (reduksi) Hb_4O_8 juga berlangsung sangat cepat. ⁴



Kapasitas Paru-Paru

Udara yang keluar masuk paru-paru pada waktu melakukan pernapasan biasa disebut udara pernapasan (udara tidal). Volume udara pernapasan pada orang dewasa lebih kurang 500 ml. Volume udara tidal orang dewasa pada pernapasan biasa kira-kira 500 ml. ketika menarik napas dalam-dalam maka volume udara yang dapat kita tarik mencapai 1500 ml. Udara ini dinamakan udara komplementer. Ketika kita menarik

napas sekuat-kuatnya, volume udara yang dapat diembuskan juga sekitar 1500 ml. Udara ini dinamakan udara suplementer. Meskipun telah mengeluarkan napas sekuat-kuatnya, tetapi masih ada sisa udara dalam paru-paru yang volumenya kira-kira 1500 mL. Udara sisa ini dinamakan udara residu. Jadi, Kapasitas paru-paru total = kapasitas vital + volume residu = 4500 ml/wanita dan 5500 ml/pria. [3]

2.4 MEKANISME PERNAFASAN MANUSIA

Pernafasan pada manusia dapat digolongkan menjadi 2, yaitu:

A. Pernafasan dada

Pada pernafasan dada otot yang berperan penting adalah otot antar tulang rusuk. Otot tulang rusuk dapat dibedakan menjadi dua, yaitu otot tulang rusuk luar yang berperan dalam mengangkat tulang-tulang rusuk dan tulang rusuk dalam yang berfungsi menurunkan atau mengembalikan tulang rusuk ke posisi semula. Bila otot antar tulang rusuk luar berkontraksi, maka tulang rusuk akan terangkat sehingga volume dada bertambah besar. Bertambah besarnya akan menyebabkan tekanan dalam rongga dada lebih kecil dari pada tekanan rongga dada luar. Karena tekanan udara kecil pada rongga dada menyebabkan aliran udara mengalir dari luar tubuh dan masuk ke dalam tubuh, proses ini disebut proses 'inspirasi'

Sedangkan pada proses espirasi terjadi apabila kontraksi dari otot dalam, tulang rusuk kembali ke posisi semuladan menyebabkan tekanan udara didalam tubuh meningkat. Sehingga udara dalam paru-paru tertekan dalam rongga dada, dan aliran udara terdorong ke luar tubuh, proses ini disebut 'espirasi'.

B. Pernafasan perut

Pada pernafasan ini otot yang berperan aktif adalah otot diafragma dan otot dinding rongga perut. Bila otot diafragma berkontraksi, posisi diafragma akan mendatar. Hal itu menyebabkan volume rongga dada bertambah besar sehingga tekanan udaranya semakin kecil. Penurunan tekanan udara menyebabkan mengembangnya paru-paru, sehingga udara mengalir masuk ke paru-paru (inspirasi).

Pernafasan adalah suatu proses yang terjadi secara otomatis walau dalam keadaan tertidur sekalipun karena sistem pernafasan dipengaruhi oleh susunan saraf otonom. Menurut tempat terjadinya pertukaran gas maka pernafasan dapat dibedakan atas 2 jenis, yaitu pernafasan luar dan pernafasan dalam.

Pernapasan luar adalah pertukaran udara yang terjadi antara udara dalam alveolus dengan darah dalam kapiler, sedangkan pernapasan dalam adalah pernapasan yang terjadi antara darah dalam kapiler dengan sel-sel tubuh.

Masuk keluarnya udara dalam paru-paru dipengaruhi oleh perbedaan tekanan udara dalam rongga dada dengan tekanan udara di luar tubuh. Jika tekanan di luar rongga dada lebih besar maka udara akan masuk. Sebaliknya, apabila tekanan dalam rongga dada lebih besar maka udara akan keluar.

Sehubungan dengan organ yang terlibat dalam pemasukkan udara (*inspirasi*) dan pengeluaran udara (*ekspirasi*) maka mekanisme pernapasan dibedakan atas dua macam, yaitu pernapasan dada dan pernapasan perut. Pernapasan dada dan perut terjadi secara bersamaan.

2.5 VOLUME UDARA PERNAFASAN

Dalam keadaan normal, volume udara paru-paru manusia mencapai 4500 cc. Udara ini dikenal sebagai *kapasitas total* udara pernapasan manusia.

Walaupun demikian, kapasitas vital udara yang digunakan dalam proses bernapas mencapai 3500 cc, yang 1000 cc merupakan sisa udara yang tidak dapat digunakan tetapi senantiasa mengisi bagian paru-paru sebagai *residu* atau *udara sisa*. *Kapasitas vital* adalah jumlah udara maksimum yang dapat dikeluarkan seseorang setelah mengisi paru-parunya secara maksimum.

Dalam keadaan normal, kegiatan inspirasi dan ekspirasi atau menghirup dan menghembuskan udara dalam bernapas hanya menggunakan sekitar 500 cc volume udara pernapasan (*kapasitas tidal* = \pm 500 cc). *Kapasitas tidal* adalah jumlah udara yang keluar masuk paru-paru pada pernapasan normal. Dalam keadaan luar biasa, inspirasi maupun ekspirasi dalam menggunakan sekitar 1500 cc udara pernapasan (*expiratory reserve volume* = *inspiratory reserve volume* = 1500 cc). Lihat skema udara pernapasan berikut ini

2.6 GAS-GAS DALAM UDARA PERNAFASAN

Persentase gas utama pernapasan dalam udara yang keluar masuk paru-paru :

Gas	Udara luar sebelum masuk paru-paru (%)	Udara di alveoli (%)	Udara yang keluar dari paru-paru (%)
Nitrogen (N ₂)	79,01	80,7	79,6

Oksigen (O ₂)	20,95	13,8	16,4
Karbon dioksida (CO ₂)	0,04	5,5	4,0

Pertukaran udara berlangsung di dalam avelous dan pembuluh darah yang mengelilinginya. Gas oksigen dan karbon dioksida akan berdifusi melalui sel-sel yang menyusun dinding avelous dan kapiler darah. Udara aveolus mengandung zat oksigen yang lebih tinggi dan karbon dioksida lebih rendah dari pada gas di dalam darah pembuluh kapiler. Oleh karena itu molekul cenderung berpindah dari konsentrasi yang lebih tinggi ke rendah, maka oksigen berdifusi dari udara aveolus ke dalam darah, dan karbon dioksida akan berdifusi dari pembuluh darah ke avelous. Pengangkutan CO₂ oleh darah dapat dilaksanakan melalui 3 cara yaitu : (1) Karbondioksida larut dalam plasma dan membentuk asam karbonat dengan enzim anhydrase. (2) Karbondioksida terikat pada hemoglobin dalam bentuk karbomino hemoglobin (3) Karbondioksida terikat dalam gugus ion bikarbonat (HCO₂) melalui proses berantai pertukaran klorida.

2.7 PERTUKARAN O₂ DAN CO₂ DALAM PERNAFASAN

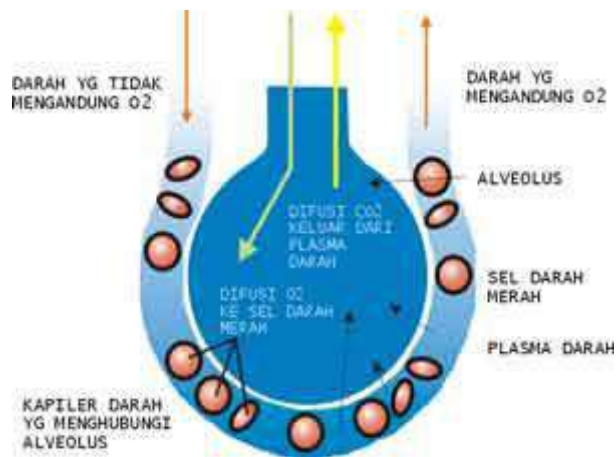
Jumlah oksigen yang diambil melalui udara pernapasan tergantung pada kebutuhan dan hal tersebut biasanya dipengaruhi oleh jenis pekerjaan, ukuran tubuh, serta jumlah maupun jenis bahan makanan yang dimakan. [3]

Pekerja-pekerja berat termasuk atlit lebih banyak membutuhkan oksigen dibanding pekerja ringan. Demikian juga seseorang yang memiliki ukuran tubuh lebih besar dengan sendirinya membutuhkan oksigen lebih banyak. Selanjutnya, seseorang yang memiliki kebiasaan memakan lebih banyak daging akan membutuhkan lebih banyak oksigen daripada seorang vegetarian.

Dalam keadaan biasa, manusia membutuhkan sekitar 300 cc oksigen sehari (24 jam) atau sekitar 0,5 cc tiap menit. Kebutuhan tersebut berbanding lurus dengan volume udara inspirasi dan ekspirasi biasa kecuali dalam keadaan tertentu saat konsentrasi oksigen udara inspirasi berkurang atau karena sebab lain, misalnya konsentrasi hemoglobin darah berkurang.

Oksigen yang dibutuhkan berdifusi masuk ke darah dalam kapiler darah yang menyelubungi alveolus. Selanjutnya, sebagian besar oksigen diikat oleh zat warna darah atau pigmen darah (hemoglobin) untuk diangkut ke sel-sel jaringan tubuh. [3]

Hemoglobin yang terdapat dalam butir darah merah atau eritrosit ini tersusun oleh senyawa *hemin* atau *hematin* yang mengandung unsur besi dan *globin* yang berupa protein.



Secara sederhana, pengikatan oksigen oleh hemoglobin dapat diperlihatkan menurut persamaan reaksi bolak-balik berikut ini :



Reaksi di atas dipengaruhi oleh kadar O₂, kadar CO₂, tekanan O₂ (P O₂), perbedaan kadar O₂ dalam jaringan, dan kadar O₂ di udara. Proses difusi oksigen ke dalam arteri demikian juga difusi CO₂ dari arteri dipengaruhi oleh tekanan O₂ dalam udara inspirasi.

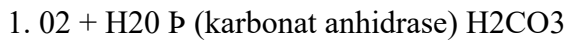
Tekanan seluruh udara lingkungan sekitar 1 atmosfer atau 760 mm Hg, sedangkan tekanan O₂ di lingkungan sekitar 160 mm Hg. Tekanan oksigen di lingkungan lebih tinggi dari pada tekanan oksigen dalam alveolus paru-paru dan arteri yang hanya 104 mm Hg. Oleh karena itu oksigen dapat masuk ke paru-paru secara difusi.

Dari paru-paru, O₂ akan mengalir lewat vena pulmonalis yang tekanan O₂ nya 104 mm; menuju ke jantung. Dari jantung O₂ mengalir lewat arteri sistemik yang tekanan O₂ nya 104 mm hg menuju ke jaringan tubuh yang tekanan O₂ nya 0 - 40 mm hg. Di jaringan, O₂ ini akan dipergunakan. Dari jaringan CO₂ akan mengalir lewat vena sistemik ke jantung. Tekanan CO₂ di jaringan di atas 45 mm hg, lebih tinggi dibandingkan vena sistemik yang hanya 45 mm Hg. Dari jantung, CO₂ mengalir lewat arteri pulmonalis yang tekanan O₂ nya sama yaitu 45 mm hg. Dari arteri pulmonalis CO₂ masuk ke paru-paru lalu dilepaskan ke udara bebas.

Berapa minimal darah yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan oksigen pada jaringan? Setiap 100 mm³ darah dengan tekanan oksigen 100 mm Hg dapat mengangkut 19 cc oksigen. Bila tekanan oksigen hanya 40 mm Hg maka hanya ada sekitar 12 cc

oksigen yang bertahan dalam darah vena. Dengan demikian kemampuan hemoglobin untuk mengikat oksigen adalah 7 cc per 100 mm³ darah. [3]

Pengangkutan sekitar 200 mm³ CO₂ keluar tubuh umumnya berlangsung menurut reaksi kimia berikut:



Tiap liter darah hanya dapat melarutkan 4,3 cc CO₂ sehingga mempengaruhi pH darah menjadi 4,5 karena terbentuknya asam karbonat.

Pengangkutan CO₂ oleh darah dapat dilaksanakan melalui 3 Cara yakni sebagai berikut.

Karbon dioksida larut dalam plasma, dan membentuk asam karbonat dengan enzim anhidrase (7% dari seluruh C

2. Karbon dioksida terikat pada hemoglobin dalam bentuk karbomino hemoglobin (23% dari seluruh CO₂).

3. Karbon dioksida terikat dalam gugus ion bikarbonat (HCO₃) melalui proses berantai pertukaran klorida (70% dari seluruh CO₂). Reaksinya adalah sebagai berikut.



Gangguan terhadap pengangkutan CO₂ dapat mengakibatkan munculnya gejala asidosis karena turunnya kadar basa dalam darah. Hal tersebut dapat disebabkan karena keadaan Pneumoni. Sebaliknya apabila terjadi akumulasi garam basa dalam darah maka muncul gejala alkalosis.

2.8 ENERGI DAN PERNAFASAN

Energi yang dihasilkan oleh proses pernapasan akan digunakan untuk membentuk molekul berenergi, yaitu ATP (Adenosin Tri Phosphate). Selanjutnya, molekul ATP akan disimpan dalam sel dan merupakan sumber energy utama untuk aktivitas tubuh. ATP berasal dari perombakan senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak. Gula (glukosa) dari pemecahan karbohidrat dalam tubuh diubah terlebih dahulu menjadi senyawa fosfat yang dikatalisis oleh bantuan enzim glukokinase. Selanjutnya senyawa fosfat diubah menjadi asam piruvat dan akhirnya dibebaskan dalam bentuk H₂O dan CO₂ sebagai hasil samping oksidasi tersebut. Proses respirasi sel dari bahan glukosa secara garis besar, meliputi tiga tahapan, yaitu proses glikosis, siklus Krebs, dan transfer elektron.

Pada pekerja berat atau para atlit yang beraktivitas tinggi, pembentukan energy dapat dilakukan secara anaerobic. Hal ini disebabkan bila tubuh kekurangan suplai

oksigen maka akan terjadi proses perombakan asam piruvat menjadi asam laktat yang akan membentuk 2 mol ATP.

2.9 FREKUENSI PERNAFASAN

Jumlah udara yang keluar masuk ke paru-paru setiap kali bernapas disebut sebagai frekuensi pernapasan. Pada umumnya, frekuensi pernapasan manusia setiap menitnya sebanyak 15-18 kali. Cepat atau lambatnya frekuensi pernapasan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya :

- **Usia.** Semakin bertambahnya usia seseorang akan semakin rendah frekuensi pernapasannya. Hal ini berhubungan dengan energy yang dibutuhkan.
- **Jenis kelamin.** Pada umumnya pria memiliki frekuensi pernapasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan wanita. Kebutuhan akan oksigen serta produksi karbondioksida pada pria lebih tinggi dibandingkan wanita.
- **Suhu tubuh.** Semakin tinggi suhu tubuh seseorang maka akan semakin cepat frekuensi pernapasannya, hal ini berhubungan dengan peningkatan proses metabolisme yang terjadi dalam tubuh.
- **Posisi atau kedudukan tubuh.** Frekuensi pernapasan ketika sedang duduk akan berbeda dibandingkan dengan ketika sedang berjongkok atau berdiri. Hal ini berhubungan erat dengan energy yang dibutuhkan oleh organ tubuh sebagai tumpuan berat tubuh.
- **Aktivitas.** Seseorang yang aktivitas fisiknya tinggi seperti olahragawan akan membutuhkan lebih banyak energi daripada orang yang diam atau santai, oleh karena itu, frekuensi pernapasan orang tersebut juga lebih tinggi. Gerakan dan frekuensi pernapasan diatur oleh pusat pernapasan yang terdapat di otak. Selain itu, frekuensi pernapasan distimulus oleh konsentrasi karbondioksida (CO_2) dalam darah.

2.10 GANGGUAN PADA SISTEM RESPIRASI

Sistem pernapasan manusia yang terdiri atas beberapa organ dapat mengalami gangguan. Gangguan ini biasanya berupa kelainan atau penyakit. Penyakit atau kelainan yang menyerang sistem pernapasan ini dapat menyebabkannya proses pernapasan. Berikut adalah beberapa contoh gangguan pada sistem pernapasan manusia.

1. **Emfisema**, merupakan penyakit pada paru-paru. Paru-paru mengalami pembengkakan karena pembuluh *darah nya* kemasukan udara. [8]

2. **Asma**, merupakan kelainan penyumbatan saluran pernapasan yang disebabkan oleh alergi, seperti debu, bulu, ataupun rambut. Kelainan ini dapat diturunkan.
3. **Tuberkulosis (TBC)**, merupakan penyakit paru-paru yang disebabkan oleh *Mycobacterium tuberculosis*. Bakteri tersebut menimbulkan bintil-bintil pada dinding alveolus. Jika penyakit ini menyerang dan dibiarkan semakin luas, dapat menyebabkan sel-sel paru-paru mati. Akibatnya paru-paru akan kuncup atau mengecil. Hal tersebut menyebabkan para penderita TBC napasnya sering terengah-engah. [8]
4. **Infuenza (flu)**, merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus influenza. Penyakit ini timbul dengan gejala bersin-bersin, demam, dan pilek. [8]
5. **Kanker paru-paru**. Penyakit ini merupakan salah satu *paling berbahaya*. *Sel-sel kanker pada paru-paru terus tumbuh tidak terkendali*. Penyakit ini lama-kelamaan dapat menyerang seluruh tubuh. Salah satu *pemicu kanker paru-paru adalah kebiasaan merokok*. *Merokok dapat memicu terjadinya kanker paru-paru dan kerusakan paru-paru*. [2]
6. Merokok dapat menyebabkan perubahan struktur dan fungsi saluran pernapasan dan jaringan paru-paru. Misalnya, sel mukosa membesar (disebut hipertrofi) dan kelenjar mukus bertambah banyak (disebut hiperplasia). Dapat pula terjadi radang ringan, penyempitan saluran pernapasan akibat bertambahnya sel sel dan penumpukan lendir, dan kerusakan alveoli. Perubahan anatomi saluran pernapasan menyebabkan fungsi paru-paru terganggu. [10]

BAB III

KESIMPULAN

Respirasi adalah suatu proses pertukaran gas oksigen dari udara oleh organism hidup yang digunakan untuk serangkaian metabolisme yang akan menghasilkan karbondioksida yang harus dikeluarkan, karena tidak dibutuhkan oleh tubuh. Alat pernafasan setiap makhluk tidaklah sama, pada hewan invertebrata memiliki alat pernafasan dan mekanisme pernafasan yang berbeda dengan hewan vertebrata.

Sistem respirasi terdiri atas organ-organ yang berfungsi dalam aktivitas metabolisme khususnya produksi atau perubahan energy kimia yang terikat dalam materi organik menjadi energy siap pakai (ATP) dalam sel. Secara khusus organ respirasi merupakan media pertukaran dan dari dalam dan luar tubuh. Udara dari atmosfer masuk ke dalam tubuh dengan perantara alat pernafasan tertentu. Selanjutnya oksigen yang diperlukan untuk proses pernafasan masuk ke dalam sel-sel darah kapiler menuju ke sel-sel jaringan tubuh dengan bantuan sistem transpor.

Pernafasan ada dua jenis yaitu pernafasan dada dan pernafasan perut. Pernafasan dada terjadi karena otot antar tulang rusuk berkontraksi sehingga rusuk terangkat, akibatnya volume rongga dada membesar. Membesarnya rongga dada membuat tekanan dalam dada mengecil dan paru-paru mengembang. Pada saat paru-paru mengembang, tekanan udara diluar lebih besar daripada di dalam paru-paru, akibatnya udara masuk. Sebaliknya, saat otot antar tulang rusuk berkontraksi, tulang rusuk turun. Akibatnya, volume rongga dada mengecil sehingga tekanan di dalamnya pun naik. Pada keadaan ini paru-paru mengempis sehingga udara keluar. Pada pernafasan perut terjadi karena karena gerakan diafragma. Jika otot diafragma berkontraksi, rongga dada membesar dan paru-paru mengembang. Akibatnya, udara masuk ke dalam paru-paru. Saat otot diafragma relaksasi, diafragma kembali ke keadaan semula. Saat itu rongga dada menyempit, mendorong paru-paru sehingga mengempis. Selanjutnya udara dari paru-paru akan keluar.

Daftar Pustaka

1. Heil, M., Hazel, A. and Smith, J. (2008). The mechanics of airway closure. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 163(1-3), pp.214-221.
2. Lesauskaite, V. and Ebejer, M. (1999). Age-related changes in the respiratory system. *Maltese Medical Journal*, 11(1), p.25.
3. Majumder, N. (2015). Physiology of Respiration. *IOSR Journal of Sports and Physical Education*, 2(3), pp.16-17.
4. Patwa, A. and Shah, A. (2015). Anatomy and physiology of respiratory system relevant to anaesthesia. *Indian Journal of Anaesthesia*, 59(9), p.533.
5. Srinivas, P. (2012). Steady State and Stability Analysis of Respiratory Control System using Labview. *International Journal of Control Theory and Computer Modeling*, 2(6), pp.13-23.
6. White, S., Danowitz, M. and Solounias, N. (2016). Embryology and evolutionary history of the respiratory tract. *Edorium Journal of Anatomy and Embryology*, 3, pp.54-62.
7. Mitrouska, I., Klimathianaki, M. and Siafakas, N. (2004). Effects of Pleural Effusion on Respiratory Function. *Canadian Respiratory Journal*, 11(7), pp.499-503.
8. Kelly, F. (2014). Influence of Air Pollution on Respiratory Disease. *European Medical Journal*, 2, pp.96-103.
9. Kennedy, J. (2012). Clinical Anatomy Series- Lower Respiratory Tract Anatomy. *Scottish Universities Medical Journal.*, 1(2), pp.174-179.