

BAB II LANDASAN TEORI

A. Landasan Teori

1. Definisi Pernafasan

Menurut Price dan Wilson, pernafasan secara harfiah berarti pergerakan oksigen (O_2) dari atmosfer menuju ke sel dan keluarnya karbondioksida (CO_2) dari sel ke udara bebas. Pemakaian O_2 dan pengeluaran CO_2 diperlukan untuk menjalankan fungsi normal sel dalam tubuh, akan tetapi sebagian besar sel-sel tubuh tidak dapat melakukan pertukaran gas-gas langsung dengan udara, hal ini disebabkan oleh sel-sel yang letaknya sangat jauh dari tempat pertukaran gas tersebut. Dengan demikian, sel-sel tersebut memerlukan struktur tertentu untuk menukar maupun untuk mengangkut gas-gas tersebut. Proses pernafasan terdiri dari beberapa langkah dan terdapat peranan yang sangat penting dari sistem pernafasan, sistem saraf pusat, serta sistem kardiovaskular. Pada dasarnya, sistem pernafasan terdiri dari suatu rangkaian saluran udara yang menghantarkan udara luar agar bersentuhan dengan membran kapiler alveoli, yaitu pemisah antara sistem pernafasan dengan sistem kardiovaskular.

Saluran pernafasan terdiri dari rongga hidung, rongga mulut, faring, laring, trakea, dan paru. Laring membagi saluran pernafasan menjadi 2 bagian, yaitu saluran pernafasan atas dan saluran pernafasan bawah. Pada pernafasan yang melalui paru-paru atau pernafasan *external*, oksigen di hirup melalui hidung dan mulut. Kemudian oksigen masuk melalui trakea dan pipa bronkhial ke alveoli dan erat hubungannya dengan darah di dalam kapiler pulmonaris. Terdapat membran alveoli yang memisahkan oksigen dan darah oksigen menembus membran ini dan dipungut oleh hemoglobin sel darah merah dibawa ke jantung. Kemudian akan dipompa ke dalam arteri di semua bagian tubuh. Darah meninggalkan paru-paru pada tekanan oksigen 100 mmHg dimana pada

tingkat ini hemoglobinnya 95% (Pearce, 2007). Adanya tekanan antara udara luar dan udara dalam paru-paru menyebabkan udara dapat masuk ataupun keluar. Perbedaan tekanan terjadi akibat perubahan besar kecilnya rongga dada, rongga perut, dan rongga alveolus. Perubahan besarnya rongga ini terjadi karena pekerjaan otot-otot pernafasan, yaitu otot antara tulang rusuk dan otot pernafasan tersebut (Kus Irianto, 2008). Maka dari itu pernafasan dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

a. Pernafasan Dada

Pernafasan dada adalah pernafasan yang menggunakan gerakan gerakan otot antar tulang rusuk. Adanya kontraksi otot-otot yang terdapat diantara tulang-tulang rusuk menyebabkan tulang dada dan tulang rusuk terangkat sehingga rongga dada membesar. Ketika rongga dada membesar, paru-paru turut mengembang sehingga volume menjadi besar. Sedangkan tekanannya lebih kecil daripada tekanan udara luar. Dalam keadaan demikian udara luar dapat masuk melalui trakea ke paru-paru (pulmonum).

b. Pernafasan Perut

Pernafasan perut adalah pernafasan yang menggunakan otot-otot diafragma. Otot-otot sekat rongga dada berkontraksi sehingga diafragma yang semula cembung menjadi agak rata, dengan demikian paru-paru dapat mengembang ke arah perut (abdomen). Pada waktu itu rongga dada bertambah besar dan udara terhirup masuk.

2. Fisiologi Pernafasan

Menurut Syaifuddin (2007), fungsi paru adalah tempat pertukaran gas oksigen dan karbondioksida pada pernafasan melalui paru/pernafasan eksternal. Tubuh melakukan usaha memenuhi kebutuhan O₂ untuk proses metabolisme dan mengeluarkan CO₂ sebagai hasil metabolisme dengan perantara organ paru dan saluran napas bersama kardiovaskuler sehingga dihasilkan darah yang kaya oksigen. Terdapat 3 tahapan dalam proses respirasi, yaitu:

a. Ventilasi

Proses keluar dan masuknya udara ke dalam paru, serta keluarnya karbondioksida dari alveoli ke udara luar. Alveoli yang sudah mengembang tidak dapat mengempis penuh karena masih adanya udara yang tersisa didalam alveoli yang tidak dapat dikeluarkan walaupun dengan ekspirasi kuat. Volume udara yang tersisa ini disebut dengan volume residu. Volume ini penting karena menyediakan O₂ dalam alveoli untuk menghasilkan darah (Guyton & Hall, 2008).

b. Difusi

Proses berpindahnya oksigen dari alveoli ke dalam darah, serta keluarnya karbondioksida dari darah ke alveoli. Dalam keadaan beristirahan normal, difusi dan keseimbangan antara O₂ di kapiler darah paru dan alveolus berlangsung kira-kira 0,25 detik dari total waktu kontak selama 0,75 detik. Hal ini menimbulkan kesan bahwa paru normal memiliki cukup cadangan waktu difusi (Price dan Wilson, 2007).

c. Perfusi

Yaitu distribusi darah yang telah teroksigenasi di dalam paru untuk dialirkan ke seluruh tubuh (Siregar & Amalia, 2007).

3. Otot-otot Pernafasan

Menurut Djodibroto (2009), yang digolongkan ke dalam struktur pelengkap sistem pernafasan adalah struktur penunjang yang diperlukan untuk bekerjanya sistem pernafasan tersebut. Struktur pelengkap itu sendiri terdiri dari *costae* dan otot, diafragma serta pleura. Dinding dada atau dinding thoraks dibentuk oleh tulang, otot, serta kulit. Tulang pembentuk dinding thoraks antara lain *costae* (12 buah), *vertebra thoracalis* (12 buah), *sternum*, *clavicula* dan *scapula*. Sementara itu, otot pembatas rongga dada terdiri dari:

- 1) Otot ekstremitas superior
 - a. *Musculus pectoralis major*
 - b. *Musculus pectoralis minor*
 - c. *Musculus serratus anterior*
 - d. *Musculus subclavius*
- 2) Otot anterolateral abdominal
 - a. *Musculus abdominal oblicus externus*
 - b. *Musculus rectus abdominis*
- 3) Otot thorax intrinsik
 - a. *Musculus intercostalis externa*
 - b. *Musculus intercostalis interna*
 - c. *Musculus sternalis*
 - d. *Musculus thoracis transversus*

Selain sebagai pembentuk dinding dada, otot skelet juga berfungsi sebagai otot pernafasan. Menurut kegunaannya, otot-otot pernafasan dibedakan menjadi otot untuk inspirasi, dimana otot inspirasi terbagi menjadi otot inspirasi utama dan tambahan, serta otot untuk ekspirasi tambahan.

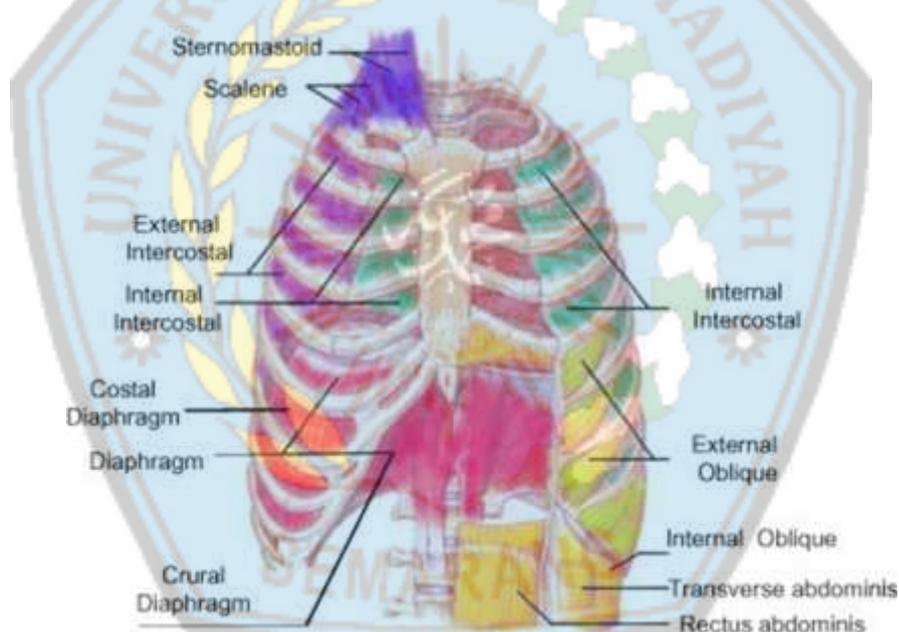
- 1) Otot inspirasi utama (*principal*) yaitu:
 - a. *Musculus intercostalis externa*
 - b. *Musculus intercartilagineus parasternal*
 - c. Otot diafragma.
- 2) Otot inspirasi tambahan (*accessory respiratory muscle*) sering juga disebut sebagai otot bantu nafas terdiri dari:
 - a. *Musculus sternocleidomastoideus*
 - b. *Musculus scalenus anterior*
 - c. *Musculus scalenus medius*
 - d. *Musculus scalenus*
 - e. *posterior*

Saat pernafasan biasa (*quiet breathing*), untuk ekspirasi tidak diperlukan kegiatan otot, cukup dengan daya elastis paru saja

udara di dalam paru akan keluar saat ekspirasi berlangsung. Namun, ketika seseorang mengalami serangan asma, seringkali diperlukan *active breathing*, dimana dalam keadaan ini untuk ekspirasi diperlukan kontribusi kerja otot-otot seperti:

- 1) *Musculus intercostalis interna*
- 2) *Musculus intercartilagijs parasternal*
- 3) *Musculus rectus abdominis*
- 4) *Musculus oblique abdominus externus*

Otot-otot untuk ekspirasi juga berperan untuk mengatur pernafasan saat berbicara, menyanyi, batuk, bersin, dan untuk mengedan saat buang air besar serta saat persalinan.



Gambar 2.1 Otot-otot pernafasan

4. Mekanisme Pernafasan

Bernapas berarti melakukan inspirasi dan ekspirasi secara bergantian, teratur, berirama dan terus menerus. Bernapas merupakan gerak reflek yang terjadi pada otot-otot pernafasan. Reflek bernapas ini diatur oleh pusat pernafasan yang terletak di dalam sumsum penyambung (*medulla oblongata*). Oleh karena itu

seseorang dapat menahan, memperlambat atau mempercepat napasnya, ini berarti bahwa reflek napas juga di bawah pengaruh *korteks serebri*. Pusat pernapasan sangat peka terhadap kelebihan kadar karbondioksida dalam darah dan kekurangan oksigen dalam darah (Syarifuddin, 2007).

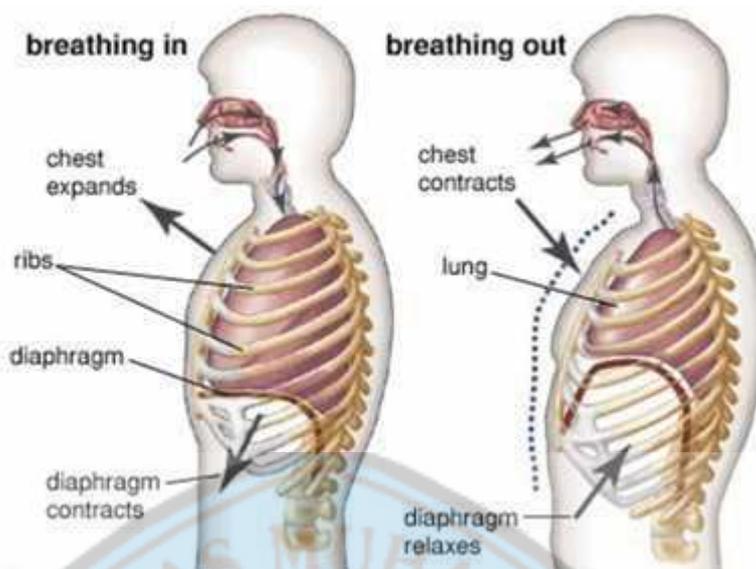
Menurut Kus Irianto (2008), mekanisme terjadinya pernapasan terbagi dua yaitu:

a. Inspirasi

Sebelum menarik napas / inspirasi kedudukan diafragma melengkung ke arah rongga dada, dan otot-otot dalam keadaan mengendur. Bila otot diafragma berkontraksi, maka diafragma akan mendatar. Pada waktu inspirasi maksimum, otot antar tulang rusuk berkontraksi sehingga tulang rusuk terangkat. Keadaan ini menambah besarnya rongga dada. Mendatarnya diafragma dan terangkatnya tulang rusuk, menyebabkan rongga dada bertambah besar, diikuti mengembangnya paru-paru, sehingga udara luar melalui hidung, melalui batang tenggorok (bronkus), kemudian masuk ke paru-paru.

b. Ekspirasi

Ekspirasi merupakan proses pasif yang tidak memerlukan kontraksi otot untuk menurunkan intratorakal. Proses ekspirasi terjadi apabila otot antar tulang rusuk dan otot diafragma mengendur, maka diafragma akan melengkung ke arah rongga dada lagi, dan tulang rusuk akan kembali ke posisi semula. Kedua hal tersebut menyebabkan rongga dada mengecil, sehingga udara dalam paru-paru terdorong ke luar. Inilah yang disebut mekanisme ekspirasi.



Gambar 2.2 Mekanisme Inspirasi dan Ekspirasi

Sumber: (Anonim 2011)

5. Proses Pertukaran Gas dalam Paru

Oksigen merupakan zat kebutuhan utama dalam proses pernafasan. Oksigen untuk pernafasan diperoleh dari udara di lingkungan sekitar. Alat-alat pernafasan berfungsi memasukkan udara yang mengandung oksigen dan mengeluarkan udara yang mengandung karbon dioksida dan uap air. Tujuan proses pernafasan yaitu untuk memperoleh energi. Pada peristiwa bernapas terjadi pelepasan energi. Sistem pernafasan pada manusia mencakup dua hal, yakni saluran pernafasan dan mekanisme pernafasan. Saluran pernafasan atau traktus respiratorius (*respiratory tract*) adalah bagian tubuh manusia yang berfungsi sebagai tempat lintasan dan tempat pertukaran gas yang diperlukan untuk proses pernafasan. Saluran ini berpangkal pada hidung atau mulut dan berakhir pada paru-paru.

Menurut Pearce, paru-paru berfungsi sebagai tempat pertukaran gas dan gas karbondioksida. Saat proses pernafasan terjadi, oksigen masuk melalui trakea dan pipa bronchial ke alveoli, dan erat

hubungannya dengan darah di dalam kapiler pulmonaris. Oksigen dari darah merah yang akan dibawa ke jantung dipisahkan oleh membran alveoli kapiler kemudian akan dipompa di dalam arteri ke semua bagian tubuh. Darah meninggalkan paru-paru pada tekanan oksigen 10 mmHg dan pada tingkat ini hemoglobinnya 95% jenuh oksigen. Pertukaran oksigen dan karbon dioksida antara darah dan udara berlangsung di alveolus paru-paru. Pertukaran tersebut diatur oleh kecepatan dan didalamnya aliran udara timbal balik (pernafasan), dan tergantung pada difusi oksigen dari alveoli ke dalam darah kapiler dinding alveoli. Hal yang sama berlaku pada gas dan uap yang terhidup paru-paru yang merupakan jalur masuk terpenting dari bahan-bahan berbahaya lewat udara pada paparan kerja.

6. Mekanisme Sistem Kerja Pernafasan

Terdapat beberapa mekanisme yang berperan membawa udara ke dalam paru sehingga pertukaran gas dapat berlangsung. Fungsi mekanisme pergerakan udara masuk dan keluar dari paru disebut ventilasi. Mekanisme ini dilaksanakan oleh sejumlah komponen yang saling berinteraksi. Pompa pernafasan merupakan pompa yang bergerak maju mundur dan mempunyai dua komponen penting yaitu volume elastis paru itu sendiri dan dinding yang mengelilingi paru. Dinding tersebut terdiri dari rangka, jaringan rangka thoraks, diafragma, isi abdomen serta dinding abdomen. Otot-otot pernafasan yang merupakan bagian dinding thoraks adalah sumber kekuatan untuk menghembuskan pompa. Diafragma dibantu oleh otot-otot yang dapat mengangkat tulang iga dan sternum merupakan otot utama yang ikut berperan dalam peningkatan volume paru dan rangka thoraks selama inspirasi.

Otot-otot pernafasan diatur oleh pusat pernafasan yang terdiri dari neuron dan reseptor pada *pons* dan *medulla oblongata*. Pusat pernafasan merupakan bagian sistem saraf yang mengatur semua aspek pernafasan. Faktor utama pada pengaturan pernafasan adalah

respon dari pusat kemoreseptor dalam pusat pernafasan terhadap tekanan parsial (tegangan) karbondioksida (PaCO_2) dan pH darah arteri. Peningkatan PaCO_2 atau penurunan pH merangsang pernafasan. Penurunan tekanan parsial O_2 dalam darah arteri PaO_2 dapat juga merangsang ventilasi. Kemoreseptor perifer yang terdapat dalam badan karotis pada bifurkasio arteria karotis komunis dan dalam badan aorta pada arkus aorta peka terhadap penurunan PaO_2 dan pH serta peningkatan PaCO_2 . Akan tetapi PaO_2 harus turun dari nilai normal kira-kira sebesar 90 sampai 100 mmHg hingga mencapai sekitar 60 mmHg sebelum ventilasi mendapat rangsangan yang cukup berarti (Price dan Wilson, 2007).

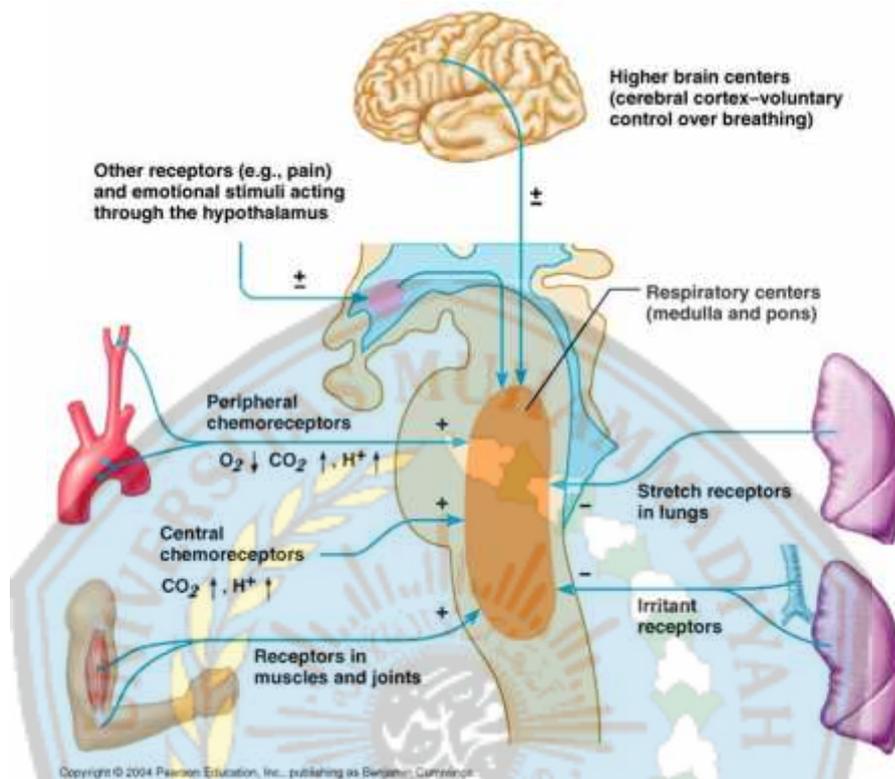
Menurut Martini (2008), pada saat inspirasi mencapai batas tertentu terjadi stimulasi pada reseptor regangan dalam otot polos paru untuk menghambat aktivitas neuron inspirasi. Dengan demikian reflek ini mencegah terjadinya over inflasi paru-paru saat aktivitas berat. Mekanisme ini disebut dengan *Hering- Breuer Refleks*. Refleks ini dibagi menjadi:

a. Refleks Inflasi

Untuk menghambat over ekspansi paru-paru saat pernafasan kuat. Reseptor reflek ini terletak pada jaringan otot polos di sekeliling bronkiolus dan distimulasi oleh ekspansi paru-paru.

b. Refleks Deflasi

Untuk menghambat pusat ekspirasi dan menstimulasi pusat inspirasi saat paru-paru mengalami deflasi. Reseptor reflek ini terletak di dinding alveolar. Berfungsi secara normal hanya ketika ekshalasi maksimal, saat pusat inspirasi dan ekspirasi aktif.



Gambar 2.3 Kontrol terhadap pernafasan

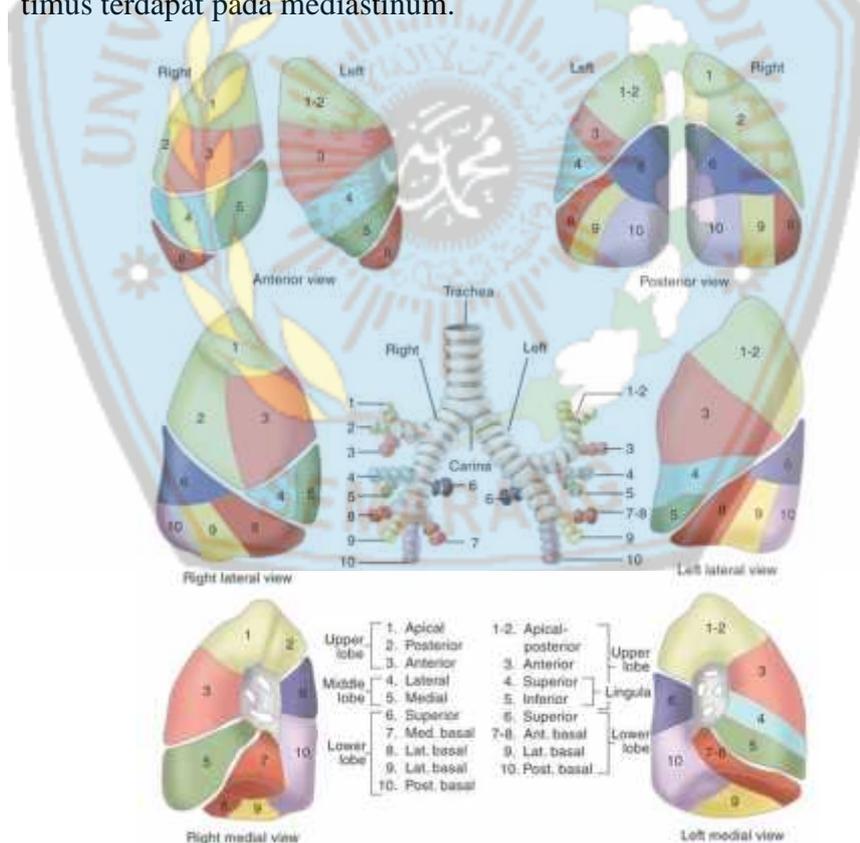
(Sumber: Pearson Education, Inc)

B. Anatomi Paru

Paru-paru merupakan organ pernafasan yang dibentuk oleh struktur- struktur yang ada di dalam tubuh, seperti: arteri pulmonaris, vena pulmonaris, bronkus, arteri bronkhailis, vena bronkhailis, pembuluh limfe dan kelenjar limfe (Guyton & Hall, 2008). Struktur paru-paru seperti spon yang elastis dengan daerah permukaan dalam yang sangat lebar untuk pertukaran gas. Di dalam paru, bronkiolus bercabang-cabang halus dengan diameter ± 1 mm, dindingnya makin menipis dibandingkan dengan bronkus. Bronkiolus tidak mempunyai tulang rawan, tetapi rongganya masih mempunyai silia dan di bagian ujung mempunyai epitelium berbentuk kubus bersilia. Pada bagian distal kemungkinan tidak terdapat silia. Bronkiolus berakhir pada kantong udara yang disebut

dengan alveolus. Alveolus terdapat pada ujung akhir bronkiulus berupa kantong kecil yang salah satu sisinya terbuka sehingga menyerupai busa atau mirip sarang tawon. Alveolus berselaput tipis dan terdapat banyak muara kapiler darah sehingga memungkinkan adanya difusi gas pernafasan didalamnya.

Menurut Irman Somantri (2008), paru-paru terbagi menjadi dua bagian yaitu paru kanan yang terdiri dari tiga lobus sedangkan paru kiri terdiri dari dua lobus. Setiap paru-paru terbagi lagi menjadi beberapa sub bagian menjadi sekitar sepuluh unit terkecil yang disebut *bronchopulmonary segments*. Paru kanan dan kiri dipisahkan oleh ruang yang disebut mediastinum. Dimana jantung, aorta, vena cava, pembuluh paru-paru, esofagus, bagian dari trakea dan bronkhus, serta kelenjar timus terdapat pada mediastinum.



Gambar 2.4 Anatomi organ paru

(Sumber: Frank H. Netter)

Selaput yang membungkus paru disebut dengan Pleura. Menurut (Anonim, 2015), pleura adalah lapisan tisu tipis yang menutupi paru-paru dan melapisi dinding bagian dalam rongga dada. Melindungi dan membantali paru-paru, jaringan ini mengeluarkan sejumlah kecil cairan yang bertindak sebagai pelumas, yang memungkinkan paru-paru untuk bergerak dengan lancar di rongga dada saat bernapas.

Menurut Price dan Wilson (2006), ada 2 macam pleura yaitu pleura parietalis dan pleura viseralis. Pleura parietalis melapisi toraks atau rongga dada sedangkan pleura viseralis melapisi paru-paru. Kedua pleura ini bersatu pada hilus paru. Dalam beberapa hal terdapat perbedaan antara kedua pleura ini yaitu pleura viseralis bagian permukaan luarnya terdiri dari selapis sel mesotelial yang tipis (tebalnya tidak lebih dari 30 μm). Diantara celah - celah sel ini terdapat beberapa sel limfosit. Di bawah sel-sel mesotelia ini terdapat endopleura yang berisi fibrosit dan histiosit. Seterusnya dibawah ini (dinamakan lapisan tengah) terdapat jaringan kolagen dan serat-serat elastik.

Pada lapisan terbawah terdapat jaringan interstitial subpleura yang sangat banyak mengandung pembuluh darah kapiler dari A. Pulmonalis dan A. Bronkialis serta pembuluh getah bening. Keseluruhan jaringan pleura viseralis ini menempel dengan kuat pada jaringan parenkim paru. Pleura parietalis mempunyai lapisan jaringan lebih tebal dan terdiri dari sel-sel mesotelial juga dan jaringan ikat (jaringan kolagen dan serat-serat elastik). Dalam jaringan ikat, terdapat pembuluh kapiler dari A. Interkostalis dan A. Mammaria interna, pembuluh getah bening dan banyak reseptor saraf-saraf sensorik yang peka terhadap rasa sakit dan perbedaan temperatur. Sistem persarafan ini berasal dari *nervus intercostalis* dinding dada. Keseluruhan jaringan pleura parietalis ini menempel dengan mudah, tapi juga mudah dilepaskan dari dinding dada di atasnya.

Di antara pleura terdapat ruangan yang disebut spasiu pleura, yang mengandung sejumlah kecil cairan yang melicinkan permukaan dan memungkinkan keduanya bergeser secara bebas pada saat ventilasi. Cairan tersebut dinamakan cairan pleura. Cairan ini terletak antara paru dan thoraks. Tidak ada ruangan yang sesungguhnya memisahkan pleura parietalis dengan pleura viseralis sehingga apa yang disebut sebagai rongga pleura atau kavitas pleura hanyalah suatu ruangan potensial. Tekanan dalam rongga pleura lebih rendah daripada tekanan atmosfer sehingga mencegah kolaps paru.

Jumlah normal cairan pleura adalah 10-20 cc. Cairan pleura berfungsi untuk memudahkan kedua permukaan pleura parietalis dan pleura viseralis bergerak selama pernapasan dan untuk mencegah pemisahan toraks dan paru yang dapat dianalogikan seperti dua buah kaca obyek yang akan saling melekat jika ada air. Kedua kaca obyek tersebut dapat bergeseran satu dengan yang lain tetapi keduanya sulit dipisahkan. Cairan pleura dalam keadaan normal akan bergerak dari kapiler di dalam pleura parietalis ke ruang pleura kemudian diserap kembali melalui pleura viseralis. Hal ini disebabkan karena perbedaan tekanan antara tekanan hidrostatis darah yang cenderung mendorong cairan keluar dan tekanan onkotik dari protein plasma yang cenderung menahan cairan agar tetap di dalam. Selisih perbedaan absorpsi cairan pleura melalui pleura viseralis lebih besar daripada selisih perbedaan pembentukan cairan oleh pleura parietalis dan permukaan pleura viseralis lebih besar dari pada pleura parietalis sehingga dalam keadaan normal hanya ada beberapa mililiter cairan di dalam rongga pleura.

C. Volume dan Kapasitas Fungsi Paru

1. Volume Paru

Volume paru dan kapasitas fungsi paru merupakan gambaran fungsi ventilasi sistem pernapasan. Dengan mengetahui besarnya volume dan kapasitas fungsi paru dapat diketahui besarnya kapasitas

ventilasi maupun ada tidaknya kelainan fungsi ventilator paru. Selama pernapasan berlangsung, volume selalu berubah-ubah. Dimana mengembang sewaktu inspirasi dan mengempis sewaktu ekspirasi. Dalam keadaan normal, pernapasan terjadi secara pasif dan berlangsung hampir tanpa disadari (Suma'mur, P.K.1998). Beberapa parameter yang menggambarkan volume paru adalah:

- a. Volume Tidal (*Tidal Volume=TV*), adalah volume udara masuk dan keluar pada pernapasan. Besarnya TV orang dewasa sebanyak 500 ml.
- b. Volume Cadangan Inspirasi (*Inspiratory Reserve Volume=IRV*), volume udara yang masih dapat dihirup kedalam paru sesudah inspirasi biasa, besarnya IRV pada orang dewasa adalah 3100 ml.
- c. Volume Cadangan Ekspirasi (*Expiratory Reserve Volume=ERV*), volume udara yang masih dapat dikeluarkan dari paru sesudah ekspirasi biasa, besarnya ERV pada orang dewasa adalah 1200 ml.
- d. Volume Residu (*Residual Volume=RV*), udara yang masih tersisa didalam paru sesudah ekspirasi maksimal. TV, IRV dan ERV dapat diukur dengan spirometer, sedangkan $RV=TLC-VC$.

2. Kapasitas Fungsi Paru

Kapasitas paru adalah suatu kombinasi peristiwa-peristiwa sirkulasi paru atau menyatakan dua atau lebih volume paru yaitu volume alun nafas, volume cadangan ekspirasi dan volum residu (Guyton, 1997:604). Kapasitas fungsi paru merupakan penjumlahan dari dua volume paru atau lebih (Suma'mur, P.K.1998). Yang termasuk pemeriksaan kapasitas fungsi paru-paru adalah:

- a. Kapasitas Inspirasi (*Inspiratory Capacity=IC*) adalah volume udara yang masuk paru setelah inspirasi maksimal atau sama dengan volume cadangan inspirasi ditambah volume tidal ($IC=IRV+TV$).
- b. Kapasitas Vital (*Vital Capacity*), volume udara yang dikeluarkan melalui ekspirasi maksimal setelah sebelumnya melakukan inspirasi maksimal. Kapasitas vital besarnya sama

dengan volume inspirasi cadangan ditambah volume tidal ($VC=IRV+ERV+TV$).

c. Kapasitas Paru Total (*Total Lung Capacity=TLC*) adalah kapasitas vital ditambah volume sisa ($TLC=VC+RV$ atau $TLC=IC+ERV+RV$)

d. Kapasitas Residu Fungsional (*Functional Residual Capacity=FRC*) adalah volume ekspirasi cadangan ditambah volume sisa ($FRC=ERV+RV$).

3. Pengukuran Faal Paru

Pengukuran faal paru sangat dianjurkan bagi tenaga kerja, yaitu menggunakan spirometer dengan alasan spirometer lebih mudah digunakan, biaya murah, ringan praktis, bisa dibawa kemana-mana, tidak memerlukan tempat khusus, cukup sensitif, akurasinya tinggi, tidak invasif dan cukup dapat memberi sejumlah informasi handal (Yunus, F. 2006). Dengan pemeriksaan spirometri dapat diketahui semua volume paru kecuali volume residu, semua kapasitas paru kecuali kapasitas paru yang mengandung komponen volume residu. Dengan demikian dapat diketahui gangguan fungsional ventilasi paru dengan jenis gangguan digolongkan menjadi 2 bagian, yaitu:

- a. Gangguan faal paru obstruktif, yaitu hambatan pada aliran udara yang ditandai dengan penurunan pada FEV dan VC.
- b. Gangguan faal paru restriktif, adalah hambatan pada pengembangan paru yang ditandai dengan penurunan pada VC, RV dan TLC (Suma'mur, P.K.1998).

Dari berbagai pemeriksaan faal paru, yang sering dilakukan adalah:

a. *Vital Capacity (VC)*

Adalah volume udara maksimal yang dapat dihembuskan setelah inspirasi yang maksimal. Ada 2 macam vital capacity berdasarkan cara pengukurannya, yaitu:

- 1) *Vital Capacity* (VC), disini subyek tidak perlu melakukan aktivitas pernapasan dengan kekuatan penuh.
- 2) *Forced Vital Capacity* (FVC). Pemeriksaan dilakukan dengan kekuatan maksimal.

Sedangkan berdasarkan fase yang diukur, ada 2 macam VC yaitu:

- 1) VC inspirasi, VC diukur hanya fase inspirasi dan
- 2) VC ekspirasi, diukur hanya pada fase ekspirasi (Mukono, H.J. 1997)

Mukono (1997) mengatakan bahwa pada orang normal tidak ada perbedaan antara FVC dan VC, sedangkan pada keadaan kelainan obstruksi terdapat perbedaan antara VC dan FVC. *Vital Capacity* (VC) merupakan refleksi dari kemampuan elastisitas atau jaringan paru atau kekakuan pergerakan dinding toraks. *Vital Capacity* (VC) yang menurun merupakan kekuatan jaringan paru atau dinding toraks, sehingga dapat dikatakan pemenuhan (*compliance*) paru atau dinding toraks mempunyai korelasi dengan penurunan VC. Pada kelainan obstruksi ringan VC hanya mengalami penurunan sedikit atau mungkin normal (Alsagaf H dr, Mangunegoro.2004)

b. *Forced Expiratory Volume in 1 Second* (FEV)

Adalah besarnya volume udara yang dikeluarkan dalam satu detik pertama. Lama ekspirasi orang normal berkisar antara 4-5 detik dan pada detik pertama orang normal dapat mengeluarkan udara pernapasan sebesar 80% dari nilai VC. Fase detik pertama ini dikatakan lebih penting dari fase-fases selanjutnya. Adanya obstruksi pernapasan didasarkan atas besarnya volume pada detik pertama tersebut. Interpretasi tidak didasarkan nilai absolutnya tetapi pada perbandingan dengan FVC-nya. Bila FEV/FVC kurang dari 75% berarti normal (Alsagaf H dr, Mangunegoro. 2004). Penyakit obstruktif seperti bronchitis

kronik atau emfisema terjadi pengurangan FEV lebih besar dibandingkan kapasitas vital (kapasitas vital mungkin normal) sehingga rasio FEV/FVC kurang 80%.

c. *Peak Expiratory Flow Rate* (PEFR)

PEFR adalah flow/ aliran udara maksimal yang dihasilkan oleh sejumlah volume tertentu. Maka PEFR dapat menggambarkan keadaan saluran pernapasan, apabila PEFR menurun berarti ada hambatan aliran udara pada saluran pernapasan. Pengukuran dapat dilakukan dengan Mini peak Flow Meter atau Pneumotachograf.

4. Nilai Normal Faal Paru

Untuk menginterpretasikan nilai faal paru yang diperoleh harus dibandingkan dengan nilai standarnya. Pada waktu ini banyak diterbitkan nilai normal yang kesemuanya mempunyai ciri-ciri yang berbeda dalam pengumpulan datanya perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh seleksi sampel, metodologi, tehnik penilaian dan kelompok etnik subyek yang diperiksa. Nilai normal faal paru antara wanita dan pria berbeda, hal ini dapat dilihat pada tabel mengenai kapasitas pernafasan yang bisa dilakukan :

Tabel 2.1 Kekuatan pernafasan pada wanita dan laki-laki

No.	Keterangan	Wanita (liter)	Pria (liter)
1.	Kapasitas Inspirasi : jumlah udara sejak ekspirasi normal lalu inspirasi maksimal.	2.4	3.8
2.	Kapasitas Residu Fungsional : jumlah udara yang tertinggi dalam paru pada akhir ekspirasi normal.	1.8	2.2

3. Kapasitas Vital : jumlah udara maksimal yang dapat dikeluarkan dari paru setelah paru dipenuhi secara maksimal. 3,1 4,8
4. Kapasitas paru total : volume maksimal yang dapat dicapai paru dengan kekuatan terbesar. 4,2 6,0

Standart Kapasitas dan kriteria gangguan fungsi paru menurut ATS (*American Thoracic Society*) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Standart Kapasitas dan kriteria gangguan fungsi paru menurut ATS (*American Thoracic Society*)

Kategori	KVP (%pred.) (kapasitas vital paksa)	VEP1 (%pred)	VEP1/ KVP (%)	DLCO (%pred)	VO ₂ Max (ml/kg/ml)
Normal	80	80	75	80	25
Ringan	60 – 79	60 – 79	60 – 74	60 – 79	16 – 24
Sedang	51 – 59	41 – 59	41 – 59	41 – 59	16 – 24
Berat	50	40	40	40	15

Tabel 2.2 Standart Kapasitas dan kriteria gangguan fungsi paru menurut ATS (*American Thoracic Society*).

Pada uji fungsi paru yang perlu diperhatikan atau yang mempengaruhi pemeriksaan adalah umur, tinggi badan, dan terutama kebiasaan merokok (*World Health Organization*, 2014).

5. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kapasitas Vital Paru

Fungsi paru yang ditampilkan dalam kapasitas vital paru dan daya fisik berubah-ubah akibat sejumlah faktor, diantaranya : Usia, jenis kelamin, ukuran paru, kelompok etnik, tinggi badan, kebiasaan merokok, toleransi latihan, kekeliruan pengamat, kekeliruan alat, dan suhu lingkungan sekitar (Harrington, 2005:84). Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai Kapasitas Vital Paru dan daya fisik ini diantaranya

a. Riwayat penyakit

Riwayat penyakit meliputi riwayat penyakit selama satu tahun terakhir, dan keluhan-keluhan yang dirasakan pekerja meliputi keluhan yang dirasakan pada saluran pernafasan. Hal ini berkaitan dengan fungsi faal paru, dimana seseorang dengan riwayat gangguan organ paru akan mengurangi kemampuan kapasitas vital parunya.

b. Aktivitas olah raga

Olah raga atau latihan fisik yang dilakukan secara teratur akan terjadi peningkatan kesegaran dan ketahanan fisik yang optimal pada saat latihan terjadi kerja sama berbagai lelah otot, kelenturan otot, kecepatan reaksi, ketangkasan, koordinasi gerakan, dan daya tahan sistem kardiorespirasi. Faal paru dan olah raga mempunyai hubungan yang timbal balik, gangguan faal paru dapat mempengaruhi kemampuan olah raga, sebaliknya latihan fisik yang teratur atau olah raga dapat meningkatkan faal paru (Pratiwi, 2008).

c. Kebiasaan merokok

Kebiasaan merokok telah terbukti berhubungan dengan sedikitnya 25 (dua puluh lima) jenis penyakit dari berbagai organ tubuh manusia. Penyakit-penyakit ini antara lain kanker paru, penyakit paru obstruktif kronik, dan berbagai penyakit paru lainnya. Selain itu kanker mulut, esofagus, faring, laring, pankreas,

kandung kencing, penyakit pembuluh darah dan lakus peptikum. Kebiasaan merokok akan mempercepat penurunan faal paru. Penurunan volume ekspirasi paksa detik 1 (FEV1) pertahun adalah 28,7 ml, 38,4 ml, dan 41,7 ml masing-masing untuk non perokok, bekas perokok, dan perokok aktif. Pengaruh asap rokok dapat lebih besar dari pada pengaruh debu hanya sekitar sepertiga dari pengaruh buruk rokok (www.Infokes.com.9Agustus2003).

d. Penggunaan APD

Perlindungan tenaga kerja melalui usaha-usaha teknis pengamanan tempat, peralatan, dan lingkungan kerja adalah sangat perlu diutamakan. Tetapi, kadang-kadang keadaan bahaya masih belum dapat dikendalikan sepenuhnya, sehingga diperlukan Alat Pelindung Diri (APD). Alat-alat demikian harus memenuhi persyaratan : 1). Enak dipakai, 2). Tidak mengganggu kerja, 3). Memberikan perlindungan efektif terhadap jenis bahaya (Suma'mur,1996:217). Penggunaan APD berkaitan dengan banyaknya partikulat yang tertimbun di dalam organ paru akibat pencemaran yang dapat mengurangi kemampuan fungsi paru sehingga dengan digunakannya APD maka akan dapat mencegah menumpuknya partikulat pencemar dalam organ paru sehingga akan mengurangi terjadinya penurunan fungsi organ paru.

e. Konsumsi vitamin C

Menurut Johnson dalam buku *Recommended Dietary Allowences* menyatakan bahwa perokok memiliki konsentrasi vitamin C yang rendah dalam plasma darahnya. Sehingga dapat disimpulkan kelompok perokok memiliki penurunan fungsi faal paru yang dapat dilihat dari kapasitas vital paru dan daya fisik yang lebih rendah dari kelompok non perokok, kelompok perokok juga memiliki tingkat konsentrasi vitamin C yang rendah,

sedangkan vitamin C itu sendiri mampu menjaga kesegaran dan daya tahan tubuh, sehingga kelompok perokok memiliki tingkat kesegaran dan ketahanan fisik lebih rendah dari kelompok perokok.

D. Pencemaran Udara

1. Definisi

Pencemaran udara atau polusi udara adalah kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang membahayakan kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan, mengganggu estetika dan kenyamanan, atau merusak properti (EPA,2009). Pencemaran udara diartikan sebagai adanya bahan-bahan atau zat-zat asing di dalam udara yang menyebabkan perubahan susunan atau komposisi udara dari keadaan normalnya (Rizki, 2013).

Secara umum, menurut Rizki (2010) penyebab pencemaran udara ada dua macam, yaitu :

- a. Karena faktor internal (secara alamiah), contoh :
 - 1) Debu yang beterbangan akibat tiupan angin.
 - 2) Abu (debu) yang dikeluarkan dari letusan gunung berapi berikut gas- gas vulkanik.
 - 3) Proses pembusukan sampah organik.
- b. Karena faktor eksternal (karena ulah manusia), contoh :
 - 1) Hasil pembakaran bahan bakar fosil
 - 2) Debu atau serbuk dari kegiatan industri
 - 3) Pemakaian zat-zat kimia yang disemprotkan ke udara.

Adapun komponen pencemar udara yang paling banyak berpengaruh dalam pencemaran udara menurut Riski (2010) adalah meliputi komponen berikut ini :

- a. Karbon Monoksida (CO)
- b. Nitrogen Oksida (NO_x)
- c. Belerang Oksida (SO_x)

- d. Hidro Carbon (HC)
- e. Partikel (Particulate)

2. Komponen Polusi Udara

Seperti yang telah diuraikan diatas, komponen pencemar udara di dominasi oleh lima komponen pencemar diantaranya :

a) Karbon Monoksida

Gas karbon monoksida (CO) adalah suatu gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan juga tidak berasa. Menurut Wardhana (2001), pembentukan CO melalui proses :

- 1) Pembakaran bahan bakar fosil dengan udara yang reaksinya tidak stoikhiometris, dapat dilihat pada reaksi di bawah ini :

Reaksi :



jika reaksi berlanjut, maka akan menjadi reaksi stoikhiometri, yang tidak menghasilkan gas CO, yaitu :



- 2) Pada suhu tinggi terjadi reaksi antara CO₂ dengan C menghasilkan gas CO

Reaksi karbon dioksida dengan *carbon* pada suhu tinggi akan menghasilkan dua molekul *carbon monoksida* (CO).

- 3) Pada suhu tinggi, karbon dioksida (CO₂) akan terurai menjadi CO, dengan reaksi sebagai berikut :



Menurut Fardiaz (1992:101), CO pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan kematian, jika konsentrasi CO relatif rendah (100 ppm atau kurang) juga dapat mengganggu kesehatan. Pengaruh racun CO terhadap tubuh terjadi karena reaksi CO dengan Hb (Haemoglobin) dapat membentuk persenyawaan CoHb (*Carboksi Haemoglobin*) daripada membentuk ikatan HbO₂ (*Oksihaemoglobin*), dan afinitas CO terhadap Hb 200 kali lebih tinggi dari afinitas O₂ terhadap Hb,

jadi apabila dalam suatu keadaan udara tercemar Hb akan lebih cenderung mengikat CO daripada O₂.

CO berbahaya karena mampu mengikat Haemoglobin dalam darah dan bersaing dengan Oksigen dan membentuk COHb yang sangat berbahaya bagi tubuh, pada kadar 20-30 persen dapat mengakibatkan pelipis berdenyut dan muntah-muntah, kadar 30-40 persen penderita merasa lemah, sakit kepala dan pingsan. Sementara kadar COHb dengan kadar 40-50 persen menyebabkan collaps, kadar 50-60 persen menyebabkan koma, kadar 60-70 persen mengakibatkan penderita mengalami depresi pernafasan jantung, dan jika telah mencapai kadar COHb sebesar 70-80 persen bisa mengakibatkan kematian (Purwoko, 2001).

b) Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen Oksida (NO_x) adalah kelompok gas yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari gas Nitrik Okside (NO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂) (Fardiaz, 1992:104). Nitrogen Oksida sering disebut dengan NO_x, karena Oksida Nitrogen mempunyai 2 (dua) macam bentuk yang sifatnya berbeda, yaitu gas NO₂ dan gas NO. Nitrik Oksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya nitrogen dioksida mempunyai warna coklat kemerahan dan berbau tajam (Fardiaz, 1992:105). Adapun persamaan reaksi dari pembentukan senyawa Nitrogen Okside (NO_x) adalah sebagai berikut :



Pembentukan NO₂ sangat dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi NO, sedangkan pembentukan NO dirangsang hanya pada suhu tinggi. Kedua bentuk nitrogen oksida, yaitu NO dan NO₂ sangat berbahaya terhadap manusia, penelitian aktivitas mortalitas kedua

komponen tersebut menunjukkan bahwa NO_2 empat kali lebih beracun daripada NO (Fardiaz, 1992:110).

NO_2 bersifat racun terutama terhadap paru-paru, pemberian sebanyak 5 ppm NO_2 selama 10 menit terhadap manusia mengakibatkan sedikit kesukaran dalam bernafas

c) Belerang Oksida (SO_2)

Gas Belerang Oksida atau sering ditulis dengan SO_x terdiri atas gas SO_2 dan gas SO_3 yang keduanya mempunyai sifat berbeda. Gas SO_2 berbau tajam dan tidak mudah terbakar, sedangkan gas SO_3 bersifat sangat reaktif (Wardhana, 2001:47).

Polusi sulfur oksida terutama di sebabkan oleh dua komponen gas yang tidak berwarna, yaitu SO_2 dan SO_3 . Adapun mekanisme pembentukan SO_x dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut:



Sumber SO_x berasal dari proses-proses industri pemurnian petroleum, industri asam sulfat, peleburan baja. Pengaruh SO_x mengiritasi tenggorokan pada prosentasi 5 ppm, yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.3 Pengaruh SO_2 terhadap manusia

Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
-------------------	----------

3 – 5	Jumlah terkecil yang dapat dideteksi dari
8 – 12	baunya.
20	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan iritasi tenggorokan.
20	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan iritasi mata.
20	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan batuk.
50 – 100	Maximum yang diperbolehkan untuk kontak dalam waktu lama.
400 –500	Maximum yang diperbolehkan untuk kontak dalam waktu singkat (30 menit). Berbahaya meskipun kontak secara singkat.

d) Hidro Carbon (HC)

Hidro Carbon atau sering disingkat dengan HC adalah pencemar udara yang dapat berupa gas, cairan maupun padatan (Wardhana, 2001:51). Keberadaan HC diudara akan dapat membentuk kabut fotokimia karena bereaksi dengan NO_x maupun dengan Oksigen.

e) Partikel (*particulate*)

Partikel adalah pencemar udara yang dapat berada bersama-sama dengan bahan atau bentuk pencemar lainnya (Wardhana, 2001:56). Bentuk partikel terdiri atas Aerosol, Fog, smoke, dust, mist, fume, plume, haze, smog, dan smaze.

Partikel bersumber dari letusan vulkano dan hembusan debu serta tanah oleh angin, aktivitas manusia juga berperan sebagai sumber partikel. Partikel masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernafasan, sehingga gangguan karena partikel terutama terjadi pada saluran sistem pernafasan.

Udara yang tercemar memiliki prosentase seperti tabel di bawah ini:

Tabel 2.4 Perkiraan prosentase komponen pencemar udara dari sumber pencemar transportasi di Indonesia

Komponen pencemar	Prosentase
CO	70,50
NO _x	8,89
SO _x	0,88
HC	18,34
Partikel	1,33
Total	100

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa komponen *carbonmonoksida* (CO) menduduki peringkat pertama dalam lima komponen pencemar udara dari sumber pencemar transportasi di Indonesia, angka CO yang mencapai 70,50 persen jauh diatas angka kadar CO yang dibolehkan beredar di udara kering dan bersih di bawah ini:

Tabel 2.5 Komposisi udara kering dan bersih

Komponen	Formula	Persen volume	Ppm
Nitrogen	N ₂	78,08	780.800
Oksigen	O ₂	20,95	209.500
Argon	Ar	0,934	9.340
Karbon dioksida	CO ₂	0,0314	314
Neon	Ne	0,00182	18
Helium	He	0,000524	5
Metana	CH ₄	0,0002	2
Kripton	Kr	0,000114	1

Tabel diatas menerangkan bahwa seharusnya komponen pencemar udara *carbon monoksida (CO)* tidak diketemukan dalam komposisi udara kering dan bersih.

Tabel 2.5 menunjukkan bahwa komponen pencemar udara terbesar adalah *carbon monoksida (CO)*, apabila kadar CO melebihi ambang batas normal akan beresiko terhadap kesehatan seperti penurunan taraf kecerdasan, depresi pernafasan jantung, dan gangguan fungsi paru.

E. Masa Kerja

Masa kerja adalah suatu kurun waktu atau lamanya tenaga kerja bekerja di suatu tempat. Masa kerja dapat mempengaruhi kinerja baik positif maupun negatif. Memberi pengaruh positif pada kinerja bila dengan semakin lamanya masa kerja personal semakin berpengalaman dalam melaksanakan tugasnya. Sebaliknya akan memberikan pengaruh negatif apabila dengan semakin lamanya masa kerja akan timbul kebiasaan pada tenaga kerja. Menurut M. A. Tulus (1992:121) Masa kerja dikategorikan menjadi 3 (Tiga) :

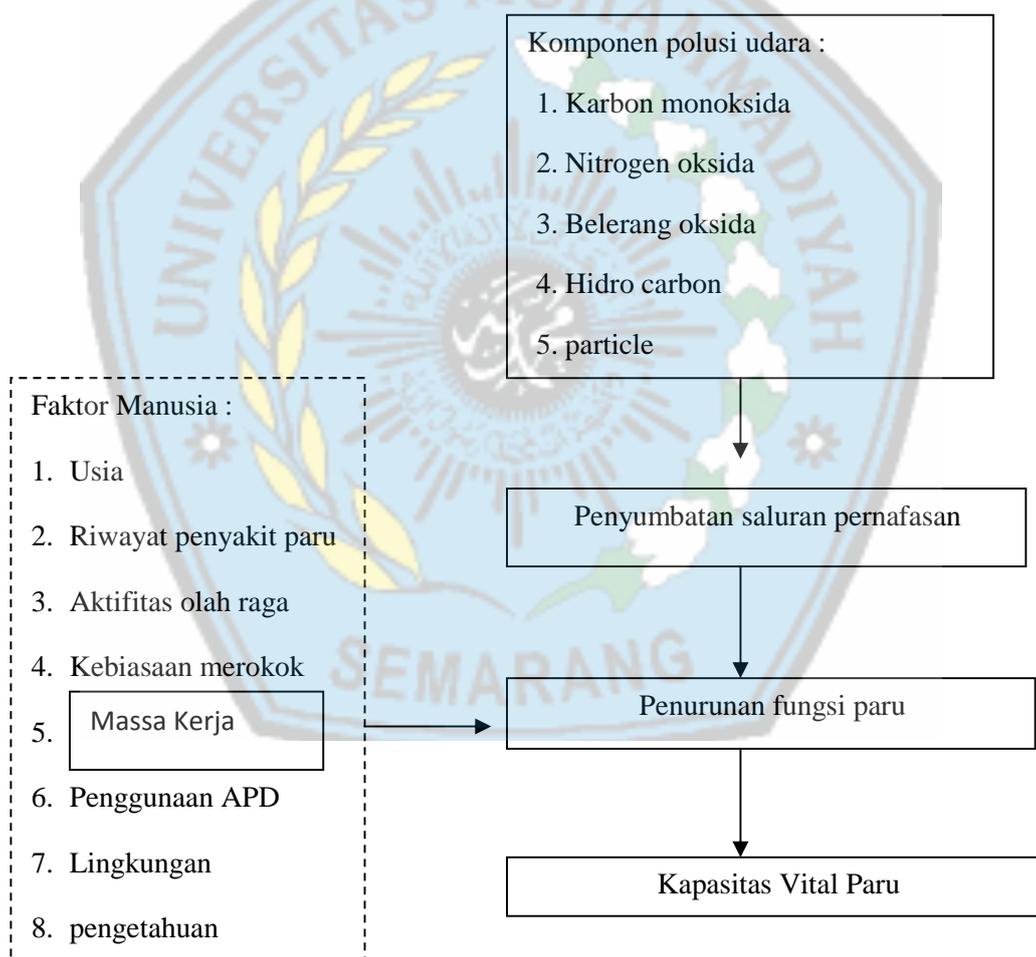
1. Masa kerja baru : < 6 tahun
2. Masa kerja sedang : 6-10 tahun
3. Masa kerja lama : >10 tahun

F. Hubungan massa kerja dengan validitas vital paru pada polisi lalu lintas

Debu yang masuk ke dalam saluran nafas, menyebabkan timbulnya reaksi mekanisme pertahanan nonspesifik berupa batuk, bersin, gangguan transport *mukosiler* dan fagositosis oleh *makrofag*. Otot polos di sekitar jalan nafas dapat terangsang sehingga menimbulkan penyempitan. Keadaan ini terjadi biasanya bila kadar debu melebihi nilai ambang batas. Partikel debu yang masuk ke dalam *alveoli* akan membentuk fokus dan berkumpul di bagian awal saluran limfe paru. Debu ini akan

difagositosis oleh *makrofag*. Debu yang bersifat toksik terhadap *makrofag* menyebabkan terjadinya *autolisis*. *Makrofag* yang lisis bersama debu tersebut merangsang terbentuknya *makrofag* baru yang memfagositosis debu tadi sehingga terjadi lagi *autolisis*, keadaan ini terjadi berulang-ulang. Penyakit paru yang dapat timbul karena debu tergantung pada jenis debu, lama paparan dan kepekaan individual. *Pneumoconiosis* biasanya timbul setelah paparan bertahun-tahun (Sufya, 2010)

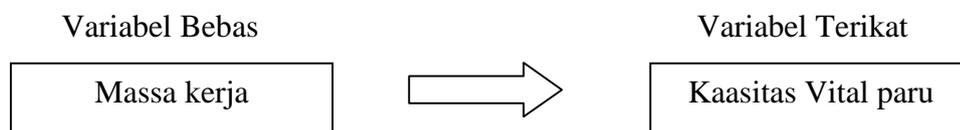
G. Kerangka Teori



Gambar 2.3 Kerangka teori

Sumber : modifikasi Guyton (2008) Sufya (2015)

H. Kerangka Konsep



Gambar 2.4 Kerangka konsep

I. Variabel Penelitian

Variabel didefinisikan sebagai gejala yang bervariasi (Arikunto 2007). Variabel dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

1. Variabel Bebas (Independen)

Variabel bebas adalah *antecedent*, yaitu variabel yang tidak tergantung variabel yang lain (variabel penyebab). Variabel bebas sering dilambangkan X. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah massa kerja pada polisi lalu lintas di Polres Pemalang.

2. Variabel Terikat (Dependen)

Adalah variabel yang tergantung atas variabel yang lain (Arikunto 2007). Variabel dependen/terikat sering dilambangkan dalam lambang Y. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel terikat adalah kapasitas vital paru pada polisi lalu lintas di Polres Pemalang.

J. Hipotesis Penelitian

Hipotesis adalah dugaan sementara hasil penelitian. Berdasarkan masalah yang diajukan dan teori yang diuraikan maka dapat dirumuskan hipotesis sebagai berikut :

Ha : Ada korelasi antara massa kerja dengan kapasitas vital paru pada polisi lalu lintas di Polres Pemalang