

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Tinjauan Teori**

##### 1. Udara

Menurut kamus besar bahasa indonesia (KBBI, 2012), Udara adalah campuran berbagai gas yang tidak berwarna dan tidak berbau yang memenuhi ruang diatas bumi seperti yang kita hirup apabila kita bernafas.

Sedangkan menurut Nevers (2014), pencemaran udara adalah kehadiran materi yang tidak diinginkan diudara dalam jumlah tertentu sehingga dapat menghasilkan dampak yang merusak. Terdapat beberapa permasalahan yang menjadi perhatian utama yaitu :

- a. Pertumbuhan kegiatan transportasi, industri, pembangkit tenaga dan rumah tangga yang semakin meningkat menyebabkan tingkat pencemaran udara khususnya di kota-kota besar menjadi lebih tinggi.
- b. Menggunakan bahan bakar yang tidak ramah lingkungan yang mengandung sulfur yang tinggi.
- c. Industri-industri yang tidak memasang alat pengendalian pencemaran udara seperti *electronic precipitator, cyclone, wet scrubber*, dll.
- d. Tidak semua industri menggunakan cerobong asap, lubang sampling serta tidak melakukan pengujian emisi secara berkala setiap enam bulan sekali.

Bahan-bahan pencemaran udara dalam atmosfer dapat diklasifikasikan menjadi 10 kelompok (Miller,2015) :

- a. Karbon Oksida yang terdiri dari karbonmonoksida dan karbondioksida.
- b. Sulfur Oksida, terdiri atas sulfur dioksida dan sulfur trioksida.
- c. Nitrogen Oksida, terdiri dari nitrogen oksida dan nitrogen dioksida serta nitrous oksida.
- d. *Volatile Organic Compounds* (VOCs), seperti metana, benzene, formaldehid dan CFC.
- e. *Suspended Particulate Matter* (SPM), butir-butir partikular seperti debu, karbon, asbestos, tembaga, aresnik, cadmium, nitrat dan butir-butir cairan kimia.
- f. *Photochemical Oxidant* seperti ozon, *peroxyacetyl nitrates* (PAN) dan hydrogen peroksida.
- g. Bahan radioaktif seperti radon-222, iodine-131, strontium-90, plutonium-239 dan radioisotop.
- h. Panas dihasilkan dari pembakaran.
- i. Kebisingan dari kendaraan bermotor, pesawat terbang, kereta api dan bunyi mesin.
- j. Getaran yang diakibatkan kegiatan manusia, pesawat terbang.

Udara dapat diartikan sebagai campuran beberapa macam gas yang perbandingannya tidak tetap, tergantung pada keadaan suhu udara, tekanan udara dan lingkungan sekitar. Komposisi campuran gas tersebut tidak terlalu konstan. Komponen udara yang konsentrasinya paling

bervariasi adalah air (H<sub>2</sub>O) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan konsentrasi sekitar 0,03% (Wardhana, 1994).

Tabel 2.1. Baku Mutu Udara Lingkungan Kerja

No	Parameter	Konsentrasi Maksimal
1	Suhu	18°C - 30°C
2	Kelembapan	65% - 95%
3	Debu Total	10 mg/m <sup>3</sup>
4	Asbes Total	5 serat/ml udara dengan panjang serat 5 μ (mikron)
5	Silikat Total	50 mg/m <sup>3</sup>

Sumber : Kepmenkes No.1405/MENKES/SK/XI/2002

Sumber-sumber pencemaran udara dapat diartikan setiap usaha atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya (Perda DKI Jakarta No. 2 Tahun 2005 tentang Pengendalian Pencemaran Udara).

Klasifikasi sumber pencemar udara antara lain sebagai berikut :

a. Berdasarkan asal-usul, sumber pencemaran udara dapat dibagi menjadi :

1) Sumber alamiah

Sumber alamiah berasal dari fenomena alam yang terjadi seperti letusan gunung berapi.

2) Sumber antropogenik

Bersumber dari segala macam kegiatan manusia yang menghasilkan emisi gas buang terutama akibat kegiatan transportasi dan industri.

b. Berdasarkan letak :

1) Pencemar udara dalam ruang

Pencemaran yang terjadi didalam ruang yang dapat muncul akibat kegiatan manusia dalam ruangan seperti memasak, serta penggunaan bahan-bahan kimia dalam ruangan seperti cat, pewangi ruangan dan semprotan pembasmi serangga.

2) Pencemar udara diluar ruang

Pencemaran yang terjadi diluar ruangan, cenderung akibat kegiatan diluar ruangan seperti kegiatan transportasi.

c. Berdasarkan pergerakan :

1) Sumber bergerak

Sumber bergerak pencemar udara seperti kendaraan bermotor.

2) Sumber tidak bergerak

Sumber tidak bergerak pencemar udara seperti pabrik dan tempat pembakaran sampah.

d. Berdasarkan bentuk fisik pencemar dan susunan kimianya :

1) Gas

Polutan gas seperti Ammonia,  $SO_2$  , CO dan  $NO_2$  .

2) Partikulat

Polutan partikulat contohnya adalah TSP dan debu.

e. Berdasarkan pola emisinya :

1) Titik

Pola emisi bersumber dari 1 titik saja seperti cerobong asap.

2) Garis

Pola garis seperti pada jalan raya dengan volume kendaraan cukup tinggi.

3) Area

Pola emisi area dapat bersumber dari pola titik dalam jumlah banyak pada satu batasan area.

Saat ini Indeks standar kualitas udara yang dipergunakan secara resmi di Indonesia adalah Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU), hal ini sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP 45/MENLH/1997 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Dalam keputusan tersebut yang dipergunakan sebagai bahan pertimbangan diantaranya : bahwa untuk memberikan kemudahan dari keseragaman informasi dari kualitas udara ambien kepada masyarakat dilokasi dan waktu tertentu serta sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan upaya pengendalian pencemaran udara perlu disusun Indeks Pencemar Udara.

Indeks Standar Pencemar Udara adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara ambien dilokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya.

Indeks Standar Pencemar Udara ditetapkan dengan cara mengubah kadar pencemar udara yang terukur menjadi suatu angka yang tidak

berdimensi. Rentang Indeks Standar Pencemar Udara dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Rentang Indeks Standar Pencemar Udara

<b>Katagori</b>	<b>Rentang</b>	<b>Penjelasan</b>
Baik	0-50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan atau nilai estetika.
Sedang	51-100	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif, dan nilai estetika.
Tidak sehat	101-199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika.
Sangat tidak sehat	200-299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
Berbahaya	300-lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius.

Data Indeks Standar Pencemar Udara diperoleh dari pengoperasian Stasiun Pemantauan Kualitas Udara Ambien Otomatis. Sedangkan Parameter Indeks Standar Pencemaran Udara meliputi :

- a. Partikulat (PM10)
- b. Karbondioksida (CO)
- c. Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>)
- d. Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>)
- e. Ozon (O<sub>3</sub>)

## 2. Debu

### a. Pengertian Debu

Debu adalah partikel-partikel zat padat yang disebabkan oleh adanya kekuatan alami atau mekanisme seperti pengolahan, penghancuran, pelembutan, pengepakan yang cepat, peledakan dan lain-lain dari bahan organik, misalnya batu, kayu, bijih logam, arang batu dan sebagainya (Suma'mur PK, 2009).

Debu merupakan salah satu bahan yang sering disebut sebagai partikel yang melayang diudara (*Suspended Particulate Meter/ SPM*) dengan ukuran 1 mikron sampai dengan 500 mikron. Dalam kasus pencemaran udara baik didalam maupun diluar gedung debu sering dijadikan salah satu indikator pencemaran. Digunakan untuk menunjukkan tingkat bahaya baik terhadap lingkungan maupun terhadap kesehatan dan keselamatan kerja (Pudjiastuti, 2002).

Partikel debu akan berada diudara dalam waktu yang relatif lama dalam keadaan melayang-layang diudara kemudian masuk kedalam tubuh manusia melalui pernafasan. Selain dapat membahayakan kesehatan, debu juga dapat mengurangi jarak dan pandang manusia. Kemudian debu ini dapat bereaksi secara kimia, sehingga komposisi debu diudara menjadi partikel yang sangat rumit karena merupakan campuran dari berbagai bahan dengan ukuran dan jumlah yang relatif berbeda (Pudjiastuti, 2002).

Menurut *International Standardization Organization / ISO* (ISO 4255-ISO,1994) debu merupakan partikel padat, yang disebabkan

oleh kekuatan alami atau mekanis seperti pengolahan, penghancuran, peledakan, dan lainnya. Di dalam industri debu ini berasal dari penggilingan dan penjemuran, debu yang berukuran kecil, yaitu partikel yang diameternya berukuran dibawah 75 um dan dapat berkurang beratnya tetapi akan tetap bertahan dalam beberapa waktu (WHO, 2010).

b. Jenis Debu

Menurut Pudjiastuti, debu dibedakan menjadi :

- 1) Debu Mineral : debu ini terjadi dari persenyawaan yang yang kompleks seperti :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}_3$ , arang batu dan lainnya. Sifat ini tidak fibrosis pada paru.
- 2) Debu kimia lainnya : debu kimia dan insektisida.
- 3) Debu organik dan sayuran : debu yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan organik seperti tepung, kayu, kapas dan serbuk bunga. Debu organik dapat menimbulkan efek patofisiologis dan kerusakan alveoli atau penyebab fibrosis pada paru.
- 4) Debu *Biohazards* : partikel hidup, cendawan dan spora.
- 5) Debu metalik : debu yang mengandung unsur logam seperti Pb, Hg, Cd, Arsen dan lainnya. Debu ini menyebabkan keracunan, akibat absorpsi tubuh melalui kulit dan lambung.

c. Ukuran Partikel Debu

Ukuran partikel debu sangat berpengaruh terhadap terjadinya penyakit pada saluran pernafasan. Dari hasil penelitian ukuran tersebut dapat mencapai target organ sebagai berikut :

- 1) 5-10 mikron, akan tertahan oleh cilia pada saluran pernafasan bagian atas.
- 2) 3-5 mikron, akan tertahan oleh saluran pernafasan bagian tengah.
- 3) 1-3 mikron, sampai di permukaan alveoli.
- 4) 0,5-1 mikron, hinggap di permukaan alveoli, selaput lendir.
- 5) 0,1-0,5 mikron, melayang di permukaan alveoli.

Ukuran debu partikel yang membahayakan adalah ukuran 0,1-5 sampai 10 mikron (Depkes RI, 2002).

d. Macam-macam Debu

Debu memiliki beberapa macam yaitu (Mengkidi, 2006) :

- 1) Sifat pengendapan, yaitu debu yang cenderung selalu mengendap karena gaya gravitasi bumi. Namun, karena kecilnya kadang-kadang debu ini relatif tetap berada di udara. Debu yang mengendap dapat mengandung proporsi partikel lebih dari pada yang ada di udara.
- 2) Sifat permukaan basah, sifat permukaan debu akan cenderung selalu basah dilapisi oleh air yang sangat tipis. Sifat ini penting dalam pengendalian debu dalam tempat kerja.
- 3) Sifat penggumpalan, oleh karena permukaan debu selalu basah, sehingga dapat menempel satu sama lain dan menggumpal. Kelembapan di bawah saturasi kecil pengaruhnya terhadap penggumpalan debu. Akan tetapi bila tingkat kelembapan di atas titik saturasi maka akan mempermudah penggumpalan. Oleh

karena partikel debu bisa merupakan inti dari pada air yang berkonsentrasi, partikel jadi besar.

- 4) Sifat listrik statis, debu mempunyai sifat listrik statis yang dapat menarik partikel lain yang berlawanan dengan demikian partikel dalam larutan debu mempercepat terjadinya proses penggumpalan.
- 5) Sifat opsis, partikel yang basah/lembab lainnya dapat memancarkan sinar yang dapat terlihat dalam kamar gelap.

e. Nilai Ambang Batas

Nilai ambang batas atau NAB adalah standar faktor-faktor lingkungan kerja yang dianjurkan ditempat kerja agar tenaga kerja masih dapat menerimanya tanpa mengakibatkan penyakit atau gangguan kesehatan, dalam pekerjaan sehari-hari untuk waktu tidak melebihi 8 jam sampai 40 jam seminggu.

Nilai ambang batas debu mengikuti ambang batas udara ambien yaitu berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 atau PP RI No.41 Tahun 1994 yang menyebutkan NAB dalam 1 jam adalah  $90 \text{ ug/nm}^3$  sedangkan dalam 24 jam adalah  $230 \text{ ug/nm}^3$ . Untuk debu ditempat kerja dapat mengacu pada Permenakertrans No.13 tahun 2011 didalam peraturan ini disebutkan NAB maksimal di industri sebesar  $4 \text{ mg/m}^3$ , jika kadar debu  $>4 \text{ mg/m}^3$  maka dikatagorikan diatas NAB, jika kadar debu  $<4 \text{ mg/m}^3$  maka dikatagorikan dibawah NAB.

### 3. Fungsi Paru

#### a. Anatomi Pernafasan Manusia

Pernafasan adalah peristiwa menghirup udara dari luar yang mengandung O<sub>2</sub> dan mengeluarkan CO<sub>2</sub> sebagai sisa oksidasi dari tubuh (Pearce, 2006).

Menurut Pearce (2006) saluran pernafasan dari atas ke bawah dapat dirinci sebagai berikut :

##### 1) Rongga Hidung

Udara dari luar akan masuk lewat rongga hidung (*cavum nasalis*). Rongga hidung berlapis selaput lendir, di dalamnya terdapat kelenjar minyak (kelenjar *sebacea*) dan keringat keringat (kelenjar *sudorifera*). Selaput lendir berfungsi menangkap benda asing yang masuk lewat saluran pernafasan. 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.

Fungsi rongga hidung adalah: (1) bekerja sebagai saluran udara pernafasan, (2) sebagai penyaring udara pernafasan yang dilakukan oleh bulu-bulu hidung, (3) dapat menghangatkan udara pernafasan oleh mukosa, dan (4) membunuh kuman yang masuk, bersama-sama udara pernafasan oleh leukosit yang terdapat dalam selaput lendir atau hidung (Setiadi, 2007)

## 2) Faring/tengkak

Faring adalah pipa berotot yang bermula dari dasar tengkorak dan berakhir sampai persambungannya dengan esofagus dan batas tulang rawan krikoid. Faring terdiri atas tiga bagian yang dinamai berdasarkan letaknya, yakni nasofaring (dibelakang hidung), osofaring (dibelakang mulut), dan laringofaring (dibelakang faring) (Musttaqin, 2008).

## 3) Laring

Laring berperan untuk pembentukan suara dan untuk melindungi jalan nafas terhadap masuknya makanan dan cairan. Laring dapat tersubat, antara lain oleh benda asing (gumpalan darah, infeksi) (misalnya disteri dan tumor).

Laring/tenggorok terletak diantara faring dan trakea. Berdasarkan letak vertebra servikalis, laring berada diruas ke 4 atau ke 5 dan berakhir divertebra servikalis ruas ke 6. Laring disusun oleh 9 kartilago yang disatukan oleh ligamen dan otot rangka pada tulang hioid dibagian atas dan trakhea dibagian bawanya (Musttaqin,2008).

## 4) Epiglottis

Merupakan katup tulang rawan untuk menutup laring sewaktu orang menelan. Bila waktu makan kita berbicara (epiglottis terbuka), makanan bisa masuk ke laring dan dapat mengakibatkan batuk, pada saat bernafas, epiglottis terbuka tapi pada saat menelan

epiglotis menutup laring. Jika masuk ke laring maka akan batuk dan dibantu bulu-bulu getar silia untuk menyaring debu kotoran.

#### 5) Trakea

Trakea adalah saluran udara tubular yang mempunyai panjang sekitar 10 sampai 13 cm dengan lebar sekitar 2,5 cm. Trakea terletak didepan esofagus dan saat palpasi terasa sebagai truktur yang keras, kaku, tepat diperukaan anterior leher. Trakea memanjang dari laring atas ke arah bawah kedalam rongga toraks tempatnya terbagi menjadi bronkhi kanan dan kiri (Asih dan Effendy,2004).

#### 6) Bronkus

Bronkus mempunyai struktur serupa dengan trakea. Bronkus kiri dan kanan tidak simetris. Bronkus kanan lebih pendek, lebih lebar, dan arahnya hampir vertikal dengan trakea. Sebaliknya bronkus kiri lebih panjang, lebih sempit dan sudutnya lebih runcing. Bentuk anatomi ini memiliki implikasi klinis tersendiri jika ada benda asing yang terinhalasi, maka benda itu lebih memungkinkan berada di bronkus kanan dibandingkan dengan bronkus kiri karena arah dan lebarnya (Muttaqin,2008).

#### 7) Paru

Paru berada didalam thorak, yang terkandung dalam susunan tulang-tulang iga dan letaknya disisi kiri dan kanan mediastinum yaitu struktur blok padat yang berada dibelakang tulang dada. Paru menutupi jantung, arteri dan vena besar, esophagus dan trakea.

Paru berbentuk seperti spons dan berisi udara pembangian ruang yaitu: 1 paru kanan memiliki tiga lobus dan 2 paru kiri dua lobus.

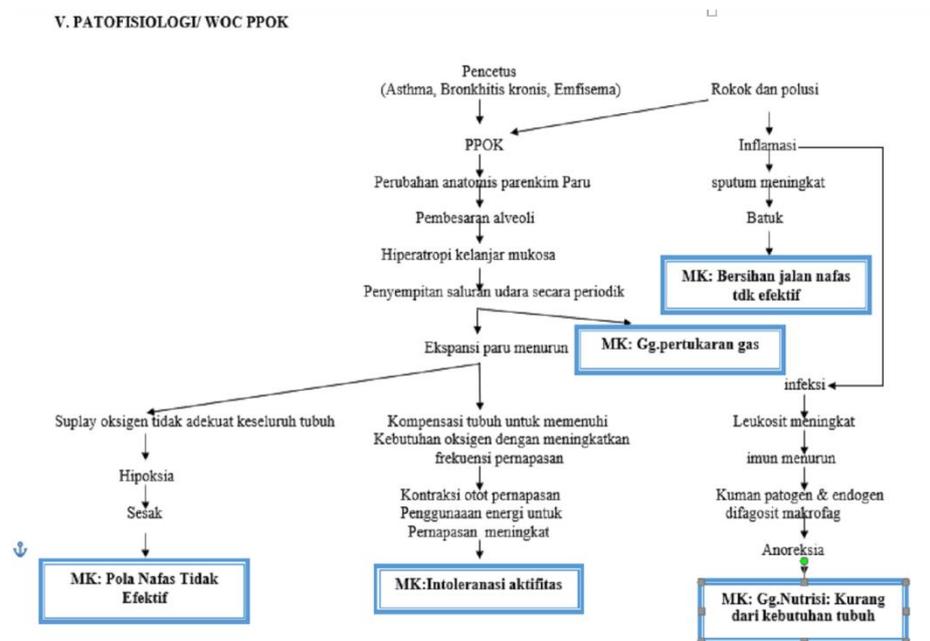
b. Fisiologi Saluran Pernafasan

Fungsi paru adalah tempat pertukaran gas oksigen dan karbondioksida. Pada pernafasan melalui paru/pernafasan eksterna, oksigen diambil melalui hidung dan mulut, pada waktu bernafas, oksigen masuk melalui trakea dan pipa bronchial ke alveoli, dan dapat erat hubungannya dengan darah didalam kapiler pulmonaris. Hanya satu membra yaitu membran alveoli kapiler, memisahkan oksigen dari darah. Oksigen menembus membran ini dan diambil oleh hemoglobin sel darah merah dan dibawa ke jantung. Dari sini dipompa dalam arteri ke semua bagian tubuh. Darah meninggalkan paru pada tekanan oksigen 100 mmHg dan pada tingkat ini hemoglobinnya 95% jenuh oksigen.

Di dalam paru, karbondioksida salah satu hasil buangan metabolisme menembus membran alveolus kapiler dari kapiler darah ke alveoli dan setelah melali hidung dan mulut. Semua proses ini diatur sedemikian sehingga darah meninggalkan paru-paru menerima jumlah tepat CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Pada waktu gerak, badan lebih banyak darah datang di paru-paru membawa terlalu banyak CO<sub>2</sub> dan terlampaui sedikit O<sub>2</sub>, jumlah CO<sub>2</sub> tidak dapat dikeluarkan maksimal konsentrasinya dalam darah arteri bertambah. Hal ini merangsang pusat pernafasan dalam otak untuk memperbesar kecepatan dan di dalamnya pernafasan. Penambahan ventilasi yang dengan demikian

terjadi mengeluarkan CO<sub>2</sub> dan memungut lebih banyak O<sub>2</sub> (Evelyn C. Pearce, 2006).

c. Pathway Penyakit Paru



Gambar 2.1. Pathway Penyakit Paru

d. Masuknya Debu ke Sistem Pernafasan

Partikel yang ukurannya cukup kecil untuk dapat menetap di udara dapat terhirup melalui hidung yaitu melalui rongga hidung ataupun melalui mulut. Kemampuan partikel untuk menghirup tergantung pada diameter partikel, pergerakan udara di sekitar tubuh, dan rasio pernafasan. Partikel yang terhirup ini kemudian dapat mengendap ataupun dihembuskan kembali, tergantung pada fisiologi dan faktor terkait partikel. Lima mekanisme deposisi atau pengendapan partikel dalam tubuh manusia yaitu sedimentasi, impaksi, inersia, difusi (hanya untuk partikel dengan ukuran  $<0,5 \mu\text{m}$ ), intersepsi dan

pengendapan elektrostatis. Sedimentasi dan impaksi merupakan mekanisme yang paling penting yang berhubungan dengan debu udara yang terhirup, dan hal ini merupakan proses yang ditentukan oleh diameter partikel (Lippman, 2007).

Sebanyak 55% debu yang terhisap melalui udara ke pernafasan mempunyai ukuran antar  $0,25 \mu\text{m}$  –  $6 \mu\text{m}$ . dan jumlah debu yang terhisap tersebut 15-95% dapat mengalami retensi (debu bertahan didalam tubuh. Proporsi retensi tersebut mempunyai hubungan langsung dengan sifat-sifat fisik debu. Didasarkan atas sifat fisiknya suspensi debu yang terdapat dalam udara dan anatomi sistem pernafasan maka dapat dikatakan bahwa partikel debu yang mempunyai ukuran lebih besar dari  $10 \mu\text{m}$  dapat dikeluarkan oleh saluran nafas bagian atas.

Partikel debu dengan ukuran  $5 \mu\text{m}$  sampai  $10 \mu\text{m}$  tertahan terutama pada saluran pernafasan bagian atas. Debu yang memiliki ukuran  $5 \mu\text{m}$  sampai dengan  $10 \mu\text{m}$  akan ikut jatuh sejalan dengan percepatan gravitasi. Dan bila terhirup melalui pernafasan biasanya akan jatuh pada alat pernafasan bagian atas dan menimbulkan banyak penyakit berupa iritasi sehingga menimbulkan penyakit pharngitis.

Partikel debu dengan ukuran  $3 \mu\text{m}$  sampai dengan  $5 \mu\text{m}$  akan ditahan oleh saluran pernafasan bagian tengah. Partikel debu tersebut jatuhnya lebih ke dalam yaitu pada saluran pernafasan (bronchus/broncheolus). Hanya bedanya disini lebih banyak memiliki aspek fisiologis yaitu menimbulkan bronchitis, alergi atau asma. Dan

lebih mudah terkena pada orang yang semula sudah memiliki kepekaan berdasarkan keadaan seperti itu.

Partikel debu yang berukuran 1  $\mu\text{m}$  sampai dengan 3  $\mu\text{m}$  dapat mencapai bagian yang lebih dalam lagi dan mengendap di alveoli karena adanya gravitasi dan difusi. Partikel debu bergerak sejalan dengan suatu kecepatan yang konstan untuk jenis-jenis debu tertentu. Debu-debu tersebut menghambat fungsi alveoli sebagai media pertukaran gas. Sehingga dengan melekatnya debu ukuran ini akan mengganggu kemampuan proses pertukaran gas yang lebih kecil ukurannya dan lebih perlahan jatuhnya (Sintorini, 2002).

e. Penyakit yang Berhubungan dengan Paru akibat Kerja

Menurut Guyton (1997) menyatakan bahwa penyakit yang dapat mempengaruhi kapasitas paru meliputi :

1) Emfisema Paru Kronik

Merupakan kelainan paru dengan patofisiologis berupa infeksi kronik, kelebihan mucus dan edema pada epitel bronchiolus yang mengakibatkan terjadinya obstruktif dan dekstruktif paru yang kompleks sebagai akibat mengkonsumsi rokok.

2) Pneumonia

Pneumonia ini mengakibatkan dua kelainan utama yaitu : 1) penurunan luas permukaan membran nafas, 2) menurunkan rasio ventilasi perfusi. Kedua efek ini mengakibatkan menurunnya kapasitas paru.

### 3) Atelaktasi

Atelaktasi berarti alveoli paru mengempis atau kolaps. Akibatnya terjadi penyumbatan pada alveoli sehingga aliran darah meningkat dan terjadi penekanan dan pelipatan pembuluh darah sehingga volume paru berkurang.

### 4) Asma

Pada penderita asma akan terjadi penurunan kecepatan ekspirasi dan volume inspirasi.

### 5) Tuberkulosis

Pada penderita tuberkulosis stadium lanjut banyak timbul daerah fibrosis di seluruh paru, dan mengurangi jumlah paru fungsional sehingga mengurangi kapasitas paru.

### 6) Alvelitis

Disebabkan oleh faktor luar sebagai akibat dari penghirupan debu organik (Mukhtar Ikhsan, 2001). Beberapa penyakit pada jalan pernafasan antara lain : asma, bronkitis akut, bronkitis kronik.

## f. Kapasitas Fungsi Paru

Kapasitas fungsi paru adalah kombinasi atau penyatuan dua atau lebih volume paru, dapat diuraikan sebagai berikut :

- 1) Kapasitas inspirasi, sama dengan volume tidal ditambah dengan volume cadangan inspirasi. Ini adalah jumlah udara yang dapat dihirup oleh seseorang dimulai pada tingkat ekspirasi normal dan

mengembangkan volume paru-parunya sampai jumlah maksimum (kira-kira 3500 ml).

- 2) Kapasitas sisa fungsional, sama dengan volume ekspirasi ditambah volume sisa. Ini adalah jumlah udara yang tersisa di dalam paru-paru pada akhir ekspirasi normal (kira-kira 3200 ml).
- 3) Kapasitas vital, sama dengan volume cadangan inspirasi ditambah volume tidal dan volume cadangan ekspirasi. Ini adalah jumlah udara maksimum yang dapat dikeluarkan dari paru-paru seseorang setelah ia mengisinya sampai batas maksimum dan kemudian mengeluarkan sebanyak-banyaknya (kira-kira 4600 ml).
- 4) Kapasitas total paru, adalah volume maksimum pengembangan paru-paru dengan usaha inspirasi yang sekuat-kuatnya (kira-kira 5800 ml) (Guyton, 1991).

g. Faktor yang Mempengaruhi Kapasitas Fungsi Paru

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi penurunan kapasitas fungsi paru tenaga kerja dibedakan menjadi 2, yaitu faktor internal dan faktor eksternal.

1) Faktor Internal, terdiri dari :

a) Umur

Usia berhubungan dengan proses penuaan atau bertambahnya umur. Semakin tua usia seseorang maka semakin berat kemungkinan terjadi kapasitas fungsi paru menurut Suyono (2001). Kebutuhan zat tenaga terus meningkat sampai akhirnya menurun setelah usia 40 tahun

berkurangnya kebutuhan tenaga tersebut dikarenakan telah menurunnya kekuatan fisik. Dalam keadaan normal, usia juga mempengaruhi frekuensi pernafasan dan kapasitas paru. Frekuensi pernafasan pada orang dewasa antara 16-18 kali permenit, pada anak-anak sekitar 24 kali permenit sedangkan pada bayi sekitar 30 kali permenit. Walaupun pada orang dewasa pernafasan frekuensi pernafasan lebih kecil dibandingkan dengan anak-anak dan bayi, akan tetapi KVP (Kapasitas Vital Paru) pada orang dewasa lebih besar dibanding anak-anak dan bayi. Dalam kondisi tertentu hal tersebut akan berubah misalnya akibat dari suatu penyakit, pernafasan bisa bertambah cepat dan sebaliknya (Syaifudin, 1997).

b) Jenis Kelamin

Menurut Guyton (1997) volume dan kapasitas seluruh paru pada wanita kira-kira 20-25% lebih kecil daripada pria, dan lebih besar lagi pada atletis dan orang yang bertubuh besar daripada orang yang bertubuh kecil dan astenis. Menurut Tambayong (2001) disebutkan bahwa kapasitas paru pada pria lebih besar yaitu 4,8 L dibandingkan pada wanita yaitu 3,1 L.

c) Riwayat Penyakit

Kondisi kesehatan dapat mempengaruhi kapasitas fungsi paru seseorang. Kekuatan otot-otot pernafasan dapat berkurang akibat sakit. Terdapat riwayat pekerjaan yang

menghadapi debu akan mengakibatkan pneumonokiosis dan salah satu pencegahannya dapat dilakukan dengan menghindari diri dari debu dengan cara memakai masker saat bekerja (Suma'mur, 1996).

d) Status Gizi

Status gizi dapat mempengaruhi kapasitas paru, orang kurus panjang biasanya kapasitas vital pakanya lebih besar dari orang gemuk pendek. Salah satu akibat kekurangan zat gizi dapat menurunkan sistem *iminitas* dan antibodi sehingga orang mudah terserang infeksi seperti pilek, batuk, diare dan juga berkurangnya kemampuan tubuh untuk melakukan *detoksikasi* terhadap benda asing seperti debu organik yang masuk dalam tubuh (Supariasa dkk, 2002).

Status gizi diukur menggunakan Indeks Massa Tubuh (IMT).

$$\text{IMT} = \text{BB (kg)} / \text{TB}^2 \text{ (m)}$$

Keterangan : IMT = Indeks Masa Tubuh

BB = Berat Badan

TB = Tinggi Badan

Tabel 2.3 Kategori Ambang Batas IMT untuk Indonesia

<b>Kategori IMT</b>	<b>Keterangan</b>	<b>IMT</b>
Kurus	Kekurangan BB tk berat Kekurangan BB tk rendah	<17 17,0-18,5
Normal		>18,5-25,00
Gemuk	Kelebihan BB tk ringan Kelebihan BB tk berat	25,00-27,0 >27,0

Sumber (Supariasa, 2001)

2) Faktor Eksternal, terdiri dari :

a) Riwayat Pekerjaan

Riwayat pekerjaan dapat digunakan untuk mengdiagnosis penyakit akibat kerja. Riwayat pekerjaan yang menghadapi debu berbahaya dapat menyebabkan gangguan paru menurut Suma'mur (1996). Hubungan antara penyakit dengan pekerjaan dapat diduga dengan adanya riwayat perbaikan keluhan pada akhir minggu atau hari libur diikuti peningkatan keluhan untuk kembali bekerja, setelah bekerja ditempat yang baru atau setelah digunakan bahan baru di tempat kerja. Riwayat pekerjaan dapat menggambarkan apakah pekerja pernah terpapar dengan pekerjaan berdebu, hobi, perjaan pertama, pekerjaan pada musim-musim tertentu, dan lain-lain (Ganong, 2006).

b) Kebiasaan Merokok

Merokok dapat menyebabkan perubahan struktur dan fungsi saluran pernafasan dan jaringan paru. Kebiasaan merokok akan mempercepat penurunan faal paru. Penurunan volume ekspirasi paksa pertahun adalah 28,7 mL untuk non perokok, 38,4 mL untuk bebas perokok dan 41,7 mL untuk perokok aktif. Pengaruh asap rokok dapat lebih besar dari pada pengaruh debu hanya sekitar sepertiga dari pengaruh buruk rokok (Depkes RI, 2003). Rata-rata perokok ringan dalam

sehari 1-14 batang, bagi perokok sedang 15-24 batang/hari, dan perokok berat >25 batang/hari (Yusuf dan Giriptro, 1987).

Inhalasi asap tembakau baik primer maupun sekunder dapat menyebabkan penyakit saluran pernafasan pada orang dewasa. Asap rokok mengiritasi paru-paru dan masuk ke dalam aliran darah. Merokok lebih merendahkan kapasitas fungsi paru dibandingkan bahaya kesehatan akibat kerja (Suyono, 2001).

c) Kebiasaan Olahraga

Faal paru dan olahraga mempunyai hubungan yang timbal balik, gangguan faal paru dapat mempengaruhi kemampuan olahraga. Sebaliknya, latihan fisik yang teratur atau olahraga dapat meningkatkan faal paru. Seseorang yang aktif dalam latihan akan mempunyai kapasitas aerobik yang lebih besar dan kebugaran yang lebih tinggi serta kapasitas paru yang meningkat. Kapasitas fungsi paru dapat dipengaruhi oleh kebiasaan seseorang melakukan olahraga. Olahraga dapat meningkatkan aliran darah melalui paru-paru sehingga menyebabkan oksigen dapat berdifusi ke dalam kapiler paru dengan volume yang lebih besar atau maksimum. Kapasitas fungsi pada seseorang atletis lebih besar dari pada orang yang tidak pernah berolahraga. Kebiasaan olahraga akan meningkatkan kapasitas paru dan akan meningkat 30-40% (Guyton dan Hall, 1997).

#### d) Masa Kerja

Menurut Suma'mur P.K (2009), masa kerja adalah suatu kurun waktu atau lamanya tenaga kerja itu bekerja di suatu tempat. Masa kerja dapat mempengaruhi kinerja baik positif maupun negatif.

Semakin lama seseorang dalam bekerja maka semakin banyak dia telah terpapar bahaya yang kerja tersebut

(Suma'mur, 1996). Masa kerja dikategorikan menjadi 3 yaitu :

- a. Masa kerja baru : <6 tahun
- b. Masa kerja sedang : 6-10 tahun
- c. Masa kerja lama : >10 tahun

### **B. Hubungan antara Kadar Debu dengan Fungsi Paru**

#### 1. Mekanisme Penimbunan Debu dalam Paru

Beberapa mekanisme dapat dikemukakan sebagai sebab hinggap dan timbulnya debu dalam paru. Salah satunya mekanisme itu adalah inertia atau kelembanan dari partikel-partikel debu yang bergerak yaitu pada waktu udara membelok ketika melalui jalan pernafasan yang tak lurus, maka partikel debu yang bermasa cukup besar tak dapat membelok mengikuti aliran udara melainkan terus lurus dan akhirnya menumbuk selaput lendir dan hinggap di sana (Suma'mur, 1996).

Partikel debu dapat masuk ke dalam tubuh melalui berbagai rute yaitu Inhalasi adalah jalan yang paling signifikan dimana substansi yang berbahaya masuk dalam tubuh melalui pernafasan dan dapat

menyebabkan penyakit baik akut maupun kronis. Faktor yang dapat berpengaruh pada inhalasi bahan pencemar ke dalam paru adalah faktor komponen fisik, faktor komponen kimiawi dan faktor penderita itu sendiri. Aspek komponen fisik yang pertama adalah keadaan dari bahan yang diinhalasi (gas, debu, uap). Ukuran dan bentuk akan berpengaruh dalam proses penimbunan diparu. Komponen kimia yang berpengaruh antara lain kecenderungan untuk bereaksi dengan jaringan disekitar dan tingkat keasamannya (dapat merusak silia dan sistem enzim). Faktor manusia yang sangat perlu diperhatikan terutama yang berkaitan dengan sistem pertahanan paru, baik secara anatomis maupun fisiologis, lamanya pajanan dan kerentanan individu (Kauppinen dkk, 2006).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya pengendapan partikel debu di paru antara lain jenis debu, ukuran partikel debu, konsentrasi partikel dan lama pajanan, pertahanan tubuh (Yunus, 2000).

a. Jenis debu

Jenis debu terkait daya larut sifat kimianya. Adanya perbedaan daya larut dan sifat kimiawi ini, maka kemampuan mengendapnya juga akan berbeda pula. Demikian juga tingkat kerusakan yang ditimbulkannya juga akan berbeda pula. Terdapat dua partikel debu menjadi dua yaitu debu organik dan anorganik.

b. Ukuran partikel

Tidak semua partikel dalam udara yang terinhalasi akan mencapai paru. Partikel yang berukuran besar pada umumnya telah tersaring

dihidung. Partikel dengan diameter 0,5-6  $\mu\text{m}$  yang disebut partikel terhisap yang dapat mencapai alveoli, mengendap disana dan menyebabkan terjadinya pneumokoniosis.

c. Konsentrasi partikel debu dan lama pajanan

Semakin tinggi konsentrasi partikel debu dalam udara dan semakin lama pajanan berlangsung, jumlah partikel yang mengendap di paru juga semakin banyak. Setiap inhalasi 500 partikel per millimeter kubik udara, maka setiap alveoli paling sedikit menerima 1 partikel dan apabila konsentrasi mencapai 1000 partikel per millimeter kubik, maka 10% dari jumlah tersebut akan tertimbun di paru. Konsentrasi yang melebihi 5000 partikel per millimeter kubik sering dihubungkan dengan terjadinya pneumokoniosis. Pneumokoniosis akibat debu akan timbul setelah penderita mengalami kontak lama dengan debu. Jarang ditemui kelainan bila pajanan kurang dari 10 tahun. Dengan demikian lama pajanan mempunyai pengaruh besar terhadap kejadian gangguan fungsi paru.

d. Pertahanan tubuh terhadap paparan partikel debu yang terinhalasi

Beberapa orang yang mengalami pajanan debu yang sama baik jenis maupun ukuran partikel, konsentrasi maupun lamanya pajanan berlangsung, tidak selalu menunjukkan akibat yang sama. Sebagian ada yang mengalami gangguan paru berat, namun ada yang ringanbahkan mungkin ada yang tidak mengalami gangguan sama sekali. Hal ini diperkirakan berhubungan dengan perbedaan kemampuan sistem pertahanan tubuh terhadap pajanan partikel debu terinhalasi.

Sistem pertahanan paru dan saluran nafas melalui beberapa cara yaitu :

- 1) Secara mekanik yaitu pertahanan yang dilakukan dengan menyaring partikel yang ikut terinhalasi bersama udara dan masuk saluran pernafasan. Penyaringan berlangsung di hidung, nasofaring dan saluran nafas bagian bawah yaitu bronkus dan bronkiolus. Di hidung penyaringan dilakukan oleh bulu-bulu silia yang terdapat di lubang hidung, sedangkan di bronkus dilakukan reseptor yang terdapat pada otot polos dapat berkontraksi apabila ada iritasi. Apabila rangsangan yang terjadi berlebihan, maka tubuh akan memberikan reaksi berupa bersin atau batuk yang dapat mengeluarkan benda asing termasuk partikel debu dari saluran nafas bagian atas maupun bronkus.
- 2) Secara kimia yaitu cairan dan silia dalam saluran nafas secara fisik dapat memindahkan partikel yang melekat di saluran nafas, dengan gerakan silia yang *mucociliary escalator* ke laring. Cairan tersebut bersifat detoksikasi dan bakterisid. Pada paru bagian perifer terjadi ekskresi cairan secara terus menerus dan perlahan-lahan dari bronkus ke alveoli melalui limfatik. Selanjutnya makrofag alveolar menfagosit partikel yang ada dipermukaan alveoli.
- 3) Secara imunitas yaitu melalui proses biokimiawi yaitu humoral dan seluler. Ketiga sistem tersebut saling berkait dan berkoordinasi dengan baik sehingga partikel yang terinhalasi

disaring berdasarkan pengendapan kemudian terjadi mekanisme perpindahan kemudian terjadi mekanisme perpindahan partikel.

Mekanisme pengendapan partikel debu di paru berlangsung dengan cara (Yulaekah, 2007) :

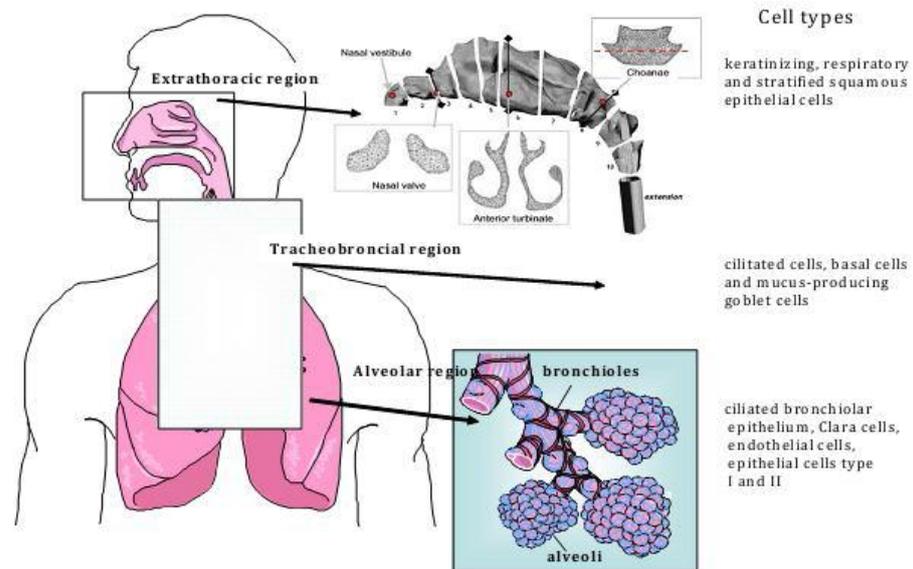
- a. *Gravitation* yaitu sedimentasi partikel yang masuk saluran nafas karena gaya gravitasi.
- b. *Impaction* yaitu terbentur dan jatuhnya partikel di percabangan bronkus dan bronkiolus.
- c. *Brown diffusion* yaitu mengendapnya partikel dengan diameter lebih besar dari dua micron yang disebabkan oleh terjadinya gerakan keliling (gerakan Brown) dari partikel oleh energi kinetik.
- d. *Elektrostatic* yaitu pengendapan akibat mukus, yang merupakan konduktor yang baik secara elektrostatik.
- e. *Interception* yaitu pengendapan yang berhubungan dengan sifat fisik partikel berupa ukuran panjang/besar partikel hal ini penting untuk mengetahui di mana terjadi pengendapan.

Begitu masuk ke dalam saluran nafas, partikel debu awalnya akan dibawa oleh sistem transport mukosilier hidung ke bagian posterior kemudian ke nasofaring. Kecepatan rata-rata transport ini 5 mm/menit sehingga total waktu yang dibutuhkan sekitar 20 menit. Partikel debu yang berada dibagian anterior hidung relatif mudah dikeluarkan dengan mekanisme bersin, usap atau tiup. Partikel yang sangat kecil ( $<0,1$

mikron) dan larut akan mudah diabsorpsi, dimetabolisme oleh epitel saluran nafas atau ditranslokasi ke dalam pembuluh darah.

Pada daerah trakeobronkial, debu akan dikeluarkan oleh mekanisme muskositier ke arah faring lalu ditelan ke saluran cerna. Kecepatan pengeluaran ini semakin ke distal semakin lambat. Kecepatan rata-rata di trakea 4,3-5,7 mm/menit sedangkan di bronkus 0,2-1,3 mm/menit. Selanjutnya, partikel debu yang masuk ke dalam alveoli akan difagositosis oleh makrofag baru maksimal 24 jam setelah terdeposisi. Makrofag yang telah dipenuhi partikel debu akan bermigrasi ke bagian distal lapisan mukus untuk dikeluarkan oleh sistem mukositier atau bertranslokasi ke dalam saluran limfe dan darah untuk bersirkulasi. Bila jumlah partikel debu begitu banyak terdeposisi, maka makrofag mengalami *overload*, terjadi akumulasi partikel debu pada bagian interstisial dan tercetuslah proses inflamasi (Lange, 2008). Pembentukan dan destruksi makrofag yang terus-menerus berperan penting pada pembentukan jaringan ikat kolagen dan pengendapan hialin pada jaringan tersebut. Fibrosis terjadi pada parenkim paru, yaitu pada dinding alveoli dan jaringan ikat interstisial. Akibat fibrosis paru akan terjadi penurunan elastisitas jaringan paru (pengerasan jaringan paru) dan menimbulkan gangguan pengembangan paru. Bila pengerasan alveoli mencapai 10% akan terjadi penurunan elastisitas paru menyebabkan kapasitas vital paru akan menurun dan dapat mengakibatkan berkurangnya suplai oksigen ke

dalam jaringan otak, jantung dan bagian-bagian tubuh lainnya (Michaels, 1967; Jacobsen dkk, 2010).



Gambar 2.2 Jalur masuknya debu sampai dalam paru (Lange, 2008)

## 2. Gangguan Fungsi Paru

Adalah gangguan atau penyakit yang dialami oleh paru-paru yang disebabkan oleh berbagai sebab, misalnya virus, bakteri, debu maupun partikel lainnya. Penyakit pernafasan yang diklasifikasikan karena uji spirometri ada dua macam yaitu penyakit yang menyebabkan gangguan ventilasi *obstruktif* dan penyakit yang menyebabkan ventilasi *restriktif* (Guyton dan Hall, 1997). Adapun gangguan fungsi paru ada tiga yaitu :

### a. Gangguan Paru *Obstruktif*

Penurunan kapasitas paru yang diakibatkan oleh penimbunan debu sehingga menyebabkan penurunan dan penyumbatan saluran nafas.

Menurut Yunus (1997) penyakit paru yang menyebabkan terjadinya *obstruktif* :

- 1) *Asma Bronkiale*
- 2) Penyakit Paru Obstriksi Menahun (PPOM)
- 3) *Bronkiektasis*
- 4) *Bronkiolitis*
- 5) *Kistik Fibrosis*

b. Gangguan Paru *Restriktif*

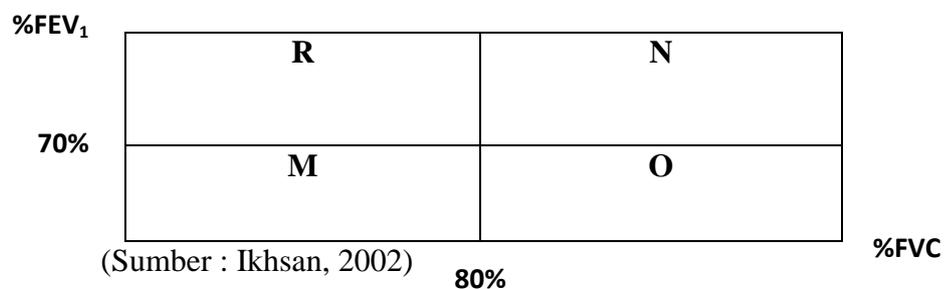
Penyempitan saluran paru yang diakibatkan oleh bahan yang bersifat alergi seperti debu, spora, jamur yang mengganggu saluran pernafasan dan kerusakan jaringan paru-paru.

Menurut Yunus (1997) penyakit paru yang menyebabkan terjadinya *Restriktif* :

- 1) Penyakit paru primer di *Parenkim* paru
- 2) Operasi pengangkatan jaringan paru
- 3) Penyakit yang ada di *pleura* dan dinding dada

c. Gangguan Paru *Mixed*

Kombinasi dari penyakit pernafasan paru *Obstruktif* dan *Restriktif*.



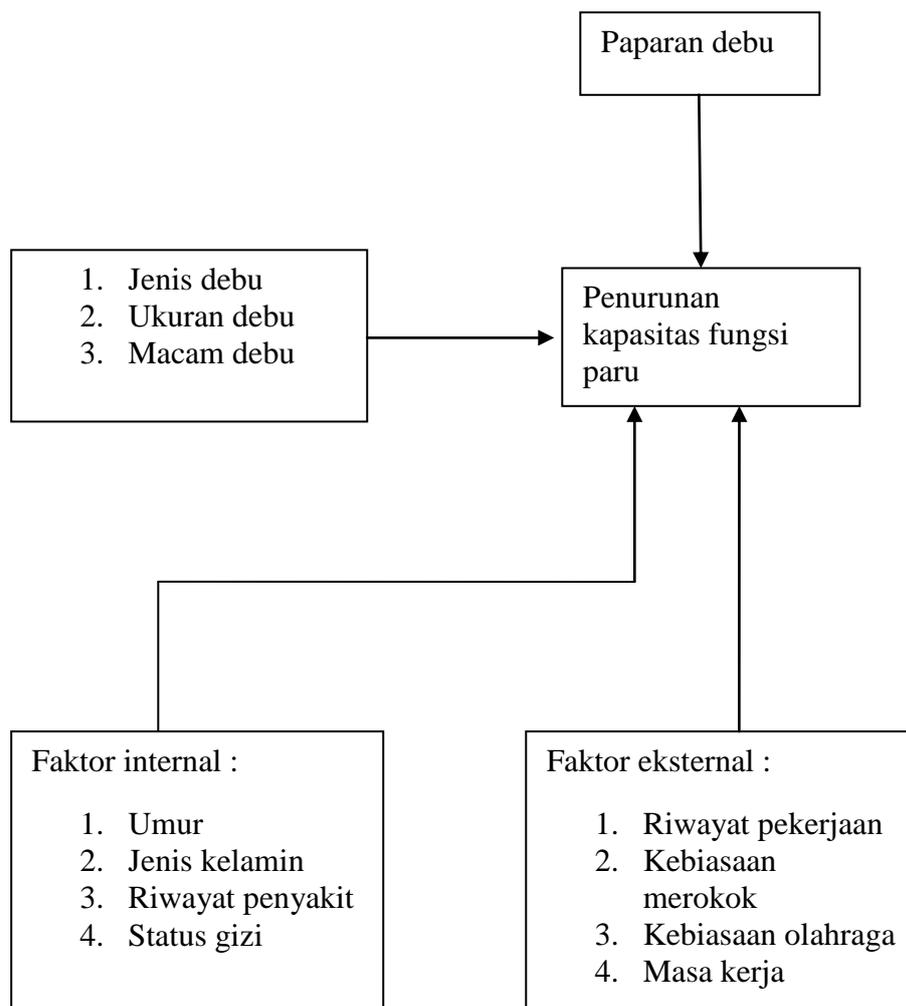
Gambar 2.3. Kriteria Volume Paru dengan Jenis Kelainan

Dengan hasil perhitungan %FVC dan %FEV<sub>1</sub>, maka kriteria volume paru dengan keainan adalah sebagai berikut :

- 1) N : Normal, tidak ada kelainan dalam paru-paru. Jika %FVC >80% dan %FEV<sub>1</sub> >70%.
- 2) R : Restriktif, kerusakan jaringan paru-paru misalnya : pada penderita pneumoni, pneumokoniosis. Jika %FVC <80% dan %FEV<sub>1</sub> >70%.
- 3) O : Obstruktif, penyumbatan saluran nafas misalnya : pada penderita asma, bronchitis khronis. Jika %FVC >80% dan %FEV<sub>1</sub> <70%.
- 4) M : Mixed, kombinasi dari restriktif dan obstruktif. Jika %FVC < 80% dan %FEV<sub>1</sub> <70%.

### C. Kerangka Teori

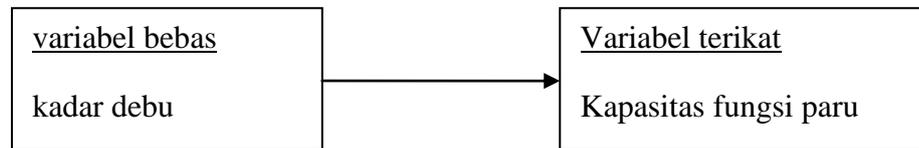
Berdasarkan uraian dalam landasan teori, maka disusun kerangka teori mengenai hubungan antara kadar debu dengan kapasitas fungsi paru. Kerangka teori lebih jelas pada gambar sebagai berikut :



Gambar 2.4. Kerangka Teori

Sumber : Suharsimi Arikunto, 2005, Suma'mur, 1996, Depkes RI.

#### D. Kerangka Konsep



Gambar 2.5. Kerangka Konsep

#### E. Hipotesis

Ada hubungan antara kadar debu dengan kapasitas fungsi paru pada pekerja penggilingan padi di Kecamatan Polokarto Kabupaten Sukoharjo.