

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Udara

Udara adalah campuran berbagai gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan selalu terdapat di mana-mana, sebagai salah satu komponen abiotik yang lebih dikenal dengan istilah "atmosfer". Atmosfer adalah lingkungan udara yang meliputi planet bumi ini, secara imajiner dapat dibedakan menjadi tiga lapisan yaitu: troposfer, statosfer, dan mesofer. Lapisan ini terbentuk karena adanya interaksi antara sinar matahari, gaya tarik bumi, rotasi bumi dan permukaan bumi. Batasan atmosfer ini bervariasi tergantung dari iklim dan keadaan cuaca, setiap lapisan mempunyai karakteristik yang berbeda-beda.

Daerah troposfer ditandai oleh temperatur yang semakin rendah apabila ketinggian bertambah. Hal ini disebabkan oleh semakin jauhnya jarak dari permukaan bumi, sehingga panas yang diradiasikan bumi semakin berkurang. Selain itu kepadatan udara pun semakin rendah. Udara di dalam lapisan troposfer ini relatif tercampur dengan baik dan cepat (*rapid vertical mixing*) sehingga unsur kimia yang ada di dalamnya relatif homogen dengan syarat bahwa udara tidak tercemar.

Udara yang kita hirup terdiri dari 78% nitrogen, 21% oksigen, dan selebihnya adalah gas, bahan cair dan bahan padat yang halus. Udara bumi ini terletak dalam troposfir setebal 16 km dari permukaan bumi dan memberi udara kehidupan pada manusia. Dalam keadaan normal troposfer ini juga mampu menyerap bahan pencemar alami atau bahan pencemar buatan manusia (antropogenik).

Lapisan atmosfer diatas lapisan terendah (troposfer) dimulai dari ketinggian (16–50) km disebut stratosfer dimana lapisan ozon terletak di dalamnya. Sedangkan mesofer adalah lapisan atmosfer yang letaknya di atas stratosfer dengan ketinggian (50 – 85) km dari troposfer.

Berdasarkan tempatnya, udara terdiri dari udara bebas dan udara tak bebas. Udara bebas adalah udara yang secara alamiah berada di sekitar kita. Sedangkan udara tak bebas adalah udara yang berada dalam ruangan atau bangunan, misalnya: perumahan, sekolah, rumah sakit sumur, pertambangan, dan sebagainya.

Udara memiliki fungsi yang sangat penting dalam kehidupan. Bagi makhluk hidup udara diperlukan untuk suplai oksigen ke paru-paru dan diteruskan ke seluruh jaringan tubuh untuk kehidupan sel-sel jaringan tubuh manusia, untuk mendukung jalannya proses metabolisme, serta untuk mempertahankan suhu tubuh agar tetap dalam keadaan normal ( $37^{\circ}\text{C}$ ) agar metabolisme dapat berjalan sempurna (Bahan Ajar Pencemaran Udara dan Kesehatan, 2006).

## **2.2 Pencemaran Udara**

Pencemaran udara adalah adanya atau dimasukkannya zat atau bahan pencemar di udara dalam jumlah dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan terhadap makhluk hidup, tumbuh-tumbuhan dan atau benda (Kamus Istilah Lingkungan 1994, hal. 135 dalam Bahan Ajar Pencemaran Udara dan Kesehatan, 2006).

### **2.2.1 Sumber Pencemar**

Pencemaran udara dapat berasal dari proses alami, misalnya aktivitas vulkanik, kebakaran hutan, badai debu, pembusukan sampah tanaman, dan juga dari aktivitas manusia seperti transportasi, buangan pabrik, pertambangan dan rumah tangga.

Sumber polusi utama berasal dari transportasi di mana hampir 60% dari polutan yang dihasilkan terdiri dari karbon monoksida dan sekitar 15% terdiri dari hidrokarbon. Sumber-sumber polusi lainnya adalah pembakaran, proses industri, pembuangan limbah, dan lain-lain (Fardiaz, 2003).

Pencemar udara primer adalah semua pencemar yang langsung dilepas oleh sumber dan belum mengalami perubahan. Pencemar udara primer mencakup sekitar 90% dari jumlah polutan udara seluruhnya. Pencemar primer dapat dibedakan menjadi lima kelompok yaitu karbon monoksida (CO), nitrogen oksida

(NO<sub>x</sub>), hidrokarbon (HC), sulfur oksida (SO<sub>x</sub>), dan partikel. Sedangkan pencemar udara sekunder adalah pencemar udara primer yang mengalami perubahan diudara akibat reaksi fotokimia atau oksida katalis.

Toksistas kelima kelompok polutan primer tersebut berbeda-beda. Tabel 2.1 menyajikan toksistas relatif masing-masing kelompok polutan tersebut. Polutan yang paling berbahaya bagi kesehatan adalah partikel, diikuti berturut-turut oleh NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, hidrokarbon, dan yang paling rendah toksistasnya adalah karbon monoksida.

**Tabel 2.1 Toksistas Polutan Udara**

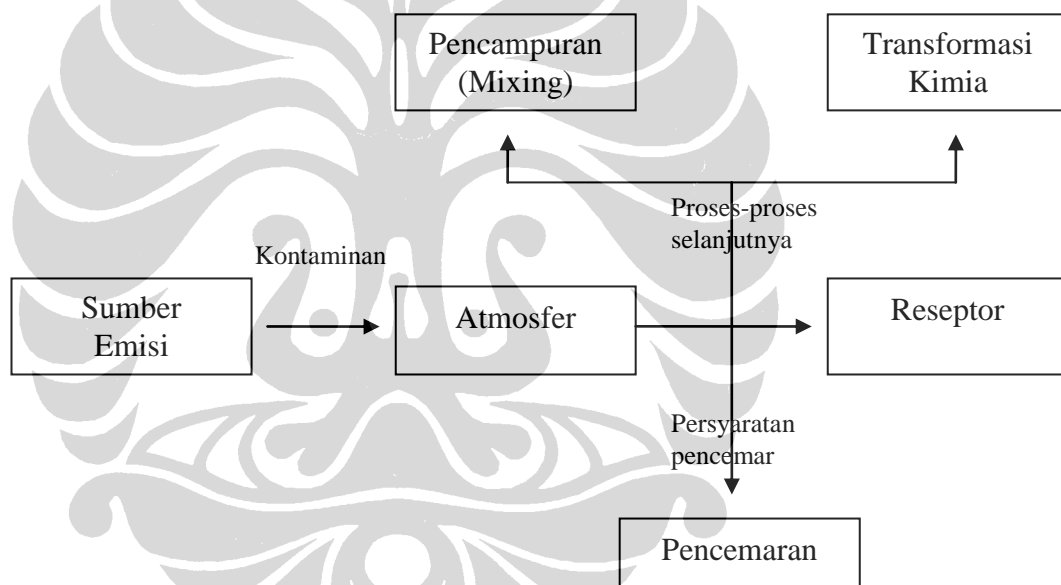
Polutan	Level toleransi		Toksistas relatif
	ppm	µg/m <sup>3</sup>	
CO	32.0	40000	1.00
HC		19300	2.07
SO <sub>x</sub>	0.50	1430	28.0
NO <sub>x</sub>	0.25	514	77.8
Partikel		375	106.7

Sumber: Babcock (1971) dalam Fardiaz (2003)

### 2.2.2 Mekanisme Pencemaran Udara

Pencemaran udara berawal dari berbagai jenis emisi alami dan antropogenik. Emisi ini didefinisikan sebagai pencemar primer, karena pencemar-pencemar golongan ini diemisikan langsung ke udara dari sumbernya (misalnya: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, Pb, zat-zat organik dan partikel) yang pada dasarnya ditentukan oleh faktor-faktor meteorologi. Bersamaan dengan itu terjadi pula proses-proses transformasi fisik dan kimia yang mengubah pencemar primer menjadi unsur gas atau partikulat bentuk lain yang dikenal sebagai pencemar sekunder. Gambaran sistem pencemaran udara ini (Gambar 2.1) merupakan suatu penjabaran langkah-langkah penting yang harus dilaksanakan dalam usaha mengendalikan pencemaran udara, serta melindungi para penerima dari dampak negatif yang akan timbul. Yang perlu diingat saat ini bahwa usaha pengendalian diarahkan terhadap sumber pencemar (Bahan Ajar Pencemaran Udara dan Kesehatan, 2006).

Pada dasarnya kehadiran polutan di udara umumnya berasal dari aktivitas manusia. Dalam pemaparan polutan ke udara terdapat 3 komponen utama yang saling berinteraksi dan menentukan kelanjutannya untuk memenuhi kriteria sebagai pencemaran atau tidak, yaitu sumber emisi, atmosfer, dan reseptor (penerima). Proses selanjutnya suatu jenis kontaminan yang dilepas dari sumber emisi masuk ke atmosfer sebagai bahan pencemar. Bila kontaminan tersebut mempunyai waktu tinggal cukup lama dan tidak mengalami perubahan, kuantitas mempengaruhi NAB (nilai ambang batas) yang telah ditentukan oleh suatu daerah serta potensial mengganggu lingkungan, maka kontaminan tersebut baru dapat disebut sebagai "polutan" atau pencemar (Gambar 2.1).



**Gambar 2.1 Mekanisme Pencemaran Udara**

### 2.2.3 Pengaruh Pencemar terhadap Tubuh Manusia

#### 1. Iritan

Dimana polutan dapat menimbulkan rangsangan sehingga terjadi proses peradangan terhadap mukosa sistem pernapasan.

## 2. *Asphyxiant*

Pencemar menghambat proses oksidasi di dalam jaringan.

Umumnya *asphyxiant* terbagi dalam 2 golongan :

### a. *Simple Asphyxiant*

Pencemar di dalam jaringan menimbulkan proses pengenceran terhadap kadar oksigen (O<sub>2</sub>) sehingga oksigen yang dibutuhkan dalam darah untuk sel jaringan di bawah tekanan partikel. Contoh: gas CO (karbon monoksida).

### b. *Chemical Asphyxiant*

Dimana pencemar bekerja secara kimia dengan menghambat oksigen darah dari paru-paru.

## 3. Sistemik toksik

Dimana pencemar dapat menimbulkan kerusakan jaringan (alat tubuh) adapun lokasi dan efeknya berbeda-beda tergantung pada sifat toksik pencemar tersebut. Contoh: Pb dengan organ targetnya adalah otak.

### 2.2.4 Dampak Pencemaran Udara

Dalam bidang kesehatan, udara yang tercemar dapat menimbulkan insiden penyakit saluran pernapasan meningkat, seperti ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Akut), TBC, memperberat penderita penyakit jantung dan asma, meningkatkan kasus alergi bagi yang hipersensitif terhadap polutan tertentu, dan meningkatkan kasus kanker terutama kanker paru.

Dampak terhadap lingkungan juga cukup berat. Polusi udara menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan, perubahan iklim global, meningkatnya panas bumi, penipisan lapisan ozon di stratosfer dan hujan asam. Terjadinya perubahan iklim akan menimbulkan pola penyakit tak menentu pada masyarakat misalnya malaria, demam berdarah, diare, ISPA dan sebagainya. Begitu pula dengan panas bumi yang ditimbulkan oleh gas rumah kaca akan berdampak pada naiknya air laut, abrasi pantai dan naiknya intensitas badai serta produktivitas pangan menurun. Sedangkan penipisan ozon yang terjadi akibat polutan CFC di stratosfer akan meningkatkan kasus kanker kulit, katarak dan menurunnya daya imunitas dan hujan asam (Bahan Ajar Pencemaran Udara dan Kesehatan, 2006).

### 2.3 Partikulat

*Particulate matter (PM)* adalah partikel kecil yang terdiri dari padatan atau cairan yang tersuspensi di udara. Sumber PM bisa dari hasil kegiatan manusia atau dari sumber alami. Partikulat dapat bersumber dari vulkanik, hutan, pembakaran padang rumput, dan sebagainya. Sumber dari kegiatan manusia contohnya dari pembakaran bahan bakar fosil dari kendaraan, pembangkit tenaga listrik, dan dari proses-proses industri (Wikipedia).

Partikel digunakan untuk memberikan gambaran partikel cair atau padat yang tersebar di udara dengan ukuran 0,001  $\mu\text{m}$  sampai dengan 500  $\mu\text{m}$ . Partikel mengandung zat organik maupun anorganik yang terbentuk dari berbagai macam materi dan bahan kimia. Sifat-sifat partikel berhubungan dengan kesehatan dan lingkungan meliputi ukuran, komposisi kimia, bentuk dan konsentrasinya (Wark, 1981 dan Calvert, 1984 dalam Surjanto, 2007). Ukuran partikel dapat menggambarkan seberapa jauh partikel dapat terbawa angin, efek yang ditimbulkannya, sumber pencemarannya dan lama masa tinggal di udara (Lynn, 1976 dalam Surjanto, 2007).

Kandungan utama dari komposisi partikel umumnya adalah karbon dan material yang larut dalam air seperti ammonium sulfat dan debu sedangkan kandungan dari komposisi partikel yang diemisikan dari bahan bakar gasoline kendaraan bermotor yang mengandung karbon dan abu metalik yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang mengandung timbal (Wark, 1981 dalam Surjanto, 2007). Selain itu juga mengandung hidrokarbon aerosol yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna.

Sifat partikel yang penting adalah ukurannya, antara diameter 0.0002—500  $\mu\text{g}$ . Pada kisaran tersebut, partikel akan bertahan dalam bentuk tersuspensi di udara antara beberapa detik sampai beberapa bulan. Keberadaan partikel di udara dipengaruhi oleh kecepatan partikel yang ditentukan oleh ukuran, densitas, serta aliran udara. Partikel di udara ini akan mengotori benda-benda, menghalangi pandangan/sinar serta membawa gas-gas beracun ke paru-paru.

### 2.3.1 Pengelompokan Partikulat

#### 2.3.1.1 Berdasarkan Kandungan

Partikulat terdiri dari berbagai macam material yang membentuknya. Berdasarkan kandungan yang terdapat di dalamnya, partikulat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. *Viabile particulate*

*“A viable particle is a particle that contains one or more living microorganisms. These can affect the sterility of the pharmaceutical product and generally range from ~0.2 $\mu$ m to ~30 $\mu$ m in size.”* (Kelly, 2005).

*Viabile particulate* adalah partikulat yang mengandung mikroorganisme di dalamnya. Cara memonitor partikulat ini adalah dengan menangkap, membuat koloni, dan menghitungnya. Terdapat dua cara yang digunakan, salah satunya dengan menggunakan metode *Settled Plate*, yaitu dengan menghitung jumlah bakteri yang berada pada permukaan tertentu yang diletakkan di udara terbuka selama beberapa jam dan diinkubasi. Penjelasan lebih lanjut tentang hal ini terdapat di ISO 14698 Annex C. Metode lain adalah dengan *sampling* udara seperti yang biasa dilakukan.

2. *Non-viable particulate*

*“A non-viable particle is a particle that does not contain a living microorganism but acts as transportation for viable particles.”* (Kelly, 2005).

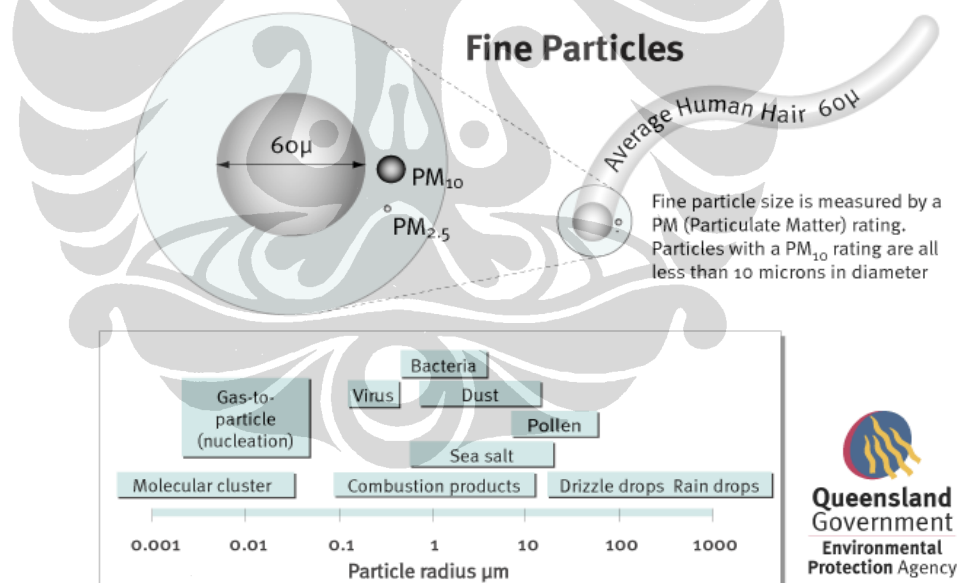
*Non-viable particulate* adalah partikulat yang di dalamnya terkandung bahan-bahan yang tidak hidup, atau benda mati. Pengukurannya dengan menggunakan peralatan *sampling* udara yang biasa digunakan. Kebanyakan pemakaian istilah partikulat dipakai untuk mendefinisikan partikulat jenis ini.

### 2.3.1.2 Berdasarkan Ukuran

Partikulat dikelompokkan berdasarkan ukurannya. Ada banyak definisi dari ukuran partikel, akan tetapi yang paling umum digunakan adalah diameter aerodinamik. PM<sub>10</sub> berarti partikel dengan diameter aerodinamik kecil dari 10  $\mu\text{m}$  (Tabel 2.2 dan Gambar 2.2)

**Tabel 2.2 Partikel dan Ukurannya**

Fraction	Size range
PM <sub>10</sub> (thoracic fraction)	$\leq 10 \mu\text{m}$
PM <sub>2.5</sub> (respirable fraction)	$\leq 2.5 \mu\text{m}$
PM <sub>1</sub>	$\leq 1 \mu\text{m}$
Ultrafine (UFP or UP)	$\leq 0.1 \mu\text{m}$
PM <sub>10</sub> -PM <sub>2.5</sub> (coarse fraction)	$2.5 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$



**Gambar 2.2 Partikel dan Ukurannya**

Selain pengelompokan tersebut, juga terdapat jenis partikel lain yang dinamakan *Aitken Particle*. Partikel ini dinamakan sesuai dengan nama penemunya, yaitu seorang ilmuwan bernama John Aitken. Namanya dijadikan untuk menamakan partikel dengan ukuran lebih kecil dari 0.1  $\mu\text{m}$  (Wikipedia).



Karena ukurannya yang kecil, partikel Aitken memiliki kontribusi kecil dalam total massa keseluruhan partikel (IUPAC *Compendium of Chemical Terminology*, 1997).

### 2.3.1.3 Berdasarkan Distribusi Mode

Pengelompokan partikulat berdasarkan distribusi mode adalah sebagai berikut (US EPA, 2004 dalam Surjanto, 2007):

1. Mode nukleasi (*nucleation mode*)  
Merupakan distribusi ukuran partikulat yang baru terbentuk (diameter kurang dari 10 nm), yang diamati selama peristiwa pengintian aktif. Belum ada kepastian tentang batasan terendah tempat kelompok partikulat dan molekul saling tumpang tindih. Sampai saat ini, teknis pengukuran partikulat berdiameter 3 nm masih sangat terbatas.
2. Mode Aitken (*Aitken mode*)  
Merupakan distribusi ukuran partikulat dengan diameter antara 10 sampai dengan 100 nm. Mode Aitken kemungkinan dihasilkan dari pertumbuhan partikulat kecil atau pengintian dari *precursor* dengan konsentrasi yang lebih tinggi.
3. Mode akumulasi (*accumulation mode*)  
Merupakan distribusi ukuran partikulat dengan diameter antara 0.1  $\mu\text{m}$  sampai dengan sedikit di atas batas minimum pada distribusi massa atau distribusi volume, yang biasanya terjadi antara 1 dan 3  $\mu\text{m}$ .
4. Partikulat halus (*fine particulate*)  
Merupakan distribusi ukuran partikulat yang meliputi mode nukleasi, mode Aitken, dan mode akumulasi. Partikulat halus adalah partikulat yang mempunyai ukuran dari awal yang memungkinkan untuk diukur (kira-kira 3 nm) sampai dengan sedikit di atas distribusi massa atau distribusi volume (antara 1  $\mu\text{m}$  sampai dengan 3  $\mu\text{m}$ ).

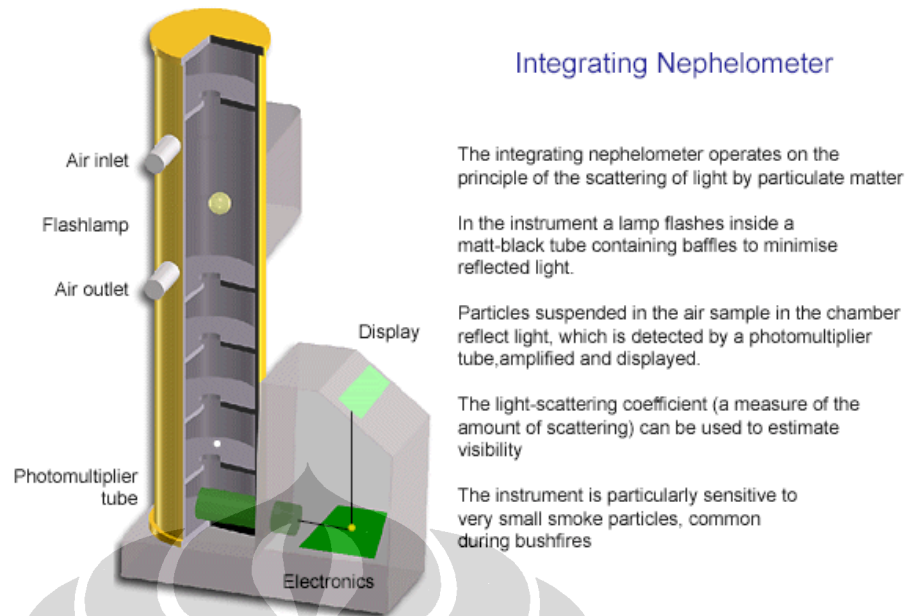
5. Partikulat kasar (*coarse particle*)  
Merupakan distribusi ukuran partikulat yang kebanyakan memiliki diameter lebih besar dari batas minimum distribusi massa atau distribusi volume ( $> 3 \mu\text{m}$ )
6. Partikel sangat halus (*ultrafine particulate*)  
Merupakan partikulat yang mempunyai diameter kurang dari atau sama dengan  $0.1 \mu\text{m}$  (100 nm). Jenis partikulat ini mencakup mode nukleasi dan mode Aitken.

### 2.3.2 Pengukuran Partikulat

Terdapat berbagai cara pengukuran  $\text{PM}_{10}$ . Pengukuran *dustfall* biasa dilakukan untuk menentukan apakah suatu sumber partikel mencapai level yang tidak diinginkan dan menimbulkan gangguan terhadap sekitarnya. *Dustfall* dapat dimonitor melalui alat yang cukup sederhana yaitu dengan menggunakan *Dustfall Deposit Gauge*. Alat ukur ini terdiri dari corong kaca yang berada pada leher sebuah botol kaca besar, yang bisa diletakkan pada tatakan besi di atas dudukan yang bisa diatur ketinggiannya bila perlu.

Alat ukur ini dibiarkan selama 1 bulan sehingga kuantitas debu yang terukur dapat dikumpulkan. Pada akhir periode, alat ukur dibawa kembali ke laboratorium untuk analisis. Besaran angka *dustfall* dihitung dengan cara membagi berat materi yang tidak terlarut (miligram) dengan luas daerah potong lintang pada corong ( $\text{m}^2$ ) dan jumlah hari pengambilan sampel. Hasil unit pengukuran adalah  $\text{mg}/\text{m}^2/\text{hari}$ .

Monitoring aerosol biasa dilakukan untuk menentukan besaran hilangnya visibilitas berkaitan dengan adanya partikulat di udara. Hal ini dapat dilakukan dengan cara pengukuran sebaran cahaya dengan alat bernama *nephelometer* yang terdiri dari sumber cahaya, tabung sampel, dan detektor cahaya (Gambar 2.3)



**Gambar 2.3 Nephelometer**

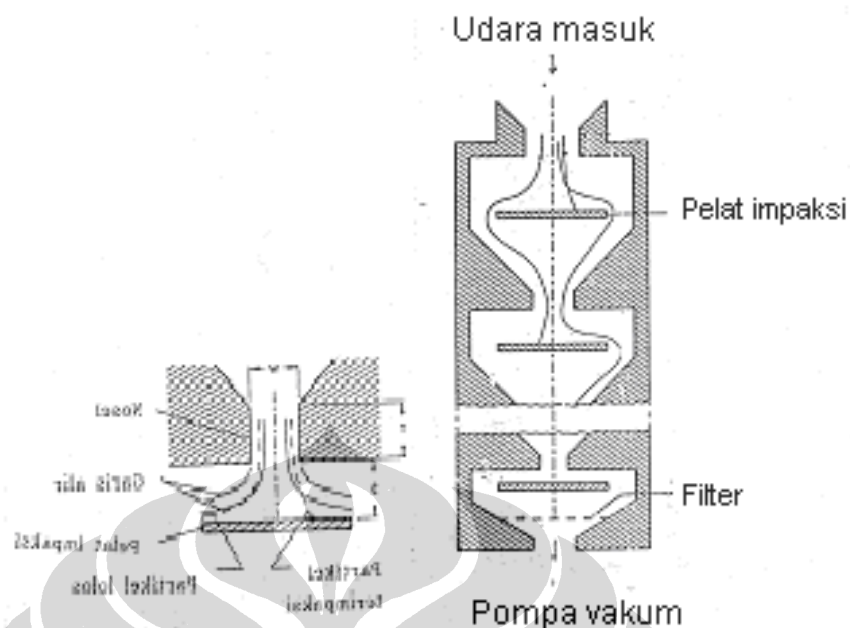
Monitoring TSP (*Total Suspended Particulate Matter*) digunakan untuk menentukan jumlah total materi partikulat tersuspensi yang ada di atmosfer. TSP diukur menggunakan *high volume air sampler* yang mengalirkan sejumlah besar volume udara melalui saringan selama 24 jam. Setelah sampling, filter ditimbang dan perbedaan berat filter sebelum dan sesudah ditimbang adalah berat partikel.

PM<sub>10</sub> dapat diukur dengan menggunakan *high volume air sampler* atau *tapered element oscillating microbalance (TEOM) sampler*. *High volume air sampler* untuk PM<sub>10</sub> sama dengan penjelasan di atas mengenai TSP, kecuali *air sampler* ini dialirkan melalui *size-selective inlet* yang memisahkan partikel dengan ukuran lebih besar dari 10µm dari partikulat dengan ukuran kecil dari 10µm yang dapat melewati instrumen menuju saringan, untuk nantinya ditimbang. *High-volume air samplers* diprogram untuk mengambil sampel 24 jam dengan interval 6 hari. Saringan ditimbang sebelum dan sesudah sampling, selisihnya menentukan konsentrasi PM<sub>10</sub> di udara.

Teknik kedua untuk mengukur PM<sub>10</sub> adalah dengan menggunakan TEOM *sampler* beserta *size-selected inlet* untuk memonitor konsentrasi PM<sub>10</sub>. Alat ini mengalirkan udara melalui filter yang berada di atas tabung kaca yang bergetar. Di saat PM<sub>10</sub> terperangkap di dalam filter, penambahan berat ini mengubah frekuensi gerakan di dalam tabung. Perubahan frekuensi ini dikonversikan ke

dalam satuan berat partikel yang dapat dibagi dengan volume udara yang dialirkan ke dalam instrumen untuk menghasilkan konsentrasi  $PM_{10}$ . *TEOM samplers* beroperasi secara terus menerus dan tidak membutuhkan penggantian filter sesering *high-volume air samplers*. Keuntungan dari monitoring terus menerus ini adalah dapat menyediakan informasi tambahan, misalnya waktu di saat konsentrasi mencapai puncak dalam suatu hari. Informasi ini dapat digunakan bersama dengan data meteorologis untuk membantu menentukan sumber emisi. *High-volume air samplers* and *TEOM samplers* juga dapat digunakan bersamaan sehingga lebih menjamin kualitas data yang diperoleh.

Di Indonesia, instrumen yang digunakan disebut Impaktor Bertingkat (*Cascade Impactor*). Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN dalam penelitiannya menggunakan impaktor bertingkat buatan Andersen, USA yang terdiri dari 9 tingkat dan mampu menentukan diameter partikel aerosol lebih kecil dari 0,43 sampai 10  $\mu m$ . Impaktor bertingkat Andersen yang terdiri dari 8 tingkat (tingkat 0 hingga 7) masing-masing dipasang foil milar dan satu tingkat paling bawah dipasang filter. Koleksi karakteristik impaktor adalah koleksi dengan efisiensi 50% yang artinya 50% partikel dengan diameter tertentu mengendap pada pelat impaksi dan selebihnya lolos. Diameter tersebut dinamakan diameter pangkas pada efisiensi 50% . Pada impaktor bertingkat, partikel yang lolos dari tingkat pertama akan masuk ke impaktor tingkat berikutnya. Tiap tingkat impaktor mempunyai ukuran diameter pangkas yang berbeda. Diameter pangkas pada suatu tingkat lebih besar dibandingkan diameter pangkas pada tingkat berikutnya. Pada tiap tingkat dipasang foil milar yang berfungsi untuk mengendapkan partikel aerosol dan pada tingkat terakhir dipasang filter (Gambar 2.4).



**Gambar 2.4 Impaktor Bertingkat**

### 2.3.3 Partikulat dan Sistem Pernafasan

Benda partikulat melayang dengan diameter aerodinamik kecil dari  $10\ \mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) merupakan bentuk yang paling berbahaya karena berupa partikel-partikel amat kecil dan halus yang dapat menembus ke dalam paru-paru. Sering disebut sebagai  $\text{PM}_{10}$  karena benda partikulat tersebut berukuran lebih kecil dari  $10\ \mu\text{m}$  dan kebanyakan partikel halus itu berasal dari senyawa sulfur dan nitrogen yang dalam selang waktu beberapa jam atau beberapa hari berubah dari gas menjadi padat.

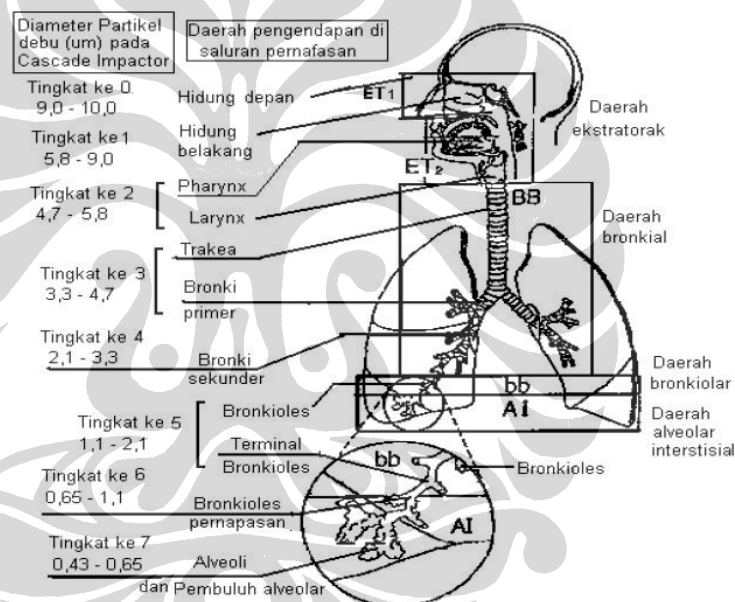
Partikel-partikel yang masuk ke dalam paru-paru dapat membahayakan manusia karena (Fardiaz, 2003):

1. Sifat kimia dan fisik dari partikel tersebut mungkin beracun.
2. Partikel yang masuk tersebut bersifat *inert* (tidak bereaksi tetapi dapat menghambat pembersihan bahan-bahan lain yang berbahaya yang masuk ke paru-paru)
3. Partikel tersebut membawa molekul-molekul gas berbahaya dengan cara mengabsorpsi maupun mengadsorpsi yang menyebabkan molekul-molekul gas tersebut dapat mencapai dan tertinggal dalam paru-paru yang sensitif.

Kerusakan yang terjadi dalam paru-paru sangat tergantung pada ukuran debu, seperti yang disebutkan oleh Waldboth, 1973 (dalam Surjanto, 2007):

1. 5-10  $\mu\text{m}$  : akan tetap ditahan di saluran pernafasan bagian atas
2. 3-5  $\mu\text{m}$  : akan ditahan di saluran pernafasan bagian Tengah
3. 1-3  $\mu\text{m}$  : akan ditahan di permukaan alveoli
4. 0,5-1  $\mu\text{m}$  : melayang di permukaan alveoli
5. < 0,5  $\mu\text{m}$  : akan hinggap di permukaan alveoli/selaput lender karena gerak brown, sehingga dapat menyebabkan penyakit paru

Daerah deposisi partikel udara pada saluran pernapasan dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut:



**Gambar 2.5 Daerah Desposisi Partikel di Paru-paru**

Efek menghirup *particulate matter (PM)* telah banyak dipelajari, diantaranya asma, kanker paru-paru, penyakit kardiovaskular, dan kematian prematur. Ukuran partikel adalah faktor utama yang menentukan sejauh mana partikel masuk ke dalam saluran pernafasan. Partikel besar biasanya disaring di hidung dan tenggorokan sehingga tidak menimbulkan masalah, akan tetapi partikel dengan ukuran kecil dari 10  $\mu\text{m}$ , atau  $\text{PM}_{10}$  dapat mencapai dan mendiami bronchi dan paru-paru sehingga dapat menimbulkan masalah kesehatan. Di dalam

paru-paru partikel dapat menimbulkan efek fisik langsung dan atau diabsorpsi ke dalam darah.

Konsentrasi PM<sub>10</sub> yang terinhalasi ke dalam saluran pernafasan adalah 73.7% (*Methods for the Determination Hazardous Substances*, 1990 dalam Purwana, 1999 dalam Surjanto, 2007). PM<sub>10</sub> yang masuk ke dalam saluran pernafasan selanjutnya menjangkau bagian dalam saluran pernafasan, sehingga menyebabkan peradangan dan iritasi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Van Eeden, et.al (2000), bahwa partikel di udara ambient yang terinhalasi dapat diproses oleh sel makrofag alveolar. Sel ini menghasilkan *mediator proinflammatory* seperti *cytokines* yang memicu infeksi pada paru-paru.

Mekanisme yang mungkin dapat menerangkan mengapa debu dapat menyebabkan terjadinya penyakit saluran pernafasan adalah dengan semakin banyaknya pemajanan debu maka silia akan terus menerus mengeluarkan debu sehingga lama-kelamaan silia akan teriritasi dan tidak peka lagi sehingga debu akan mudah masuk. Selain itu, yang terpenting orang tersebut akan rentan terhadap infeksi saluran pernafasan lainnya.

Dua penelitian kohort yang dilakukan di Amerika telah menyatakan bahwa usia harapan hidup manusia menjadi berkurang antara 2-3 tahun pada masyarakat dengan kadar PM yang lebih tinggi dibandingkan dengan masyarakat yang tinggal di daerah dengan kadar PM lebih rendah.

Penelitian di Amerika, Belanda, dan Swiss telah menunjukkan hubungan peningkatan pada gejala saluran pernafasan atas (pilek, tenggorokan sakit, sakit kepala, dan sinusitis) serta pada saluran pernafasan bawah (asthma, batuk kering, batuk berdahak, dan nafas pendek) dengan peningkatan polusi udara. Hong dkk (1999) menyebutkan bahwa PM<sub>10</sub> mempunyai aktivitas radikal bebas yang dapat menyebabkan peradangan pada paru-paru.

Berdasarkan PP RI No. 41 Tahun 1999 tanggal 26 Mei 1999, disebutkan baku mutu untuk PM<sub>10</sub> adalah 150 mikrogram/Nm<sup>3</sup> (waktu pengukuran 24 jam) dengan metode analisis *Gravimetric*.

Menurut Ryadi dalam Munziah (2002), mekanisme masuknya debu dalam saluran pernafasan ada 3 macam, yaitu:

1. Inersia, debu akan menimbulkan kelembababan pada debu itu dan terjadi pergerakan karena dorongan aliran udara serta akan melalui saluran yang berbelok-belok. Pada sepanjang jalan pernafasan yang lurus tersebut debu akan langsung ikut dengan aliran, masuk dalam saluran pernafasan yang lebih dalam, sedangkan partikel-partikel yang lebih besar akan mencari tempat yang lebih ideal untuk menempel/mengendap seperti pada tempat yang berlekuk di selaput saluran pernafasan.
2. Sedimentasi, terjadi pada saluran pernafasan di mana kecepatan arus udara kurang dari 1 cm/detik, sehingga memungkinkan partikel debu tersebut mengalami gaya berat dan akan mengendap.
3. Gerak brown, terjadi pada debu-debu yang mempunyai ukuran kurang dari 0.1 mikrometer di mana melalui gerakan udara, debu akan sampai pada permukaan alveoli dan mengendap di situ.

Di dalam daftar efek kesehatan yang disusun oleh EPA (*Environmental Protection Agent*) disebutkan bahwa peningkatan konsentrasi partikulat berhubungan dengan:

- Peningkatan angka kematian total
- Peningkatan kematian akibat penyakit kardiovaskuler
- Peningkatan kematian akibat penyakit saluran pernafasan
- Peningkatan kematian akibat kanker
- Peningkatan risiko kematian bayi dan kelahiran premature
- Peningkatan risiko pneumonia
- Peningkatan risiko kematian postneonatal akibat penyakit pernafasan dan sindrom kematian bayi mendadak
- Peningkatan kasus pneumonia, bronchitis, dan *chronic obstructive pulmonary disease*
- Peningkatan symptom pada saluran pernafasan atas dan bawah
- Pengurangan fungsi paru-paru
- Peningkatan insidens rhinitis



Tingkat bahaya partikel udara di suatu tempat dapat diketahui dengan cara membandingkan besarnya nilai konsentrasi partikel dengan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) (Tabel 2.3 dan Tabel 2.4)

**Tabel 2.3 Kategori ISPU**

ISPU	TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>2,5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Kategori
0—50	0—75	0—15	0—50	Baik
51—100	76—260	16—65	51—150	Sedang
101—200	261—375	66—150	151—350	Tidak sehat
201—300	376—625	151—250	351—420	Sangat tidak sehat
>300	>625	>251	>421	Berbahaya

**Tabel 2.4 Kategori ISPU terhadap efek kesehatan masyarakat:**

Kategori ISPU	Efek
Baik	Tidak ada efek
Sedang	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak sehat	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran udara dimana-mana
Sangat tidak sehat	Sensitivitas meningkat pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis
Berbahaya	Tingkat berbahaya bagi semua populasi yang terpapar

#### 2.4 ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Akut)

ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Akut) yang diadaptasi dari istilah dalam bahasa Inggris *Acute Respiratory Infections* (ARI) mempunyai pengertian sebagai berikut:

- Infeksi adalah masuknya kuman atau mikroorganisme ke dalam tubuh manusia dan berkembang biak sehingga menimbulkan gejala penyakit.
- Saluran pernafasan adalah organ mulai dari hidung hingga alveoli beserta organ adneksanya seperti sinus-sinus, rongga telinga tengah dan pleura. ISPA secara anatomis mencakup saluran pernafasan bagian atas, saluran pernafasan bagian bawah (termasuk jaringan paru-paru) dan organ adneksa

saluran pernafasan. Dengan batasan ini, jaringan paru termasuk dalam saluran pernafasan (*respiratory tract*).

- Infeksi akut adalah infeksi yang berlangsung sampai dengan 14 hari. Batas 14 hari diambil untuk menunjukkan proses akut meskipun untuk beberapa penyakit yang dapat digolongkan dalam ISPA proses ini dapat berlangsung lebih dari 14 hari.

Etiologi ISPA terdiri lebih dari 300 jenis bakteri, virus dan riketsia. Bakteri penyebabnya antara lain dari genus Streptokokus, Stafilokokus, Pneumokokus, Hemofilus, Bordetella dan Korinebakterium. Virus penyebabnya antara lain golongan Miksovirus, Adenovirus, Koronavirus, Pikornavirus, Mikoplasma, dan Herpesvirus.

Seseorang dinyatakan menderita ISPA ringan jika ditemukan satu atau lebih gejala-gejala seperti berikut:

- Batuk
- Suara serak
- Pilek, yaitu mengeluarkan lendir/ingus dari hidung
- Panas atau demam, suhu badan lebih dari 37°C atau jika dahi anak diraba dengan punggung terasa panas.

Di Indonesia, ISPA termasuk ke dalam daftar 10 penyakit terbesar. Hingga akhir 2001, Mataram, Nusa Tenggara Barat mencatat ISPA sebagai penyakit yang paling banyak diderita masyarakat: 206.144 orang. Sementara, penderita pneumonia mencapai 41.865 orang. Jakarta sendiri juga mencatat ISPA sebagai penyakit yang paling banyak diderita warganya: 1997 (784.354 orang), 1998 (827.407 orang) dan 1999 (1.023.801 orang). Tingginya penderita ISPA di Jakarta, itu terkait dengan tingginya pencemaran di mana 70% berasal dari kendaraan bermotor.

Suku Dinas Kesehatan Masyarakat Jakarta Pusat (Sudin Kesmas Jakpus) menyebutkan 80% masyarakat yang berobat ke Puskesmas mengeluhkan sesak napas atau mengidap penyakit infeksi saluran pernapasan atas (ISPA). Data Puskesmas Kecamatan Gambir menyebutkan, pertengahan September penderita

ISPA hanya sekitar 10-15 orang per hari. Namun awal hingga pertengahan Oktober 2008 penderita ISPA dewasa berjumlah 18-20 orang per hari, sedangkan untuk anak-anak mencapai 20-30 orang per hari. Sementara itu, di daerah Jakarta Timur, angka kesakitan akibat ISPA, terhitung sampai bulan Juni adalah 21.800 kasus.

Di daerah Gunung Masigit, Cipatat, Kabupaten Bandung Barat, peneliti belum mendapatkan profil kesehatan resmi mengenai status kesehatan masyarakat daerah tersebut. Akan tetapi berdasarkan pengakuan dari masyarakat, didapatkan keluhan mudah terserang flu, pusing, dan penyakit kulit. Berada di kawasan pertambangan kapur pun membuat nafas sesak dan mata menjadi perih.

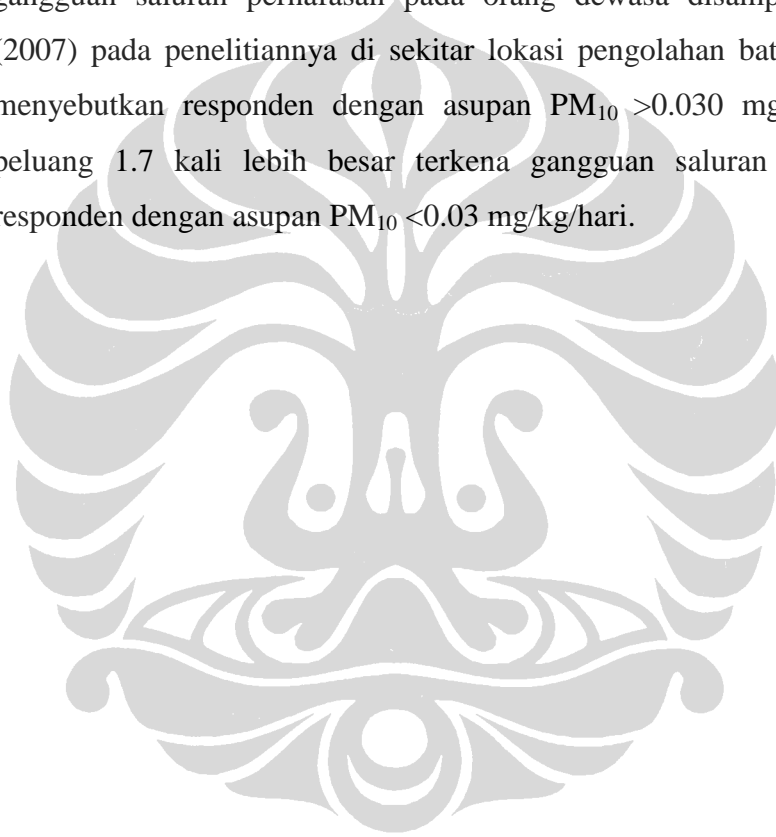
## 2.5 PM<sub>10</sub> dan Kejadian ISPA

Isaac N. Luginaah, dkk. melakukan penelitian mengenai hubungan antara polusi udara dan angka hospitalisasi harian di rumah sakit akibat gangguan pernafasan dari berbagai kelompok umur dan jenis kelamin pada jangka waktu tahun 1995—2000. Berdasarkan hasil *time-series* tersebut diketahui bahwa PM<sub>10</sub> berhubungan secara signifikan dengan angka hospitalisasi pada pria dalam kelompok umur 15—64 tahun. Melalui analisis *case-crossover*, diketahui bahwa efek PM<sub>10</sub> pada angka perawatan akibat gangguan pernafasan sebagian besar meningkat, tapi tidak signifikan, pada seluruh kelompok umur, kecuali pada kelompok umur 0—14 tahun. (Environmental Health Perspective Volume 113 Number 3 March 2005 page 290—296). Di dalam artikel tersebut juga disebutkan bahwa penelitian lain di Toronto dan Hong Kong mengenai admisi rumah sakit akibat gangguan pernafasan mendukung hasil bahwa PM<sub>10</sub> berhubungan dengan meningkatnya admisi pada bagian respirasi. Studi yang dilakukan oleh Schwartz (1996) di Spokane, Washington, USA menemukan bahwa PM<sub>10</sub> berhubungan secara signifikan dengan hospitalisasi akibat gangguan pernafasan pada wanita dalam kelompok usia  $\geq 65$  tahun.

Hasil penelitian menyatakan bahwa kadar PM<sub>10</sub> rumah yang melebihi 70 mikrogram/m<sup>3</sup> menimbulkan gangguan saluran pernafasan pada anak balita (Purwana, 1999), dengan risiko 2.94 kali lebih besar dengan PM<sub>10</sub> yang kurang dari 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Munziah, 2002). Hal yang sama dijelaskan oleh Wattimena (2004)

dalam penelitiannya di Tangerang, yang menyebutkan bahwa balita yang tinggal di rumah dengan kadar PM<sub>10</sub> besar dr 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  berisiko mengalami ISPA 26.04 kali lebih besar dibandingkan dengan yang kurang.

Hasil penelitian Ermawati Rahmah (2003) menyebutkan bahwa konsentrasi PM<sub>10</sub> udara ambien berhubungan dengan penyakit ISPA di Kelurahan Cakung Barat. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh faktor lingkungan, terutama akibat aktivitas industri serta transportasi. Hasil penelitian yang menyebutkan adanya hubungan yang bermakna antara kadar PM<sub>10</sub> dengan gangguan saluran pernafasan pada orang dewasa disampaikan oleh Surjanto (2007) pada penelitiannya di sekitar lokasi pengolahan batu di Sukabumi yang menyebutkan responden dengan asupan PM<sub>10</sub> >0.030 mg/kg/hari mempunyai peluang 1.7 kali lebih besar terkena gangguan saluran nafas dibandingkan responden dengan asupan PM<sub>10</sub> <0.03 mg/kg/hari.

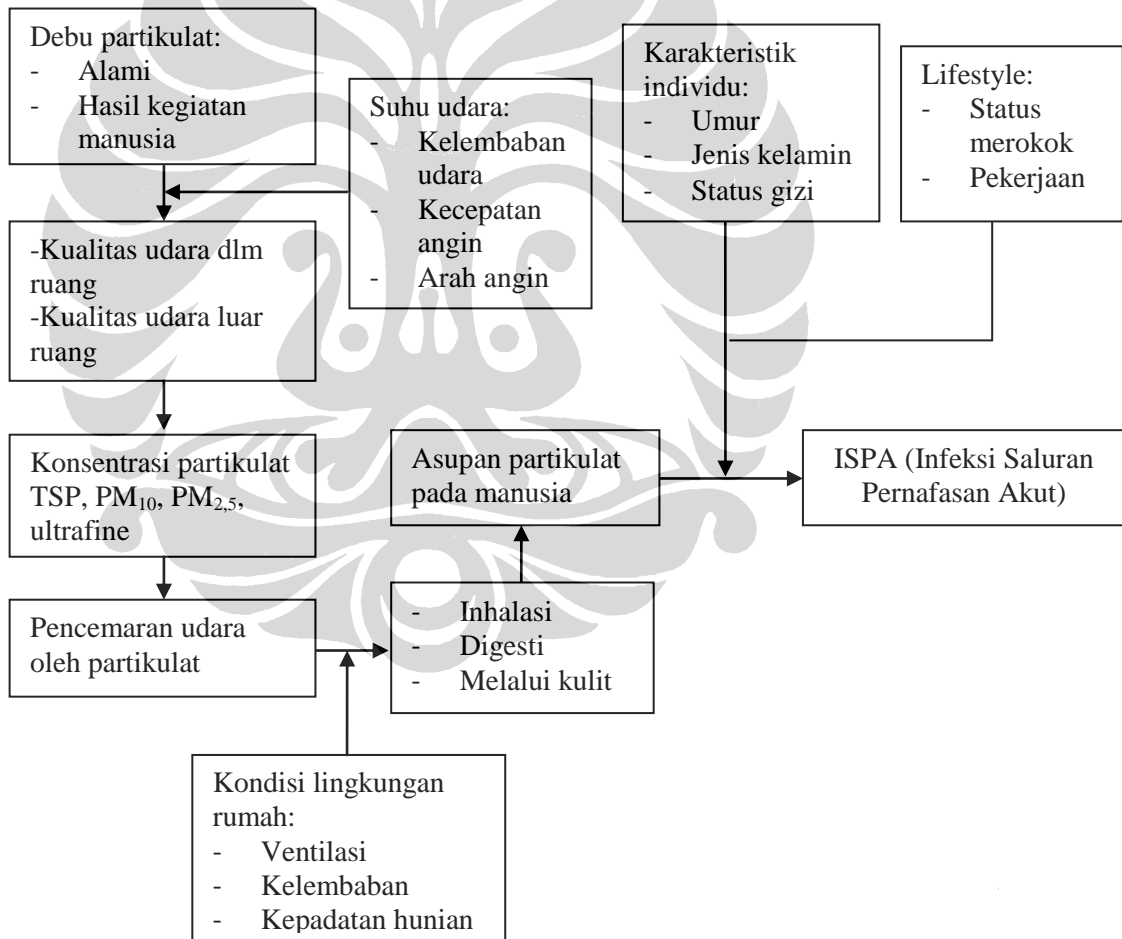


# BAB III

## KERANGKA KONSEP DAN DEFINISI OPERASIONAL

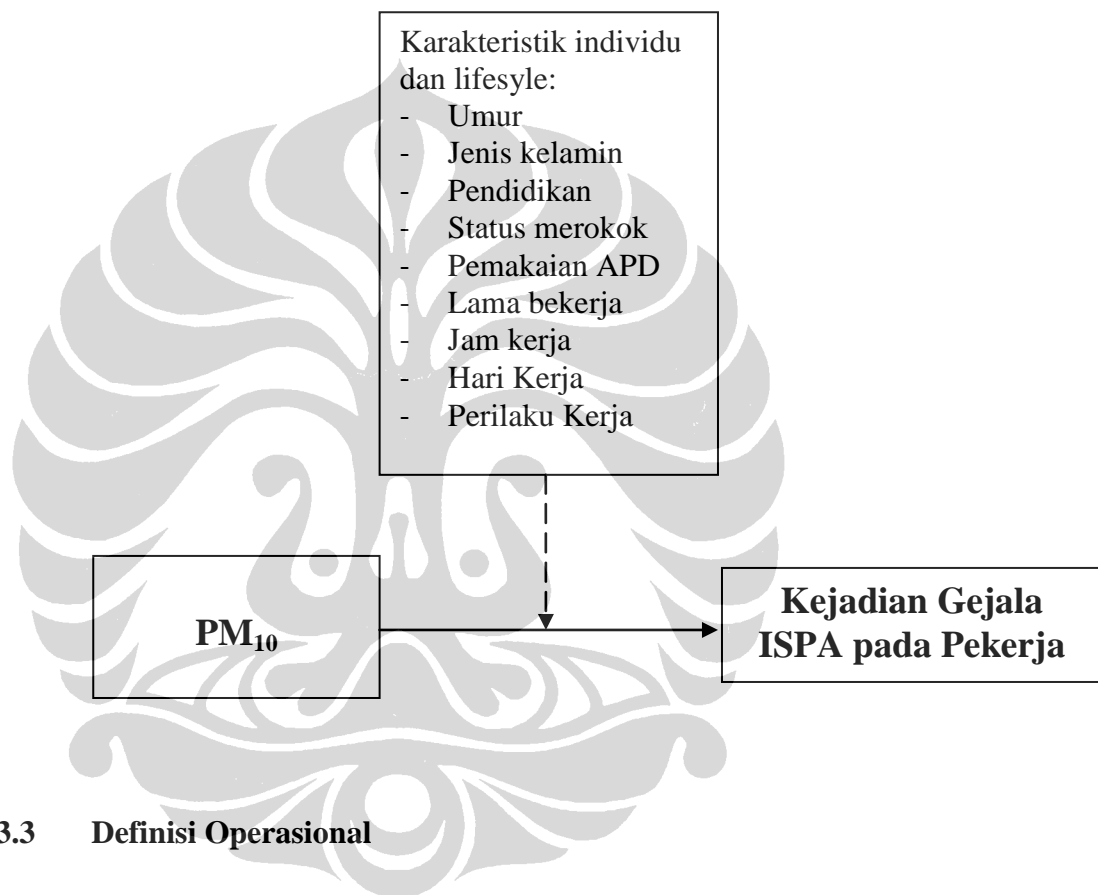
### 3.1 Kerangka Teori

Berdasarkan teori dan tinjauan pustaka pada bab sebelumnya, maka didapat suatu kerangka pikir, di mana dampak kesehatan yang terjadi selalu didahului dari *exposure* pada sumber pencemar, selanjutnya sumber pencemar tersebut menghasilkan debu yang beterbangan dan dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui inhalasi, dan dipengaruhi oleh berbagai faktor, di mana dapat digambarkan sebagai berikut:



### 3.2 Kerangka Konsep

Berdasarkan kerangka teori yang telah disusun, didapatkan suatu kerangka berpikir bahwa pajanan  $PM_{10}$  berhubungan dengan gejala ISPA pada pekerja. Pemajanan  $PM_{10}$  dipengaruhi oleh faktor umur, jenis kelamin, pendidikan, status merokok, pemakaian APD (Alat Pelindung Diri), lama bekerja, jam kerja, hari kerja, dan perilaku kerja. Hubungan tersebut dapat digambarkan dalam kerangka konsep sebagai berikut:



### 3.3 Definisi Operasional

Variabel	DO	Cara Ukur	Alat Ukur	Skala	Hasil pengukuran
$PM_{10}$	Konsentrasi kelompok partikulat berukuran kurang dari 10	Pengukuran dengan instrumen	HVS 500	Rasio	$\mu\text{g}/\text{m}^3$

	mikrometer dalam satuan mikrogram/m <sup>3</sup> pada saat pengukuran di lokasi pengukuran.				
<i>Intake</i> PM <sub>10</sub>	Adalah jumlah PM <sub>10</sub> di udara yang masuk melalui pajanan inhalasi	Perhitungan dengan persamaan Louvard, F.L dan Louvard, B.D.: $I = \frac{CxRxt_E \cdot x f_E \cdot x D_t}{W_b \cdot x t_{avg}}$ <p>I = asupan (intake mg/kg/hari)  C = konsentrasi risk agents di udara (mg/M3)  R = laju inhalasi (M3/jam)  tE = lama pajanan (jam/hari)  fE = frekuensi pajanan (hari/tahun)  Dt = durasi pajanan  Wb = berat badan individu (kg)  tavg = periode waktu rata-rata (Dt x 365 hari/ tahun untuk nonkarsinogen, 70 tahun x 365 hari/tahun untuk karsinogen)</p>	Kalkulator	Ordinal	1. Tinggi 2. Rendah

Kejadian Gejala ISPA	Adanya gejala pada saluran nafas yang dialami responden dalam 1 tahun terakhir yaitu terdapatnya satu atau lebih gejala batuk, pilek, demam, berdahak, dan nafas berbunyi. Responden dinyatakan mengalami gejala ISPA bila terdapat gangguan batuk atau pilek bisa disertai dahak	Wawancara	Kuesioner/ checklist	Ordinal	1. Ya 2. Tidak
Umur	Usia responden pada saat penelitian diukur berdasarkan ulang tahun terakhir	Wawancara	Kuesioner	Rasio	Tahun
Pendidikan	Status pendidikan formal responden	Wawancara	Kuesioner	Ordinal	1. Tidak tamat SD 2. SD 3. SMP 4. SMA 5. PT



Variabel	DO	Cara Ukur	Alat Ukur	Skala	Hasil pengukuran
Jenis Kelamin	Jenis kelamin responden	Pengamatan dan wawancara	Kuesioner	Nominal	1. Pria 2. Wanita
Kebiasaan merokok	Kebiasaan merokok yang dilakukan responden minimal 1 batang setiap hari	Wawancara	Kuesioner	Ordinal	1. Merokok 2. Tidak merokok
Pemakaian APD	Kebiasaan memakai Alat Pelindung Diri (APD) selama bekerja, yaitu pemakaian masker (penutup hidung dan mulut)	Wawancara	Kuesioner	Ordinal	1. Tidak memakai masker 2. Memakai masker
Lama bekerja	Waktu yang telah dihabiskan untuk bekerja selama di pertambangan kapur	Wawancara	Kuesioner	Ordinal	Bulan
Jam bekerja	Lama bekerja dalam sehari	Wawancara	Kuesioner	Rasio	Jam
Hari Kerja	Lama Bekerja dalam seminggu	Wawancara	Kuesioner	Rasio	Minggu

Variabel	DO	Cara Ukur	Alat Ukur	Skala	Hasil pengukuran
Perilaku Istirahat	Kebiasaan saat istirahat, apakah pekerja tetap berada di sekitar lokasi kerja atau tidak	Wawancara	Kuesioner	Ordinal	1. Ya 2. Tidak
Perilaku Sehabis Bekerja	Kebiasaan sehabis bekerja, apakah masih tetap di lokasi atau tidak	Wawancara	Kuesioner	Ordinal	1. Ya 2. Tidak

