



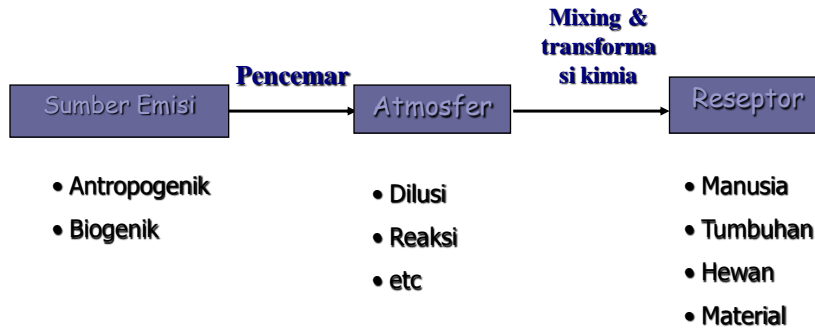
# PENGANTAR PENCEMARAN UDARA

TL 4002 Rekayasa Lingkungan 2009  
Program Studi Teknik Lingkungan ITB

## Pendahuluan

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara
- **Pencemaran udara (*air pollution*)** : masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lainnya ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya.
- **Pencemar udara (*air pollutant*)** : zat yang berada di atmosfer dalam konsentrasi tertentu yang bersifat membahayakan manusia, binatang, tumbuhan atau benda-benda lain.
- **Sumber pencemar udara (*sources of air pollutants*)** : setiap usaha dan/atau kegiatan yang mengeluarkan bahan pencemar ke udara yang menyebabkan udara tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.
- Pencemaran udara dapat didefinisikan sebagai kondisi atmosfer yang terdiri atas senyawa-senyawa dengan konsentrasi tinggi diatas kondisi udara ambien normal, sehingga menimbulkan dampak negatif bagi manusia, hewan, vegetasi, maupun benda lainnya.

## Sistem Pencemaran Udara

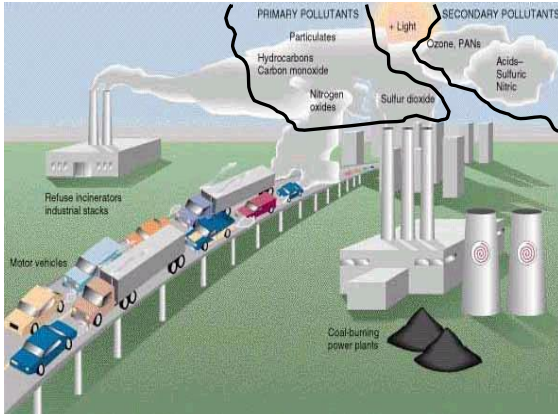


## Jenis & Karakteristik Pencemar Udara

*Berdasarkan kondisi fisiknya*

Klasifikasi	Sub-Klasifikasi	Pencemar
<b>Partikulat</b>	Solid	Debu, smoke, fumes, fly ash
	Liquid	Mist, spray
<b>Gas:</b>		
Organik	Hidrokarbon	Hexana, benzena, ethlena, methana, butana, butadiena
	Aldehide dan keton	Formaldehyde, acetone
	Organik lainnya	Alkohol, chlorinated hydrocarbon
Anorganik	Oksida karbon	CO, CO <sub>2</sub>
	Oksida sulfur	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub>
	Oksida nitrogen	NO <sub>2</sub> , NO, N <sub>2</sub> O
	Anorganik lainnya	H <sub>2</sub> S, HF, NH <sub>4</sub>

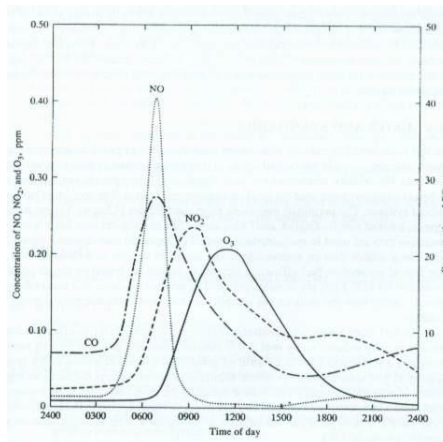
## Jenis & Karakteristik Pencemar Udara Berdasarkan reaksi yang terjadi



- **Pencemar primer** (primary pollutants) : langsung dari sumber
  - contoh: partikulat,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ , dst.
- **Pencemar sekunder** (Secondary pollutants) : terbentuk oleh interaksi kimiawi antara pencemar primer dan senyawa-senyawa penyusun atmosfer alamiah
  - contoh :  $\text{NO}_2$ , ozon-  $\text{O}_3$ , Peroxy Acetyl Nitrate (PAN), Asam sulfat, asam nitrat, dst.

## Jenis & Karakteristik Pencemar Udara Mekanisme reaksi di atmosfer

Konsentrasi pencemar udara selama 24 jam di kota Los Angeles California 19 Juli 1965

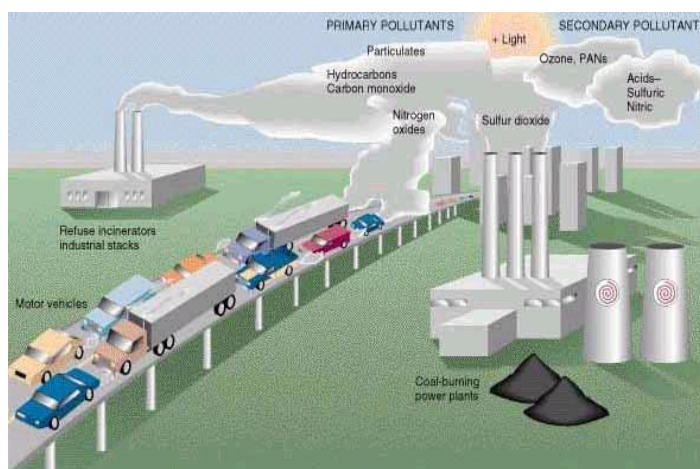


- Pencemar primer  $\text{CO}$  dan  $\text{NO}$  diemisikan pagi hari dari kendaraan bermotor
- Puncak konsentrasi  $\text{CO}$  &  $\text{NO}$  terjadi pada waktu pagi hari
- Pencemar sekunder:  $\text{NO}_2$  dan  $\text{O}_3$  terbentuk pada waktu siang hari (reaksi pencemar primer dengan sinar matahari)

## Sumber Pencemaran Udara (Sumber Alamiah)



## Sumber Pencemaran Udara (Sumber Anthropogenik)



## Sumber Pencemaran Udara (Sumber Anthropogenik)

### Sumber tidak bergerak (stasioner)



Cerobong industri kimia



Flare



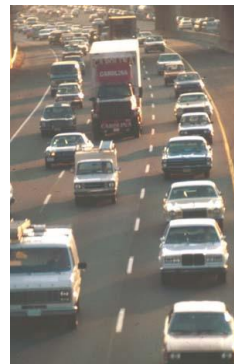
Explorasi minyak dan  
gas bumi



Cerobong PLTU Batubara

## Sumber Pencemaran Udara (Sumber Anthropogenik)

### Sumber bergerak



## Sumber Pencemaran Udara (Sumber Anthropogenik)

### Sumber tdk bergerak dan bergerak

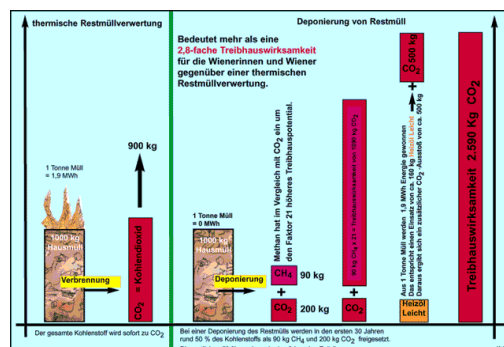
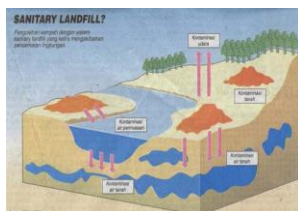


Tambang  
Batubara



## Sumber Pencemaran Udara (Sumber Anthropogenik)

### Sumber tdk bergerak dan bergerak





## **Fenomena Pencemaran Udara**

### ***Long Distance Transport***

- Perpindahan pencemar dari sumbernya
- Bagian dari dinamika atmosfer; dipengaruhi oleh aspek meteorologi mikro, makro, maupun meso
- Berkaitan erat dengan fenomena lainnya
- Skala transport pencemar :
  - skala mikro/skala lokal : London smog
  - skala meso/skala regional : peristiwa kebakaran hutan di Kalimantan
  - skala makro/skala kontinental : pemanasan global, penipisan lapisan ozon

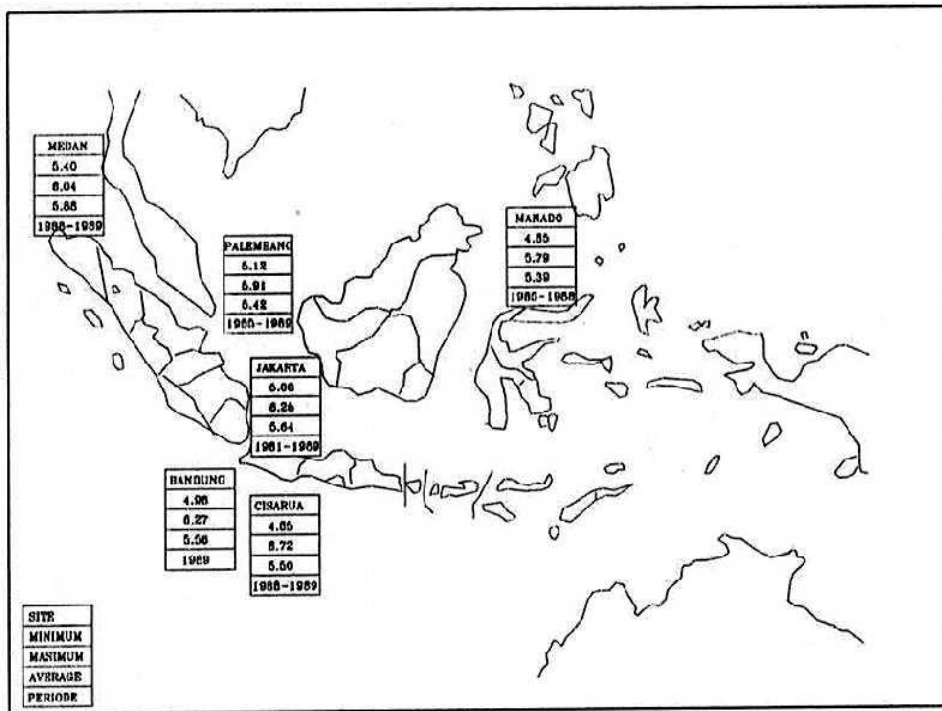


## **Fenomena Pencemaran Udara**

### ***Hujan Asam***

- Timbul sebagai akibat tingginya pengemisian pencemar udara, khususnya  $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_x$ .
- Proses oksidasi di atmosfer mengakibatkan gas-gas tersebut berubah menjadi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HNO}_3$ 
  - meningkatkan keasaman air hujan (deposisi basah).





## Fenomena Pencemaran Udara

### Smog Fotokimia

- Timbul sebagai akibat terjadi reaksi fotokimia antara pencemar-pencemar udara, khususnya pencemar HC dan  $\text{NO}_x$  dengan bantuan sinar matahari.
- Terbentuk smog (smoke + fog), contoh terkenal : London smog.
- Skala dampak : lokal dan regional.



## Fenomena Pencemaran Udara

### *Penipisan Lapisan Ozon (London Smog)*

- The **Great Smog** , atau **Big Smoke**, terjadi di [London](#) Inggris pada bulan Desember 1952
- Menyebabkan ribuan kematian di London, akibat infeksi saluran pernafasan [hypoxia](#) (kadar oksigen dalam darah yang sangat rendah), infeksi yang terjadi terutama berupa [bronchopneumonia](#) atau [acute purulent bronchitis](#) atau bronchitis kronis.



## Fenomena Pencemaran Udara

### *Penipisan Lapisan Ozon (London Smog)*

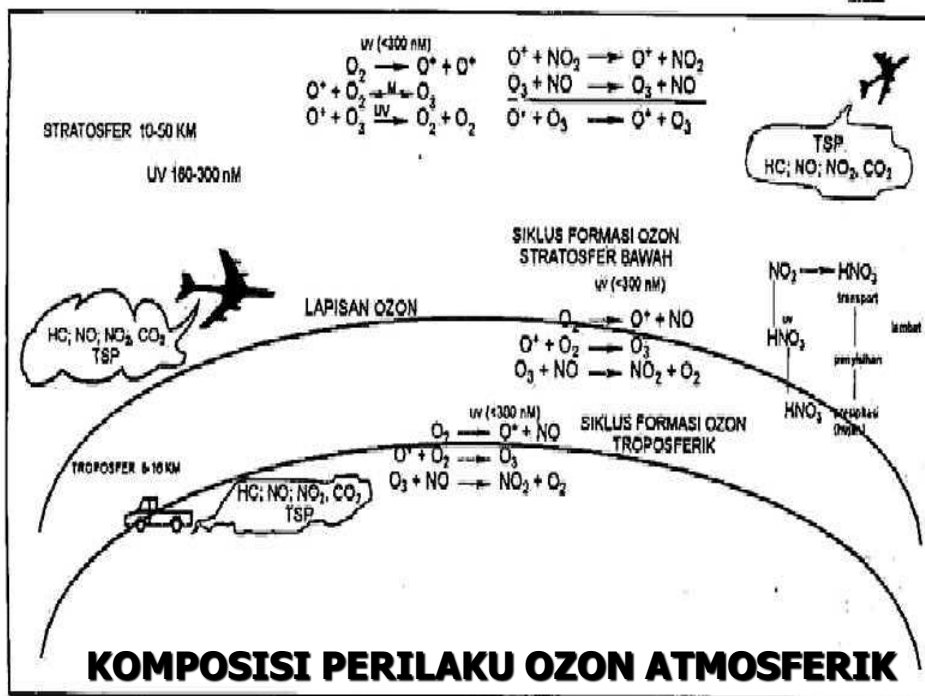
- Pagi hari pada bulan Desember [1952](#), kabut yg dingin turun di kota london, udara di permukaan bumi lebih dingin daripada udara di lapisan atasnya, sehingga terjadi lapisan inversi. Krn dingin, orang-orang membakar batubara lebih dari biasanya. Akibatnya, pencemar terperangkap akibat adanya lapisan inversi.
- Konsentrasi pencemar, asap pembakaran batubara, meningkat dengan cepat. Masalah diperburuk dengan digunakannya batubara kualitas rendah atau berkadar sulfur tinggi
- Kabut ([smog](#), kombinasi fog-kabut dan asap) sangat tebal sehingga menyetir kendaraan pun menjadi sulit.
- Krn London biasa berkabut, tdk terjadi kepanikan. Tetapi pada minggu2 berikutnya tercatat sekitar 4000 orang telah meninggal dunia akibat masalah pernafasan



## Fenomena Pencemaran Udara

### Penipisan Lapisan Ozon

- Timbul sebagai akibat penggunaan dan pengemisiaan gas-gas yang memiliki stabilitas tinggi → CFC.
- CFC baru akan bereaksi dan reaktif di lapisan stratosfer, dimana terdapat lapisan ozon yang berguna untuk melindungi bumi dari sinar gelombang pendek.
- Akan menimbulkan dampak biologis yang hebat → mutasi sel.
- Skala dampak : global dan berkaitan erat dengan efek rumah kaca.



## Fenomena Pencemaran Udara

### Penipisan Lapisan Ozon

**Apa itu Ozon?**

**O<sub>3</sub>, penyerap uv**

**Dimana Ozon berada?**

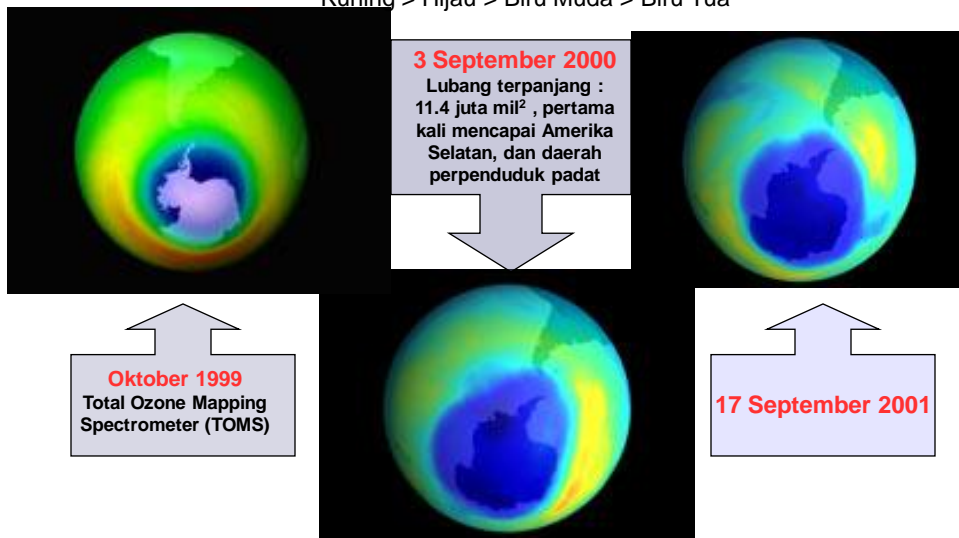


- Pd Lapisan Stratosfer: 12.9 – 19.3 km (8 -12 mil) s.d 50 km (30 mil), Paling tipis di equator  
Paling tebal di kutub
- Pd Lapisan Troposfer : berbahaya photochemical smog
- *Polar vortex*, mengisolasi udara diatas antartika dari belahan bumi lainnya
- *Polar Stratospheric Clouds*, biasanya awan tidak terbentuk di stratosfer, awan membawa pencemar dan merusak ozon

## Fenomena Pencemaran Udara

### Penipisan Lapisan Ozon

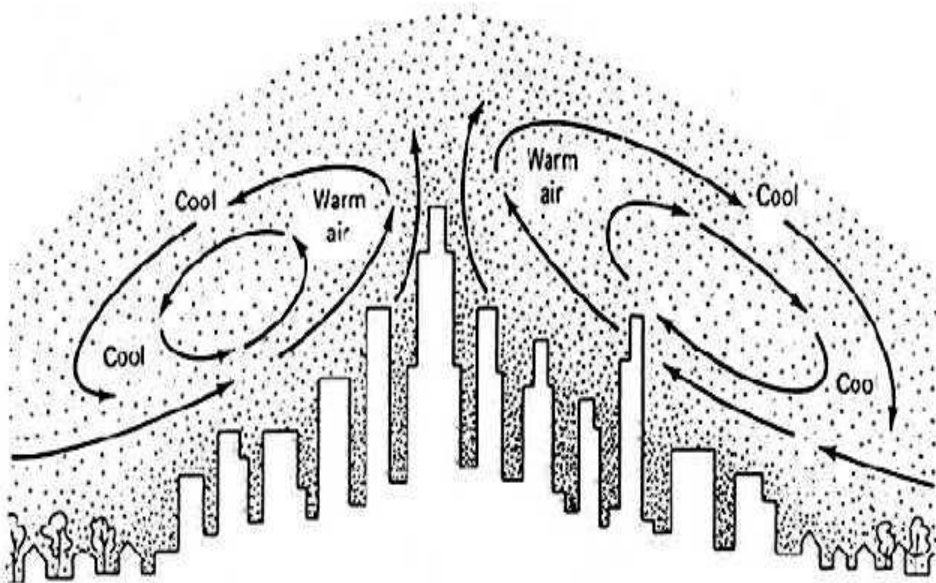
Urutan Ketebalan Ozon  
Kuning > Hijau > Biru Muda > Biru Tua



## Fenomena Pencemaran Udara

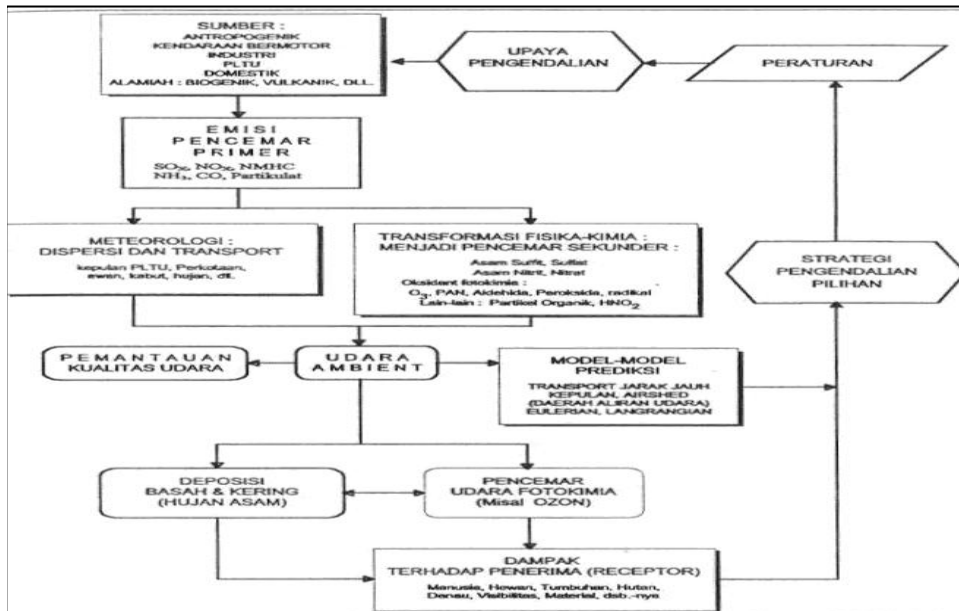
### *Urban Heat*

- Terjadi di perkotaan saja sebagai akibat sarana yang ada di perkotaan : gedung-gedung pencakar langit, jalanan beraspal, dll.
- Akibat terjadinya perubahan aliran massa udara dan angin —→ terjadi gumpalan panas dan pencemar-pencemar yang terperangkap dalam gumpalan.
- Sistem terbentuk dengan sendirinya dan hanya dapat terganggu oleh perubahan angin.
- Skala fenomena dan dampak : lokal.

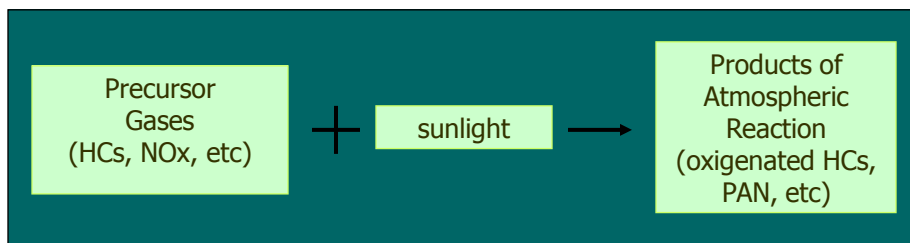


**POLA SIRLKULASI UDARA PADA SEBUAH KOTA  
YANG TERKENA EFEK URBAN HEAT ISLAND**

## Sistem Pengelolaan Pencemaran Udara



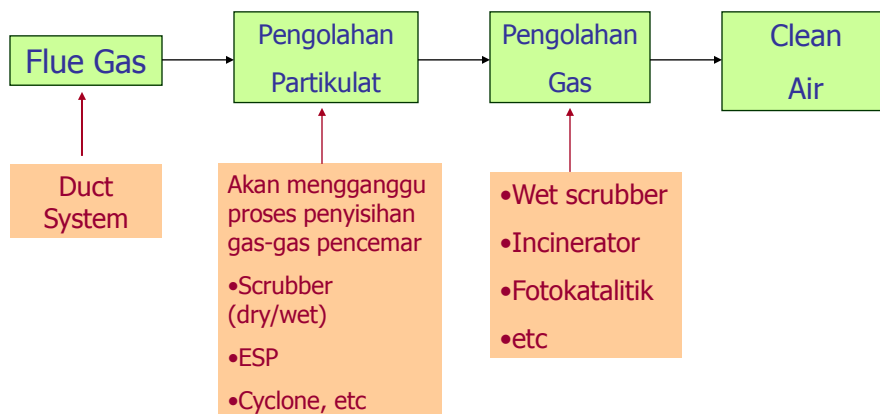
## Reaksi Atmosferik



## Pencemaran Udara

- Dampak Pencemaran Udara :
  - Pencemar utama dalam atmosfer yang berbahaya bagi materi dan kesehatan manusia adalah : Hidrokarbon, Oksida nitrogen, Karbon monoksida (CO), Oksidan Photokimia, Partikel, Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), Asbestos dan logam-logam.
- Pengendalian Pencemaran Udara :
  - Atmosfer memiliki kemampuan alami yang dikenal “*self cleansing*”.
  - Perlengkapan pengendalian pencemaran udara prinsipnya mengikuti proses penyisihan partikel dan gas pencemar di atmosfer.
  - Pendekatan dalam pengendalian pencemaran udara adalah pengenceran dan pengendalian pencemar pada sumber.

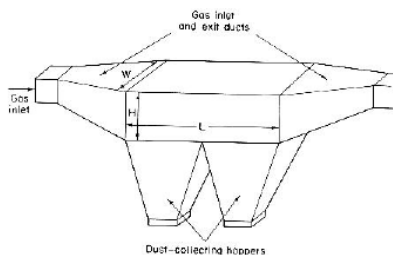
## Pengendalian Pencemaran Udara



## Alat Pengendali Pencemaran Udara

- Sistem Pengendalian Pencemaran Udara :
  - Pengendalian Partikulat/debu
  - Pengendalian fasa gas
- Setiap alat memiliki kelebihan dan kekurangan
- Pemilihan alat harus didasarkan pada :
  - Ukuran Partikel
  - Efisiensi penyisihan yang ingin dicapai
  - Besarnya aliran gas
  - Waktu pembersihan
  - Karakteristik partikel

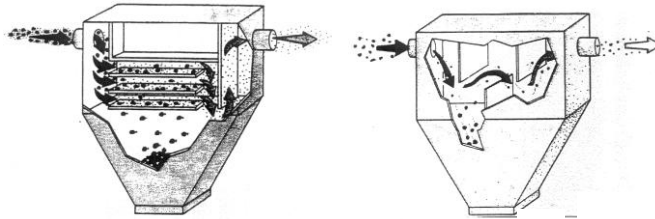
## Alat Pengendali Partikulat *Gravity Settling Chambers*



- Digunakan sebagai penangkap debu awal untuk menghilangkan (menangkap) partikel dengan ukuran besar.
- Prinsip penyisihan partikulat dalam *Gravity Settler* adalah gas yang mengandung partikulat dialirkan melalui suatu ruang (*chamber*) dengan kecepatan rendah sehingga memberikan waktu yang cukup bagi partikulat untuk mengendap secara gravitasi ke bagian pengumpul debu (*dust collecting hoppers*).



## Alat Pengendali Partikulat *Gravity Settling Chambers*



- Tergantung pada kecepatan mengendap secara gravitasi
- Untuk menyisahkan partikel ukuran besar (sangat kasar, *supercoarse*) sekitar  $\geq 75$  mikrometer
- Faktor penentu :  $V_s$ , kecepatan mengendap (*terminal settling velocity*)

## Kelebihan dan Kekurangan *Gravity Settling Chambers*

Kelebihan dari *gravity settler* adalah:

- Desain alat sederhana, mudah untuk dibuat konstruksinya
- Pemeliharaan yang mudah dan biaya pemeliharaan sangat rendah

Kekurangan dari *gravity settler* adalah:

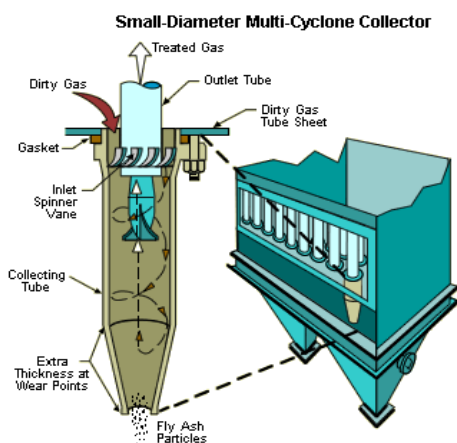
- ukurannya besar, memerlukan lahan yang luas
- harus dibersihkan secara manual dalam interval waktu tertentu
- hanya dapat menyisahkan partikel berukuran besar ( $10\text{-}50\mu\text{m}$ )

## Alat Pengendali Partikulat *Cyclone (Mechanical Collector)*

Beberapa hal penting tentang siklon

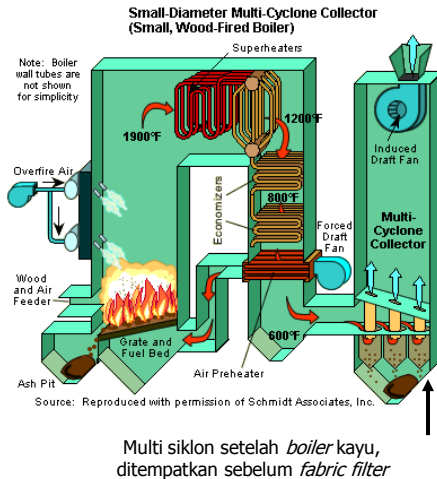
- Siklon digunakan untuk menyisahkan partikulat berukuran lebih besar dari 5 mikron, dengan efisiensi penyisihan partikulat antara 50 - 90%.
- Digunakan sebagai pengumpul awal (*pre-collector*), pelindung alat pengendali partikulat efisiensi tinggi (spt *fabric filter, electrostatic precipitator*)
- Tidak cocok digunakan bagi industri yang mengemisikan partikulat basah, krn dapat terkumpul di dinding siklon atau di inlet (*inlet spinner vanes*)

## Alat Pengendali Partikulat *Cyclone (Mechanical Collector)*



- Prinsip : Menggunakan gaya inersia partikel
- Udara mengandung partikulat "dipaksa" utk berputar seperti siklon
- Massa partikel menyebabkan partikel terlempar dari "vortex"
- Partikel besar memasuki "hopper", bagian bawah siklon, sedangkan aliran udara berputar ke atas dan keluar lewat lubang exit
- Terdapat dua jenis siklon
  - (1) Siklon diameter besar : 1 – 6 feet  
1 ft = 0.3048 m
  - (1) Siklon diameter kecil : 3 – 12 inchi  
1 inchi = 2.54 cm

## Alat Pengendali Partikulat *Cyclone (Mechanical Collector)*



Siklon diameter kecil (dibandingkan dengan siklon diameter besar):

- Putaran/*spinning* yg lebih cepat
- Partikel yg terpental dari *vortex* akan cepat menyentuh dinding siklon
- Ukuran partikel yg dpt disisihkan lebih kecil, mampu menyisihkan partikel berdiameter 5 mikron
- Tdk digunakan utk menyisihkan partikulat ukuran besar krn bisa terjadi penyumbatan atau "*clogging*"

## Kelebihan dan Kekurangan *Cyclone (Mechanical Collector)*

Kelebihan dari siklon

Capital cost yang rendah

- Dapat dioperasikan pada temperatur tinggi
- Pemeliharaan yang mudah

Kekurangan dari siklon adalah:

- Efisiensi rendah (terutama untuk partikel yang sangat kecil)
- Biaya operasi tinggi karena tingginya pressure drop

## Alat Pengendali Partikulat *Particulate Wet Scrubbers*

### Prinsip Operasi

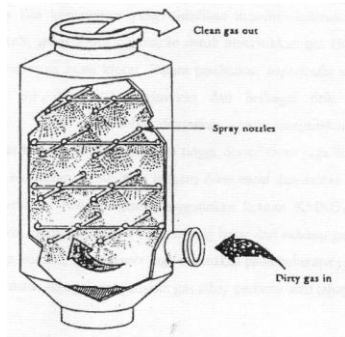
- Menggunakan gaya inersia partikulat dan *droplet* untuk mentransfer partikulat dari aliran gas ke liquid.
- Di dalam *scrubber*, partikulat dalam aliran udara dipaksa untuk berkontak dengan *liquid droplet*, *liquid packing material*, *liquid jet* dari pelat

### Mekanisme Pengumpulan

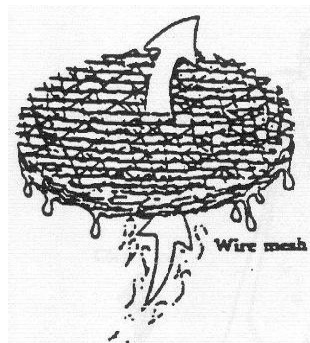
- *Inertial impaction and interception*
- Kemampuan *particulate wet scrubber* untuk menyisihkan partikulat tergantung dari :
  - Ukuran partikel
  - Kecepatan partikel
  - Kecepatan droplet

## Alat Pengendali Partikulat *Particulate Wet Scrubbers*

menggunakan tipe penyemprotan *counter current* terhadap aliran udara.



Spray Scrubber



Mist Eliminator

## Kelebihan dan Kekurangan Particulate Wet Scrubbers

### Efisiensi Pengumpulan Partikulat

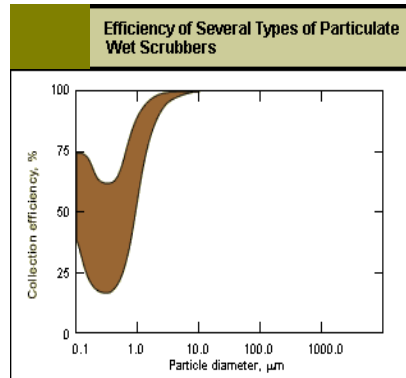
- Kemampuan terbatas untuk menyisihkan partikel kurang dari 0.3 mikron.

### Kelebihan Scrubber

- Dapat secara simultan/bersamaan menyisihkan partikulat dan gas
- Digunakan pada sumber yang mengeluarkan gas atau partikulat bersifat *explosive*
- Bentuknya kecil dan dapat digabungkan dengan unit lainnya dalam ruang terbatas

### Kekurangan Scrubber

- Menimbulkan pencemaran air

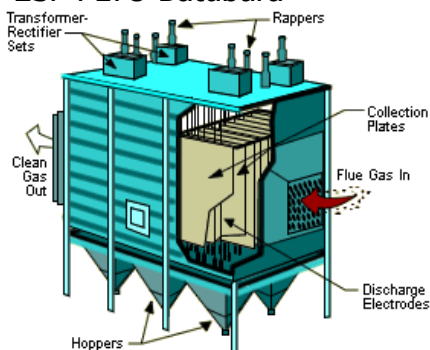


**Kania Dewi -  
Pengendalian  
Partikulat**

39

## Alat Pengendali Partikulat Electrostatic Precipitator (ESP)

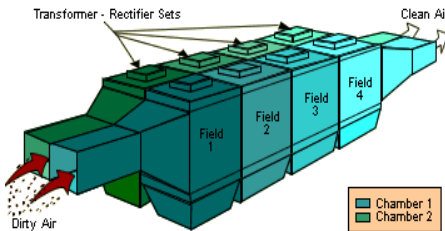
### ESP PLTU Batubara



- *Electrostatic precipitator (ESP)* menggunakan medan listrik voltase tinggi untuk memberikan muatan listrik terhadap partikulat
- Partikulat yang sudah bermuatan bergerak melewati permukaan pelat pengumpul yang bermuatan berlawanan, sehingga partikulat akan tertarik dan menempel di pelat pengumpul
- **Jenis-Jenis ESP**
  - (1) *negatively charged dry precipitators*  
Jenis ini paling sering digunakan di PLTU batubara, pabrik semen, atau *kraft pulp mills*
  - (2) *negatively charged wetted-wall precipitators*  
Jenis ini sering digunakan untuk mengumpulkan *mist* atau partikulat yang sedikit basah
  - (3) *positively charged two-stage precipitators*  
Jenis ini digunakan untuk menyisihkan *mist*

## Alat Pengendali Partikulat *Electrostatic Presipitator (ESP)*

Figure 10. Arrangements of Fields and Chambers in an ESP



### Prinsip :

- Unit terbagi dalam beberapa *field* dimana pemberian muatan terhadap partikulat akan dilakukan
- Biasanya ESP terdiri dari 3 sampai 10 *field*, disusun seri searah aliran gas
- Pada unit yang besar, EPS dibagi pada beberapa *chamber* secara paralel yang masing masing memiliki jumlah *field* yang sama

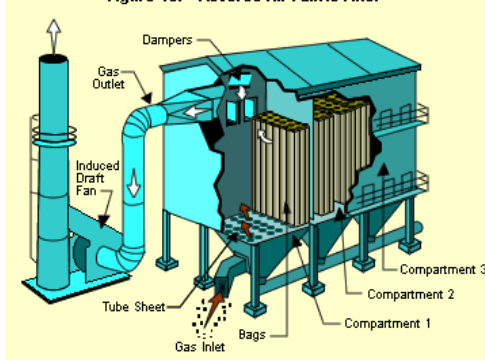
### Kekurangan dan Kelebihan ESP

- ESP memiliki efisiensi sangat tinggi krn adanya daya tarik listrik terhadap partikulat ukuran kecil
- Dapat digunakan jika aliran gas tidak *explosive* dan tidak mengandung bahan yang mudah melekat
- Karakteristik partikulat sangat penting krn mempengaruhi konduktansi elektrik dalam lapisan partikulat yang terkumpul di pelat pengumpul

**Resistivity.** Ukuran kemampuan partikulat untuk menghantarkan listrik (ohm-cm). Jika *resistivity* naik, kemampuan partikulat untuk menghantarkan listrik menurun. Kisaran *resistivity* yang memungkinkan ESP bekerja baik ( $10^8$  to  $10^{10}$  ohms-cm).

## Alat Pengendali Partikulat *Fabric Filters* *Reverse-air-type fabric filter*

Figure 13. Reverse Air Fabric Filter



### Prinsip Operasi :

- Fabric filters* mengumpulkan partikulat di permukaan *filter bags*.
- Partikulat tertangkap akibat gaya *inertial impaction*, *interception*, *Brownian diffusion*, and *sieving* atau penyaringan.

### Contoh *Fabric Filters*

- Reverse-air-type fabric filter*

Digunakan di industri besar, partikulat dalam aliran gas memasuki *bag filter* dari bawah. *Dust cake* akan terakumulasi pada bagian permukaan *bag filter*, gas yang sudah tersaring keluar lewat *gas outlet*.

Jika diperlukan pembersihan *bag filter*, gas yang sudah tersaring dapat dialirkan dengan arah berlawanan agar dapat melepaskan *dust cake* yang menempel di *bag filter*.

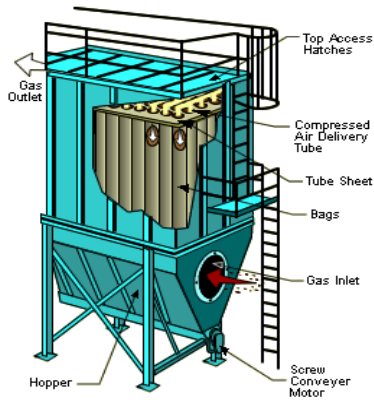
Gas yang digunakan untuk membersihkan *bag filter*, kembali disaring sebelum dilepaskan ke udara

## Alat Pengendali Partikulat

### *Fabric Filters*

### *Pulse Jet Fabric Filter*

Figure 14. Pulse Jet Fabric Filter



#### *Pulse jet fabric filter*

- Kantung-kantung filter ditopang oleh kawat logam
- Aliran gas yg mengandung partikulat mengalir mengitari bagian luar dari kantung, dan *dust cake* berakumulasi pada bagian permukaan luar
- Jika dibutuhkan pembersihan, udara bertekanan diinjeksikan pada bagian atas tiap kantung.
- Udara terkompresi menghasilkan tekanan yg mendorong tiap kantung ke bawah sehingga *dust cake* terlepas

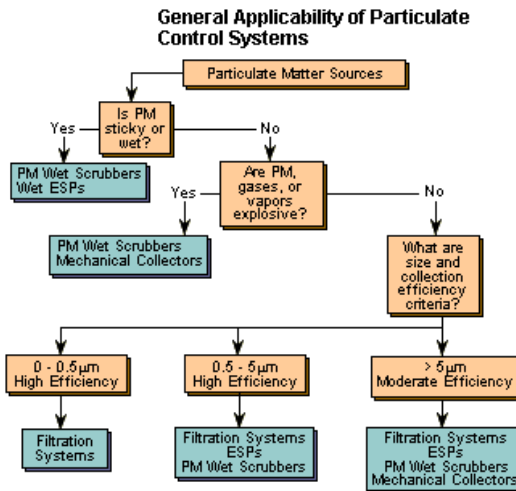
## Kelebihan dan Kekurangan

### *Fabric Filters*

- Diaplikasikan untuk penyisihan partikulat dengan efisiensi tinggi (99% - 99.5%)
- Dapat menyisihkan partikulat segala jenis ukuran
- Kinerja *fabric filters* biasanya tidak tergantung komposisi kimia partikulat, tetapi fabric filter tidak digunakan untuk gas yang mengandung senyawa korosif yang bisa merusak filter bag
- Tidak digunakan untuk partikulat yang basah atau lengket karena akan terakumulasi di permukaan filter dan menghambat pergerakan gas
- *Fabric filters* harus didesain dengan hati-hati jika terdapat partikulat yang mudah terbakar atau mudah meledak



## Pemilihan Alat Pengendali Partikulat



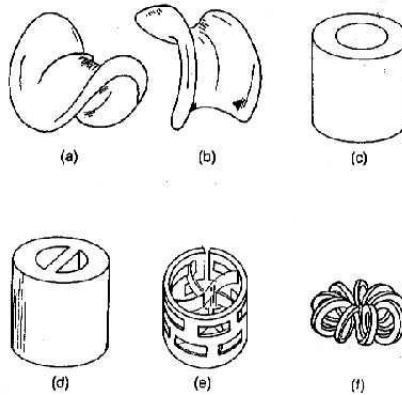
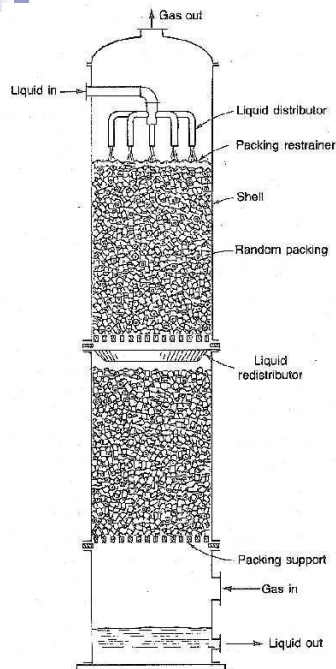
## Alat Pengendali Gas *Absorpsi*

- Mekanisme dimana satu atau lebih zat pencemar dalam aliran gas di eliminasi dengan cara melarutkannya dalam liquid (air)
- Gas yang dapat dieliminasi dengan proses absorpsi:
  - SO<sub>2</sub> ■ H<sub>2</sub>S
  - Cl<sub>2</sub> ■ NH<sub>3</sub> ■ NO<sub>x</sub>
  - Senyawa hidrokarbon dengan C-rendah
- Alat pengendali proses absorpsi disebut "**Scrubber**"
- Transfer Massa dari fasa gas ke fasa cair yang dikendalikan oleh:
  - Gas Film
  - Liquid Film
- Jenis Absorber
  - Packed Tower
  - Plate Tower
  - Spray Tower
  - Liquid Jet Scrubber



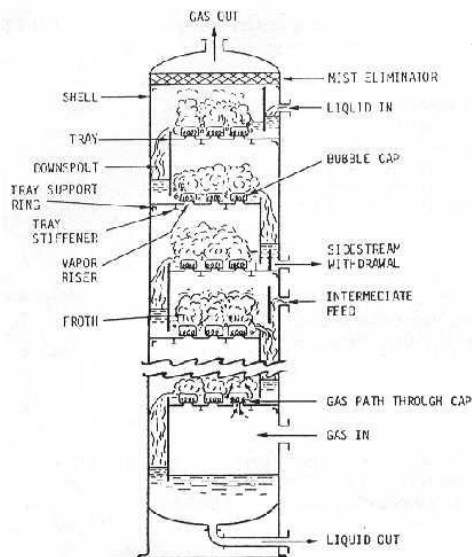
## Alat Pengendali Gas Absorpsi

### *Packed Tower dan Packed Material*



## Alat Pengendali Gas Absorpsi

### *Plate Tower*

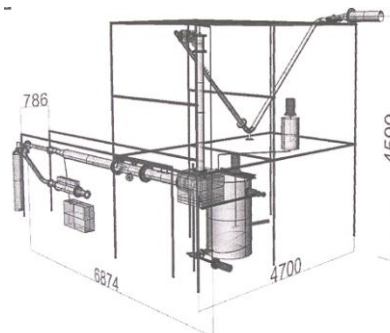


## Kelebihan dan Kekurangan *Packed dan Plate Tower*

- Kelebihan
  - Kehilangan tekanan rendah
  - Dapat digunakan fiberglass/plastik
  - Efisiensi relatif tinggi
  - Biaya investasi relatif murah
  - Tidak membutuhkan space yang luas
  - Mampu menyisahkan gas dan partikulat
- Kekurangan
  - Menimbulkan masalah pencemaran air
  - Menghasilkan produk basah
  - Debu yang mengendap dapat menyumbat kolom atau plate
  - Biaya perawatan relatif tinggi

## Alat Pengendali Gas *Spray Scrubber*

Counter Current Spray Column, WFGD Pilot Plant



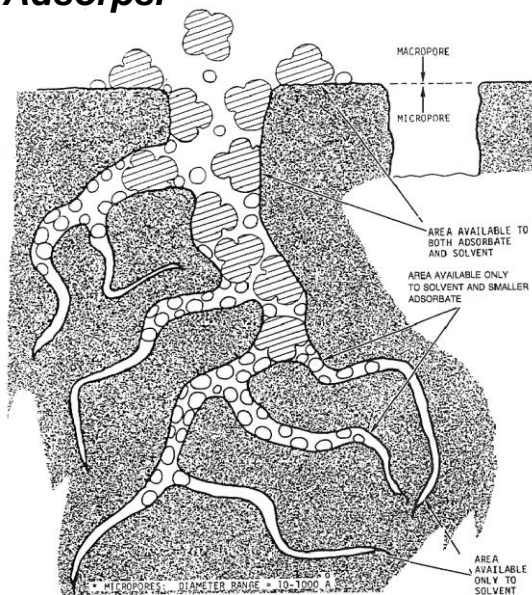
$\text{SO}_{2(g)}$  input : 1000, 2000, 3500, 7000 ppm  
 $\text{pH}_{\text{top}}$ : 5.5 and 6, L/G ratio : 6,10, 13, 16  
Flowrate : 100, 130, 160  $\text{m}^3/\text{h}$ , Temp: 55°C

$\text{SO}_{2(g)}$  output  
 $\text{pH}_{\text{bottom}}$

## Alat Pengendali Gas *Adsorpsi*

- Proses dimana gas atau uap pencemar tertahan pada permukaan padat
- Adsorbent:  
Permukaan padat yang mampu menarik molekul gas pencemar
- Adsorbate:  
Molekul gas pencemar yang tertahan pada permukaan padat
- Adsorber:  
Alat pengendalian dengan prinsip adsorpsi

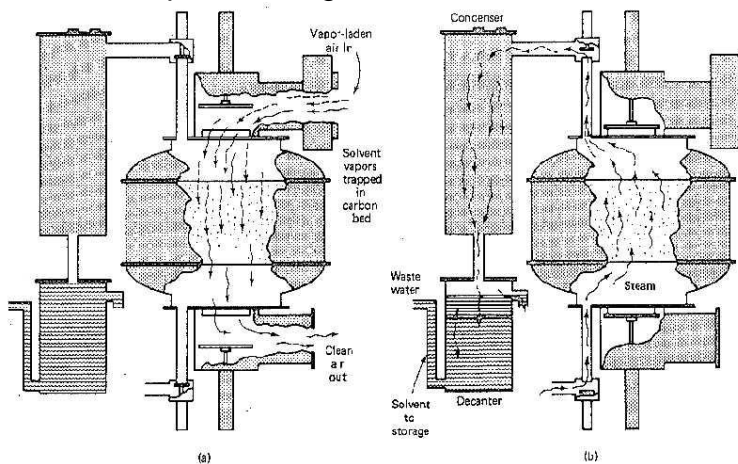
## Alat Pengendali Gas *Adsorpsi*



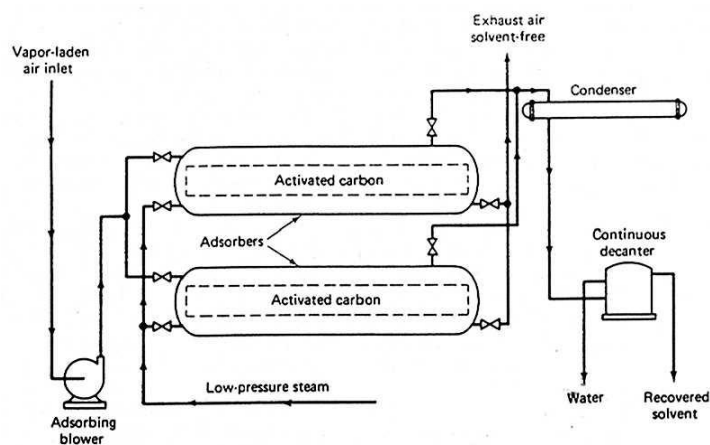
Lubang Pori Pada  
Permukaan Adsorber

## Alat Pengendali Gas Adsorpsi

### Sistem Adsorpsi dan Regenerasi *Fixed Bed Adsorber*



## Alat Pengendali Gas Adsorpsi





## **Kelebihan dan Kekurangan *Adsorber***

- Kelebihan
  - Produk dapat di-*recovery*
  - Sistemnya berjalan secara otomatis
  - Mampu menyisihkan zat pencemar konsentrasi rendah (sangat rendah)
- Kekurangan
  - Untuk me-*recovery* produk perlu proses
  - Kerusakan adsorbent
  - Perlu uap panas (steam) untuk regenerasi
  - Biaya investasi cukup tinggi
  - Perlu filter agar partikulat tidak menyumbat



## **Alat Pengendali Gas *Kondensasi***

- Proses penyisihan gas pencemar dengan cara merubah fasa dari fasa gas ke fasa cair/liquid
- Metode:
  - ☐ Penurunan Temperatur
  - ☐ Menaikkan Tekanan
  - ☐ Kombinasi Keduanya
- Jenis Kondensor
  - ☐ Kondensor Kontak Langsung
  - ☐ Kondensor Permukaan

## Alat Pengendali Gas Kondensasi

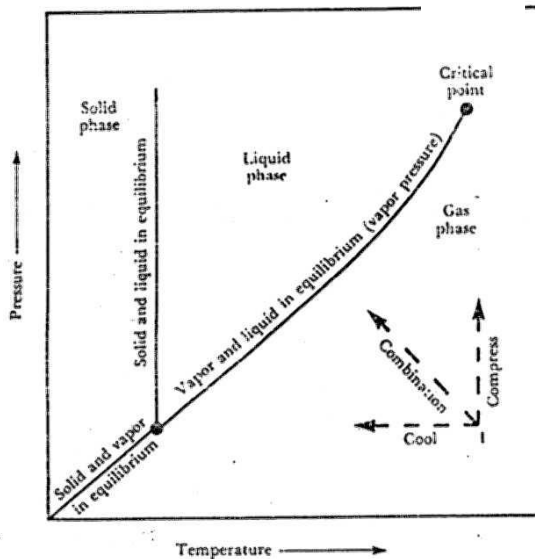
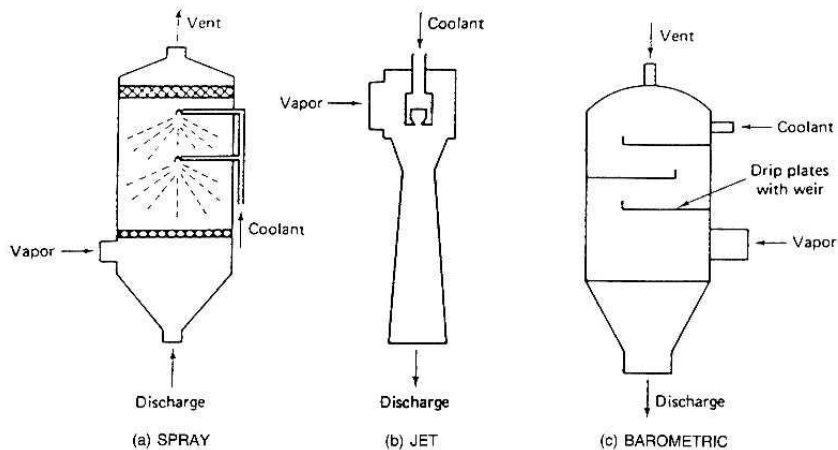


Diagram Fasa

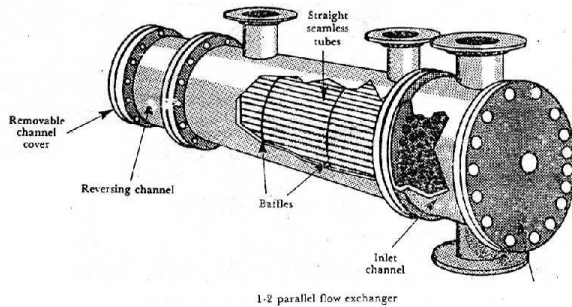
## Alat Pengendali Gas Kondensasi

### Kondensor Kontak Langsung

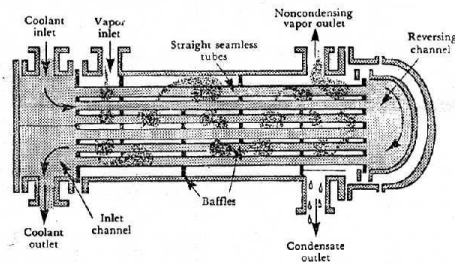




## Alat Pengendali Gas *Kondensasi*



Kondensor  
Permukaan



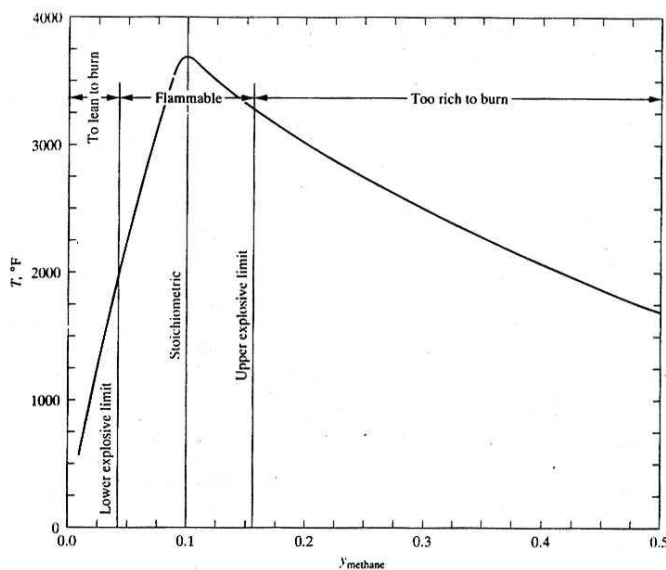
## Kelebihan dan Kekurangan *Kondensor*

- Keunggulan
  - kondensor permukaan menghasilkan senyawa yang murni
  - Pendingin yang digunakan di daur ulang
- Kelemahan
  - Efisiensi relatif rendah

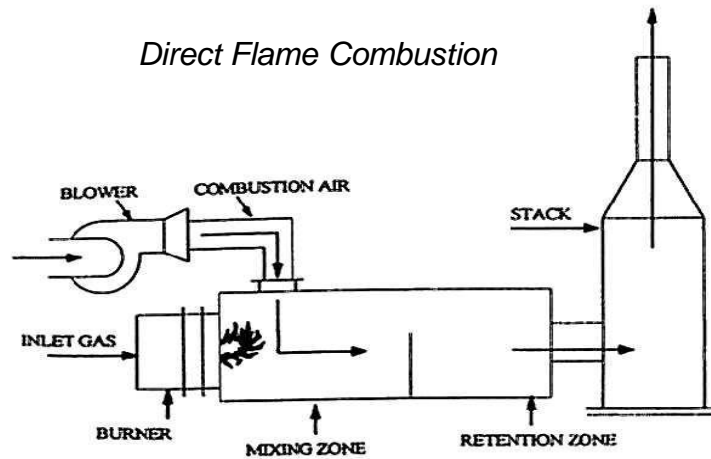
## Alat Pengendali Gas Combustion

- Reaksi oksidasi gas polutan organik atau anorganik secara cepat dan dalam kondisi panas menghasilkan  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- Reaksi Pembakaran  
 $\text{Fuel} + \text{oxidizer} + \text{ignition} \longrightarrow \text{hasil pembakaran}$
- Faktor yang berpengaruh:
  - Oksigen (*air-fuel ratio*)
  - Temperature
  - Turbulensi
  - Time } "The Three T"

## Alat Pengendali Gas Combustion



## Alat Pengendali Gas *Combustion*



63

Kania Dewi -  
Pengendalian Gas

## Kelebihan dan Kekurangan *Combustion*

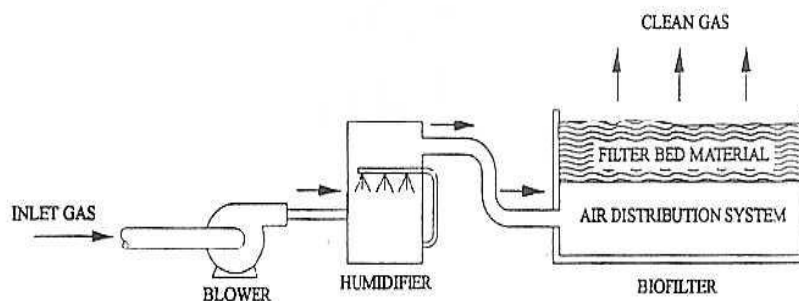
- Kelebihan
  - Operasinya sederhana
  - Daur ulang panas hasil pembakaran
  - Efisiensi penghancuran senyawa organik tinggi
- Kekurangan
  - Biaya operasi relatif mahal
  - Bahaya ledakan
  - Katalis dapat teracuni
  - Pembakaran tidak sempurna
  - Menghasilkan pencemaran yang lebih buruk

## Kelebihan dan Kekurangan *Biofiltrasi*

- Proses penyisihan gas pencemar dengan memanfaatkan aktifitas mikroorganisme
- Penggunaan  
Untuk menghilangkan bau

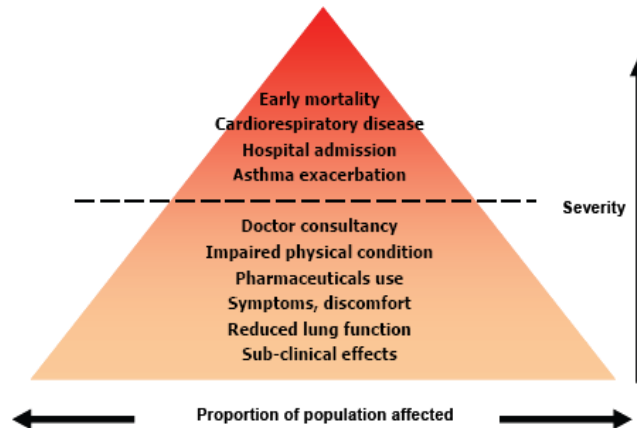
## Kelebihan dan Kekurangan *Biofiltrasi*

Skema Biofilter



## Dampak Pencemaran Udara

*Hirarki pengaruh pencemaran udara terhadap kesehatan.*



## Dampak Pencemaran Udara

*Dampak Gas dalam Sistem Pernapasan*

### DEPOSITION OF POLLUTANTS IN RESPIRATORY TRACT

Water Solubility	Initial Level of Impact	Compounds
High	Eyes Nose Pharynx Larynx	Aldehydes Ammonia Chlorine Sulfur dioxide
Medium	Trachea Bronchi	Ozone
Low	Bronchioles Alveoli	Nitrogen dioxide Phosgene

Bagian pernafasan  
atas, tengah, dan bawah

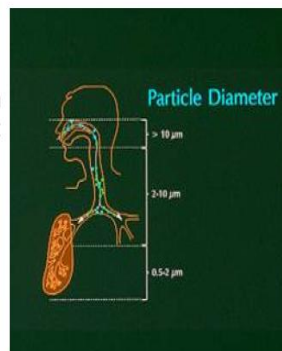
- Karakteristik penentu: kelarutan dalam air
- $\text{SO}_2$ , kelarutannya tinggi di dalam air, berpengaruh terhadap sistem pernafasan bagian atas
- Ozon, kelarutannya sedang di dalam air, berpengaruh pada sistem pernafasan bagian tengah
- $\text{NO}_x$  kelarutannya rendah di dalam air, berpengaruh pada sistem pernafasan bagian bawah

## Dampak Pencemaran Udara

### *Dampak Partikulat dalam Sistem Pernapasan*

#### SIZE MATTERS

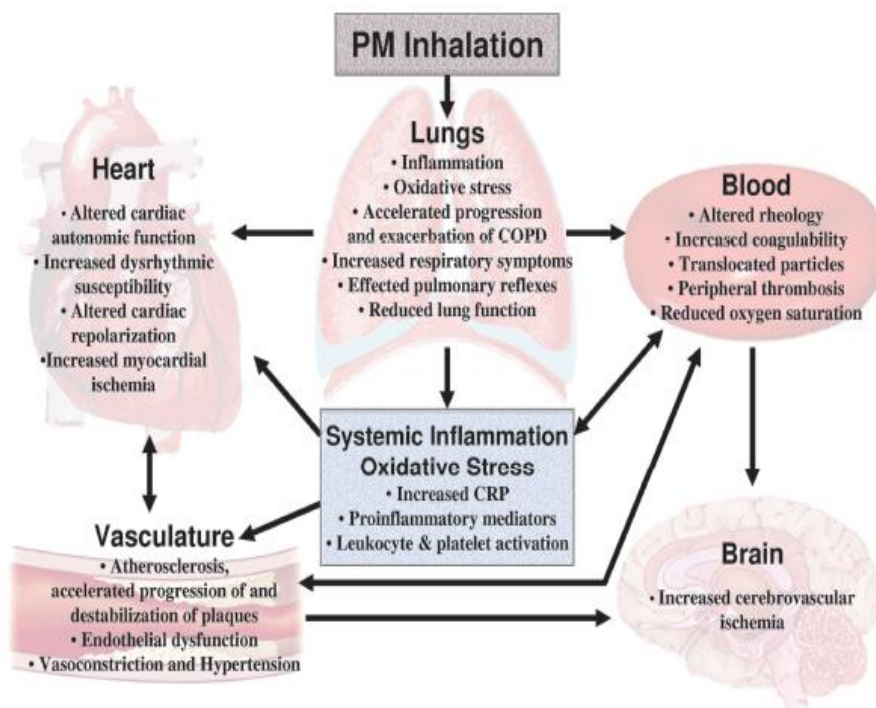
- ❖ Coarse particles (2.5–10 micrometres) deposited in the upper respiratory tract and large airways
- ❖ Fine particles (< 2.5 micrometres) may reach terminal bronchioles and alveoli



- Karakteristik penentu: ukuran partikel
- Partikel berukuran lebih besar dari 10 µm tertahan pada sistem pernafasan bagian atas
- Partikel berukuran lebih kecil dari 2 µm dapat mencapai alveoli

Dampak  
Pencemaran.Kania  
Dewi

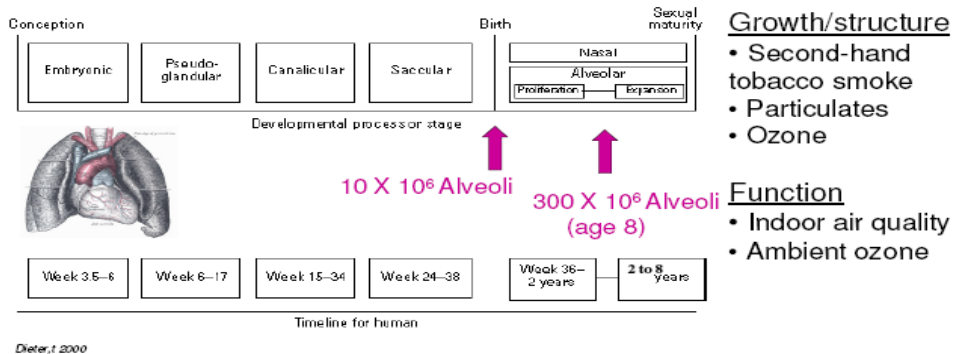
69



# Pengaruh Pencemar thd Pertumbuhan Sistem Pernafasan

- Fase perkembangan sistem pernafasan sesuai dengan pertambahan usia
- Pada waktu lahir: bayi memiliki sekitar 10 juta alveoli,
- Pada umur 8 tahun paru2 telah tumbuh dan memiliki 300 juta alveoli.
- Pemaparan pd periode ini berpengaruh thd pertumbuhan dan fungsi paru2

## RESPIRATORY DEVELOPMENT: CONTINUES THROUGH LINEAR GROWTH



## Dampak Pencemaran Udara Dampak terhadap bayi dan anak-anak



Bayi dan anak2 lebih rentan karena (WHO, 2005):

- Memiliki laju metabolisme dan laju konsumsi oksigen yang lebih tinggi per berat badan dibandingkan orang dewasa karena memiliki luas permukaan tubuh per berat badan yang lebih besar dan dalam kondisi tumbuh kembang yang cepat.
- Menghirup lebih banyak pencemar per kilogram berat badan dibandingkan orang dewasa
- Memiliki sistem pernafasan yang lebih kecil/sempit, sehingga lebih mudah terjadi iritasi



## Dampak Pencemaran Udara

### Dampak CO terhadap Reseptor

#### CO: THE "SILENT KILLER"

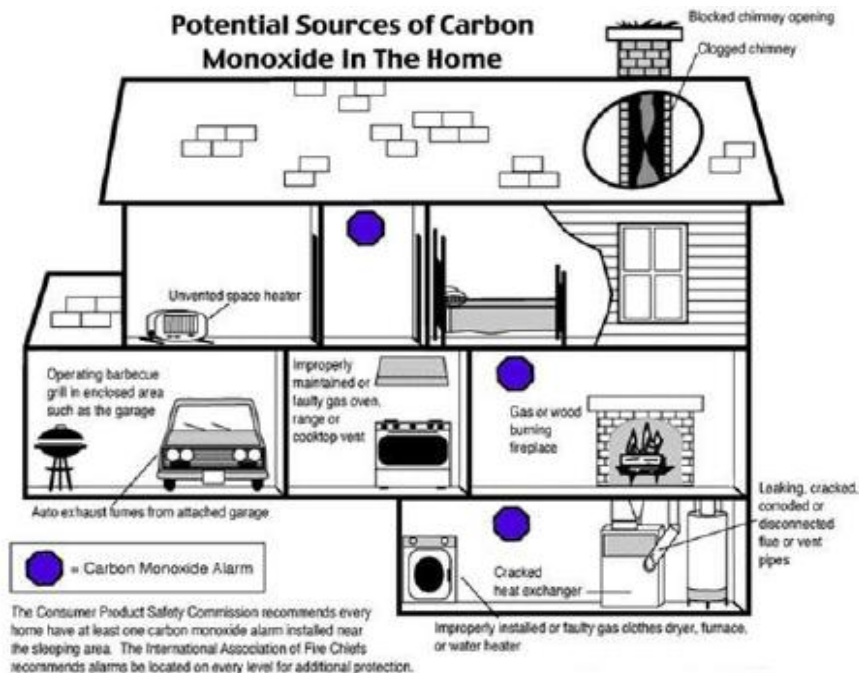
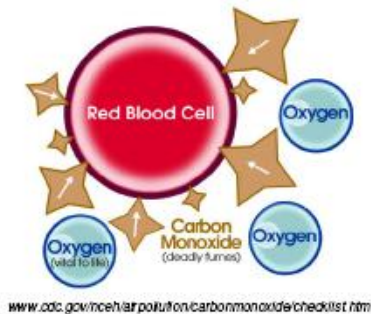
Sumber umum : pembakaran tdk sempurna (gas, batubara, kayu), water heater, knalpot, asap rokok

Ciri-ciri

- Tidak berwarna, tdk berbau, terbentuk akibat pembakaran tdk sempurna bahan bakar fosil
- Afinitas CO thd Haemoglobin (Hb): 240–270 lebih besar drp tdk  $O_2$

Pemaparan berdasarkan konsentrasi:

- rendah : fatigue dan sakit dada
- tinggi : sakit kepala, pusing, dan kesehatan yg melemah, tdk bisa tidur, muntah2, bingung, dan kehilangan orientasi
- sangat tinggi: pingsan atau meninggal (>750 ppm)



## **Dampak Pencemaran Udara**

### **Dampak CO terhadap Reseptor**

Konsentrasi CO (ppm)	Pemaparan	Dampak
50	6 minggu	Perubahan struktur pda jantung dan otak binatang
50	8 sampai 12 jam	Gangguan pada gerakan motorik

Konsentrasi COHb (%)	Dampak
<1	Belum terlihat
1-2	Perubahan sikap/perilaku
2-5	Dampak thd sistem syaraf pusat.
>5	Perubahan fungsi paru-paru
10-80	Sakit kepala, lelah, koma, gagal nafas, kematian

## **Dampak Pencemaran Udara**

### **Dampak Oksida sulfur terhadap Reseptor**

- Menimbulkan dampak yang berarti apabila disertai partikulat
- Pernafasan —→ “bronchoconstriction”
- Kerusakan sel tumbuhan : daun menjadi lebih pucat dan berwarna gading

## Dampak Pencemaran Udara

### Dampak Oksida sulfur terhadap Reseptor

- Menimbulkan dampak yang berarti apabila disertai partikulat
- Pernafasan —→ "bronchoconstriction"
- Kerusakan sel tumbuhan : daun menjadi lebih pucat dan berwarna gading

Konsentrasi SO <sub>2</sub> (ppm)	Pemaparan	Dampak
0.037-0.092	Setahun (rata2)	Bersama dgn asap berkonsentrasi 185 µ/m <sup>3</sup> , meningkatnya frekuensi terjadinya penyakit pernafasan dan paru-paru
0.11-0.19	24 jam (rata2)	Bersama dgn partikulat konsentrasi rendah, peningkatan orang tua masuk rumah sakit akibat penyakit pernafasan Meningkatnya laju korosi logam
0.19	24 jam (rata2)	Bersama dgn partikulat konsentrasi rendah, meningkatnya kematian
0.25 ppm	24 jam (rata2)	Bersama dgn asap berkonsentrasi 750 µg/m <sup>3</sup> , meningkatnya laju kematian; peningkatan tajam laju timbulnya penyakit
0.3	8 jam	Kerusakan daun
0.52	24 jam (rata2)	Bersama dgn partikulat, meningkatnya kematian

## Dampak Pencemaran Udara

### Dampak O<sub>3</sub> thd Reseptor

Konsentrasi O <sub>3</sub>		Pemaparan	Dampak
ppm	µg/m <sup>3</sup>		
0.02	40	1 jam	Karet patah atau meregang
0.03	60	8 jam	Kerusakan tanaman
0.1	200	1 hari	Pernafasan terganggu
0.3	590	Jam kerja yg terus menerus	Iritasi hidung, tenggorokan, sesak nafas
2.0	3900	2 jam	Batuk berat dan sulit berkonsentrasi

## Dampak Pencemaran Udara

### Dampak Oksidan Fotokimia thd Reseptor

Konsentrasi		Pemaparan	Dampak
ppm	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		
0.05	100	4 jam	Kerusakan vegetasi
0.10	200		
0.13	250	Harian maksimum	Penyakit pernafasan
0.03		1 jam	Gangguan penampilan pd atlet

## Dampak Pencemaran Udara

### Dampak Hidrokarbon (HC) terhadap Reseptor

- Reaksi di atmosfer:  $\text{HC} + \text{NO}_x + \text{sinar matahari} \rightarrow \text{smog fotokimia}$
- Hidrokarbon bersama dengan oksida nitrogen dan sinar matahari membentuk oksidan fotokimia yg merupakan komponen utama smog fotokimia (smog fotokimia berdampak negatif pada kesehatan manusia dan tanaman)
- Belum terbukti menimbulkan efek langsung terhadap reseptor
- Etilen dpt menghambat pertumbuhan tanaman
- Aromatik hidrokarbon bersifat karsinogenik

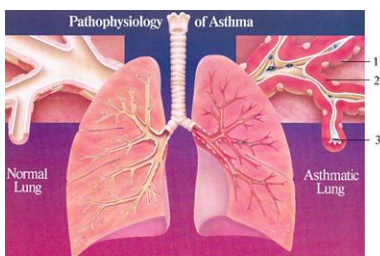
## Dampak Pencemaran Udara

### Dampak NO<sub>x</sub> terhadap Reseptor

NO <sub>x</sub> (ppm)	Dampak
0.01 ppm	Meningkatkan bronchitis pd anak usia 2-3 tahun
0.25	Mengurangi jarak pandang
0.25-1	Mengurangi produksi tanaman jeruk
0.5 ppm (pemaparan 10-12 hari)	Menghambat pertumbuhan tanaman seperti kacang2an dan tomat

## Dampak Pencemaran Udara

### Asthma



Paru-paru normal



Paru-paru asthma



## **Dampak Pencemaran Udara**

### **Kanker Paru-paru**



## **Dampak Pencemaran Udara**

### **Kanker Kulit**

- Caused by excessive exposure to UV-B rays
- A 1% decrease in the ozone layer leads to a 2% increase in skin cancer

