

BAB II

DASAR TEORI

2.1 DEFINISI PENCEMARAN UDARA

Pada intinya pengertian pencemaran udara adalah masuknya, atau tercampurnya, unsur-unsur berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan lingkungan, gangguan pada kesehatan manusia serta secara umum menurunkan kualitas udara di lingkungan. Polusi udara sendiri dapat terjadi di dalam dan di luar ruangan (*indoor* dan *outdoor*). Sumber polusi udara dapat berasal dari alam dan aktivitas manusia. Sumber polutan alam meliputi aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, badai debu dan radiasi zat radioaktif dari alam seperti radon. Sumber polutan yang berasal dari aktivitas manusia yaitu dari kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil pada tempat tak bergerak (*fuel combustion in stationary sources*), pembuangan sampah padat, proses industri dan lain-lain. Ada pula yang berasal dari aktivitas manusia dalam ruangan seperti merokok, penggunaan kompor, mesin pengganda kertas, dan lain-lain.

Semakin sedikitnya lahan hijau juga menyebabkan buruknya kualitas udara yang ada pada lingkungan tersebut. Ditambah lagi dengan semakin banyaknya kendaraan bermotor dan industri-industri yang mengeluarkan polusi yang dapat mencemari lingkungan. Polusi dari asap rokok juga mempunyai andil yang besar dalam pencemaran udara di dalam ruangan. Untuk itu diperlukan peran serta pemerintah, pengusaha dan masyarakat untuk dapat menyelesaikan permasalahan pencemaran udara yang terjadi.

2.2 ZAT-ZAT PENCEMAR UDARA

2.2.1 Emisi Karbon Monoksida (CO)

Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi karbon monoksida di berbagai perkotaan. Data mengungkapkan bahwa 60% pencemaran udara di Jakarta disebabkan karena benda bergerak atau transportasi umum yang berbahan bakar solar. Karbon monoksida (CO) dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna dari senyawa karbon, sering terjadi pada mesin

pembakaran dalam. Gas ini tidak berwarna tidak berbau dan tidak berasa. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran. Formasi CO merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin. Percampuran yang baik antara udara dan bahan bakar dapat meminimalkan emisi CO. Karbon monoksida apabila bercampur dengan hemoglobin dalam darah dapat mengurangi aliran oksigen ke seluruh bagian tubuh, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada otak dan juga dapat menyebabkan kerusakan serius pada jantung.

2.2.2 Nitrogen Oksida (NO_x)

Secara teoritis ada 3 teori yang mengemukakan terbentuknya NO_x, yaitu:

1. Thermal NO_x (Extended Zeldovich Mechanism)

Proses ini disebabkan gas nitrogen yang beroksidasi pada suhu tinggi pada ruang bakar (>1800K). Thermal NO_x ini didominasi oleh emisi NO (NO_x =NO+ NO₂).

2. Prompt NO_x

Formasi NO_x ini akan terbentuk cepat pada zona pembakaran.

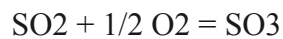
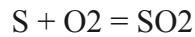
3. Fuel NO_x

NO_x formasi ini terbentuk karena kandungan N dalam bahan bakar.

Kira-kira 90% dari emisi NO_x adalah disebabkan proses thermal NO_x, dan tercatat bahwa dengan penggunaan HFO (Heavy Fuel Oil), bahan bakar yang biasa digunakan di kapal, menyumbangkan emisi NO_x sebesar 20-30%. Nitrogen oksida yang ada di udara yang dihirup oleh manusia dapat menyebabkan kerusakan paru-paru. Setelah bereaksi dengan atmosfer zat ini membentuk partikel-partikel nitrat yang amat halus yang dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Selain itu zat oksida ini jika bereaksi dengan asap bensin yang tidak terbakar dengan sempurna dan zat hidrokarbon lain akan membentuk ozon rendah atau smog kabut berwarna coklat kemerahan yang menyelimuti sebagian besar kota di dunia.

2.2.3 SO_x (Sulfur Oxide : SO₂, SO₃)

Emisi SO_x terbentuk dari fungsi kandungan sulfur dalam bahan bakar, selain itu kandungan sulfur dalam pelumas, juga menjadi penyebab terbentuknya SO_x emisi. Struktur sulfur terbentuk pada ikatan aromatic dan alkyl. Dalam proses pembakaran sulfur dioxide dan sulfur trioxide terbentuk dari reaksi:



Kandungan SO₃ dalam SO_x sangat kecil sekali yaitu sekitar 1-5%. Gas yang berbau tajam tapi tidak berwarna ini dapat menimbulkan serangan asma, gas ini pun jika bereaksi di atmosfer akan membentuk zat asam. Badan WHO PBB menyatakan bahwa pada tahun 1987 jumlah sulfur dioksida di udara telah mencapai ambang batas yang ditetapkan oleh WHO.

2.2.4 Emisi HydroCarbon (HC)

Pada mesin, emisi Hidrokarbon (HC) terbentuk dari bermacam-macam sumber. Tidak terbakarnya bahan bakar secara sempurna, tidak terbakarnya minyak pelumas silinder adalah salah satu penyebab munculnya emisi HC. Emisi HC pada bahan bakar HFO yang biasa digunakan pada mesin-mesin diesel besar akan lebih sedikit jika dibandingkan dengan mesin diesel yang berbahan bakar Diesel Oil (DO). Emisi HC ini berbentuk gas metan (CH₄). Jenis emisi ini dapat menyebabkan leukemia dan kanker.

2.2.5 Partikulat Matter (PM)

Partikel debu dalam emisi gas buang terdiri dari bermacam-macam komponen. Bukan hanya berbentuk padatan tapi juga berbentuk cairan yang mengendap dalam partikel debu. Pada proses pembakaran debu terbentuk dari pemecahan unsur hidrokarbon dan proses oksidasi setelahnya. Dalam debu tersebut terkandung debu sendiri dan beberapa kandungan metal oksida. Dalam proses ekspansi selanjutnya di atmosfer,

kandungan metal dan debu tersebut membentuk partikulat. Beberapa unsur kandungan partikulat adalah karbon, SOF (Soluble Organic Fraction), debu, SO₄, dan H₂O. Sebagian benda partikulat keluar dari cerobong pabrik sebagai asap hitam tebal, tetapi yang paling berbahaya adalah butiran-butiran halus sehingga dapat menembus bagian terdalam paru-paru. Diketahui juga bahwa di beberapa kota besar di dunia perubahan menjadi partikel sulfat di atmosfer banyak disebabkan karena proses oksida oleh molekul sulfur.

2.2.6 Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida adalah gas atmosferik yang terdiri dari dua atom oksigen dan satu atom karbon. Karbon dioksida adalah bagian dari atmosfer bumi, merupakan gas yang kita keluarkan pada saat bernafas dan digunakan oleh tanaman untuk fotosintesis. Namun sumber utama peningkatan konsentrasi gas CO₂ ini adalah dari penggunaan bahan bakar fosil. Masalah utama dari peningkatan konsentrasi CO₂ adalah perubahan iklim. Gas ini menyebabkan efek rumah kaca yang menyebabkan suhu bumi menjadi meningkat.

2.2.7 Ozone (O₃)

Ozon termasuk kedalam pencemar sekunder yang terbentuk di atmosfer dari reaksi fotokimia NO_x dan HC. Ozon bersifat oksidator kuat, karena itu pencemaran oleh ozon troposferik dapat menyebabkan dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia. Emisi gas buang berupa NO_x adalah senyawa-senyawa pemicu pembentukan ozon. kombinasi NO_x-O₃ dapat menyebabkan penurunan fungsi paru-paru. Selain menyebabkan dampak yang merugikan pada kesehatan manusia, pencemar ozon dapat menyebabkan kerugian ekonomi akibat ausnya bahan atau material (tekstil, karet, kayu, logam, cat, dlsb), penurunan hasil pertanian dan kerusakan ekosistem seperti berkurangnya keanekaragaman hayati.

2.2.8 Timbal (Pb)

Timbal adalah logam yang sangat toksik dan menyebabkan berbagai dampak kesehatan terutama pada anak-anak kecil. Timbal dapat menyebabkan kerusakan sistem syaraf dan masalah pencernaan, sedangkan berbagai bahan kimia yang mengandung timbale dapat menyebabkan kanker.

2.3 EFEK NEGATIF PENCEMARAN UDARA

Tabel 2.1 menjelaskan tentang pengaruh pencemaran udara terhadap makhluk hidup. Rentang nilai menunjukkan batasan kategori daerah sesuai tingkat kesehatan untuk dihuni oleh manusia. Karbon monoksida, nitrogen, ozon, sulfur dioksida dan partikulat matter adalah beberapa parameter polusi udara yang dominan dihasilkan oleh sumber pencemar.

Tabel 2.1. Pengaruh Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Kategori	Rentang	Karbon monoksida (CO)	Nitrogen (NO ₂)	Ozon (O ₃)	Sulfur dioksida (SO ₂)	Partikulat
Baik	0-50	Tidak ada efek	Sedikit berbau	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan SO ₂ (Selama 4 Jam)	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan akibat kombinasi dengan O ₃ (Selama 4 Jam)	Tidak ada efek
Sedang	51 - 100	Perubahan kimia darah tapi tidak terdeteksi	Berbau	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan	Luka pada Beberapa spesies tumbuhan	Terjadi penurunan pada jarak pandang
Tidak Sehat	101 - 199	Peningkatan pada kardiovaskular pada perokok yang sakit jantung	Bau dan kehilangan warna. Peningkatan reaktivitas pembuluh tenggorokan pada penderita asma	Penurunan kemampuan pada atlit yang berlatih keras	Bau, Meningkatnya kerusakan tanaman	Jarak pandang turun dan terjadi pengotoran debu di mana-mana
Sangat Tidak Sehat	200-299	Meningkatnya kardiovaskular pada orang bukan perokok yang berpenyakit Jantung, dan akan tampak beberapa kelemahan yang terlihat secara nyata	Meningkatnya sensitivitas pasien yang berpenyakit asma dan bronchitis	Olah raga ringan mengakibatkan pengaruh pernafasan pada pasien yang berpenyakit paru-paru kronis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis	Meningkatnya sensitivitas pada pasien berpenyakit asma dan bronchitis
Berbahaya	300 - lebih	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar				

Sumber: Bapedal

Tabel 2.2 Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang

Pencemar	Sumber	Keterangan
Karbon monoksida (CO)	Buangan kendaraan bermotor; beberapa proses industri	Standar kesehatan: 10 mg/m ³ (9 ppm)
Sulfur dioksida (SO ₂)	Panas dan fasilitas pembangkit listrik	Standar kesehatan: 80 ug/m ³ (0.03 ppm)
Partikulat Matter	Buangan kendaraan bermotor; beberapa proses industri	Standar kesehatan: 50 ug/m ³ selama 1 tahun; 150 ug/m ³
Nitrogen dioksida (NO ₂)	Buangan kendaraan bermotor; panas dan fasilitas	Standar kesehatan: 100 pg/m ³ (0.05 ppm) selama 1 jam
Ozon (O ₃)	Terbentuk di atmosfer	Standar kesehatan: 235 ug/m ³ (0.12 ppm) selama 1 jam

Sumber: Bapedal

Tabel 2.2 memperlihatkan sumber emisi dan standar kesehatan yang ditetapkan oleh pemerintah melalui keputusan Bapedal. BPLHD Propinsi DKI Jakarta pun mencatat bahwa adanya penurunan yang signifikan jumlah hari dalam kategori baik untuk dihirup dari tahun ke tahun sangat mengkhawatirkan. Dimana pada tahun 2000 kategori udara yang baik sekitar 32% (117 hari dalam satu tahun) dan di tahun 2003 turun menjadi hanya 6.85% (25 hari dalam satu tahun). Hal ini menandakan Indonesia sudah seharusnya memperketat peraturan tentang pengurangan emisi baik sektor industri maupun sektor transportasi darat/laut. Selain itu tentunya penemuan-penemuan teknologi baru pengurangan emisi dilanjutkan dengan pengaplikasiannya di masyarakat menjadi suatu prioritas utama bagi pengendalian polusi udara di Indonesia.

2.4 AEROSOL

Aerosol merupakan partikel dari zat padat atau cair yang tersuspensi dalam gas. Partikel-partikel yang berasal dari beragam jenis karakteristik kimiawi akan membentuk jenis-jenis aerosol sebagai:

- a. *Dust*
- b. *Smoke*
- c. *Fume*
- d. *Mist*

Universitas Indonesia

- e. *Fog*
- f. *Smog*
- g. *Cloud Droplets*

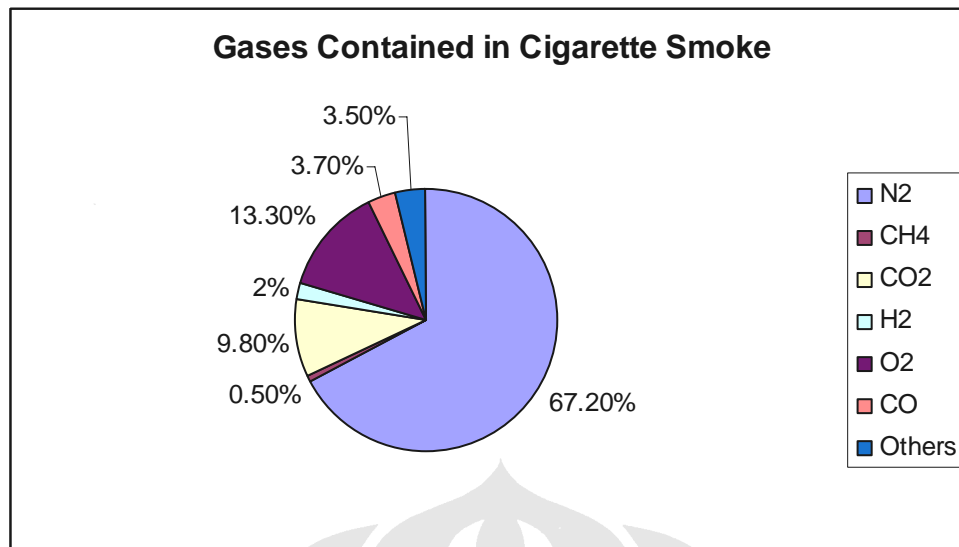
Thermal precipitator ini menggunakan smoke yang merupakan bagian dari aerosol sebagai sampel ujinya. Smoke adalah partikel-partikel dengan geometri bola yang dihasilkan dari proses pembakaran. Tobacco smoke yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diameter partikel yang kecil yaitu yaitu $0,01 \mu m \leq d_p \leq 1 \mu m$.

Pada penelitian ini, aerosol / partikel yang akan digunakan adalah tobacco smoke (asap rokok). Dasar pemilihan smoke ini karena aerosol ini mudah didapatkan dan mudah digunakan. Serta seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.5 untuk diameter partikel $0,01 \mu m - 1 \mu m$ metoda pembersihan yang cocok adalah dengan menggunakan thermal precipitation.

Adapun spesifikasi dari partikel uji sebagai berikut :

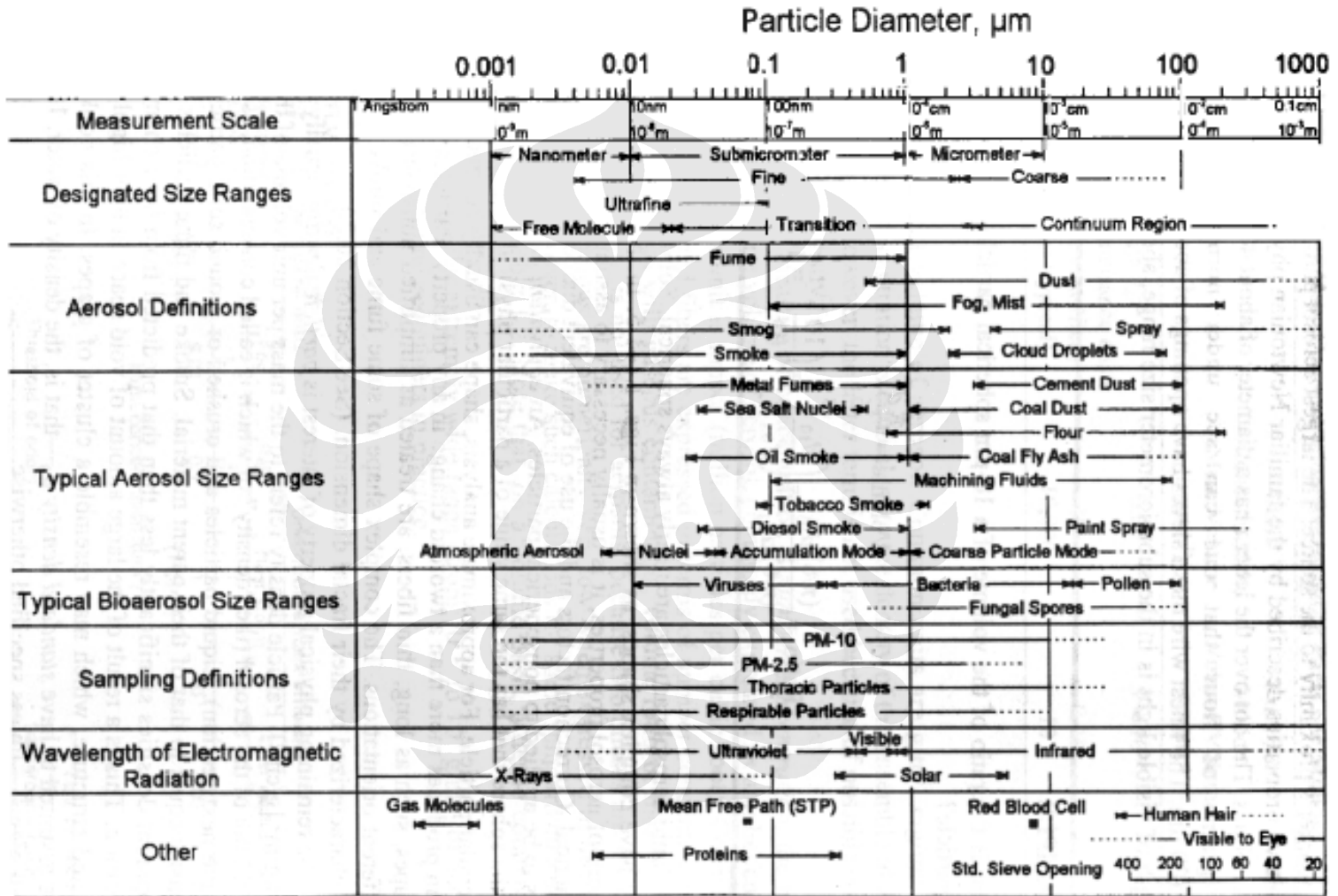
Tabel 2.3 Spesifikasi Smoke

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Jenis Aerosol	Smoke	
2	Nama Aerosol	Tobacco Smoke	
3	Diameter partikel	0,01 ~ 1	μm
4	Density	1,1	g/cm^3
5	Molecular mass	162,23	g/mol
6	Boiling point	247	$^{\circ}C$



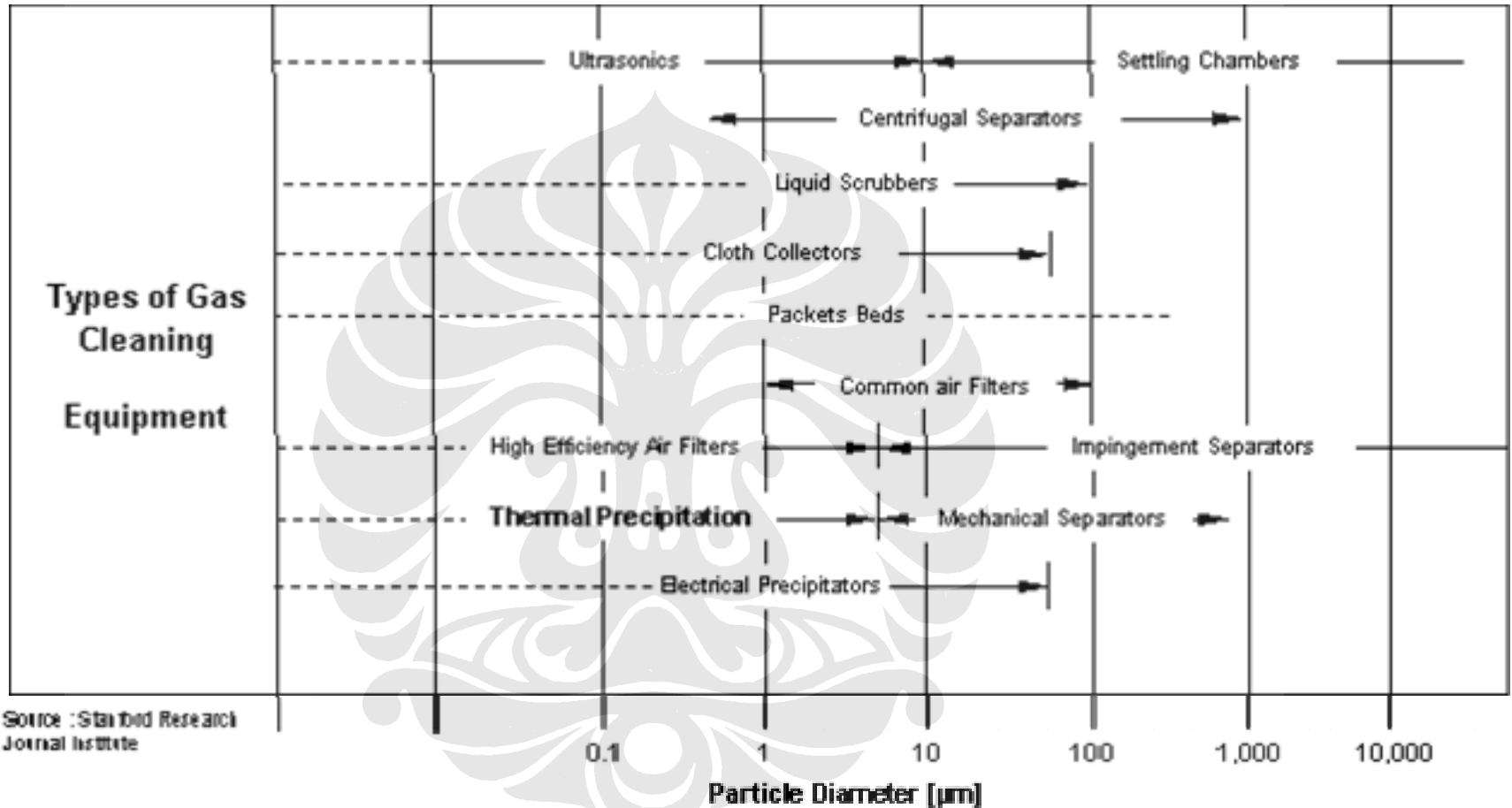
Gambar 2.1. Kandungan gas yang terdapat dalam asap rokok
(sumber : www.workaci.com)

Tabel 2.4. Particle size ranges and definitions for aerosol



Sumber : Hinds, 1998

Tabel 2.5. Particle Size and Cleaning Type



(sumber : Stanford Research Institute Journal, 1961)

2.5 GAYA-GAYA YANG BEKERJA PADA SUATU PARTIKEL

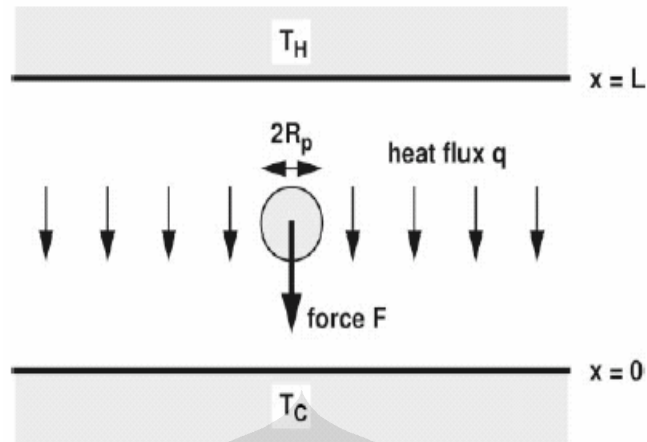
Semua benda bergerak karena adanya pengaruh dari lingkungan sekitar, dengan tidak mengabaikan momentum benda itu sendiri. Demikian juga dengan partikel debu, smoke ataupun asap rokok. Setiap partikel yang bergerak pada suatu media mendapatkan gaya-gaya dari luar yang menyebabkan partikel tersebut bergerak, antara lain disebabkan oleh :

2.5.1 Gaya Thermophoretic (Thermophoretic Force)

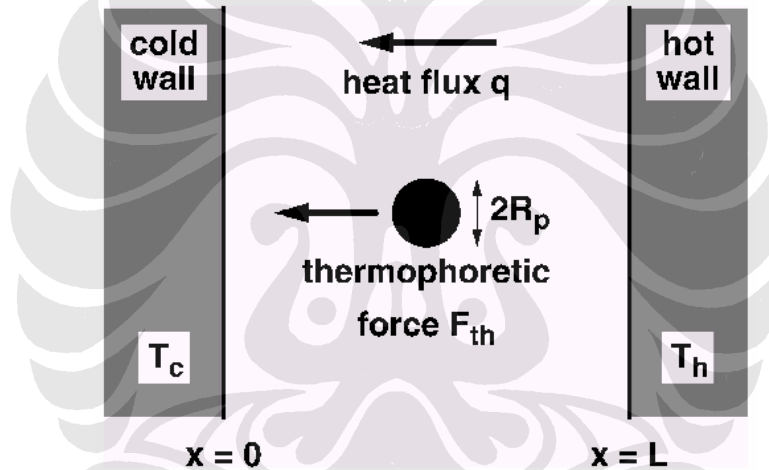
Thermophoresis adalah fenomena pergerakan partikel dalam suatu aliran fluida yang tersebar pada suatu sistem yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur dalam sistem tersebut. Partikel bergerak dari zona temperatur panas menuju zona temperatur rendah. Hal ini disebabkan oleh adanya transfer momentum dari lingkungan sekitar ke partikel melalui media panas. Pergerakan partikel dalam sistem itu bergerak menuju daerah-daerah yang memiliki temperatur lebih rendah. Jika terdapat gradien temperatur di dalam suatu volume udara maka partikel cenderung akan bergerak ke daerah yang lebih dingin (Cippola, 2002). Perbedaan temperatur akan menyebabkan terbentuknya perbedaan momentum pada partikel yang menempati *region* di dalam sistem volume kontrol.

Lingkungan sekitar partikel diasumsikan dalam kondisi diam tanpa adanya gerakan udara dan tidak ada gaya-gaya lain yang bekerja pada partikel.

Gaya thermophoresis memiliki aplikasi dalam berbagai bidang diantaranya untuk *aerosol thermal precipitator*, pembuatan serat optik, pembersihan gas, safety pada reaktor nuklir, proses pembuatan semiconductor dan perlindungan permukaan benda dari deposisi partikel.



Gambar 2.2. Gaya Thermophoretic yang melewati pelat horisontal



Gambar 2.3. Gaya Thermophoretic yang melewati pelat vertikal

Persamaan dasar gaya thermophoretic adalah sesuai dengan yang dirumuskan oleh Talbott, yaitu :

$$F_x = \frac{6\pi \cdot Dp \cdot \mu^2 Cs \cdot (K + Ct \cdot Kn)}{\rho (1 + 3Cm \cdot Kn) (1 + 2K + 2Ct \cdot Kn)} \frac{1}{T} \frac{\delta T}{\delta x} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana, Kn = Knudsen number = 2λ/Dp

λ = jarak tempuh partikel

K = k/kp, dimana k adalah konduktivitas thermal fluida k = (15/4) μR

Kp adalah konduktivitas thermal partikel

$$C_s = 1.17, \quad C_t = 2.18, \quad C_m = 1.14$$

T = temperatur lokal fluida

μ = viskositas fluida

Persamaan Talbott didasarkan atas asumsi partikel berbentuk bola dengan fluida gas ideal.

Sedangkan penelitian lebih lanjut oleh para ilmuwan menghasilkan persamaan thermophoresis yang diaplikasikan berdasarkan kondisi fluida. Terdapat tiga persamaan yang dikutip dibawah, yaitu :

1. *Continuum Gas* (Waldman) :

$$F_x = -\frac{16}{15} \pi^{\frac{1}{2}} \cdot \beta \cdot R_p^2 \cdot k_f \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{m}{2kT}} \quad \text{dimana, } Kn_p \rightarrow \infty, \quad Kn_s \rightarrow 0$$

Jika jarak partikel (mean free path) bernilai lebih kecil dibandingkan dengan ukuran sistem, maka domain dapat dianggap kontinyu. Formula Waldman diatas proporsional langsung terhadap gradien temperature dan konduktivitas thermal, tetapi independen terhadap tekanan ataupun massa jenis partikel (selama sesuai dengan kriteria Knudsen Number).

2. Gas molekul bebas / *Free Molecular gas* (Brock, Phillips, Torczynski)

$$F = -\left(\frac{3}{2} \pi R_p\right) \left(\frac{T_H^{\frac{1}{2}} - T_C^{\frac{1}{2}}}{T_H^{\frac{1}{2}} + T_C^{\frac{1}{2}}} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P = nKT_C^{\frac{1}{2}} T_H^{\frac{1}{2}} \quad \text{dimana, } Kn_p \rightarrow \infty, \quad Kn_s \rightarrow 0$$

Jika mean free path lebih besar dibandingkan dengan ukuran sistem, doamin dapat dianggap sebagai free molecular gas. Kesimpulan utamanya adalah gaya thermophoretic secara linier tergantung pada tekanan molekul bebas terhadap dinding.

3. Daerah Transisional (Phillips)

$$F = -\left(\frac{32}{15\pi}\right)\left(\frac{\pi R_p^2}{c}\right)\left(\frac{K(T_H - T_C)}{L}\right)\left(\frac{\frac{45\pi}{128}N + N^2}{1 + N + N^2}\right) \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{dimana } N = \frac{14}{15} \frac{L\rho\rho_p}{2\mu}, c = \sqrt{\frac{8kT}{\pi n}}$$

Jika mean free path adalah pangkat dari ukuran sistem, gaya thermophoretic menjadi sulit untuk diprediksikan akurat. Perhitungan diatas dinilai paling lemah dibandingkan perhitungan lain. Dapat ditarik kesimpulan bahwa ketergantungan terhadap tekanan lebih lemah dibanding ketergantungan terhadap kecepatan molekular.

2.5.2 Gaya gravitasi

Gaya gravitasi adalah gaya yang timbul akibat gaya tarik gravitasi bumi. Gaya gravitasi dipengaruhi oleh diameter partikel, gaya gravitasinya adalah:

$$W = \frac{\pi d^3}{6} \rho_p g \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

d = diameter partikel

ρ_d = massa jenis partikel

g = tetapan gravitasi

2.5.3 Gaya Elektrophoresis

Gaya elektrophoresis terjadi karena adanya perbedaan muatan antar partikel. Gaya ini terjadi pada suatu partikel jika partikel tersebut berada pada suatu medan listrik yang memiliki beda tegangan sebesar $E = 10^4$ V, dan nilai tegangan dalamnya 220 Volt.

2.5.4 Gaya Apung (*Bouyancy Force*)

Bouyancy Force timbul karena adanya perbedaan viskositas pada suatu fluida. Pada fluida yang berbentuk gas, viskositas akan menurun seiring dengan peningkatan temperatur, sedangkan pada fluida berbentuk cair peningkatan temperatur akan mengurangi viskositasnya.

Jika temperatur suatu gas dinaikkan, molekul-molekul gas tersebut yang memiliki viskositas yang lebih rendah akan bergerak keatas menggantikan molekul-molekul gas yang viskositasnya lebih tinggi. Pergerakan molekul-molekul gas ini ternyata juga memberikan pengaruh pada partikel yang berada satu sistem dengan gas, dimana partikel tersebut juga akan ikut terangkat. Terangkatnya partikel tersebut sebagai akibat peningkatan temperatur pada fluida gas inilah yang disebut *bouyancy force*.

Pengaruh *bouyancy force* pada suatu partikel dalam suatu fluida dapat diketahui dari cara perpindahan panas yang dialami fluida tersebut. Perpindahan panas yang dialami oleh fluida terjadi secara konveksi, dan konveksi ini dapat dibedakan lagi menjadi konveksi alamiah atau konveksi paksa. *Bouyancy force* hanya muncul pada konveksi yang terjadi secara alamiah. Untuk menentukan jenis konveksi yang terjadi dapat ditentukan dari perbandingan nilai *Grasshoff* dan nilai *Rayleigh* kuadrat fluida tersebut.

$$\frac{Gr}{Re^2} \ll 1 \quad \text{Konveksi alamiah diabaikan}$$

$$\frac{Gr}{Re^2} \sim 1 \quad \text{Konveksi alamiah dan konveksi paksa dipertimbangkan}$$

$$\frac{Gr}{Re^2} \gg 1 \quad \text{Konveksi paksa diabaikan}$$

Dari perbandingan diatas maka, gaya *bouyancy* dapat diabaikan jika perbandingan nilainya lebih besar dari 1 (satu).

Sedangkan rumus untuk menentukan nilai *Grasshoff* dan *Reynold* pada suatu plat lurus adalah:

$$* \text{ Nilai Grasshoff} \rightarrow Gr = \frac{\rho^2 g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot x^3}{\mu^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

g = percepatan gravitasi [m^2/s]

ΔT = perbedaan temperatur gas antara plat dan lingkungan [K]

x = panjang plat [m]

μ = viskositas dinamik gas pada suhu T_{abs} [kg/m.s]

dan β adalah koefisien ekspansi termal gas, dimana untuk gas ideal

nilainya = $\frac{1}{T_{abs}}$, sehingga persamaannya menjadi:

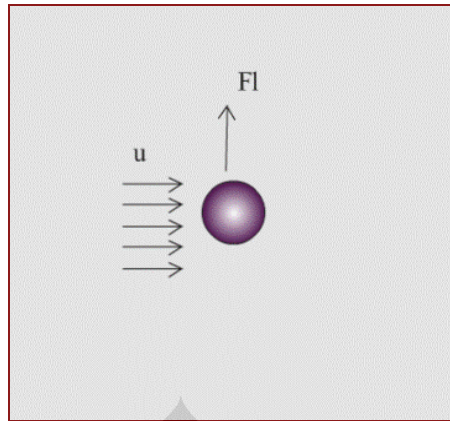
$$Gr = \frac{g \cdot \Delta T \cdot L^3}{T_{abs} \cdot \nu^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$* \text{ Nilai Reynolds} \rightarrow Re = \frac{\rho \cdot u \cdot x}{\mu}$$

u = kecepatan fluida [m/s]

2.5.5 Gaya angkat Saffman (*Saffman Lift Force*)

Adalah gaya angkat pada suatu partikel yang disebabkan oleh adanya gesekan antara partikel dengan aliran fluida.



Gambar 2.4. Gaya angkat Saffman pada partikel

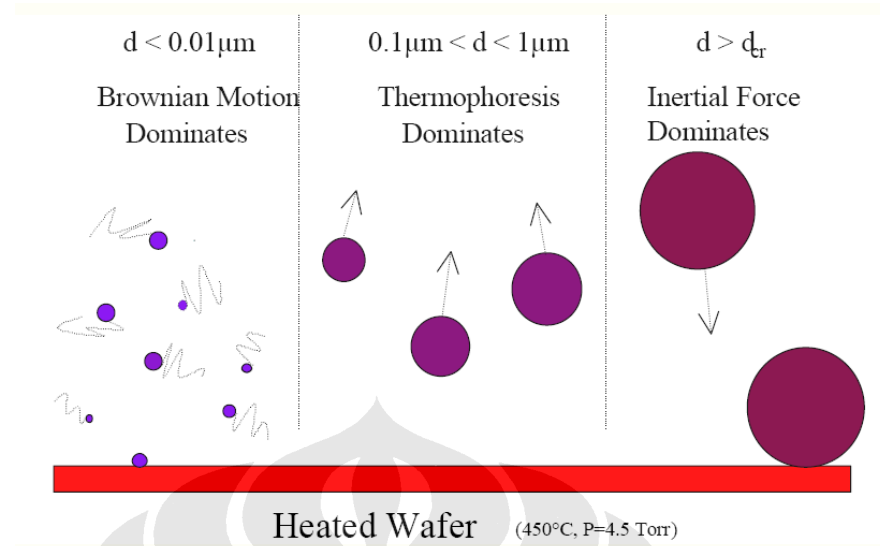
2.5.6 Gerak Brown (*Brownian Motion*)

Gerak ini terjadi pada partikel yang berukuran submikron. Gerakan ini terjadi karena efek momentum antar partikel.

Pergerakan Brownian adalah pergerakan acak (random) dari suatu partikel solid yang tersuspensi dalam suatu fluida. Pergerakan Brownian tersebut disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan gaya yang dihasilkan dari pergerakan partikel-partikel fluida yang berukuran jauh lebih kecil dari partikel solid dan menumbuk partikel solid secara berulang-ulang.

Dikarenakan dimensi partikel fluida yang sangat kecil, untuk dapat menghasilkan pergerakan Brownian maka dimensi partikel solid juga sangat kecil. Pergerakan Brownian berlaku untuk partikel sub-mikron dalam aliran laminar. Pada aliran turbulen, pergerakan Brownian tidak berlaku.

Untuk mengetahui efektivitas dari gerak brownian, gaya thermophoresis dan momen inersia terhadap pergerakan partikel, berikut perbandingan pergerakannya:



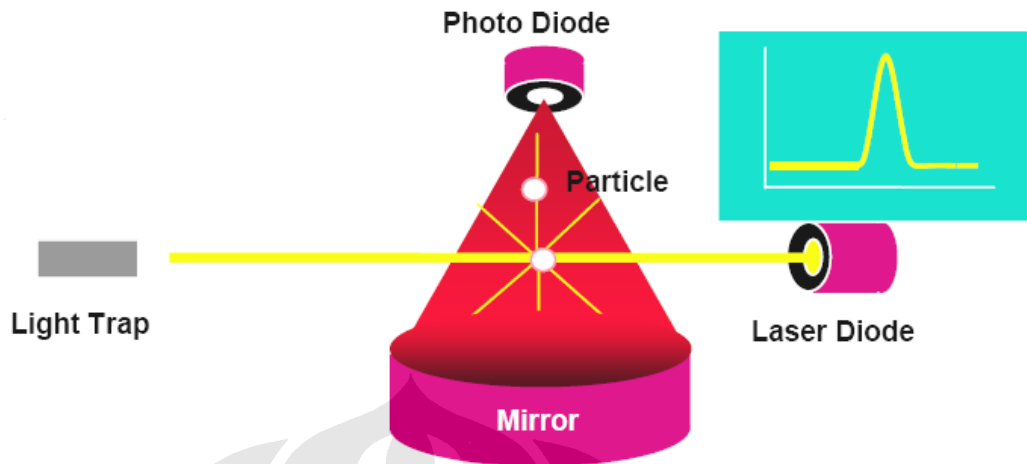
Gambar 2.5 Pergerakan partikel pada umumnya

2.6 Pengukuran Kualitas Udara

Pengukuran kualitas udara bertujuan untuk mengetahui konsentrasi zat pencemar yang ada di udara ambient. Hal ini penting dilakukan agar bisa dibandingkan dengan ambang batas yang diizinkan. Apabila melebihi dari ambang batas tersebut maka harus dilakukan tindakan lebih lanjut untuk mengurangi pencemaran itu agar tidak menimbulkan efek yang merugikan. Ada beberapa teknik untuk melakukan pengukuran kualitas udara yaitu :

2.6.1 Aerosol Particle counter

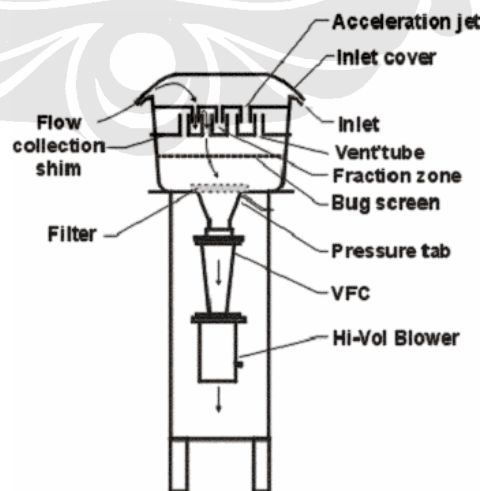
Alat ini digunakan untuk mengetahui kualitas udara dengan cara menghitung jumlah partikel di udara yg mempunyai diameter partikel tertentu. Informasi ini berguna untuk mengetahui jumlah polutan yang ada di dalam suatu ruangan atau udara sekitar. Alat ini biasa digunakan untuk mengetahui tingkat kebersihan udara di *cleanroom*. *Cleanroom* biasa digunakan dalam industri pembuatan semikonduktor, farmasi, bioteknologi, dan lain-lain.



Gambar 2.6 Cara kerja particle counter

2.6.2 High Volume Air Sampler

Metode ini digunakan untuk melakukan pengukuran *total suspended particulate matter* yang ada di udara ambient, yaitu partikulat dengan diameter kurang dari 100 μm . prinsip kerja alat ini yaitu dengan menghisap udara yang akan diuji dengan flowrate 40-60 cfm, udara tersebut dilewatkan melalui sebuah filter khusus yang memiliki porositas kurang dari 0,3 μm . Lalu partikulat yang tertahan di permukaan filter ditimbang secara gravimetrik, sedangkan volume udara dihitung berdasarkan waktu sampling dan flowrate.



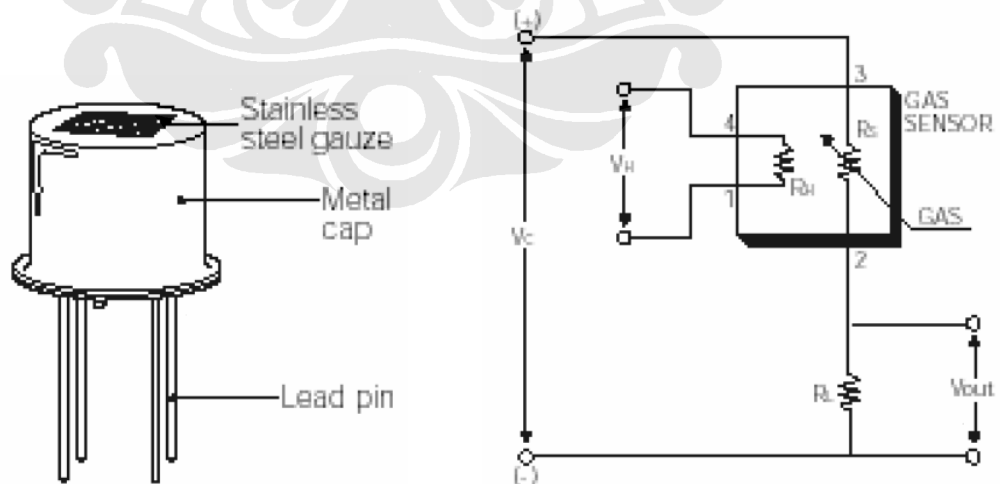
Gambar 2.7 High Volume Air Sampler

2.6.3 Non-dispersive infrared sensor

Non-dispersive infrared sensor (NDIR) sensor cukup sering digunakan dalam prosen analisa gas. Metode ini sering digunakan untuk mengukur kadar CO₂ dan H₂O di udara. pengukuran ini berdasarkan kemampuan gas CO menyerap sinar infra merah pada panjang 4,6 μm . Banyaknya intensitas sinar yang diserap sebanding dengan konsentrasi CO di udara. Analyzer ini terdiri dari sumber cahaya inframerah, tabung sampel dan reference, detektor dan rekorder .

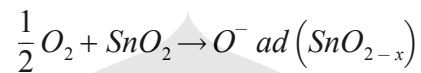
2.6.4 Gas sensor

Sensor ini biasa digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas sensor ini bisa diaplikasikan sebagai alarm dan juga bisa untuk mengukur konsentrasi gas tergantung rangkaian microcontroller yang digunakan. Dalam penelitian ini proses pengukuran kadar asap menggunakan metoda ini. Sensor ini mempunyai nilai resistansi R_s yang akan berubah bila terkena gas dan juga mempunyai sebuah pemanas (*heater*) yang digunakan untuk membersihkan ruangan sensor dari kontaminasi udara luar.

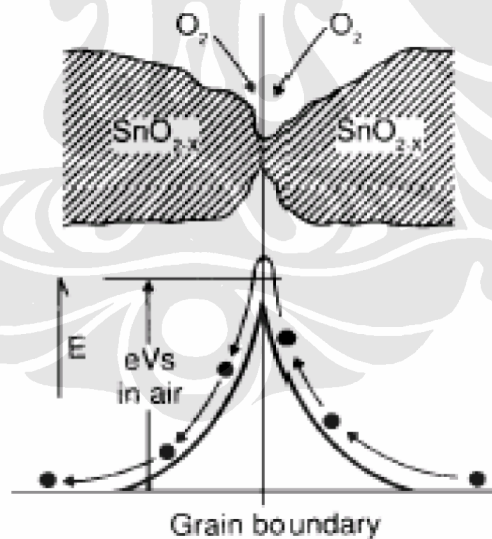


Gambar 2.9 Sensor gas Figaro 2600

Output tegangan pada hambatan RL (V_{out}) digunakan sebagai masukan pada mikroprosesor. Bahan detektor gas dari sensor adalah metal oksida, khususnya senyawa SnO_2 . Ketika kristal metal oksida (SnO_2) dihangatkan pada temperatur tertentu, oksigen akan diserap pada permukaan kristal dan oksigen akan bermuatan negatif, proses penyerapan oksigen oleh sensor dapat dilihat dari persamaan kimia berikut



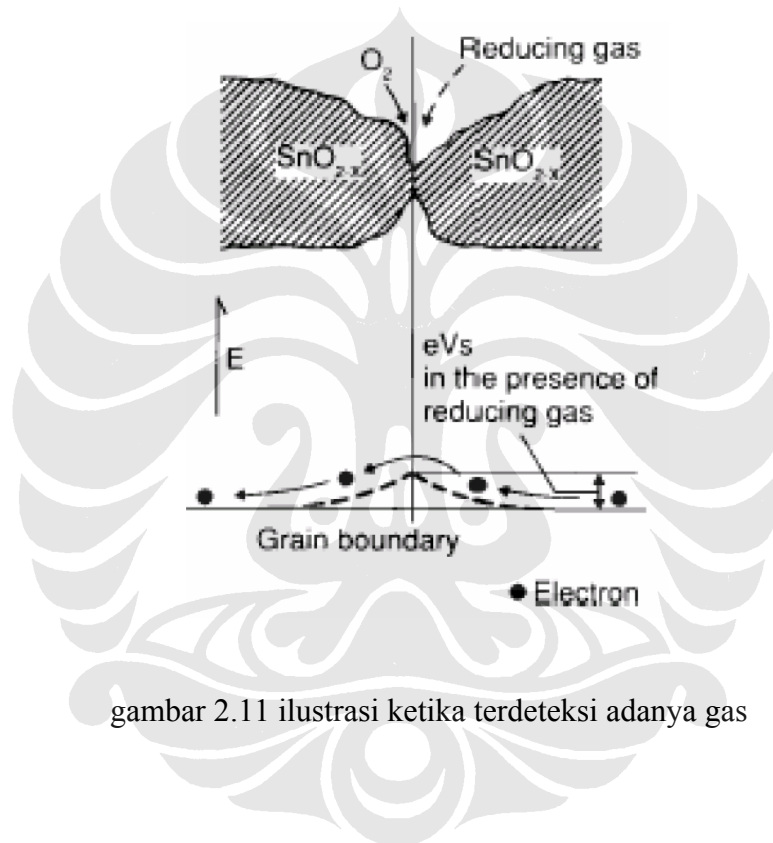
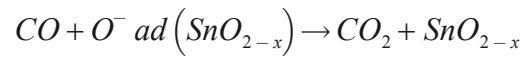
Hal ini disebabkan karena permukaan kristal mendonorkan elektron pada oksigen yang terdapat pada lapisan luar, sehingga oksigen akan bermuatan negatif dan muatan positif akan terbentuk pada permukaan luar kristal. Tegangan permukaan yang terbentuk akan menghambat laju aliran electron



Gambar 2.10 ilustrasi penyerapan oksigen oleh sensor

Di dalam sensor, arus elektrik mengalir melewati daerah sambungan (*grain boundary*) dari kristal SnO_2 . Pada daerah *sambungan*, penyerapan

oksigen mencegah muatan untuk bergerak bebas. Jika konsentrasi gas menurun, proses deoksidasi akan terjadi, rapat permukaan dari muatan negatif oksigen akan berkurang, dan mengakibatkan menurunnya ketinggian penghalang dari daerah *sambungan*, misal terdapat adanya gas CO yang terdeteksi maka persamaan kimianya sebagai berikut



gambar 2.11 ilustrasi ketika terdeteksi adanya gas