

PEMISAHAN GAS-PADATAN

Pustaka:

Coulson, "Particle Technology and Separation Processes, Volume 2", 5th ed.

Coulson, "Chem. Engg. Des., Volume 6".

Foust.

Perry, R. H., and Chilton, C. H., 1984, "Chemical Engineer's Handbook", 6th edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo.

Perry, R. H., and Chilton, C. H., 1999, "Chemical Engineer's Handbook", 7th edition, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., Tokyo.

Materi:

- A. Tujuan alat pengumpul debu (dust collector),
- B. Perilaku padatan dalam gas,
- C. Mekanisme pengendapan dalam alat pengumpul debu,
- D. Beberapa alat pengumpul debu,
- E. Cost of dust collection,
- F. Desain siklon (file: centrifugal separator.pdf).

A. TUJUAN PENGUMPUL DEBU

Pengumpul debu digunakan untuk memisahkan debu yang terdispersi dalam gas.

Tujuan pemisah/pengumpul debu :

1. mengontrol pencemaran udara, seperti pemisahan abu terbang dari gas pembakaran power plant.
2. memperingan perawatan alat, seperti filtrasi mesin pemasukan udara atau dapur pirit pada pabrik asam sulfat dengan proses kontak.
3. keamanan atau pengurangan bahaya kesehatan, seperti pengumpulan debu logam di sekitar alat grinding(pemecahan) atau drilling(pengeboran), debu tepung di milling(penghalusan) dan pengepakan.
4. meningkatkan kualitas produk, seperti udara bersih pada industri produk farmasi dan film fotografi.
5. pemungutan material berharga, seperti pengumpulan debu dari alat pengering dan smelters.
6. pengumpulan produk berukuran powder, seperti pada proses pneumatic conveying, spray dryer industri susu, sabun, dan carbon black.

Sifat partikel terdispersi

Faktor utama pemilihan atau perancangan alat pengumpul debu adalah sifat partikel terdispersi yaitu ukuran partikel. Fig. 17-34 (Perry, 7th ed.) memperlihatkan sifat ini. Ada 2 jenis partikel terdispersi :

1. dust (debu), partikel berukuran lebih besar dari 1 mikron, dihasilkan dari operasi size reduction.
2. fume(asap), partikel berukuran lebih kecil dari 1 mikron, dihasilkan dari hasil pembakaran, sublimasi, dan kondensasi. Setelah terkumpul, partikel ini tidak dapat didispersikan lagi.

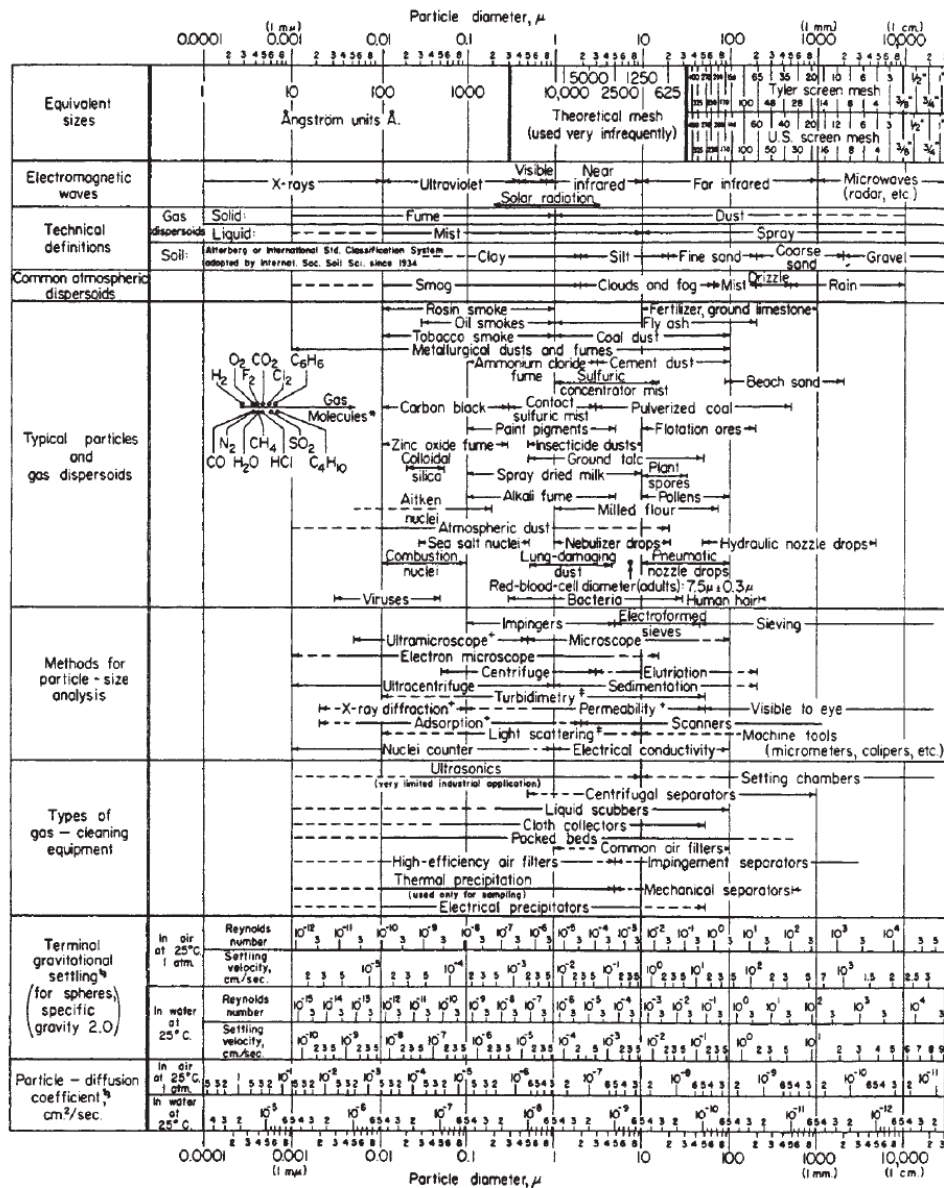


FIG. 17-34 Characteristics of particles and particle dispersoids. (Courtesy of the Stanford Research Institute; prepared by C. E. Lapple.)

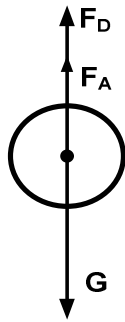
B. PERILAKU PADATAN DALAM GAS

Misal : suatu padatan berbentuk bola berada dalam fluida (cairan atau gas) yang diam. Rapat massa padatan (ρ_s) lebih besar daripada rapat massa cairan atau gas (ρ_f). Padatan akan bergerak ke bawah karena gaya berat.

Gaya-gaya yang bekerja pada padatan :

1. Gaya berat padatan (G)
2. Gaya ke atas akibat adanya fluida, gaya Archimedes (FA)
3. Gaya gesekan fluida terhadap padatan (FD) yang arahnya ke atas (berlawanan arah gerak padatan)

Hukum Newton :



$$F = m \cdot a$$

$$G - F_A - F_D = m \cdot a$$

$$\left(\frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot \rho_s \cdot g \right) - \left(\frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot \rho_f \cdot g \right) - \left(\frac{C_D \cdot \rho_f \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot v^2}{2} \right) = \frac{\pi}{6} \cdot D^3 \cdot \rho_s \cdot \frac{dv}{dt}$$

dengan :

v = kecepatan padatan
 D = diameter padatan
 g = percepatan gravitasi
 C_D = drag force coefficient

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot g}{\rho_s} - \frac{3 \cdot C_D \cdot \rho_f \cdot v^2}{4 \cdot \rho_s \cdot D}$$

Jika ukuran padatan kecil (debu), kecepatan jatuh lambat, sehingga gerak laminar.

$$C_D = \frac{24}{Re} ; Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

(μ = viskositas fluida)

$$C_D = \frac{24 \cdot \mu}{\rho_f \cdot v \cdot D}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot g}{\rho_s} - \frac{3 \cdot \left(\frac{24 \cdot \mu}{\rho_f \cdot v \cdot D} \right) \cdot \rho_f \cdot v^2}{4 \cdot \rho_s \cdot D}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot g}{\rho_s} - \frac{18 \cdot \mu \cdot v}{\rho_s \cdot D^2}$$

Gerak padatan kebawah akan makin cepat dan akhirnya mencapai nilai maximum (tetap).

Pada keadaan tersebut :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot g}{\rho_s} - \frac{18 \cdot \mu \cdot v}{\rho_s \cdot D^2} = 0 \quad (v_m = \text{kec. max})$$

$$v_m = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \mu}$$

Benda jatuh bebas dalam fluida akan mencapai kecepatan maximum (*terminal velocity*) :

$$v_m = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \mu}$$

Jika fluida bergerak ke atas dengan kecepatan v_f , maka :

- jika : $v_m > v_f$

- benda bergerak ke bawah dengan $v_m - v_f$
- jika : $v_m < v_f$
- benda bergerak ke atas dengan $v_f - v_m$
- jika : $v_m = v_f$
- benda akan stabil pada posisi vertikalnya

Partikel dengan v_m kecil akan mudah terbawa gas atau fluida.

Gambaran nilai v_m :

Misal : $\rho_s = 2 \text{ g/cm}^3$;
 $\rho_f = 1 \text{ g/cm}^3$
 $\mu = 0,01 \text{ g/cm.s}$ (kira - kira air)
 $g = 1000 \text{ cm/s}^2$

D, cm	v_m , cm/s	v_m , cm/jam
1	5555,556	20000000
0,1	55,55556	200000
0,01	0,555556	2000
0,001	0,005556	20
0,0001	5,56E-05	0,2
0,00001	5,56E-07	0,002

Misal : $\rho_s = 2 \text{ g/cm}^3$;
 $\rho_f = 0,001 \text{ g/cm}^3$
 $\mu = 0,0002 \text{ g/cm.s}$ (kira - kira udara)
 $g = 1000 \text{ cm/s}^2$

D, cm	v_m , cm/s	v_m , cm/jam
1	555277	1999000000
0,1	5552,77	19990000
0,01	55,5277	199900
0,001	0,555277	1999
0,0001	0,005553	19,99
0,00001	0,000055	0,1999

Terlihat bahwa pengendapan dengan gaya berat sulit untuk partikel – partikel kecil.

Ada fenomena menguntungkan :

- partikel – partikel kecil kadang cenderung bergabung membentuk aglomerat (ukuran lebih besar).

C. MEKANISME PENGENDAPAN DALAM ALAT PENGUMPUL DEBU

Prinsip operasi :

1. pemisahan partikel dari gas dengan pengendapan di dalam alat,
2. waktu tinggal endapan di permukaan alat,
3. pengambilan endapan dari permukaan alat.

Langkah-langkah yang dibutuhkan ;

- a. aplikasi gaya yang menghasilkan perbedaan gerakan partikel relative terhadap gas.
- b. Penyediaan waktu tinggal gas yang memberikan waktu yang cukup untuk partikel berpindah ke permukaan alat.

Mekanisme pengendapan dalam alat antara lain (table 17-2 Perry 7th ed.):

1. pengendapan secara gravitasi,
2. flow-line interception,
3. pengendapan secara inersial, inertial : tendency of particle to remain still or continue moving unless another force acts on it.
4. pengendapan secara difusi,
5. pengendapan secara electrostatic.
6. pengendapan secara thermostatic (jarang, karena gaya ini sangat kecil).

Ilustrasi mekanisme no. 2, 3, dan 4 digambarkan dalam fig. 17-35.

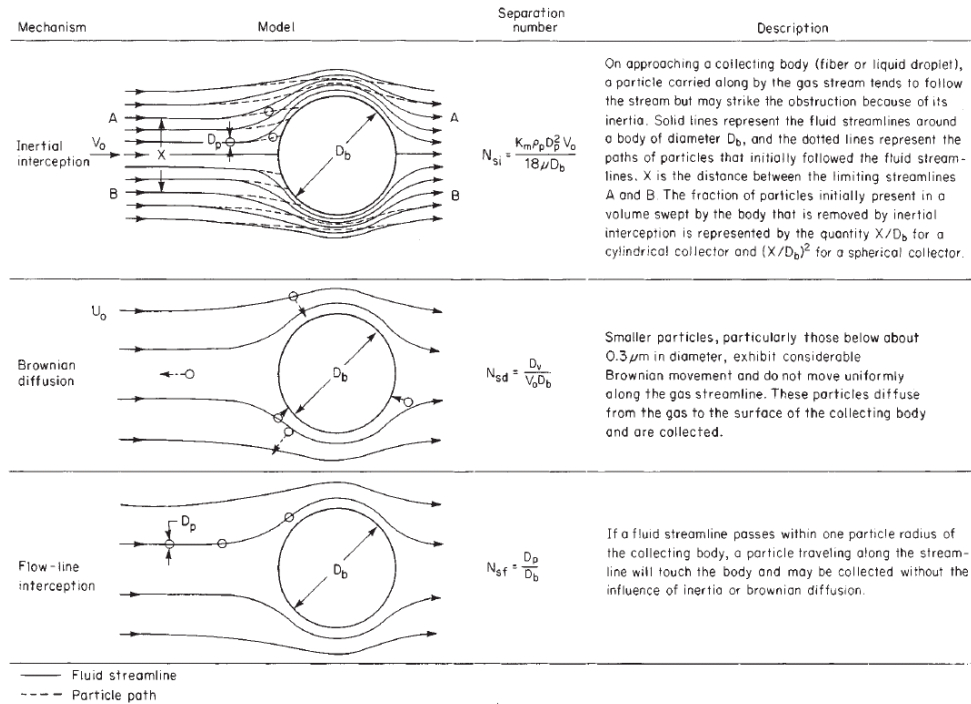


FIG. 17-35 Particle deposition on collector bodies.

Sejumlah mekanisme sering terjadi secara simultan dalam suatu alat pemisah debu.

Pembahasan teoritis alat pemisah debu masih menemui banyak kesulitan.

Model empiris lebih menonjol.

Teori mulai berkembang sejak 1960, namun verifikasi dengan percobaan masih sulit.

Sebab – sebab :

1. kesulitan eksperimen,
2. kesulitan memperoleh debu yang seragam,
3. *particle size distribution* perlu teliti.

Unjuk Kerja Pengumpul Debu.

Collection efficiency :

$$\eta = \frac{\text{massa debu terkumpul}}{\text{massa debu masuk}}$$

collector yang baik : $\eta \rightarrow 1$

$$\text{penetration} = 1 - \eta = \frac{\text{massa debu lolos}}{\text{massa debu masuk}}$$

$$\text{decontamination factor} = \frac{1}{1 - \eta}$$

number of transfer unit :

$$N_i = \ln \left(\frac{1}{1 - \eta} \right)$$

Paling Umum : N_i
collector yang baik :

efficiency (η) $\rightarrow 1$

penetration ($1 - \eta$) $\rightarrow 0$

decontamination factor $\rightarrow$ *sangat besar*

number of transfer unit (N_i) $\rightarrow$ *besar*

Hubungan efisiensi dengan variabel – variabelnya secara teoritis umumnya berbentuk fungsi eksponensial.

$\rightarrow N_i$ paling cocok (mendekati linier, range tidak begitu lebar).

D. BEBERAPA ALAT PENGUMPUL DEBU

1. gravity settling chambers,
2. Impingement separators,
3. Cyclone separators,
4. mechanical centrifugal separators,
5. particulate scrubbers (wet collectors/scrubbers), :
 - a. venturi scrubbers
 - b. self induced spray scrubbers,
 - c. plate towers scrubbers,
 - d. packed bed scrubbers,
 - e. mobile bed scrubbers,
 - f. spray scrubbers,
 - g. cyclone scrubbers,
 - h. ejector venture scrubbers,
 - i. mechanical scrubbers,
 - j. fiber bed scrubbers,
 - k. electrically augmented scrubbers,
6. dry scrubbing,
7. fabric filters/ bag filters/ bag houses,
8. granular bed filters,
9. Air filters,
10. electrical precipitators.

1. Gravity settling chamber

Paling sederhana, gas dilewatkan suatu ruangan sehingga ada pengurangan kecepatan gas dan partikel mengendap karena gaya gravitasi. Untuk memisahkan partikel berukuran lebih besar dari 325 mesh (43 mikron). Untuk memisahkan partikel yang lebih kecil, dibutuhkan ruangan yang sangat besar.

Hubungan ukuran partikel dengan dimensi ruangan digambarkan sbb :

Gas berdebu dilewatkan ruang cukup besar. Kecepatan gas lambat dan waktu tinggal cukup. Debu terpisah karena gaya berat.

$$\eta = \frac{U_t \cdot L_s}{H_s \cdot V_s} = \frac{U_t \cdot B_s \cdot L_s}{q}$$

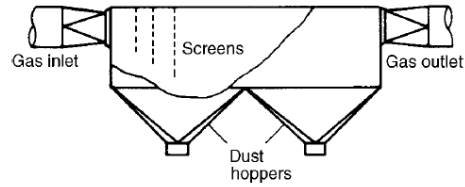


Figure 1.51. Settling chamber

Sumber: Coulson, Vol 2.

U_t = kecepatan terminal (= v_m) , L_s = panjang ruang , H_s = tinggi ruang.

B_s = lebar ruang , V_s = kec. gas rerata dalam ruang , q = debit gas (vol/wkt).

$$U_t < \rightarrow \eta <$$

(butir kecil)

$$V_s < \rightarrow \eta >$$

Butir terkecil bisa terpisah sempurna ($\eta = 1$),

Dengan (gerak padatan dalam gas) :

$$v_m = \frac{(\rho_s - \rho_f) \cdot g \cdot D^2}{18 \cdot \mu}$$

Maka,

$$\begin{aligned} D_{p,min} &= \sqrt{\frac{18 \mu \cdot H_s \cdot V_s}{g \cdot L_s \cdot (\rho_s - \rho_f)}} \\ &= \sqrt{\frac{18 \mu \cdot q}{g \cdot B_s \cdot L_s \cdot (\rho_s - \rho_f)}} \end{aligned}$$

Agar butir kecil dapat mengendap maka ruang perlu dibuat lebih besar. Lebih spesifik : L_s dan B_s besar. Umumnya V_s , 10 ft/s.

Proses klasifikasi menggunakan konsep ini.

Klasifikasi adalah pemisahan padatan menjadi beberapa fraksi ukuran berdasarkan kecepatan terminalnya.

Alat : gravity settling tank, elutriator (lihat Foust, chap. 22).

2. Impingement Separator

Gas berdebu ditabrakkan ke suatu penghalang. Gas berbelok, partikel menabrak penghalang karena gaya inersia. Partikel terkumpul di penghalang. Dapat digunakan untuk memisahkan partikel berukuran 10 – 20 μm . *Pressure drop* tinggi. Banyak digunakan untuk *wet particles collection*.

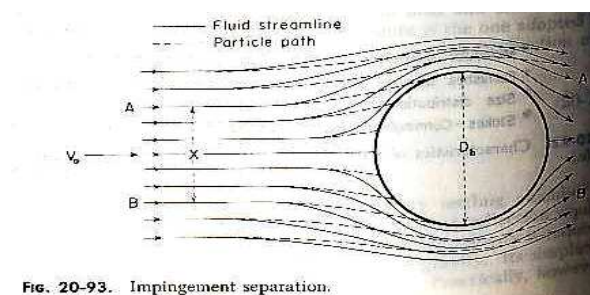
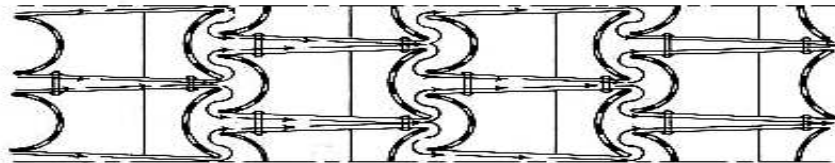


FIG. 20-93. Impingement separation.

Target efficiency :

$$\eta_t = \frac{x}{D_b}$$



Diagrammatic plan view showing gas movement through equipment

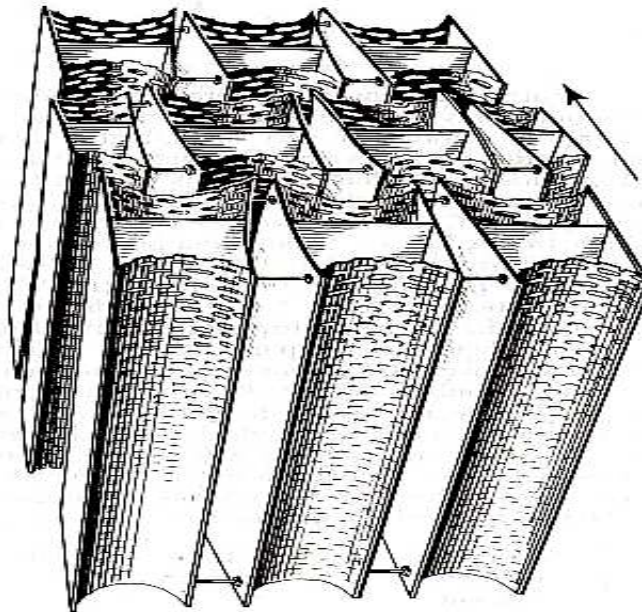


Fig. 20-95. Reverse-nozzle impingement separator. (By-Products Recoveries, Inc.)

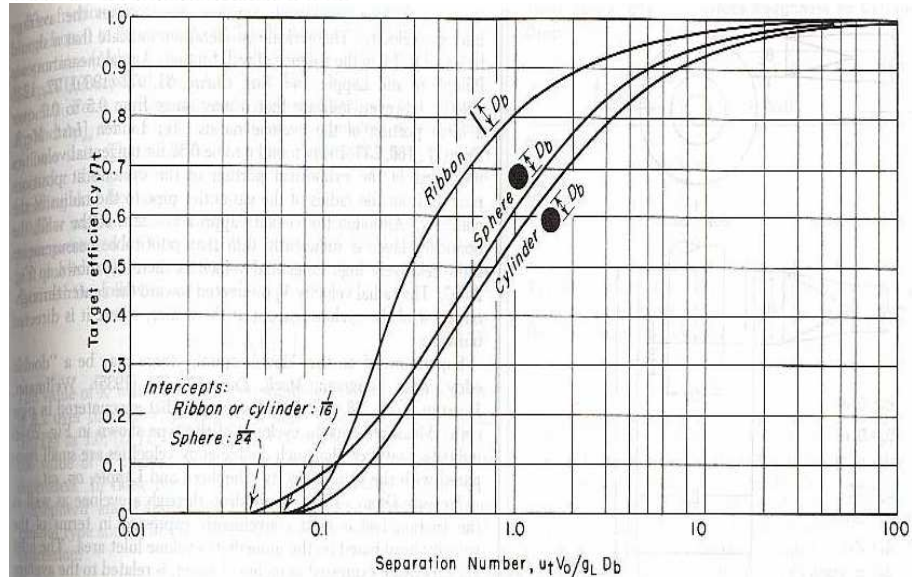


Fig. 20-94. Target efficiency of spheres, cylinders, and ribbons. The curves apply for conditions where Stokes's law holds for the motion of the particle. Langmuir and Blodgett have also presented similar relationships for cases where Stokes's law does not apply. [Langmuir and Blodgett, U.S. Army Air Forces Tech. Rept. 5418, Feb. 19, 1946 (U.S. Department of Commerce, Office of Technical Services PB 27565).]

Sumber : Perry, 6th ed., 1984

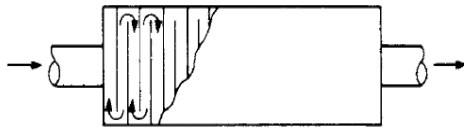


Figure 1.57. Baffled separator

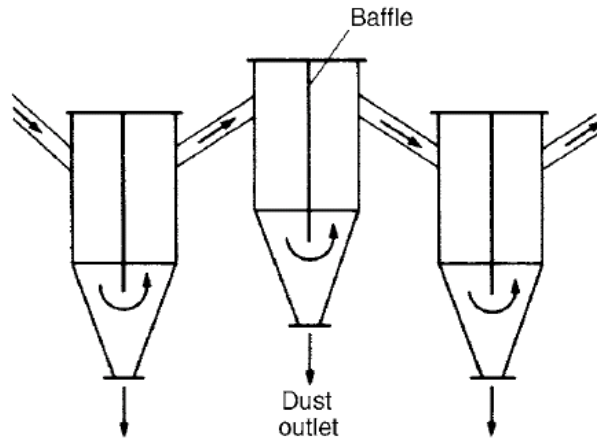


Figure 1.58. Battery of momentum separators

Sumber : Coulson, Vol. 2.

3. Cyclone separators

Gas berdebu masuk cyclone dengan kecepatan tinggi arah tangensial, sehingga berputar dalam cyclone.

Partikel debu terlempar ke dinding karena gaya sentrifugal.

Debu menabrak dinding lalu jatuh kebawah.

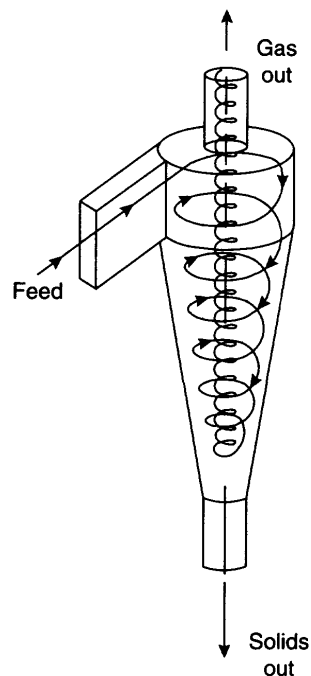


Figure 10.43. Reverse-flow cyclone

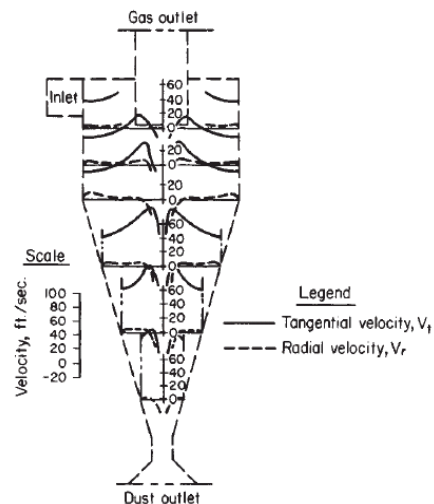


FIG. 17-37 Variation of tangential velocity and radial velocity at different points in a cyclone. [Ter Linden, Inst. Mech. Eng. J., 160, 235 (1949).]

Sumber : Perry, 7th ed.

Digunakan untuk memisahkan partikel s/d 5 μm , bahkan 0,5 μm jika terjadi aglomerasi.

Percepatan sentrifugal (at) :

cyclone besar ; $at \approx 5 \text{ g}$, low resistance, pemisahan kurang bagus.

cyclone kecil ; $at \approx 2500 \text{ g}$, high resistance, pemisahan bagus.

Diameter partikel minimum yang bisa terambil oleh cyclone (teoritis):

$$D_{p,th} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot B_e}{\pi \cdot N_s \cdot v_{in} \cdot (\rho_s - \rho_f)}}$$

v_{in} = kecepatan masuk gas

N_s = jumlah putaran gas dalam cyclone (tergantung kecepatan gas masuk atau keluar),

B_e = lebar inlet.

Persamaan di atas didasari dengan 50% partikel berdiameter $D_{p,th}$ dapat terkumpul (Perry, 7th ed.).

Tampak bahwa $B_e >$ maka $D_{p,th} >$ sehingga partikel kecil tidak terendapkan.

Oleh karena itu, penambahan jumlah siklon dilakukan pada kapasitas besar, bukan memperbesar ukuran siklon.

Kapasitas $> \rightarrow$ jumlah cyclone $>$; ukuran cyclone tetap.

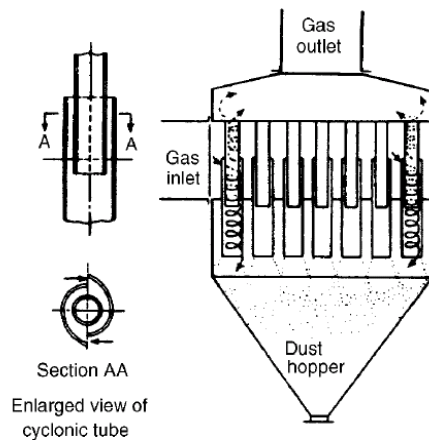


Figure 1.56. Multi-tube cyclone separator

Collection Efficiency tergantung loading (kadar padatan dalam gas masuk):

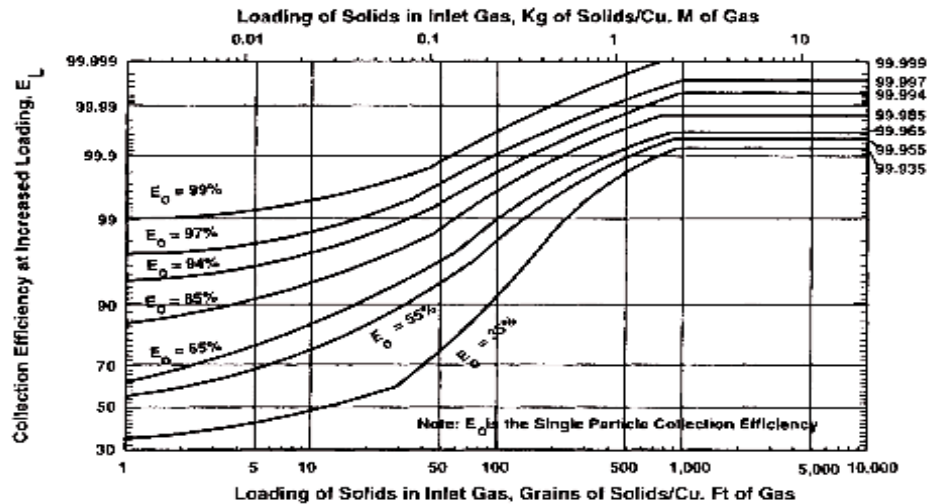


FIG. 17-40 Effect of inlet loading on collection efficiency for Geldart Group A and Group C particles. (Courtesy of PSRI, Chicago.)

4. Mechanical Centrifugal separator

Gaya sentrifugal dibuat dengan rotating member dari alat. Collection Efficiency kira-kira comparable dengan high-pressure-drop cyclone. Alat lebih compact, namun perlu power.

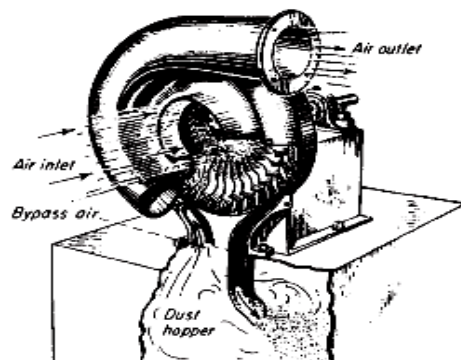


FIG. 17-45 Typical mechanical centrifugal separator. Type D Rotocyclone (cut-away view). (American Air Filter Co., Inc.)

5. Particulate scrubber

→ Digunakan cairan (umumnya air) untuk membantu pemisahan debu atau kabut dari gas. Telah digunakan lebih dari 100 tahun. Banyak sekali jenis peralatan yang bisa digunakan. Teori belum mantap, rumus / pengalaman empiris banyak digunakan.

Prinsip pengumpulan mirip Impingement Separator, hanya cairan berfungsi sebagai penghalang, sehingga debu menempel lalu masuk ke cairan, dan mencegah terjadinya re-entrainment. Cairan selanjutnya membawa debu yang tertangkap. Penangkapan : mirip Inertial Collector (Impingement) Re-entrainment : beda. Penelitian membuktikan bahwa mekanisme paling dominan pada penangkapan debu pada scrubber adalah Inertial Deposition.

Sifat wetting dari partikel : masih diperdebatkan pengaruhnya, berpengaruh besar atau tidak ? wetting agent bermanfaat ? Pengalaman menunjukkan bahwa pengaruhnya tak terlalu besar.

$$\left[\begin{array}{l} \text{partikel ukuran sama} \\ \text{wettability beda} \end{array} \right] \rightarrow \text{pemisahan tak berbeda banyak}$$

Penelitian masih belum berhasil menjawab dengan memuaskan.

Scrubber prinsipnya terdiri 2 bagian :

1. contactor stage

→ cairan disemprotkan, dan terjadi kontak yang bagus antara cairan dan gas berdebu, sehingga debu tertangkap cairan.

2. entrainment separation stage

→ cairan yang mengandung partikel – partikel debu dipisahkan dari gas.

Dua tahapan (stages) tersebut secara fisik bisa terpisah atau bisa menjadi satu.

Contacting Power Correlation :→ Korelasi yang bermanfaat untuk perancangan scrubber.

Ada hubungan antara collection efficiency dengan power yang diserap akibat kontak gas-cair, atau disebut contacting power, dan korelasi ini berlaku untuk berbagai jenis scrubber.

$$N_i = \alpha P_T^\gamma \quad (\text{Perry, 1999})$$

α, γ = tetapan ; P_T = contacting power ; N_i = number of transfer unit

Grafik log N_i versus log P_T linier dengan slope = γ

Contacting Power terdiri 3 komponen : (Satuan : MJ/1000 m³)

1. Gas Phase Contacting Power

$$P_G = 1,0 \times F_E \quad (F_E = \text{kPa} = \text{pressure drop})$$

2. Liquid Phase Contacting Power

$$P_L = 1,0 \times P_F (Q_L / Q_G)$$

(P_F = kPa = gauge ; Q_L, Q_G = m³/s = debit)

3. Mechanical Contacting Power

(tambahan kerja mekanis oleh alat lain, misal impeler), disebut PM

Jadi :

$$P_T = P_G + P_L + P_M$$

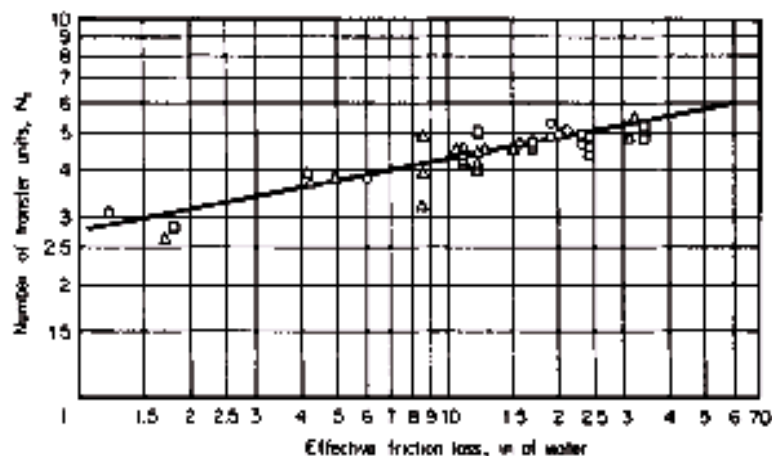


FIG. 17-46 Performance of pilot-plant venturi scrubber on fly ash. Liquid-to-gas ratio, gal/1000 ft³: ○, 10; △, 15; □, 20. (Rabe, United States–U.S.S.R. Symposium on Fine-Particulate Emissions from Industrial Sources, San Francisco, 1974.)

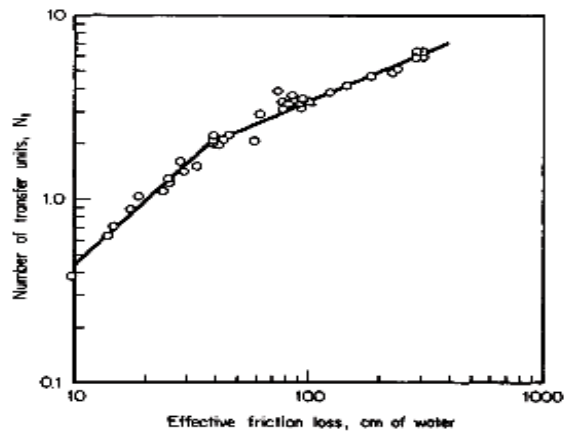


FIG. 17-47 Performance curve for orifice scrubber collecting ammonium fluorescein aerosol. (Seawar *et al.*, EPA 600/2-77-337, 1977.)

Particulate scrubber

a. venturi scrubbers

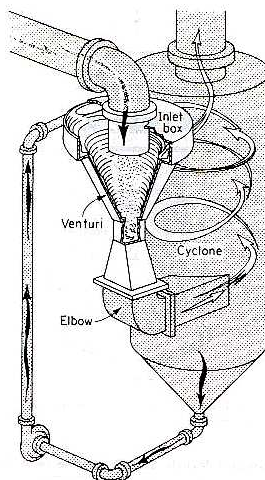


FIG. 20-120 Venturi scrubber, wet-approach type. (Chemical Construction Corp.)
Perry, 6th ed.

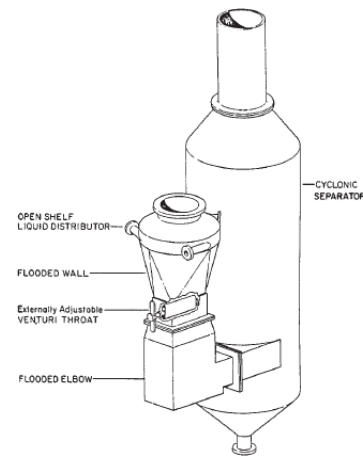


FIG. 17-48 Venturi scrubber. (Neptune AirPol.)

Perry, 7th ed.

- ✓ Paling sering digunakan
- ✓ Low ↔ High energy
Commonly : High
- ✓ Simplicity and Flexibility
- ✓ Dapat digunakan sebagai absorber untuk gas yang mudah larut

b. self induced spray scrubbers,

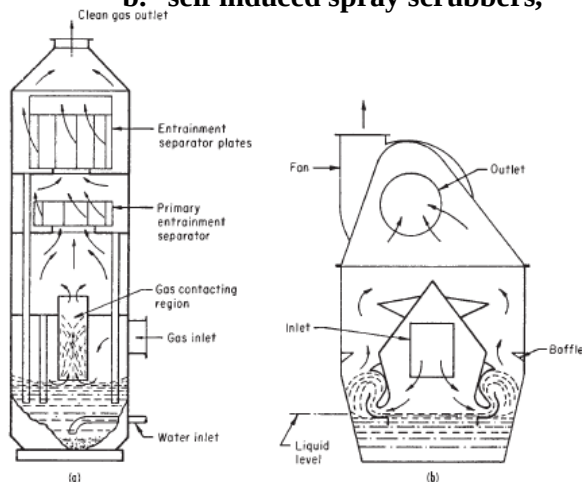


FIG. 17-49 Self-induced spray scrubbers. (a) Blow-Knox Food & Chemical Equipment, Inc. (b) American Air Filter Co., Inc.

Meskipun bisa untuk high-energy, tapi umumnya dirancang untuk low-energy .

Keuntungan utama :

→ eliminasi pompa untuk resirkulasi cairan.

Design untuk high - energy sering terlalu complicated.

c. plate towers scrubbers,

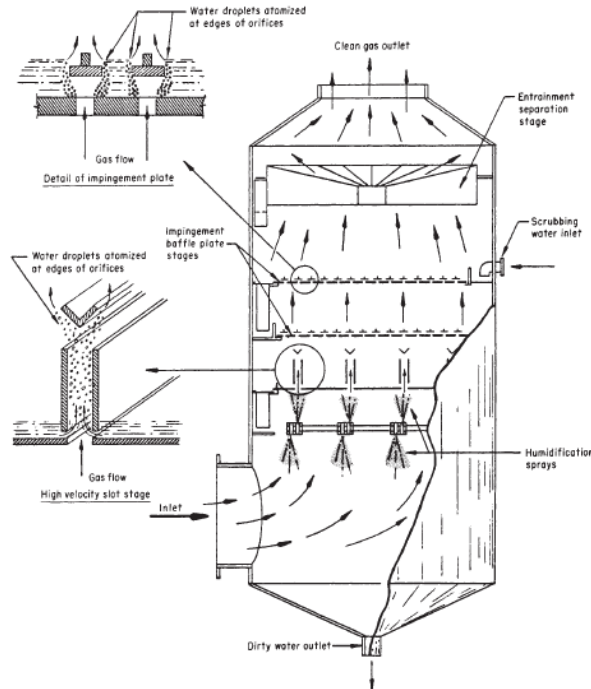


FIG. 17-50 Impingement-plate scrubber. (Peabody Engineering Corp.)

- ✓ Aliran gas dan cairan counter - current
- ✓ Dipakai sejumlah plates sebagai gas - liquid contacting
- ✓ Mirip dengan absorber (bisa sekaligus dipakai sebagai absorber)
- ✓ Plates bisa berbagai tipe, misal : sieve , bubble - cap , dll

Paling sering Impingement Baffle Plate (gambar).

Impingement pada baffle tidak mengontrol.

Yang dominan : droplet yang terbentuk pada perforation dan baffles.

High contacting power : perlu banyak plates .

Rawan terhadap plugging dan fouling.

d. packed bed scrubbers,

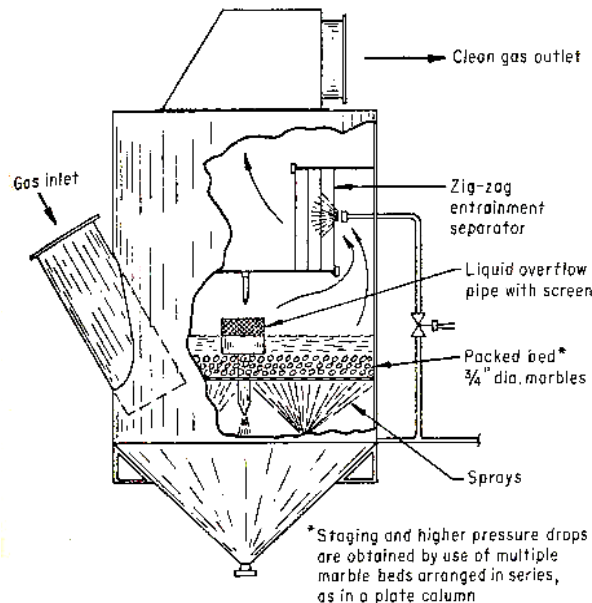


FIG. 20-117. Packed-bed scrubber. (National Dust Collector Corp., Hydrofilter.)

- ✓ Packed bed untuk absorpsi juga bisa dipakai untuk scrubber, hanya ada kemungkinan buntu akibat deposit padatan dari debu.
- ✓ Random packing (berl - saddle misalnya,

paling mudah buntu).

Jika diinginkan absorpsi diikuti scrubbing, disarankan dipakai 2 alat.

1. Primary Stage : misal ventury scrubber
→ untuk menghilangkan sebagian besar debu
2. Secondary Stage : misal packed bed
→ untuk mengabsorpsi dan penghilangan sisa debu

Tipe Vertical : counter - current flow

Tipe Horizontal : cross - flow

e. mobile bed scrubbers,

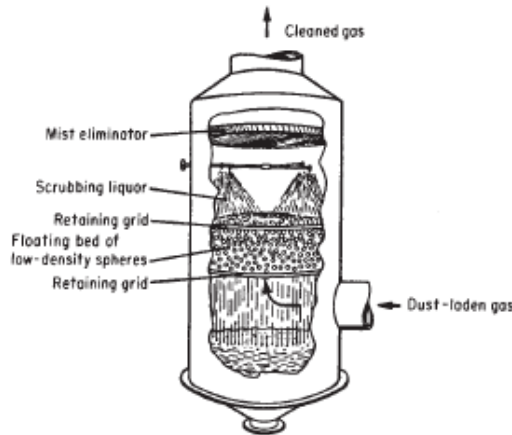


FIG. 17-51 Mobile-bed scrubber. (Air Correction Division, UOP.)

- ✓ Bed berisi bola-bola yang rapat massanya kecil.
- ✓ Akibat aliran gas keatas dan cairan kebawah, bola-bola bergerak naik turun diantara kedua grid.
- ✓ Bola-bola berukuran $\geq 2,5$ cm dan dibuat dari karet atau plastik.
- ✓ Bola bisa pejal atau berongga.
- ✓ Gerak bola-bola mencegah fouling dan plugging pada bed.

Debu umumnya tertangkap oleh percikan cairan, bukan oleh bola-bola (terlalu besar)

Pressure Drop bisa dinaikkan dengan :

1. menaikkan kecepatan gas
2. perbandingan cairan : gas
3. menambah ketebalan bed
4. rapat massa packing
5. jumlah bed

Collection Efficiency ternyata hanya dipengaruhi pressure drop pada gas.

f. spray scrubbers

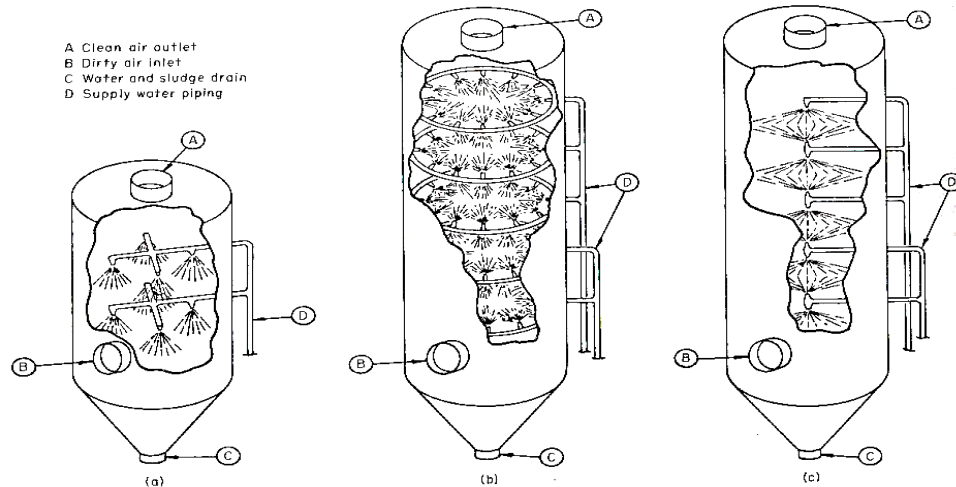


FIG. 20-114. Spray towers. (a) Simple spray tower with two spray banks. [Dicks, *Air Eng.*, 14 (January, 1967).] (b) Spray tower with five banks of circumferentially placed sprays. [Hausberg, *Staub*, 21, 418 (1961).] (c) Spray tower with nine axially placed sprays. [Hausberg, *Staub*, 21, 418 (1961).]

Gas berdebu mengalir keatas dan berkontak dengan droplet cairan yang disemprotkan lewat beberapa rangkaian spray nozzles.

- ✓ Aliran gas bisa juga horizontal
- ✓ Pressure drop gas rendah
- ✓ Contacting power diperoleh dari kombinasi pressure drop cairan dan laju alir cairan
- ✓ Kebanyakan low - energy unit
- ✓ Pemisahan debu halus memerlukan perbandingan cairan : gas , sangat tinggi
- ✓ Plugging pada nozzle sering terjadi
- ✓ Perlu entrainment separator untuk mencegah carry - over cairan

g. cyclone scrubbers,

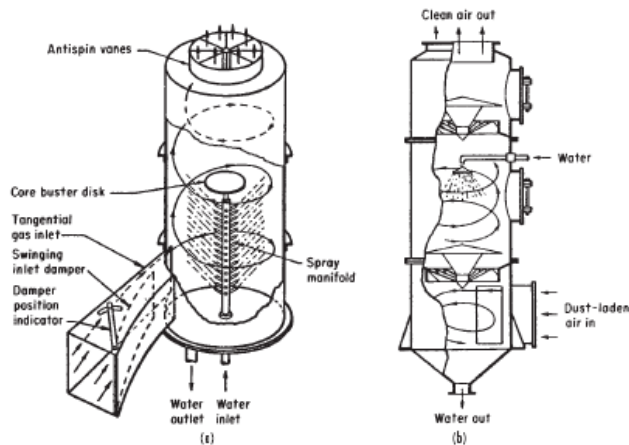


FIG. 17-52 Cyclone scrubbers. (a) Chemico Air Pollution Control Corp. (b) Ducon Co., Inc.

- ✓ Berbentuk cyclone
- ✓ Memfasilitasi pemisahan entrainment

Figure 17-52 a : perawatan nozzle mudah

Figure 17-52 b : contacting power diberikan pada sudu yang berputar akibat aliran gas (pressure drop). Contacting Power yang lebih tinggi bisa dicapai dengan menambah rangkaian sudu yang berputar.

h. ejector venture scrubbers,

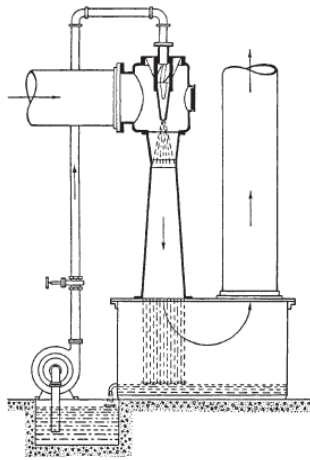


FIG. 17-53 Ejector-venture scrubber. (Schutte & Koerting Division, Ametek, Inc.)

Semburan air dari spray nozzle berfungsi ganda :

1. Scrubbing
 2. Mengalirkan gas masuk (menghisap)
- ✓ Tak ada fan yang diperlukan namun energi tetap diperlukan untuk memompa air
 - ✓ Efisiensi energi pada pengaliran gas rendah, tapi pada scrubbing cukup
 - ✓ Jumlah air harus cukup banyak
 - ✓ ΔP pada gas bukan bagian dari contacting power

i. mechanical scrubbers,

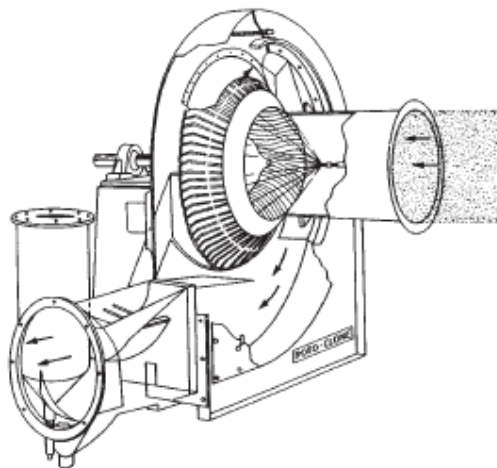


FIG. 17-54 Mechanical scrubber. (American Air Filter Co., Inc.)

- ✓ Power driven rotor menghasilkan spray halus cairan dan kontak gas – cair
- ✓ Principal collecting body : droplets
- ✓ Entrainment separator perlu ada

Problem umum :

1. rotor tidak balance akibat deposit debu.
 2. abrasi akibat partikel kasar.
- Umumnya untuk light – duty.

j. fiber bed scrubbers,

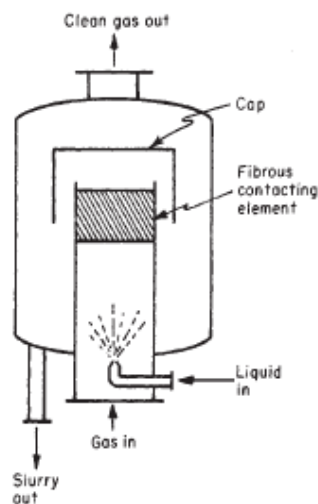


FIG. 17-55 Fibrous-bed scrubber. (Lucas and Porter, U.S. Patent 3,370,401, 1967.)

- ✓ Bisa sekaligus terjadi scrubbing dan filtrasi.
- ✓ Lubang-lubang bed tak boleh terlalu halus (plugging).
- ✓ Bed tak boleh termampatkan.
- ✓ Untuk partikel dan pressure drop sama, fiber-bed scrubber lebih efisien dibanding ventury-scrubber.
- ✓ Efisiensi untuk submicrometer particle

- rendah karena lubang-lubang fiber besar.
- ✓ Penggunaan kurang luas karena tendensi plugging.
- ✓ Bed harus mudah dilepas untuk dibersihkan.

k. electrically augmented scrubbers,
mirip electrically precipitators.

6. Dry Scrubbing

→ Scrubbing dimana transfer massa terjadi antara fase gas dan liquid like surface, dan output berupa gas dan solidlike 'dry' product.

Proses umumnya lebih complicated, sering melibatkan adsorpsi atau reaksi kimia.

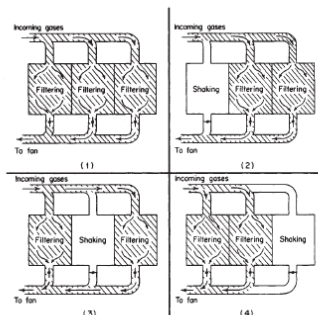
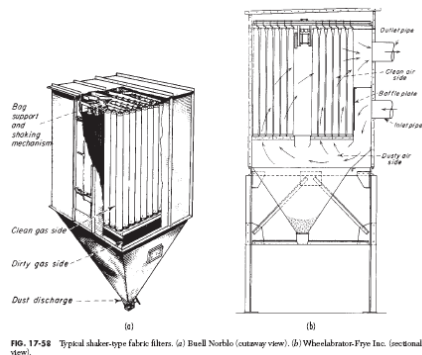
Bisa untuk menyerap gas.

Contoh : penyerapan NO_x dengan spray drying dengan slurry Ca(OH)₂ dalam air

NO_x terserap pada slurry droplets, kemudian air menguap, sehingga tersisa padatan Ca(OH)₂ yang menyerap NO_x secara kimiawi. Terbukti sistem ini lebih efektif dibanding dengan pemakaian activated carbon.

7. Fabric filters/ bag filters/ bag houses,

Gas berdebu dilewatkan membran yang menahan debu tapi meneruskan gas.



8. granular bed filters,

9. Air filters,

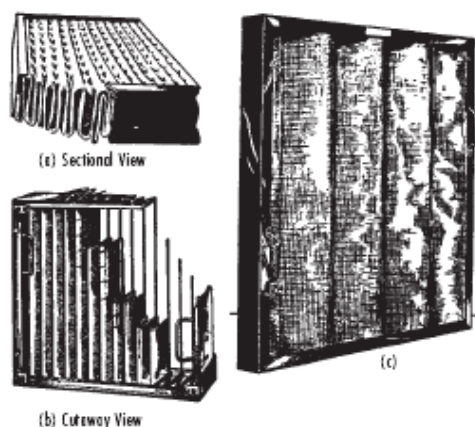


FIG. 17-64 Typical dry filters. (a) Throwaway type, Airplex. (Davies Air Filter Corporation.) (b) Replaceable medium type, Airmat PL-24, cutaway view. (American Air Filter Co., Inc.) (c) Cleanable type, Amirglass sawtooth. (Amirton Company.)

10. electrical precipitators.

Debu dalam gas ditembak dengan elektron. Elektron menempel pada debu sehingga debu bermuatan listrik. Debu bermuatan listrik didorong ke dinding dengan medan listrik.

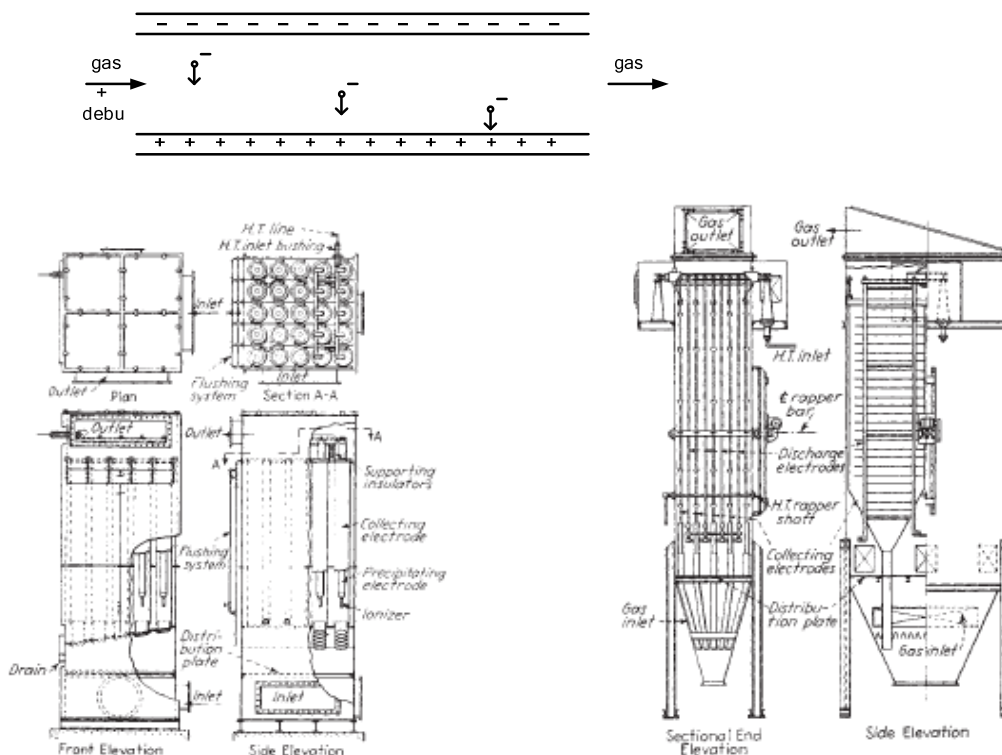


FIG. 17-72 Two-stage water-film pipe precipitator. (Western Precipitation Division, Joy Manufacturing Company.)

FIG. 17-74 Vertical-flow heavy-duty plate precipitator. (Western Precipitation Division, Joy Manufacturing Company.)

COST OF DUST COLLECTOR

Pemilihan sistem / peralatan yang cocok sangat dipengaruhi aspek ekonomi (biaya).

- Biaya : 1. Equipment Cost
2. Operating Cost

Perlu perhitungan teliti. Grafik / data empiris berikut diharapkan bisa memberikan guidelines untuk estimasi kasar.

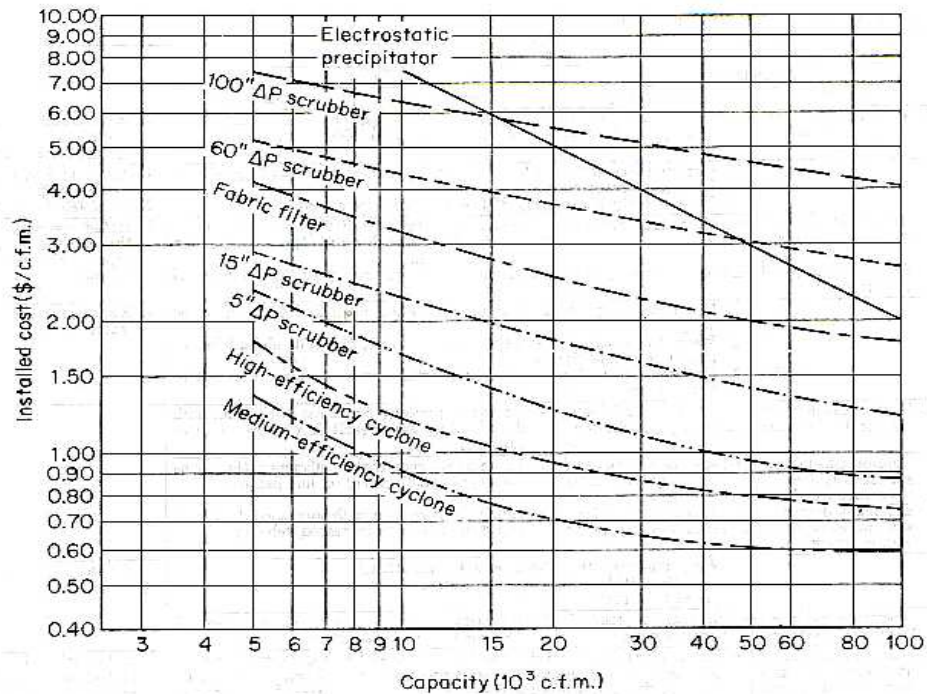


Fig. 20-152. Total installed costs for particulate-control devices. (Courtesy of Arthur D. Little, Inc.; prepared by C. R. La Mantia.)

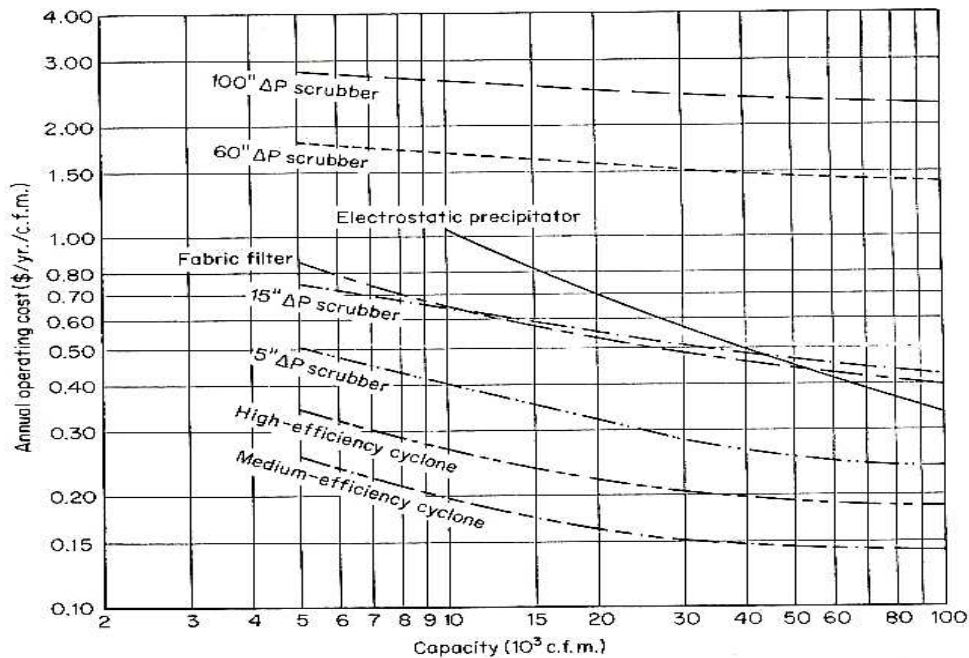


Fig. 20-153. Annual operating costs for particulate-control devices (including capital charges). (Courtesy of Arthur D. Little, Inc.; prepared by C. R. La Mantia.)

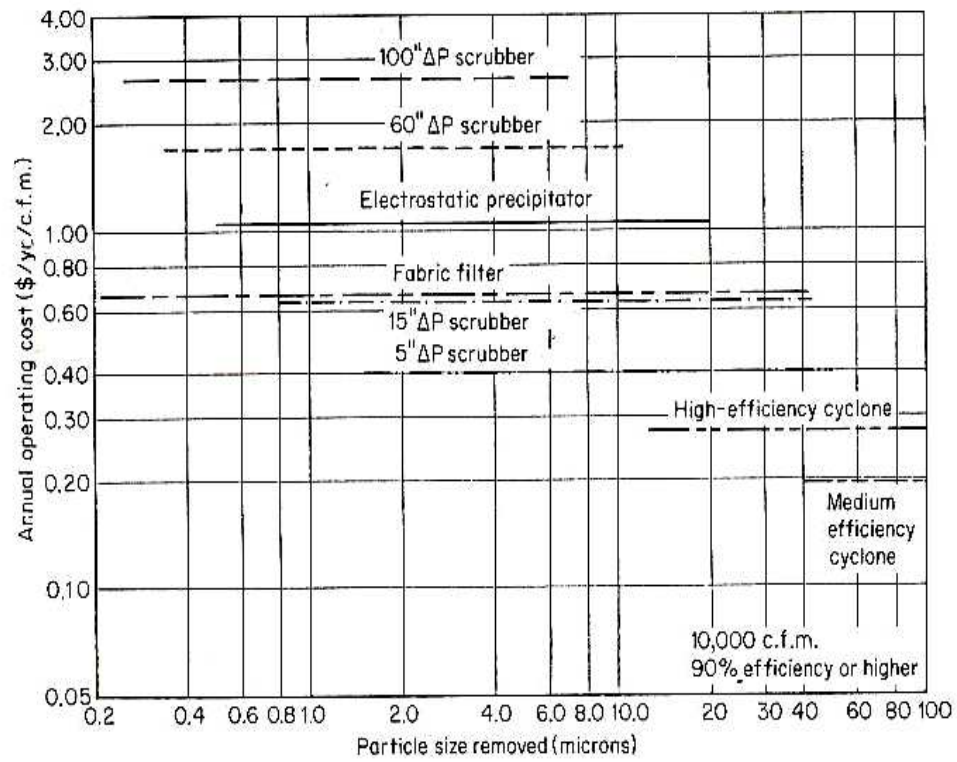


Fig. 20-154. Cost/effectiveness comparison for particulate-control devices. (Courtesy of Arthur D. Little, Inc.; prepared by C. R. La Mantia.)