
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2002/2003

Februari 2003

**IEK 205/3 - TEKNOLOGI KAWALAN
PENCEMARAN UDARA**

Masa : 3 jam

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi EMPATBELAS (14) mukasurat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Jawab **EMPAT (4)** soalan. Semua soalan mesti dijawab dalam Bahasa Malaysia.

Jawab samada **TIGA (3)** soalan dari **BAHAGIAN A** dan **SATU (1)** dari **BAHAGIAN B**

ATAU

DUA (2) soalan dari **BAHAGIAN A** dan **DUA (2)** soalan dari **BAHAGIAN B**.

BAHAGIAN A

1. Arang batu yang digunakan di suatu loji kuasa mempunyai kandungan tenaga pada anggaran 25 kJ/g, kandungan karbon 60 %, sulfur 2 % dan bahan mineral tak terbakar yang digelar sebagai abu (*ash*) 10 %. Had emisi bahan pencemar udara yang dibenarkan di kawasan itu ialah 260 g SO₂ (130 g sulfur, S) dan 13 g bahan partikulat bagi setiap 10⁶ kJ masukan haba ke loji. 70 % abu makan membentuk abu terbang (*fly ash*) dan 30 % lagi keluar sebagai abu bawah (*bottom ash*). Jika untuk loji ini 3 unit tenaga haba akan menjadikan 1 unit tenaga elektrik maka:

- (a) Kira emisi SO₂, partikulat dan karbon untuk setiap kilowatt-jam tenaga elektrik yang terjana. (Andaikan semua karbon dalam arang batu akan terbebas ke udara).

(25 markah)

- (b) Kira keefisienan sistem kawalan emisi sulfur untuk memenuhi had yang dibenarkan.

(25 markah)

- (c) Kira keefisienan sistem kawalan emisi partikulat untuk memenuhi had yang dibenarkan

(25 markah)

- (d) Kira kepekatan SO₂ di kawasan perumahan yang berhampiran loji tersebut dalam unit ppm jika bacaan kepekatan SO₂ ialah 365 µg/m³ pada suhu 25 °C dan tekanan 1 atm.

(25 markah)

Maklumat Tambahan

Berat Molekul SO₂ = 64, Berat Atom S = 32, O = 16, C = 12

Untuk menukar antara unit ppm dengan mg/m³ guna persamaan berikut:

$$\text{mg/m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{berat molekul}}{22.414} \times \frac{273.15 \text{ K}}{T \text{ (K)}} \times \frac{P \text{ (atm)}}{1 \text{ atm}}$$

Darabkan nilai dalam mg/m³ dengan 1000 untuk mendapatkan µg/m³

2. (a) Bermula dengan mengira jumlah jisim habuk yang berpindah ke satu titisan air yang jatuh semasa hujan, dalam ruang yang kepekatan habuk ialah $c \text{ kg/m}^3$, terbitkan suatu persamaan rekabentuk untuk satu *scrubber* aliran silang (*crossflow scrubber*).

(50 markah)

- (b) Keberkesanan *scrubber* ialah 90 peratus bagi partikel saiz 3 µ untuk titisan air bergaris pusat 400 µ. Katakan suatu muncung sembur air diubahsuai supaya titisan air menjadi 200 µ sementara kadar aliran air tidak diubah maka kira keberkesanan baru *scrubber* itu.

$$\text{Diberi } N_s = \rho D^2 V / (18 \mu D_b)$$

- N_s = nombor pemisahan
 ρ = ketumpatan partikel (2000 kg/m³)
 D = diameter partikel
 V = halaju tamatan titisan air (*terminal velocity*)
 μ = kelikatan udara ($1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$)
 D_b = diameter titisan air (*diameter of barrier*)

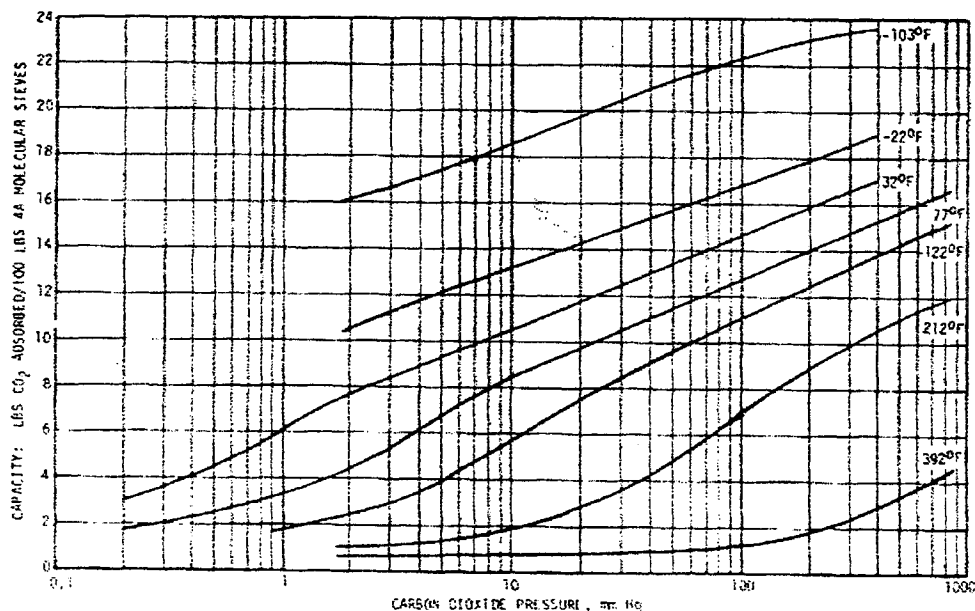
(lihat Lampiran 1 dan 2 untuk maklumat tambahan)

(50 markah)

3. (a) Terbitkan persamaan untuk halaju tamatan suatu partikel, diameter D , yang mendak dalam udara menurut hukum Stoke.
(25 markah)
- (b) Terbitkan suatu persamaan untuk kecekapan pemendak graviti (*gravity settlers*) bagi aliran laminar.
(25 markah)
- (c) Terbitkan persamaan kecekapan siklon kemudian tunjukkan bagaimana kamu boleh mengira garis pusat potongan, D_{cut} (*cut diameter*).
(25 markah)
- (d) Suatu siklon beroperasi pada keadaan garis pusat potongan, $D_{cut} = 10 \mu$. Terdapat cadangan siklon yang rekabentuknya sama tetapi dimensinya separuh dari siklon sekarang. Jika kadar aliran isipadu, beban partikel dan taburan saiz partikel dikekalkan maka kira nilai D_{cut} yang baru.
(25 markah)
4. (a) (i) Halaju purata gas sisa yang tiba ke permukaan penapis fabrik ialah $V_s = 5 \text{ ft/min}$. Berapakah luas permukaan fabrik yang diperlukan untuk suatu rumah beg bagi suatu loji kuasa arang batu 750 MW yang menghasilkan 1.5 juta acfm gas sisa? (acfm = *actual cubic feet per minute*).
(ii) Jika penapisan ini dilakukan dengan fabrik dalam bentuk beg silinder panjang 40 ft dan garis pusat 1 ft, berapa begkah yang diperlukan?
(iii) Jelaskan secara ringkas perbezaan antara penapisan permukaan (*surface filter*) dengan penapisan dalaman (*depth filter*).
(50 markah)
- (b) Beri gambaran ringkas kewujudan pencemar udara utama seperti CO , NO_x , SO_x , Pb , O_3 dan bahan partikulat (abu dan HC yang tak terbakar) melalui suatu contoh proses pembakaran yang mudah.
(50 markah)

BAHAGIAN B

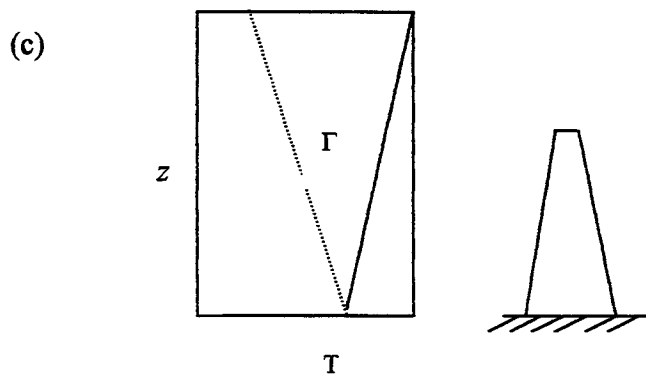
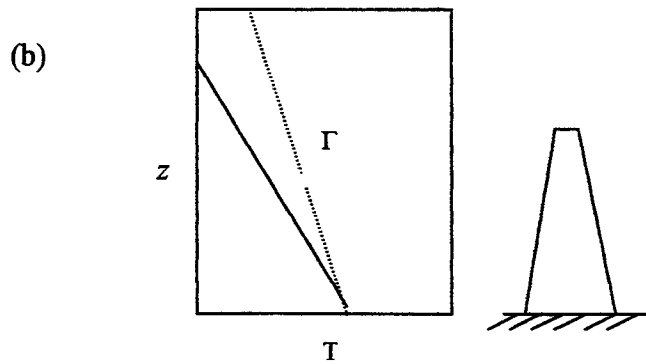
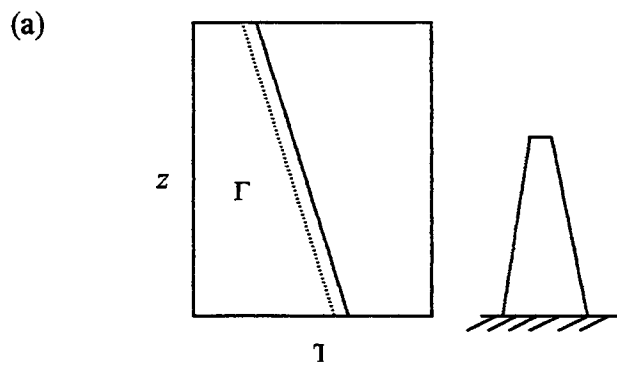
5. (a) Huraikan 4 ciri utama yang perlu ada pada pelarut (solvent) yang digunakan dalam operasi serapan gas. (20 markah)
- (b) Huraikan perbezaan di antara serapan fizikal dan serapan kimia. (30 markah)
- (c) Rujuk kepada Rajah 1.
- (i) Anggarkan jumlah paun CO₂ yang dapat dijerap oleh 100 paun ayak molekul Davison 4A daripada campuran gas keluaran pada 77°F dan 40psia yang mengandungi 10000 ppm (berdasar isipadu) CO₂.
- (ii) Berapa peratuskah daripada wap terjerat ini dapat dipulihkan oleh wap panas lampau yang dilalukan pada suhu 392°F melalui penjerap sehingga tekanan separa CO₂ yang keluar dikurangkan kepada 1.0 mmHg. (50 markah)

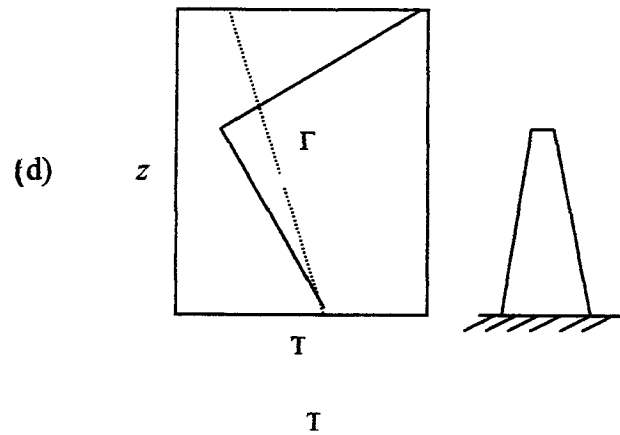


Rajah 1: Keseimbangan wap-pepejal

6. (a) Lakarkan bentuk plum yang dijangkakan diberi graf z melawan T seperti di Rajah 2(a) – 2(d). Beri sedikit huraian mengapa plum berbentuk demikian. Garisan putus-putus ialah kadar lelap adiabatik kering (*dry adiabatic lapse rate*)

(50 markah)





Rajah 2

- (b) Satu kilang melebur tembaga mempunyai paip tumpu (stack) dengan ketinggian 150m dan kenaikan plum sebanyak 75m. Ia mengeluarkan SO_2 pada kadar 1000 g/s. Anggarkan kepekatan aras bumi SO_2 daripada punca ini pada jarak 5km bawah angin (downwind) apabila kelajuan angin ialah 3 m/s dan kelas kestabilan ialah C. Lampiran 5 dan 6 dapat membantu dalam memperolehi jawapan.

LAMPIRAN /

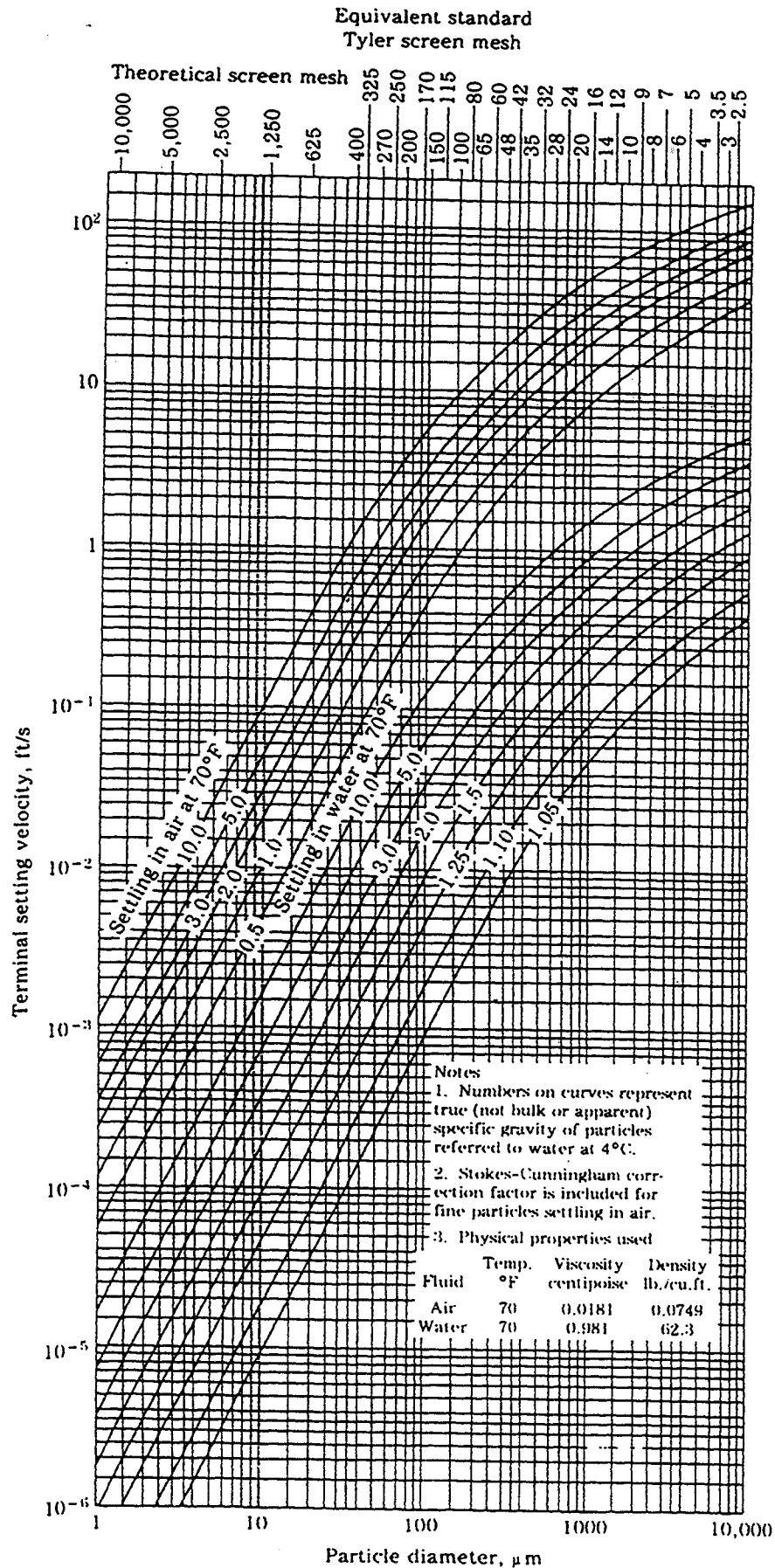


FIGURE 8.7

Terminal settling velocities of spherical particles of different densities settling in air and water at 70°F under the influence of gravity. (From C. E. Lapple, et al., *Fluid and Particle Mechanics*, University of Delaware, Newark, 1951, p. 292.) (Observe that the scale is 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5....)

LAMPIRAN 2:

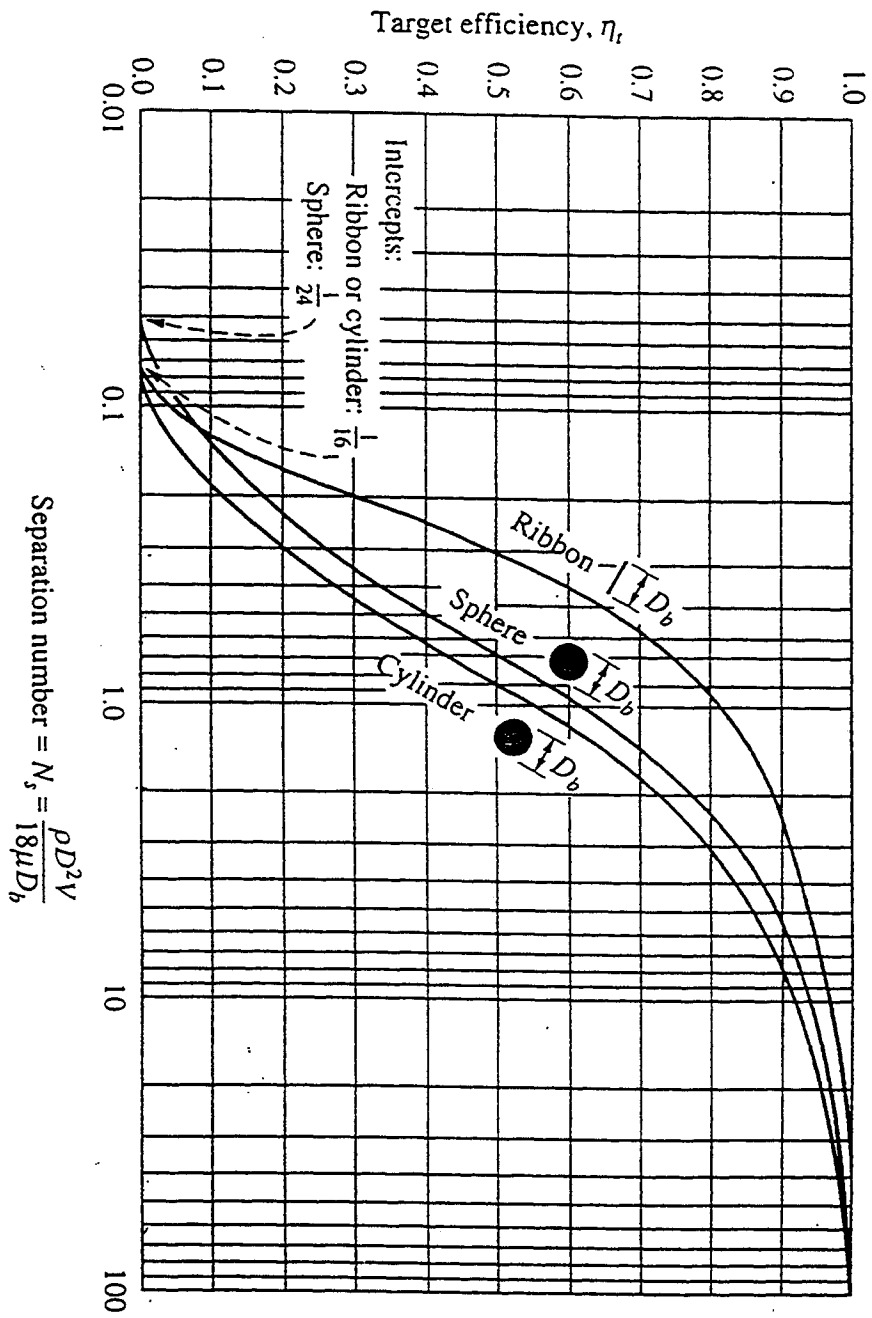


FIGURE 9.18

Target efficiency as a function of separation number, for cylinders, ribbons, and spheres. (From Ref. 18.)

LAMPIRAN 3

CONVERSION FACTORS*

Length:

$$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m} = 12 \text{ in.} = \text{mile}/5280 = \text{nautical mile}/6076 \\ = \text{km}/3281$$

$$1 \text{ m} = 3.281 \text{ ft} = 39.37 \text{ in.} = \text{km}/1000 = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm} \\ = 10^6 \text{ microns} = 10^6 \mu\text{m} = 10^9 \text{ nm} = 10^{10} \text{ \AA}$$

Mass:

$$1 \text{ lbm} = 0.45359 \text{ kg} = \text{short ton}/2000 = \text{long ton}/2240 = 16 \text{ oz (av.)} \\ = 14.58 \text{ oz (troy)} = \text{metric ton (tonne)}/2204.63 = 7000 \text{ grains} \\ = \text{slug}/32.2$$

$$1 \text{ kg} = 2.2046 \text{ lbm} = 1000 \text{ g} = (\text{metric ton or tonne or Mg})/1000$$

Force:

$$1 \text{ lbf} = 4.4482 \text{ N} = 32.2 \text{ lbm} \cdot \text{ft}/\text{s}^2 = 32.2 \text{ poundal} = 0.4536 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ N} = \text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2 = 10^5 \text{ dyne} = \text{kgf}/9.81 = 0.2248 \text{ lbf}$$

Volume:

$$1 \text{ ft}^3 = 0.02831 \text{ m}^3 = 28.31 \text{ liters} = 7.48 \text{ U.S. gallons} \\ = 6.23 \text{ Imperial gallons} = \text{acre-ft}/43\,560$$

$$1 \text{ U.S. gallon} = 231 \text{ in.}^3 = \text{barrel (petroleum)}/42 = 4 \text{ U.S. quarts} \\ = 8 \text{ U.S. pints} = 3.785 \text{ liters} = 0.003785 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liters} = 35.29 \text{ ft}^3$$

Energy:

$$1 \text{ Btu} = 1055 \text{ J} = 1.055 \text{ kw} \cdot \text{s} = 2.93 \times 10^{-4} \text{ kwh} = 252 \text{ cal} \\ = 777.97 \text{ ft} \cdot \text{lbf} = 3.93 \times 10^{-4} \text{ hp} \cdot \text{h}$$

$$1 \text{ J} = \text{N} \cdot \text{m} = \text{W} \cdot \text{s} = \text{volt} \cdot \text{coulomb} = 9.48 \times 10^{-4} \text{ Btu} \\ = 0.239 \text{ cal} = 10^7 \text{ erg} = 6.24 \times 10^{18} \text{ electron volts}$$

*These values are mostly rounded. There are several definitions for some of these quantities, e.g., the Btu and the calorie; these definitions differ from each other by up to 0.2 percent. For the most accurate values see the *ASTM Metric Practice Guide*, ASTM Pub. E 380-93, Philadelphia, 1993.

LAMPIRAN 4**Power:**

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{s} = 33\,000 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{min} = 2545 \text{ Btu}/\text{h} = 0.746 \text{ kW}$$

$$1 \text{ W} = \text{J}/\text{s} = \text{N} \cdot \text{m}/\text{s} = \text{volt} \cdot \text{ampere} = 1.34 \times 10^{-3} \text{ hp} = 0.239 \text{ cal}/\text{s}$$

$$= 9.49 \times 10^{-4} \text{ Btu}/\text{s}$$

Pressure:

$$1 \text{ atm} = 101.3 \text{ kPa} = 1.013 \text{ bar} = 14.696 \text{ lbf}/\text{in}^2 = 33.89 \text{ ft of water}$$

$$= 29.92 \text{ inches of mercury} = 1.033 \text{ kgf}/\text{cm}^2 = 10.33 \text{ m of water}$$

$$= 760 \text{ mm of mercury} = 760 \text{ torr}$$

$$1 \text{ psi} = \text{atm}/14.696 = 6.89 \text{ kPa} = 0.0689 \text{ bar} = 27.7 \text{ in. H}_2\text{O} = 51.7 \text{ torr}$$

$$1 \text{ Pa} = \text{N}/\text{m}^2 = \text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2 = 10^{-5} \text{ bar} = 1.450 \times 10^{-4} \text{ lbf}/\text{in}^2$$

$$= 0.0075 \text{ torr} = 0.0040 \text{ in. H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.987 \text{ atm} = 14.5 \text{ psia}$$

Psia, psig:

Psia means pounds per square inch, absolute. Psig means pounds per square inch, gauge, i.e., above or below the local atmospheric pressure.

Viscosity:

$$1 \text{ cp} = 0.01 \text{ poise} = 0.01 \text{ g}/\text{cm} \cdot \text{s} = 0.001 \text{ kg}/\text{m} \cdot \text{s} = 0.001 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$= 6.72 \times 10^{-4} \text{ lbm}/\text{ft} \cdot \text{s} = 2.42 \text{ lbm}/\text{ft} \cdot \text{h} = 2.09 \times 10^{-5} \text{ lbf} \cdot \text{s}/\text{ft}^2$$

$$= 0.01 \text{ dyne} \cdot \text{s}/\text{cm}^2$$

Kinematic viscosity:

$$1 \text{ cs} = 0.01 \text{ stoke} = 0.01 \text{ cm}^2/\text{s} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 1 \text{ cp}/(\text{g}/\text{cm}^3)$$

$$= 1.08 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{s} = \text{cp}/(62.4 \text{ lbm}/\text{ft}^3)$$

Temperature:

$$\text{K} = ^\circ\text{C} + 273.15 = ^\circ\text{R}/1.8 \approx ^\circ\text{C} + 273 \quad ^\circ\text{C} = (^\circ\text{F} - 32)/1.8$$

$$^\circ\text{R} = ^\circ\text{F} + 459.67 = 1.8 \text{ K} \approx ^\circ\text{F} + 460 \quad ^\circ\text{F} = 1.8^\circ\text{C} + 32$$

Concentration (ppm):

In the air pollution literature and in this book, ppm applied to a gas always means parts per million by volume or by mol. These are identical for an ideal gas, and practically identical for most gases of air pollution interest at 1 atm pressure. Ppm applied to a liquid or solid means parts per million by mass.

For perfect gases at 1 atm and 25°C, 1 ppm = (40.87 · molecular weight) $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Common Units and Values for Problems and Examples:

See inside back cover.

Lampiran 5

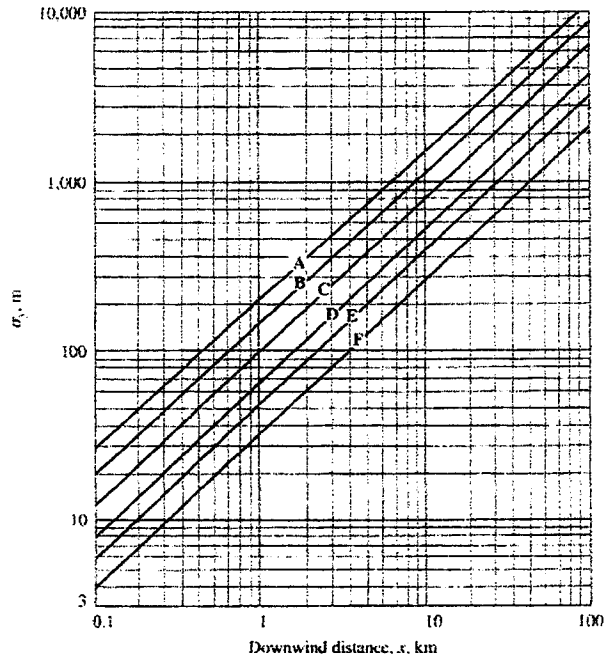


FIGURE 6.7
Horizontal dispersion coefficient σ_y as a function of downwind distance from the source for various stability categories. See Problem 6.16. (From Turner [7].)

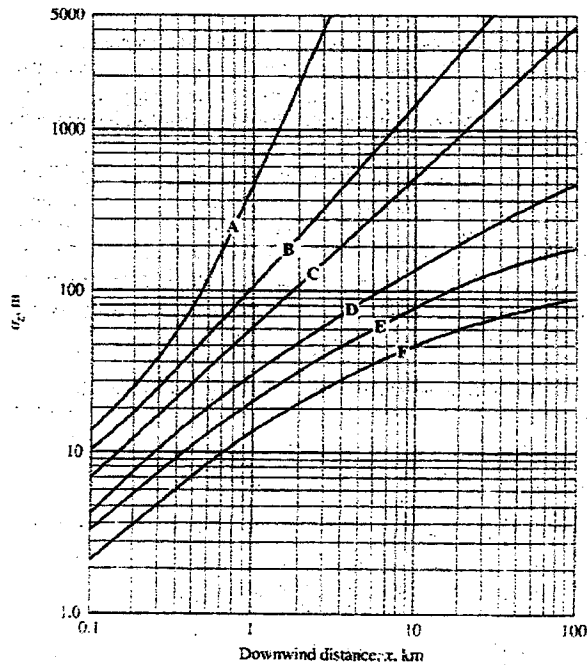


FIGURE 6.8
Vertical dispersion coefficient σ_z as a function of downwind distance from the source for various stability categories. See Problem 6.16. (From Turner [7].)

Lampiran 6

TABLE 6.1
Key to stability categories

| Surface wind speed (at 10 m), m/s | Day | | | Night | |
|-----------------------------------|--------------------------|----------|--------|---|-----------------------------------|
| | Incoming solar radiation | | | Thinly overcast or $\geq \frac{1}{8}$ cloud | Clear or $\leq \frac{1}{8}$ cloud |
| | Strong | Moderate | Slight | | |
| 0-2 | A | A-B | B | - | - |
| 2-3 | A-B | B | C | E | F |
| 3-5 | B | B-C | C | D | E |
| 5-6 | C | C-D | D | D | D |
| ≥ 6 | C | D | D | D | D |

Source: Ref. 7.

Note: The neutral class D should be assumed for overcast conditions during day or night.

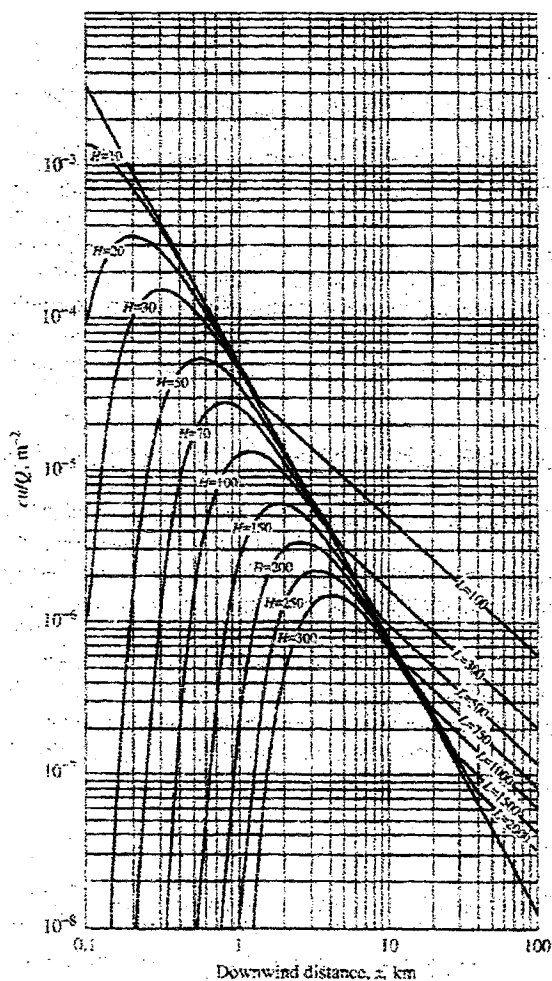


FIGURE 6.9
Ground-level cu/Q , directly under the plume centerline, as a function of downwind distance from the source and effective stack height, H , in meters, for C stability only. (From Turner [7].) Here L is the atmospheric mixing height, also in meters.

Persamaan kepekatan plum yang mempunyai imej-cermin:

$$c = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - 0.5 \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \left[\exp - 0.5 \left(\frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 + \exp - 0.5 \left(\frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

$$\frac{cu}{Q} = \frac{1}{\pi \sigma_y \sigma_z} \exp - 0.5 \left(\frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \quad \text{for } z = 0, y = 0$$