

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2010/2011 Academic Session

April/May 2011

**IEK 205 – AIR POLLUTION CONTROL TECHNOLOGY**  
**[TEKNOLOGI KAWALAN PENCEMARAN UDARA]**

Duration: 3 hours  
Masa: [3 jam]

---

Please check that this examination paper consists of THIRTEEN pages of printed material before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi TIGABELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

**Instructions:** Answer FOUR questions. You may answer the questions either in Bahasa Malaysia or in English.

**Arahan:** Jawab EMPAT soalan. Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai.]*

1. (a) Briefly explain all of the following items:

- i) Cake filtration
- ii) Separation number
- iii) Target efficiency
- iv) Cunningham correction factor
- v) Aerodynamic diameter
- vi) HEPA

(30 marks)

(b) Derive the terminal velocity equation for a particle falling in air under Stoke's condition. Derive also the efficiency equation for a gravity settler. All symbols and assumptions must be stated.

(30 marks)

(c) Derive the efficiency equation of a cyclone used to reduce dust in air and briefly explain how the efficiency can be improved. Show also how the cut diameter can be determined.

All symbols and assumptions must be stated.

(20 marks)

(d) A cyclone which has a cut diameter of 2 micron is used for sampling waste gas that enters its inlet pipe at a velocity of 20 m/s.

i) Calculate the external diameter of the cyclone,  $D_o$ , if  $N = 5$  cycles,  $\rho_p = 2000 \text{ kg/m}^3$  and  $\mu = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$

ii) Calculate the volumetric flowrate through this cyclone.

(20 marks)

2. (a) An ESP (Electrostatic Precipitator) system in Kilang Simen Langkawi can collect 95% particles in the waste gas stream passing through it. New regulations state that 99% particles must be collected. If the factory has been operating using 12 identical ESP units before the implementation of the new regulation, calculate the additional units required to achieve the new ESP efficiency ( $\eta$ ) for mixed flow.

Given  $\eta = 1 - \exp(-\eta_b)$ ;  $p = 1 - \eta$  and  $\eta_b = \omega a/Q$

Explain also all the given symbols.

(40 marks)

- (b) An ESP is collecting 95% of the particles in a waste gas stream. You are required to improve its performance. It has been suggested that if we were to cool the waste gas from the present 600 °F to 250 °F, the performance would improve. Check whether the suggestion is acceptable or not, if we keep the mass flow rate constant and we do not change any of the dimensions of the ESP. Assume also that changing the temperature does not change the drift velocity,  $\omega$ .

Equations in part 2(a) can be used in your calculations.

Given also  $R = ^\circ\text{F} + 460$  and  $PV/T = \text{a constant}$  where  $P$ ,  $V$  and  $T$  are respectively the gas pressure, volume and temperature.

(30 marks)

- (c) A crossflow scrubber traps 90 percent of the particles that pass into it. If the gas flow rate is doubled and the other processing factors remain constant, what is the collection efficiency at the new flow rate?

Given:

$$\ln p = -1.5 (\eta_t/D_D) \cdot (Q_L/Q_G) \cdot \Delta z$$

Explain also all the symbols in the above equation.

(30 marks)

3. (a) Explain why concentration of indoor air pollutants are generally greater than concentration of the same pollutants found outdoors.

(50 marks)

- (b) Why radon is a serious indoor air pollutant?

(50 marks)

4. An exhaust gas (with  $MW_{\text{gas}} = 29 \text{ g/gmol}$ ) has trace amounts of chloroform with a mole fraction  $y_C = 0.002$  (2000 ppm). Its flow rate is 100 scfm at 30°C and 1 atm. It is required to remove and recover 99.9% of chloroform and you plan to use a scrubber to achieve this.

- (a) Select a suitable solvent from the characteristics of the solvents given in Table 1 and state your reasons. Antoine equation is given below where  $T$  is in the units of °C and  $p$  is in mmHg,

$$\lg p = A - \frac{B}{T + C}$$

Table 1 Some physical properties of solvents

Chemical	Molecular weight (g/mol)	Boiling point temperature (°C)	A	B	C	Solubility in water (g/ 100 mL)
Chloroform	119.38	61.2	6.90328	1163.03	227.4	0.8 (at 20°C)
Water	18.01528	100	8.10765	1750.286	235.0	-
Ethanol	46.07	78	8.20417	1642.89	230.300	miscible
Acetic acid	60.05	118.1	7.80307	1651.1	225	miscible

(60 marks)

- (b) Estimate the required solvent rate to recover chloroform using a scrubber column based on the solvent chose in (a) using the following equation. Notation definitions are standard practise and  $y_i^* = 0.9y_i$ . (Given 1 kg = 2.205 lb)

$$-GdY_i = LdX_i$$

(40 marks)

5. Malawata Steel Bhd is an old steel processing plant with a smoke stack of height 80 m emitting SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> at emission rates of 500 g/s and 445 g/s respectively. Assuming the plume rise is negligible, what would be the concentrations of these gaseous emissions on neighboring residential area of 0.5 km downwind when the wind speed is 2 m/s and atmospheric stability is B, in ppm?

Comment on your answer based on permitted air quality guidelines. The following equation would be useful where the notations are standard. (Given molar volume at 25°C: 24.5 L = 1 mol; MW<sub>air</sub> = 29 g/gmol; S = 32; N = 12; O = 16).

$$c = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \left[ \exp - \frac{1}{2} \left( \frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 + \exp - \frac{1}{2} \left( \frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

(100 marks)

...5/-

1. (a) *Jelaskan secara ringkas semua perkara berikut*
- i) *Penurasan kek*
  - ii) *Nombor pemisahan*
  - iii) *Keberkesanan sasaran*
  - iv) *Faktor pembetulan Cunningham*
  - v) *Garispusat aerodinamik*
  - vi) *HEPA*
- (30 markah)
- (b) *Terbitkan persamaan halaju tamatan bagi suatu partikel yang jatuh dalam udara menurut keadaan Stoke. Terbitkan juga persamaan keberkesanan untuk suatu pemendak graviti. Semua simbol dan andaian mestilah dinyatakan.*
- (30 markah)
- (c) *Terbitkan persamaan keberkesanan bagi suatu siklon yang digunakan untuk mengurangkan habuk di dalam udara kemudian terangkan secara ringkas bagaimana keberkesanan siklon dapat ditingkatkan. Tunjukkan juga bagaimana garispusat potongan dapat ditentukan.*
- Semua simbol dan andaian mesti dinyatakan.*
- (20 markah)
- (d) *Suatu siklon mempunyai garispusat potongan 2 mikron digunakan untuk persampelan gas sisa yang masuk pada halaju 20 m/s pada salur masuknya.*
- i) *Kira garispusat luar siklon,  $D_o$ , jika  $N = 5$  kitaran,  $\rho_p = 2000 \text{ kg/m}^3$  dan  $\mu = 1.8 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$*
  - ii) *Kira kadar aliran isipadu melalui siklon ini.*
- (20 markah)
2. (a) *Sebuah sistem ESP (Electrostatic Precipitator) di Kilang Simen Langkawi dapat memerangkap 95% partikel dalam aliran gas sisa. Perundangan baru memerlukan 99% partikel mesti diperangkap. Sekiranya sebelum ini pihak kilang beroperasi dengan menggunakan 12 unit ESP yang serupa, maka kira berapa unit lagi yang diperlukan untuk kecekapan sistem ESP yang baru ( $\eta$ ) dengan mengandaikan aliran bercampur.*
- Diberi  $\eta = 1 - \exp(-\eta_b)$ ;  $p = 1 - \eta$  and  $\eta_b = \omega a/Q$*
- Jelaskan semua simbol di atas.*
- (40 markah)

- (b) Suatu ESP mengumpulkan 95% partikel yang terdapat di dalam arus gas sisa. Anda dikehendaki memperbaiki prestasi itu. Terdapat saranan menyejukkan gas sisa itu dari 600 °F kepada 250 °F, untuk prestasi meningkat. Adakah saranan itu boleh diterima, jika kadar aliran jisim malar dan dimensi ESP tidak diubah. Anggap juga halaju hanyutan  $\omega$  tidak berubah apabila suhu berubah.

Persamaan dalam bahagian sa) boleh digunakan untuk pengiraan anda.

Diberi juga  $R = ^\circ F + 460$  dan  $PV/T = \text{malar}$ ;  $P$ ,  $V$  dan  $T$  masing-masing ialah tekanan, isipadu dan suhu gas.

(30 markah)

- (c) Suatu “scrubber” aliran silang memerangkap 90 peratus partikel yang melaluinya. Jika kadar aliran gas digandakan dua kali sementara faktor pemprosesan lain tidak berubah, maka apakah nilai kecekapan pengumpulan yang baru?

Diberi:

$$\ln p = -1.5 (\eta/D_D) \cdot (Q_L/Q_G) \cdot \Delta z$$

Jelaskan juga semua simbol di dalam persamaan di atas.

(30 markah)

3. (a) Jelaskan kenapa kepekatan pencemar udara di dalam bangunan secara amnya lebih tinggi daripada kepekatan pencemar yang sama yang terdapat di luar bangunan.

(50 markah)

- (b) Kenapa radon merupakan pencemar udara yang serius di dalam bangunan?

(50 markah)

4. Satu gas ekzos (dengan  $MW_{\text{gas}} = 29 \text{ g/gmol}$ ) mempunyai kandungan kloroform yang kecil dengan pecahan mol  $y_C = 0.002$  (2000 ppm). Kadar aliran gas ini ialah 100 scfm pada 30°C dan 1 atm. Gas ini perlu dirawat untuk mengeluarkan dan mengguna kembali kloroform yang ada sebanyak 99.9% dan anda bercadang memilih suatu “scrubber” untuk mencapai tahap ini.

- (a) Pilih pelarut yang sesuai daripada ciri-ciri pelarut yang dijadualkan di dalam Jadual 1 and beri alasan anda. Persamaan Antoine juga diberi di bawah, di mana  $T$  mempunyai unit °C dan  $p$  mmHg.

$$\lg p = A - \frac{B}{T + C}$$

Jadual 1 Ciri-ciri fizikal beberapa pelarut

Bahan kimia	Jisim molekul relatif (g/mol)	Takat didih (°C)	A	B	C	Keterlarutan di dalam air (g/ 100 mL)
Kloroform	119.38	61.2	6.90328	1163.03	227.4	0.8 (pada 20°C)
Air	18.01528	100	8.10765	1750.286	235.0	-
Etanol	46.07	78	8.20417	1642.89	230.300	Boleh campur
Asid asetik	60.05	118.1	7.80307	1651.1	225	Boleh campur

(60 markah)

- (b) Anggar kadar aliran pelarut untuk mengeluarkan kloroform dengan menggunakan menara “scrubber” berdasarkan pilihan pelarut di (a) dan menggunakan persamaan di bawah. Takrifan pembolehubah adalah seperti biasa dan  $y_i^* = 0.9y_i$ . (Diberi 1 kg = 2.205 lb)

$$-GdY_i = LdX_i$$

(40 markah)

5. Malawata Steel Bhd ialah sebuah kilang memproses besi dengan satu cerobong yang mengeluarkan gas  $SO_2$  dan  $NO_2$  pada kadar 500 g/s dan 445 g/s masing-masing dengan ketinggian 80 m. Dengan menganggap ketinggian plum ialah kecil, apakah kepekatan gas-gas tersebut di kawasan perumahan yang terletak 0.5 km bawah angin apabila kelajuan angin ialah 2 m/s dan kestabilan atmosfera ialah kategori B, dalam unit ppm?

Berikan komen ke atas jawapan yang anda dapat berdasarkan rujukan kualiti udara. Persamaan yang diberi bawah dapat membantu anda untuk menjawab soalan di mana takrifan pembolehubah adalah seperti biasa. (Diberi isipadu molar pada 25°C: 24.5 L = 1 mol;  $MW_{udara} = 29$  g/gmol;  $S = 32$ ;  $N = 12$ ;  $O = 16$ ).

$$c = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \left[ \exp - \frac{1}{2} \left( \frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 + \exp - \frac{1}{2} \left( \frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

(100 markah)