

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
Academic Session 2008/2009

November 2008

**KIT 253 – Chemical Engineering Thermodynamics**  
**[Termodinamik Kejuruteraan Kimia]**

Duration : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

---

Please check that this examination paper consists of **EIGHT** printed pages before you begin the examination.

**Instructions:**

Answer any **FIVE** (5) questions.

You may answer the questions either in Bahasa Malaysia or in English.

If a candidate answers more than five questions, only the answers to the first five questions in the answer sheet will be graded.

- 2 -

1. One pound of air undergoes a thermodynamic cycle consisting of three processes.  
 Process 1-2: constant specific volume.  
 Process 2-3: constant temperature expansion.  
 Process 1-2: constant pressure compression.

At state 1, the temperature is 540 R, and the pressure is 1 atm. At state 2, the pressure is 2 atm. Employing the ideal gas equation of state:

- (a) Sketch the cycle on p-v coordinates  
 (b) Determine the temperature at state 2, in R  
 (c) Determine the specific volume at state 3, in ft<sup>3</sup>/lb

(Given that the molecular weight of air is 28.97 lb/lb mol)

(20 marks)

2. An initially deflated and flat balloon is connected by a valve to a 12 m<sup>3</sup> storage tank containing helium gas at 2 MPa and ambient temperature, 20 °C. The valve is opened and the balloon is inflated at constant pressure,  $P_o = 100$  kPa, equal to ambient pressure, until it becomes spherical at  $D_1 = 1$  m. If the balloon is larger than this, the balloon material is stretched giving a pressure inside as

$$P = P_o + C \left( 1 - \frac{D_1}{D} \right) \frac{D_1}{D}$$

The balloon is inflated to a final diameter of 4 m, at which point the pressure inside is 400 kPa. The temperature remains constant at 20 °C. What is the maximum pressure inside the balloon at any time during this inflation process? What is the pressure inside the helium storage tank at this time?

(20 marks)

3. An ideal gas  $C_p = \frac{7}{2} R$ , is heated in a steady-flow heat exchanger from 70 °C to 190 °C by another stream of the same ideal gas which enters at 320 °C. The flow rates of the two streams are the same, and heat losses from the exchanger are negligible.

- (a) Calculate the molar entropy changes of the two gas streams for both parallel and counter-current flow in the exchanger.
- (b) What is  $\Delta S_{\text{total}}$  in each case?
- (c) Repeat parts (a) and (b) for counter current flow if the heating stream enters at 200 °C.

(20 marks)

4. A small turbine delivers 150 kW and is supplied with steam at 700 °C, 2 MPa. The exhaust passes through a heat exchanger where the pressure is 10 kPa and exits as saturated liquid. The turbine is reversible and adiabatic. Find the specific turbine work, and the heat transfer in the heat exchanger.

(20 marks)

5. A steam power plant employs two adiabatic turbines in series. Steam enters the first turbine at 650 °C and 7,000 kPa and discharges from the second turbine at 20 kPa. The system is designed for equal power outputs from the two turbines, based on a turbine efficiency of 78 % for each turbine.

- (a) Determine the temperature and pressure of the steam in its intermediate state between the two turbines.
- (b) What is the overall efficiency of the two turbines together with respect to isentropic expansion of the steam from the initial to the final state?

(20 marks)

6. (a) One kilogram of air is heated reversibly at constant pressure from an initial state of 300 K and 1 bar until its volume triples. Calculate  $W$ ,  $Q$ ,  $U$ , and  $H$  for the process. Assume for air that  $\frac{PV}{T} = 83.14 \text{ bar cm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  and  $C_p = 29 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ . (10 marks)

- (b) Show that  $W$  and  $Q$  for an arbitrary mechanically reversible non-flow process are given by:

$$W = \int V dP - \Delta(PV) \quad Q = \Delta H - \int V dP \quad (10 \text{ marks})$$

7. (a) The contents of the freezer in a home refrigerator are maintained at  $-20^\circ\text{C}$ . The kitchen temperature is  $20^\circ\text{C}$ . If heat leaks amount to 125,000 kJ per day, and if electricity costs \$0.08 / kWh, estimate the yearly cost of running the refrigerator. Assume a coefficient of performance equal to 60% of the Carnot value.
- (b) Steam at 2,100 kPa and  $260^\circ\text{C}$  expands at constant enthalpy (as in a throttling process) to 125 kPa. What is the temperature of the steam in its final state and what is its entropy change? What would be the final temperature and entropy change for an ideal gas?
- (c) A common misconception is that the coefficient of performance of a refrigerator must be less than unity. In fact, this is rarely the case. To see why, consider a real refrigerator for which  $\omega = 0.6 \omega_{\text{Carnot}}$ . What condition must be satisfied in order that  $\omega < 1$ ? Assume that  $T_H$  is fixed. (20 marks)

## TERJEMAHAN

---

### Arahan:

Jawab **LIMA** (5) soalan.

Anda dibenarkan menjawab soalan ini sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.

Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan, hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.

1. Satu paun udara melalui satu kitar termodinamik yang mengandungi tiga proses.  
 Proses 1-2 : Isipadu spesifik malar.  
 Proses 2-3 : Suhu pengembangan malar.  
 Proses 1-2 : Tekanan pemampatan malar.

Pada keadaan 1, suhu dan tekanan masing masing adalah 540 R dan 1 atm. Manakala, pada keadaan 2, tekanan adalah sebanyak 2 atm. Gunakan persamaan gas ideal pada keadaan:

- (a) Lakar kitar pada koordinat p-v  
 (b) Tentukan suhu pada keadaan 2, dalam R  
 (c) Tentukan isipadu spesifik pada keadaan 3, dalam kaki<sup>-3</sup> lb

(Diberi jisim molekul udara adalah 28.97 lb/lb mol)

(20 markah)

2. Keadaan awal sebiji belon yang kempis dan tidak terisi udara disambung ke sebuah tangki simpanan berisipadu, 12 m<sup>3</sup> yang mengandungi gas helium pada tekanan 2 MPa dan suhu sekeliling, 20 °C. Injap tersebut dibuka dan belon diisi dengan gas helium pada tekanan tetap, P<sub>o</sub> = 100 kPa, bersamaan tekanan sekeliling sehingga belon tersebut berbentuk sfera pada D<sub>1</sub> = 1 m. Jika belon tersebut menjadi lebih besar daripada keadaan sekarang, bahan asal belon akan meregang dan memberi satu tekanan di dalam belon sebagai

$$P = P_o + C \left( 1 - \frac{D_1}{D} \right) \frac{D_1}{D}$$

Belon diisi angin sehingga diameternya menjadi 4 m dan titik tekanan di dalam belon adalah 400 kPa. Suhu kekal malar pada 20 °C.

Berapakah tekanan maksimum di dalam belon pada bila-bila masa semasa proses angin diisi?

Berapakah tekanan dalam tangki simpanan gas helium ketika itu?

(20 markah)

3. Satu gas ideal  $C_p = \frac{7}{2} R$ , dipanaskan di dalam satu penukar haba aliran mantap dari suhu  $70^\circ\text{C}$  ke  $190^\circ\text{C}$  oleh aliran lain gas ideal yang sama dimana ia masuk pada suhu  $320^\circ\text{C}$ . Kadar alir bagi kedua-dua aliran adalah sama dan haba yang hilang dari alat penukar haba diabaikan.
- Kira perubahan entropi molar bagi kedua-dua aliran gas untuk kadar aliran selari dan aliran arus berlawanan di dalam alat penukar haba.
  - Apakah nilai  $\Delta S_{\text{total}}$  dalam setiap keadaan.
  - Ulang bahagian (a) dan (b) untuk aliran arus berlawanan jika aliran haba yang masuk adalah pada suhu  $200^\circ\text{C}$ .
- (20 markah)
4. Sebuah turbin kecil menghantar  $150\text{ kW}$  dan dibekalkan dengan stim pada suhu  $700^\circ\text{C}$ ,  $2\text{ MPa}$ . Ekzos dari turbin tersebut melalui satu alat penukar haba di mana tekanannya ialah  $10\text{ kPa}$  dan ia keluar sebagai cecair yang tepu. Turbin tersebut bersifat berbalik dan adiabatik. Cari kerja spesifik turbin dan jumlah haba yang berpindah di dalam alat penukar haba.
- (20 markah)
5. Satu loji kuasa wap mengaplikasi siri dua turbin adiabatik. Wap masuk ke turbin pertama pada suhu  $650^\circ\text{C}$  dan tekanan  $7,000\text{ kPa}$  dan mengalir daripada turbin kedua pada tekanan  $20\text{ kPa}$ . Sistem dicipta untuk mendapat hasil kuasa yang sama dari kedua-dua turbin, berdasarkan kecekapan setiap turbin adalah sebanyak  $78\%$ .
- Tentukan suhu dan tekanan wap di dalam keadaan pengantaraan antara kedua-dua turbin.
  - Apakah kecekapan keseluruhan bagi kedua-dua turbin bersama berdasarkan wap pengembangan isentropik dari keadaan awal hingga ke keadaan akhir.
- (20 markah)

6. (a) Satu kilogram udara dipanaskan secara berbalik pada tekanan malar dari keadaan asalnya iaitu 300 K dan 1 bar hingga isipadunya menjadi tiga kali ganda. Kiralah  $W$ ,  $Q$ ,  $U$ , dan  $H$  bagi proses ini. Andaikan bagi udara tersebut  $\frac{PV}{T} = 83.14 \text{ bar cm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  dan  $C_p = 29 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

(10 markah)

- (b) Buktikan bahawa  $W$  dan  $Q$  bagi proses rambang berbalik mekanikal tidak mengalir diberi seperti berikut:

$$W = \int VdP - \Delta(PV) \quad Q = \Delta H - \int VdP$$

(10 markah)

7. (a) Ruang penyejuk beku di dalam peti sejuk di rumah dikekalkan pada suhu  $-20^\circ\text{C}$ . Suhu dapur ialah  $20^\circ\text{C}$ . Jika kebocoran haba berjumlah 125,000 kJ setiap hari, dan jika kos elektrik RM 0.08 / kWh, anggarkan kos bagi setahun untuk penggunaan peti sejuk tersebut. Andaikan pekali prestasi bersamaan dengan 60% dari nilai Carnot.

- (b) Stim pada 2,100 kPa dan  $260^\circ\text{C}$  mengembang pada entalpi malar (seperti di dalam proses mendikit) kepada 125 kPa. Berapakah suhu stim pada tahap akhir dan berapakah jumlah perubahan entropi? Berapakah suhu akhir dan perubahan entropi bagi satu gas unggul?

- (c) Satu kekeliruan yang selalunya berlaku adalah pekali prestasi bagi peti sejuk mestilah kurang dari 1. Pada hakikatnya, kes ini jarang berlaku. Untuk mengetahui mengapa, andaikan peti sejuk sebenar dengan nilai  $\omega = 0.6 \omega_{\text{Carnot}}$ . Apakah syarat yang mesti dipatuhi untuk memastikan nilai  $\omega < 1$ ? Andaikan bahawa  $T_H$  adalah tetap.

(20 markah)