
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2010/2011 Academic Session

November 2010

KIT 253 – Chemical Engineering Thermodynamics
[Termodinamik Kejuruteraan Kimia]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please check that this examination paper consists of TEN pages of printed material 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.

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

- 2 -

1. A closed, rigid container of volume 0.5 m^3 is placed on a hot plate. Initially, the container holds a two-phase mixture of saturated liquid water and saturated water vapour at $p_1 = 1 \text{ bar}$ with a quality of 0.5. After heating, the pressure in the container is $p_2 = 1.5 \text{ bar}$. Indicate the initial and final states on a T - v diagram, and determine:
- The temperature, in $^\circ\text{C}$, at each state.
 - The mass of vapour present at each state, in kg.
 - If heating continued, determine the pressure, in bar, when the container holds only saturated vapour.

(Given that $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$)

(20 marks)

2. (a) Derive the following expressions for an ideal gas:

$$\text{Volume expansivity, } \chi_v = \frac{1}{T} \quad \text{and Isothermal compressibility, } \beta_T = \frac{1}{p}$$

(10 marks)

- (b) Derive the following relations from the definitions of χ_v , β_T and ρ :

$$\chi_v = -\left(\frac{1}{p}\right)\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_p \quad \beta_T = \left(\frac{1}{p}\right)\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_T$$

(10 marks)

-3-

3. Air at 1 bar and 298.15 K is compressed to 5 bar and 298.15 K by two different mechanically reversible processes:
- Cooling at constant pressure followed by heating at constant volume.
 - Heating at constant volume followed by cooling at constant pressure.

Calculate the heat, work requirements, ΔU and ΔH of the air for each path. The following heat capacities for air may be assumed independent of temperature:

$$C_v = 20.78 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad \text{and} \quad C_p = 29.10 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Assume also for air that PVT is a constant, regardless of the changes it undergoes. At 298.15 K and 1 bar the molar volume of air is $0.02479 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$.

(20 marks)

4. Two tanks contain steam, and they are both connected to a piston/cylinder as shown in Figure 1. Initially, the piston is at the bottom and the mass of the piston is such that a pressure of 1.4 MPa below it will be able to lift it. Steam in A is 4 kg at 7 MPa, 700°C and B has 2 kg at 3 MPa, 350°C. The two valves are opened, and the water comes to a uniform state. Find the final temperature and the total entropy generation, assuming no heat transfer.

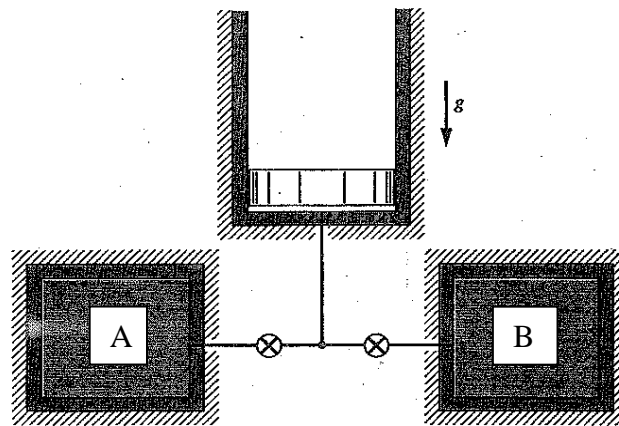


Figure 1

(20 marks)

-4-

5. (a) Helium has the lowest normal boiling point of any of the elements at 4.2 K. At this temperature the enthalpy of evaporation is $83.3 \text{ kJ kmol}^{-1}$. A Carnot refrigeration cycle is analyzed for the production of 1 kmol of liquid helium at 4.2 K from saturated vapor at the same temperature. What is the work input to the refrigerator and the coefficient of performance for the cycle with an ambient at 300 K?

(10 marks)

- (b) Consider a Carnot cycle heat engine operating in outer space. Heat can be rejected from this engine only by thermal radiation, Q_{rad} , which is proportional to the radiator area, A , and the fourth power of absolute temperature, T , by this relationship $Q_{\text{rad}} \sim KAT^4$, where K is a constant. Show that for a given engine work output and given T_H , the radiator area will be minimum when the ratio $T_L/T_H = 3/4$.

(10 marks)

6. An elastic balloon behaves such that pressure is proportional to diameter and the balloon contains 0.5 kg air at 200 kPa, 30°C . The balloon is momentarily connected to an air line at 400 kPa, 100°C . Air is let in until the volume doubles, during which process there is heat transfer of 50 kJ out of the balloon. Find the final temperature and the mass of air that enters the balloon.

(20 marks)

-5-

7. (a) The contents of the freezer in a home refrigerator are maintained at -20°C . The kitchen temperature is 20°C . If heat leaks amount to 125,000 kJ per day, and if electricity costs RM0.08 / kWh, estimate the yearly cost of running the refrigerator. Assume a coefficient of performance equal to 60% of the Carnot value.
- (8 marks)
- (b) Steam at 2,100 kPa and 260°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?
- (8 marks)
- (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.
- (4 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.

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

-7-

1. Sebuah bekas tertutup dan kaku yang berisipadu 0.5m^3 diletakkan di atas plat pemanas. Pada awalnya, bekas tersebut terdiri daripada dua-fasa campuran cecair tepu dan wap air tepu pada $p_1 = 1$ bar dan nilai kualiti 0.5. Selepas pemanasan, tekanan bekas tersebut $p_2 = 1.5$ bar. Tunjukkan keadaan awal dan akhir pada diagram T - v , dan tentukan
- suhu, dalam $^{\circ}\text{C}$, pada setiap keadaan.
 - jisim wap air yang wujud pada setiap keadaan, dalam kg.
 - Jika pemanasan diteruskan, tentukan tekanan, dalam bar, apabila bekas tersebut hanya terdiri daripada wap air tepu.

(Diberikan bahawa $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$)

(20 markah)

2. (a) Terbitkan ekspresi berikut bagi gas unggul :

Pengembangan Isipadu, $\chi_v = \frac{1}{T}$ dan Pemampatan Isotermal, $\beta_T = \frac{1}{p}$

(10 markah)

- (b) Terbitkan hubungan berikut daripada definisi χ_v , β_T dan ρ :

$$\chi_v = -\left(\frac{1}{p}\right)\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_p \quad \text{dan} \quad \beta_T = \left(\frac{1}{p}\right)\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_T$$

(10 markah)

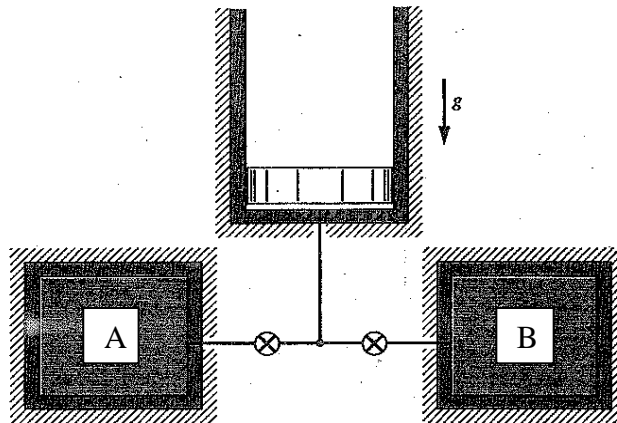
3. Udara pada 1 bar dan 298.15 K dimampatkan sehingga 5 bar dan 298.15 K melalui 2 proses berbalik mekanikal yang berbeza :
- Penyejukan pada tekanan malar dan diikuti dengan pemanasan pada isipadu malar.
 - Pemanasan pada isipadu malar dan diikuti dengan penyejukan pada tekanan malar. Kirakan haba, kerja diperlukan, ΔU dan ΔH udara pada setiap laluan. Nilai kapasiti haba berikut untuk udara boleh diandaikan tidak bergantung pada suhu:

$$C_v = 20.78 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad \text{dan} \quad C_p = 29.10 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Andaikan juga udara bahawa PV/T adalah malar, tanpa menghiraukan perubahan yang dilalui. Pada 298.15 K dan 1 bar, isipadu molar bagi udara ialah $0.02479 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$.

(20 markah)

4. Dua buah tangki mengandungi stim, dan keduanya disambung ke sebuah piston/silinder seperti yang ditunjukkan dalam Gambarajah 1. Pada awalnya, piston berada di bawah dan berat piston tersebut dengan tekanan sebesar 1.4 MPa di bawahnya akan dapat mengangkutnya. Stim di dalam A adalah 4 kg pada 7 MPa, 700°C dan B mempunyai 2 kg pada 3 MPa, 350°C. Dua buah injap dibuka, dan air berada dalam keadaan keseimbangan. Kiralah suhu akhir dan jumlah entropi yang dijana, dengan menganggap tiada pemindahan haba.



Gambarajah 1

(20 markah)

5. (a) Helium mempunyai takat didih normal terendah berbanding dengan elemen-elemen lain pada 4.2 K. Pada suhu ini, entalpi pengewapan adalah 83.3 kJ/kmol. Sebuah kitaran pendinginan Carnot dianalisis untuk penghasilan 1 kmol cecair helium pada 4.2 K daripada wap air tepu pada suhu yang sama. Apakah kemasukan kerja kepada peti sejuk dan pekali prestasi kitaran dengan keadaan sekeliling pada 300 K?

(10 marks)

- (b) Pertimbangkan sebuah enjin haba kitaran Carnot beroperasi di angkasa. Haba dapat disingkirkan daripada enjin ini hanya melalui radiasi termal, Q_{rad} , yang berkadar terus dengan luas radiator, A , dan kuasa empat suhu mutlak, T , melalui hubungan $Q_{rad} \sim KAT^4$ dengan K adalah pemalar. Tunjukkan bahawa A bagi pengeluaran kerja enjin dan T_H yang diberi, luas radiator akan menjadi minimum apabila nisbah $T_L/T_H = 3/4$.

(10 marks)

6. Sebiji belon kenyal berkeadaan seperti tekanan berkadar terus dengan diameter dan belon tersebut mengandungi 0.5 kg udara pada 200 kPa, 30°C. Belon itu disambungkan seketika ke garisan udara pada 400 kPa, 100°C. Udara dialirkan sehingga isipadu menjadi dua kali ganda dengan 50 kJ pindahan haba keluar daripada belon. Kiralah suhu akhir dan jisim udara yang masuk ke dalam belon.

(20 marks)

-10-

7. (a) Ruang penyejuk beku di dalam peti sejuk di rumah dikekalkan pada suhu -20°C . Suhu dapur ialah 20°C . Jika kebocoran haba berjumlah $125,000\text{ kJ}$ setiap hari, dan jika kos elektrik $\$0.08 / \text{kWh}$, anggarkan kos bagi setahun untuk penggunaan peti sejuk tersebut. Andaikan pekali prestasi bersamaan 60% dari nilai Carnot.
- (8 markah)
- (b) Stim pada $2,100\text{ kPa}$ dan 260°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 bagi satu gas unggul?
- (8 markah)
- (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.
- (4 markah)

-oooOooo-