

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2009/2010 Academic Session

November 2009

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

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

---

Please check that this examination paper consists of EIGHT 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. Air at 1 bar and 298.15 K is compressed to 5 bar and 298.15 K by two different mechanically reversible processes:
- (a) Cooling at constant pressure followed by heating at constant volume.
  - (b) Heating at constant volume followed by cooling at constant pressure.

Calculate the heat, work requirements,  $\Delta U$  and  $\Delta H$  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  $PVT^{-1}$  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)

2. A gas in a piston-cylinder assembly undergoes an expansion process for which the relationship between pressure and volume is given by

$$PV^n = \text{constant}$$

The initial pressure is 3 bar, the initial volume is  $0.1 \text{ m}^3$ , and the final volume is  $0.2 \text{ m}^3$ . Determine the work for the process, in kJ, if

- (a)  $n = 1.5$ ,
- (b)  $n = 1.0$ ,
- (c)  $n = 0.0$

(20 marks)

...3/-

- 3 -

3. An ideal gas initially at 600 K and 10 bar undergoes a four-step mechanically reversible cycle in a closed system. In step 1-2, pressure decreases isothermally to 3 bar; in step 2-3 pressure decreases at constant volume to 2 bar; in step 3-4, volume decreases at constant pressure; and in step 4-1, the gas returns adiabatically to its initial state. Take  $C_p = (7/2)R$  and  $C_v = (5/2)R$ .
- (a) Sketch the cycle on a PV diagram.
  - (b) Determine both T and P for states 1, 2, 3, and 4.
  - (c) Calculate Q, W,  $\Delta U$  and  $\Delta H$  for each step of the cycle.
- (20 marks)

4. The following heat engines produce power of 95,000 kW. Determine in each case the rates at which heat is absorbed from the hot reservoir and discarded to the cold reservoir.
- (a) A Carnot engine operates between heat reservoirs at 750 K and 300 K.
  - (b) A practical engine operates between the same heat reservoirs but with a thermal efficiency,  $\eta = 0.35$ .
- (20 marks)

5. Steam at 3 MPa, 400 °C enters a turbine with a volume flow rate of  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . An extraction of 15 % of the inlet mass flow rate exits at 600 kPa, 200 °C. The rest exits the turbine at 20 kPa with a quality of 90 %, and a velocity of  $20 \text{ m s}^{-1}$ . Determine the volume flow rate of the extraction flow and the diameter of the final exit pipe.
- (20 marks)

...4/-

- 4 -

6. Water is used as the working fluid in a Carnot cycle heat engine, where it changes from saturated liquid to saturated vapor at 200 °C as heat is added. Heat is rejected in a constant pressure process (also constant T) at 20 kPa. The heat engine powers a Carnot cycle refrigerator that operates between -15 °C and +20 °C. Find the heat added to the water per kg of water. How much heat should be added to the water in the heat engine so the refrigerator can remove 1 kJ from the cold space?

( 20 marks)

7. A reversible compression of 1 mol of an ideal gas in a piston/cylinder device results in a pressure increase from 1 bar to the final pressure, P2 and a temperature increase from 400 K to 950 K. The path followed by the gas during compression is given by  $PV^{1.55} = \text{constant}$ , and the molar heat capacity of the gas is given by:

$$C_p/R = 3.85 + 0.57 \times 10^{-3}T \quad [T = K]$$

Determine the heat transferred during the process and the final pressure, P2.

( 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.

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

1. Udara pada 1 bar dan 298.15 K dimampatkan ke 5 bar dan 298.15 K melalui dua proses mekanikal berulang yang berbeza:
- (a) Penyejukan pada tekanan malar diikuti pemanasan pada isipadu malar.
  - (b) Pemanasan pada isipadu malar diikuti penyejukan pada tekanan malar.

Kiralah haba, kerja yang diperlukan,  $\Delta U$  dan  $\Delta H$  bagi udara tersebut bagi setiap laluan. Muatan haba bagi udara boleh dianggap bebas dari pengaruh suhu dan diberi seperti berikut:

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

Anggaplah bahawa  $PVT^{-1}$  bagi udara adalah malar. Pada 298.15 K dan 1 bar isipadu molar bagi udara ialah  $0.02479 \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ .

( 20 markah)

2. Sebuah susunan ombok-silinder bagi gas mengalami proses pengembangan dengan hubungan antara tekanan dan isipadu dapat diwakili seperti berikut:

$$PV^n = \text{malar}$$

Tekanan awalnya ialah 3 bar, isipadu awalnya ialah  $0.1 \text{ m}^3$ , dan isipadu akhirnya ialah  $0.2 \text{ m}^3$ . Tentukan kerja yang dilakukan bagi proses ini, dalam kJ, jika:

- (a)  $n = 1.5$ ,
- (b)  $n = 1.0$ ,
- (c)  $n = 0.0$

( 20 markah)

- 7 -

3. Suatu gas unggul pada mulanya berada pada 600 K dan 10 bar mengalami kitaran mekanikal yang berulang-alik dalam empat langkah bagi suatu sistem yang tertutup. Dalam langkah 1-2, tekanan berkurangan secara isoterma kepada 3 bar; dalam langkah 2-3 tekanan berkurangan pada isipadu malar kepada 2 bar; dalam langkah 3-4, isipadu berkurangan pada tekanan malar; dan dalam langkah 4-1, gas tersebut kembali kepada keadaan asal secara adiabatik. Dengan mengambil  $C_p = (7/2)R$  dan  $C_v = (5/2)R$ .
- (a) Lakarkan kitaran tersebut pada gambar rajah *PV*.
  - (b) Tentukan nilai-nilai bagi T dan P pada keadaan 1, 2, 3, dan 4.
  - (c) Kiralah Q, W,  $\Delta U$  dan  $\Delta H$  bagi setiap langkah dalam kitaran tersebut.

(20 markah)

4. Enjin haba berikut menghasilkan kuasa sebanyak 95,000 KW. Tentukan bagi setiap kes kadar haba diserap daripada resebor panas dan disingkirkan kepada resebor sejuk.
- (a) Sebuah enjin Carnot yang beroperasi di antara resebor haba pada 750 K dan 300 K.
  - (b) Sebuah enjin praktik yang beroperasi pada keadaan yang sama di atas tetapi dengan kecekapan terma,  $\eta = 0.35$ .

(20 markah)

5. Stim pada 3 MPa, 400 °C memasuki sebuah turbin dengan kadar alir isipadu  $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Pengekstrakan sebanyak 15 % daripada kadar alir jisim masuk berlaku pada 600 kPa, 200 °C di bahagian alir keluar. Selebihnya keluar melalui turbin pada 20 kPa dengan nilai kualiti 90 %, dan nilai halaju  $20 \text{ m s}^{-1}$ . Tentukan kadar alir isipadu pengekstrakan tersebut dan diameter paip pada turbin tersebut.

( 20 markah)

6. Air digunakan sebagai cecair kerja bagi sesebuah enjin haba kitaran Carnot. Ia bertukar daripada cecair tepu kepada wap tepu pada  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  apabila haba ditambah. Haba disingkirkan dalam proses tekanan malar (juga suhu malar) pada  $20\text{ kPa}$ . Enjin haba tersebut menjana sebuah peti sejuk kitaran Carnot yang beroperasi antara  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Carilah haba yang ditambah kepada air setiap kg air. Berapakah haba yang patut ditambah kepada air dalam enjin haba agar peti sejuk tersebut boleh menyingkirkan  $1\text{ kJ}$  daripada kawasan sejuk?

( 20 markah)

7. Suatu proses pemampatan berulang-alik bagi  $1\text{ mol}$  gas unggul dalam suatu peralatan ombok/silinder menghasilkan penambahan tekanan dari  $1\text{ bar}$  kepada tekanan akhir,  $P_2$  dan pertambahan suhu dari  $400\text{ K}$  kepada  $950\text{ K}$ . Laluan yang diikuti oleh gas ketika pemampatan tersebut diberi sebagai  $PV^{1.55} = \text{malar}$ , dan muatan haba molar bagi gas tersebut:

$$C_p/R = 3.85 + 0.57 \times 10^{-3}T \quad [T = K]$$

Tentukan haba yang dipindahkan ketika proses tersebut dan tekanan akhirnya.

( 20 markah)