

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2011/2012 Academic Session

January 2012

**EKC 214 – Energy Balance**  
***[Imbangan Tenaga]***

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

---

Please check that this examination paper consists of SEVEN pages of printed material and ONE page of Appendix before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi TUJUH muka surat yang bercetak dan SATU muka surat Lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]*

**Instruction:** Answer **ALL** (4) questions.

**Arahan:** Jawab **SEMUA** (4) soalan.]

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.]*

Answer ALL questions.

Jawab SEMUA soalan.

1. [a] Water at temperature of 303 K is pumped from a depth of 5 m at the rate of  $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{min}$ . The motor for the pump supplies work at the rate of 2 hp. Only about 60% of the rated horsepower is available as works of pumping. The water passes through two heat exchangers, where it receives heat at the rate of 500 kJ/min and delivered to a storage tank where the level of water is maintain at an elevation of 50 m above the ground. Heat loss from the whole system is estimated to be at a constant rate of 400 kJ/min. Assume that the specific heat capacity of water is constant at 4.2 kJ/kg K and the density of water is  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Neglect the kinetic energy contribution.

*Air pada suhu 303 K telah dipam dari kedalaman 5 m pada kadar  $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{min}$ . Motor pada pam membekalkan kerja pada kadar 2 kuasa kuda. Pam boleh bekerja hanya pada kira-kira 60% daripada kadar kuasa kuda tersebut. Air melalui 2 unit penukar haba, di mana ia akan menerima haba pada kadar 500 kJ/min. Ia seterusnya dihantar ke tangki simpanan di mana aras air dikekalkan pada 50 m dari aras tanah. Haba yang hilang daripada keseluruhan sistem dianggarkan pada kadar tetap iaitu 400 kJ/min. Anggapkan haba muatan tentu air adalah malar pada 4.2 kJ/kg K dan ketumpatan air adalah  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Dengan mengabaikan sumbangan tenaga kinetik.*

- [i] Draw schematic diagram for the process.

*Lakarkan gambarajah skema bagi proses tersebut.*

[2 marks/markah]

- [ii] Find the temperature of the water delivered to the tank.

*Cari suhu air yang dihantar ke tangki tersebut.*

[11 marks/markah]

- [b] It is desired to concentrate caustic soda (NaOH) from 10% to 50% in a single-effect evaporator. The feed at 305 K enters at a rate of 1000 kg/h. The concentrated solution leaves the evaporator at 380 K and the vapour leaves at 373 K. Assume the pressure inside the evaporator is 1 atm. Determine the heat supplied to the evaporator.

*Dikehendaki untuk memekatkan soda kaustik (NaOH) daripada 10% kepada 50% di dalam penyejat kesan tunggal. Suapan pada 305 K masuk pada kadar 1000 kg/j. Larutan yang telah dipekatkan keluar dari penyejat pada suhu 380 K dan wap yang keluar adalah pada suhu 373 K. Anggapkan tekanan di dalam penyejat adalah 1 atm. Tentukan haba yang dibekalkan kepada penyejat.*

Note: Take the necessary data from the enthalpy-concentration diagram for NaOH-water and steam tables.

*Nota: Ambil data yang diperlukan daripada gambarajah kepekatan entalpi untuk air-NaOH dan jadual-jadual stim.*

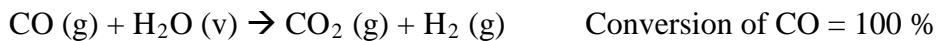
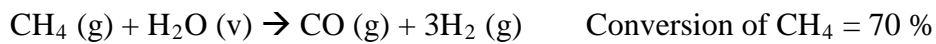
[12 marks/markah]

...3/-

2. [a] What is the difference between heat of solution and heat of mixing?  
*Apakah perbezaan di antara haba larutan dan haba percampuran?*  
[3 marks/markah]
- [b] In one industrial factory, air at 323 K and a dew point of 277 K enters a dryer unit at a rate of 11.3 m<sup>3</sup>/min and leaves as saturated condition.  
*Di dalam satu industri perkilangan, udara pada 323 K dan takat embun 277 K memasuki satu unit pengering pada kadar 11.3 m<sup>3</sup>/min dan keluar dalam keadaan tepu.*
- [i] Use the psychrometric chart to determine the absolute humidity and humid volume of the entering air if the dryer operates adiabatically.  
*Gunakan carta psikrometrik untuk menentukan kelembapan mutlak dan isipadu lembap udara yang masuk jika pengering beroperasi secara adiabatik.*  
[6 marks/markah]
- [ii] Use the results of part [i] to determine the flow rate of dry air (kg/min) through the dryer, the final temperature of the air, and the rate (kg/min) at which water is evaporated in the dryer.  
*Gunakan keputusan daripada bahagian [i] untuk menentukan kadar aliran udara kering (kg/min) yang melalui pengering, suhu akhir udara dan kadar (kg/min) air disejatkan di dalam pengering.*  
[6 marks/markah]
- [c] In a power generation plant, steam at 500°C, 200 atm and a velocity of 60 m/s enters a turbine at an elevation of 7.5 m. The condensate leaves as saturated liquid at 32°C with a velocity of 0.5 m/s at an elevation of 2 m. The work done on the turbine by steam is 200 kJ/kg. Calculate the amount of heat that is removed in the condenser per kg of steam.  
*Dalam sebuah loji penjana kuasa, stim pada 500°C, 200 atm dengan kelajuan 60 m/s memasuki turbin pada ketinggian 7.5 m. Peluwap keluar sebagai cecair tepu pada 32°C dengan kelajuan 0.5 m/s pada ketinggian 2 m. Kerja yang dilakukan pada turbin oleh stim adalah 200 kJ/kg. Kirakan jumlah haba yang disingkirkan di dalam pemeluwap bagi setiap kilogram stim.*  
[10 marks/markah]

3. [a] A hydrogen ( $H_2$ ) production plant produces purified  $H_2$  from the reaction of methane ( $CH_4$ ) with excess steam ( $H_2O$ ) through a steam reforming unit with  $CH_4$  to  $H_2O$  ratio of 2 (Figure Q.3.). The carbon monoxide ( $CO$ ) produced is further oxidized in a water-gas shift reactor with  $H_2O$  to form carbon dioxide ( $CO_2$ ). The reactions involved are shown below. All the reactants and products were then sent to a separator where the unreacted  $CH_4$  and  $H_2O$  were recycled back into the system.

*Sebuah loji penghasilan hidrogen ( $H_2$ ) menghasilkan  $H_2$  tulen dari tindak balas metana ( $CH_4$ ) dengan stim ( $H_2O$ ) berlebihan melalui unit pembentukan semula stim dengan nisbah  $CH_4$  kepada  $H_2O$  adalah 2 (Gambarajah S.3). Karbon monoksida ( $CO$ ) yang terhasil dioxidakan melalui reaktor penganjak air-gas dengan  $H_2O$  untuk menghasilkan karbon dioksida ( $CO_2$ ). Persamaan tindak balas yang terlibat ditunjukkan di bawah. Kesemua bahan tindak balas dan hasil tindak balas dihantarkan ke pemisah untuk mengitar semula  $CH_4$  dan  $H_2O$  yang tidak bertindak balas kembali ke dalam sistem.*



The  $H_2O$  and  $CH_4$  mixture enters the steam reforming unit at  $850^\circ C$  and the products exit the unit at a temperature of  $750^\circ C$ . The water-gas shift reactor operates isothermally at  $750^\circ C$ . Assume the process is in steady state condition. How much heat must be added or removed from both the reactors for 100 moles/hr of  $H_2$  produced?

*Campuran  $H_2O$  and  $CH_4$  masuk ke dalam unit pembentukan semula stim pada  $850^\circ C$  dan hasil tindak balas keluar daripada unit pada suhu  $750^\circ C$ . Reaktor penganjak air-gas beroperasi secara isoterma pada  $750^\circ C$ . Andaikan proses tersebut adalah pada keadaan mantap. Berapakah jumlah haba yang perlu ditambah atau disingkir dari kedua-dua reaktor bagi setiap 100 mol/j  $H_2$  yang terhasil?*

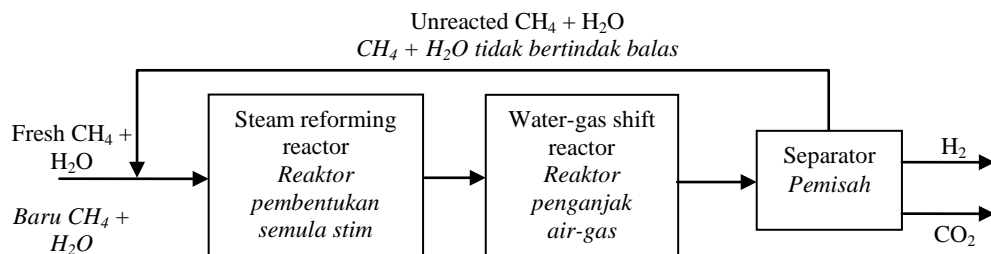


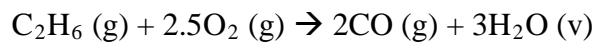
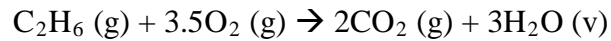
Figure Q.3.: Hydrogen production plant  
Gambarajah S.3.: Loji penghasilan hidrogen

[15 marks/markah]

...5/-

- [b] In the preliminary design of a furnace for an industrial boiler, ethane gas ( $C_2H_6$ ) at  $25^\circ C$  is burned with 30% excess air at  $200^\circ C$ . The fractional conversion of ethane is 90%. Of the ethane burned, 25% reacts to form carbon monoxide (CO) and the balance reacts to form carbon dioxide ( $CO_2$ ) as shown in the equation below.

*Dalam rekabentuk awal sebuah relau untuk dandang industri, gas etana ( $C_2H_6$ ) pada  $25^\circ C$  dibakar dengan 30% udara berlebihan pada  $200^\circ C$ . Pecahan penukaran etana adalah 90%. Apabila etana dibakar, 25% bertindak balas membentuk karbon monoksida (CO) dan selebihnya bertindak balas untuk membentuk karbon dioksida ( $CO_2$ ) seperti yang ditunjuk oleh persamaan di bawah.*



- [i] On a basis of 1 mole/hr of the input gas ( $C_2H_6$ ) calculate the adiabatic flame temperature. Use the enthalpy data in Table Q.3.[b]. to aid your calculation. Use the initial outlet temperature of  $1000^\circ C$  to start your calculation.

*Dengan mengambil asas 1 mol/j gas masukan ( $C_2H_6$ ), kirakan suhu nyala adiabatik. Gunakan data entalpi dari Jadual S.3.[b]. dalam pengiraan anda. Gunakan  $1000^\circ C$  sebagai suhu awal alur keluar untuk memulakan pengiraan anda.*

[12 marks/markah]

- [ii] Briefly explain your recommendation on how to increase the adiabatic flame temperature of the system above based on the parameters below. No numerical calculations are needed

*Jelaskan secara ringkas bagaimana anda boleh meningkatkan suhu nyala adiabatik sistem anda berdasarkan parameter di bawah. Pengiraan berangka tidak diperlukan*

- Conversion of ethane  
*Penukaran etana*
- Percentage of excess air  
*Peratusan udara berlebihan*
- Selectivity of  $CO_2$  to CO  
*Kememilihan  $CO_2$  kepada CO*

[3 marks/markah]

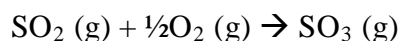
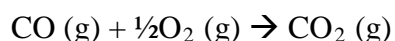
Table Q.3.[b].: Enthalpy change of ethane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), oxygen (O<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) gas and water (H<sub>2</sub>O) vapor

Jadual S.3.[b].: Perubahan entalpi untuk gas metana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), oksigen (O<sub>2</sub>), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan wap air (H<sub>2</sub>O)

Temperature Suhu (°C)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ΔH (kJ/mol)	O <sub>2</sub> ΔH (kJ/mol)	CO ΔH (kJ/mol)	CO <sub>2</sub> ΔH (kJ/mol)	H <sub>2</sub> O ΔH (kJ/mol)
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100	5.32	2.24	2.19	2.90	2.54
200	11.90	5.31	5.16	7.08	6.01
300	19.68	8.47	8.17	11.58	9.57
400	28.55	11.72	11.25	16.35	13.23
500	38.40	15.03	14.38	21.34	17.01
600	49.15	18.41	17.57	26.53	20.91
700	60.69	21.86	20.82	31.88	24.92
800	72.93	25.35	24.13	37.36	29.05
900	85.80	28.89	27.49	42.94	33.32
1000	99.21	32.47	30.91	48.60	37.69

4. Carbon monoxide (CO) is burned with 80% of theoretical air and the combusted gasses are used to heat up the oxidation of sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) and oxygen (O<sub>2</sub>) (entering at a mol ratio of 1:1) to sulfur trioxide (SO<sub>3</sub>) as shown in the Figure Q.4. The chemical reactions occurred in both the reactors are shown below. The gasses involved in the SO<sub>2</sub> oxidation do not come in direct contact with the combustion gas used to heat the SO<sub>2</sub> reactants and products. Determine the volumetric flow rate (m<sup>3</sup>/hr) of CO required at standard temperature and pressure to process 250 mol/hr of SO<sub>2</sub> assuming the process is adiabatic and operated at a steady state condition.

*Karbon monoxide (CO) dibakar dengan 80% udara teori dan gas-gas terbakar tersebut digunakan untuk memanaskan pengoksidaan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>) (masuk pada nisbah mol 1:1) kepada sulfur trioksida (SO<sub>3</sub>) seperti ditunjuk pada Gambarajah S.4. Persamaan-persamaan kimia yang berlaku dalam reaktor ditunjuk di bawah. Gas-gas yang terlibat dalam pengoksidaan SO<sub>2</sub> tidak bercampur secara langsung dengan gas pembakaran yang digunakan untuk memanaskan bahan tindak balas SO<sub>2</sub> dan hasil tindak balasnya. Tentukan kadar aliran isipadu (m<sup>3</sup>/j) untuk CO yang diperlukan pada suhu dan tekanan piawai untuk memproses 250 mol/j SO<sub>2</sub> dengan andaian proses tersebut adalah adiabatik dan beroperasi pada keadaan mantap.*



Conversion of SO<sub>2</sub> = 75

%

...7/-

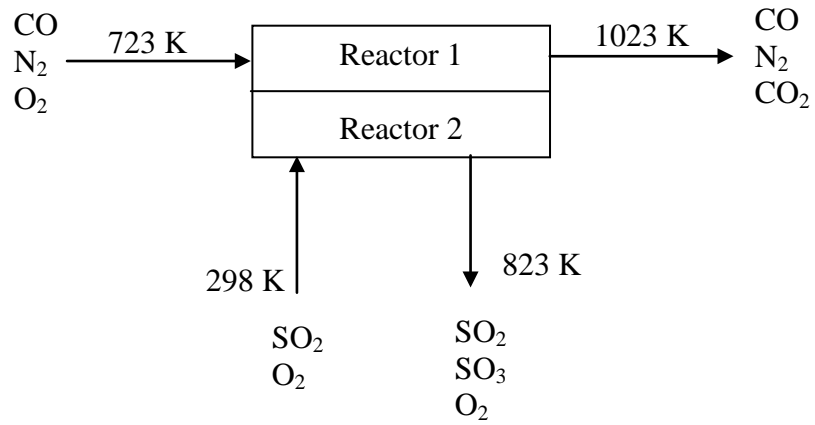
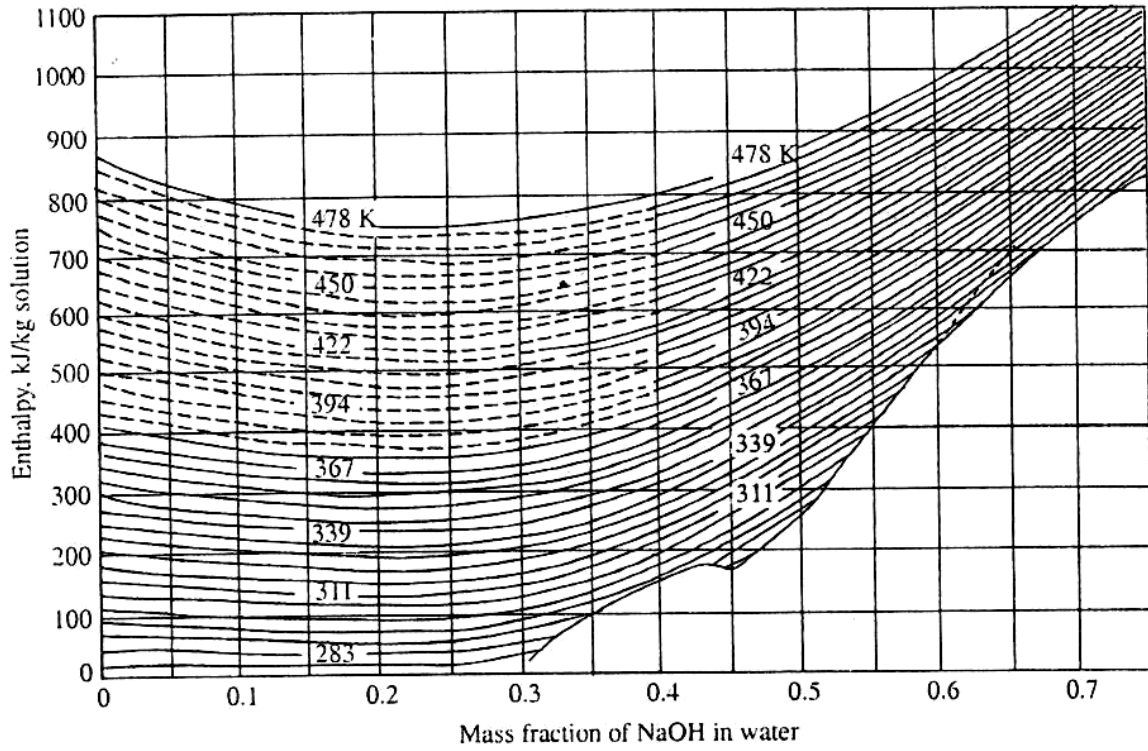


Figure Q.4.: SO<sub>2</sub> oxidation  
Gambarajah S.4.: Pengoksidaan SO<sub>2</sub>

[20 marks/markah]

Appendix



Enthalpy-composition diagram for NaOH-water.