

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama  
Sidang Akademik 1997/98

September 1997

**EKC 230 Pemindahan Haba Proses**

Masa: [3 jam]

---

**ARAHAN KEPADA CALON:**

Sila pastikan soalan peperiksaan ini mengandungi **SEMBILAN (9)** mukasurat bercetak dan **DUA (2)** lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan.

Kertas soalan ini mengandungi **TUJUH (7)** soalan.

Jawab hanya **DUA (2)** soalan dari **Bahagian A** dan **TIGA (3)** soalan dari **Bahagian B**.  
Jumlah kesemua soalan yang perlu dijawab ialah **LIMA (5)**.

Anda **dimestikan** menjawab **SATU** soalan dalam Bahasa Malaysia.

...2/-

**BAHAGIAN A**

Sila jawab **DUA (2)** soalan sahaja.

Answer Only **TWO (2)** questions.

1. Terbitkan satu ungkapan untuk menunjukkan aliran haba satu dimensi dengan persamaan punca haba untuk permukaan satah. Sekeping plat unsur bahanapi yang rata untuk sebuah reaktor nuklear berukuran 7 mm tebal dan ianya telah disalutkan dengan aluminium setebal 2 mm pada kedua-dua belah permukaan. Kadar penjanaan haba adalah seragam dengan unsur dan magnitudnya ialah  $3 \times 10^4$  W/kg uranium. Suhu bahan penyejuk ialah 413K, ketumpatan uranium ialah  $18.9 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup> dan kekonduksian haba untuk uranium ialah 24.3 W/m.K. Kekonduksian haba untuk permukaan aluminium ialah  $2.1 \times 10^2$  W/m.K, dan pekali pemindahan haba antara aluminium/penyejuk ialah  $2.84 \times 10^4$  W/m.K.

*Derive an expression to illustrate one dimensional heat flow with heat source equation for plane wall. A flat plate fuel element for a nuclear reactor is 7 mm thick and is clad on each face with aluminium 2 mm thick. The rate of heat generation is uniform with the element and has a magnitude of  $3 \times 10^4$  W/kg of uranium. The coolant temperature is 413K, the density of uranium is  $18.9 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>, the thermal conductivity of uranium is 24.3 W/m.K. Thermal conductivity of aluminium is  $2.1 \times 10^2$  W/m.K, the heat transfer coefficient at the aluminium/coolant interface is  $2.84 \times 10^4$  W/m.K.*

- [a] Kirakan suhu di antara permukaan aluminium/penyejuk.

*Determine the temperature at the aluminium/coolant interface.*

(6 markah)

- [b] Kirakan suhu di antara permukaan aluminium/uranium.

*Determine the temperature at the aluminium/uranium interface.*

(6 markah)

- [c] Apakah suhu di tengah unsur bahanapi tersebut?

*Determine the temperature at the centre of the fuel element.*

(8 markah)

...3/-

2. Sebatang rod telah dipanaskan pada satu hujungnya dan haba telah dibebaskan melalui pengaliran sepanjang rod itu dan juga perolakan melalui permukaannya.

*A rod is heated at one end and the heat is dissipated by conduction along the rod and convection from its surface.*

- [a] Tunjukkan perbezaan suhu ( $\theta$ ) di antara rod dan bendalir sekelilingnya ( $T_\infty$ ) boleh diberi sebagai  $\frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta = 0$  di mana  $m^2 = hP/KA$ , dimana  $h$  = pekali pemindahan haba,  $P$  = ukur keliling bulatan rod,  $K$  = kekonduksian haba bagi rod tersebut, dan  $A$  = luas keratan rentas rod tersebut.

*Show that the temperature difference ( $\theta$ ) between the rod and the surrounding fluid ( $T_\infty$ ) is described by the equation  $\frac{d^2\theta}{dx^2} - m^2\theta = 0$ .*

*Where  $m^2 = hP/K$ , where  $h$  = heat transfer coefficient,  $P$  = perimeter of the rod cross section,  $K$  = thermal conductivity of the rod material,  $A$  = cross section area of the rod.*

(6 markah)

- [b] Untuk rod yang panjang, tunjukkan bahawa  $\theta = \theta_0 e^{-mx}$  di mana  $\theta = \theta_0$  bila  $x = 0$ .

*For a long rod show that  $\theta = \theta_0 e^{-mx}$  where  $\theta = \theta_0$  at  $x = 0$ .*

(4 markah)

- [c] Sebatang rod yang terdedah pada suhu udara 293K telah dipanaskan pada satu hujungnya. Apabila keadaan mantap telah diperolehi, suhu pada kedua-dua titik yang berjarak 100 mm antara satu sama lain ialah 393K, dan 373K secara berurutan. Jika garispusat rod itu adalah 20 mm dan  $K = 120$  W/m.K, anggarkan pekali pemindahan haba pada permukaan rod itu.

*A long rod exposed to air at 293K, is heated at one end and when steady conditions are attained the temperature at two points along the rod separated by 100 mm are found to be 393K and 373K respectively. If the rod diameter is 20 mm and  $K = 120$  W/m.K, estimate the heat transfer coefficient at the surface of the rod.*

(10 markah)

...4/-

3. [a] Minyak masak mengalir merentasi permukaan dasar sebuah kualiti emping jagung yang berukuran 3 m panjang dan 1 m lebar. Suhu permukaan dindingnya telah ditetapkan pada suhu  $215^{\circ}\text{C}$ . Halaju pengaliran minyak masak itu ialah 0.3 m/s dan suhu aliran bebas ialah  $200^{\circ}\text{C}$ .

*Cooking oil flows across the bottom of a corn-chip fryer, 3 m long by 1 m wide and the wall surface is maintained at a temperature of  $215^{\circ}\text{C}$ . The cooking oil flow velocity is 0.3 m/s and has a free stream temperature of  $200^{\circ}\text{C}$ .*

- [i] Kirakan pemindahan haba ke minyak tersebut.

*Calculate the heat transfer to the oil.*

(6 markah)

- [ii] Anggarkan ketebalan maximum lapisan sempadan. Sifat minyak diberi sebagai berikut. Kelikatan kinematik =  $2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , kekonduksian haba minyak = 0.12 W/m.K dan nombor Prandtl minyak ialah 40.

*Estimate the maximum boundary-layer thickness. Properties of oil kinematic viscosity =  $2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , oil thermal conductivity = 0.12 W/m.K and oil Prandtl number is 40.*

(6 markah)

- [b] Udara pada tekanan 1 bar dan suhu  $0^{\circ}\text{C}$  bertiupan merentasi diameter sebuah silinder berukuran 4 cm di mana suhu permukaannya ditetapkan pada  $54^{\circ}\text{C}$  dan halaju udara ialah 25 m/s. Kirakan haba yang terbebas dari silinder itu per unit panjang.

*Air at 1 bar and  $0^{\circ}\text{C}$  blows across a 4 cm diameter cylinder maintained at a surface temperature of  $54^{\circ}\text{C}$ , the air velocity is 25 m/s. Calculate the heat loss from the cylinder per unit length.*

(8 markah)

...5/-

**BAHAGIAN B**

Sila jawab **TIGA (3)** soalan sahaja.

Answer **THREE (3)** questions.

4. Sebiji bola aluminium seberat 5.5 kg yang pada permulaannya bersuhu 290°C telah direndamkan secara tiba-tiba ke dalam bendalir bersuhu 15°C. Pekali pemindahan haba perolakan ialah 58 W/m<sup>2</sup>.K. Anggapkan bola aluminium sebagai sfera yang mempunyai berat yang sama dengan bola tersebut.

*An aluminium ball weighting 5.5 kg and initially at a temperature of 290°C is suddenly immersed in a fluid at 15°C. The convection heat-transfer coefficient is 58 W/m<sup>2</sup>.K. Taking the aluminium as a sphere having the same weight as that ball.*

- [a] Terbitkan satu ungkapan untuk menunjukkan agihan suhu pada bola besi yang panas, yang direndam di dalam kualiti sejuk yang berisi air (gunakan kaedah isipadu haba tergumpal).

*Derive an expression to show the temperature distribution of hot aluminium ball immersed in a cool pan of water (using the lumped-heat-capacity method).*

(8 markah)

- [b] Anggarkan masa yang diperlukan untuk menyejukkan bola aluminium itu sehingga 90°C.

*Estimate the time required to cool the aluminium to 90°C.*

(7 markah)

- [c] Kirakan nombor Biot jika kekonduksian haba untuk aluminium ialah  $2.1 \times 10^2$  W/m.K. Ketumpatan aluminium = 2707 kg/m<sup>3</sup>, muatan haba tertentu = 0.896 kJ/kg.K.

*Calculate the Biot number if the aluminium thermal conductivity =  $2.1 \times 10^2$  W/m.K. Density of aluminium = 2707 kg/m<sup>3</sup>, specific heat capacity = 0.896 kJ/kg.K.*

(5 markah)

...6/-

5. [a] Terbitkan satu ungkapan bagi kadar pemindahan haba sinaran per unit luas di antara dua (2) satah selari yang besar. Kedua-duanya mempunyai pancaran ( $\epsilon_1$ ) dan ( $\epsilon_2$ ) pada suhu mutlak ( $T_1$ ) dan ( $T_2$ ). Dua satah itu dipisahkan pada jarak 2.5 mm antara satu sama lain. Satah yang pertama mempunyai kepancaran 0.1 pada suhu 350K dan satah yang kedua mempunyai kepancaran 0.05 pada suhu 300K. Kirakan peratusan pertukaran dalam keseluruhan kadar pemindahan haba dengan menyadurkan satah pertama supaya kepancarannya dikurangkan kepada 0.025.

*Derive an expression for the radiant heat transfer rate per unit area between two large parallel planes of emissivities ( $\epsilon_1$ ) and ( $\epsilon_2$ ) and at absolute temperatures ( $T_1$ ) and ( $T_2$ ) respectively. Two planes are situated 2.5 mm apart in air, one has an emissivity of 0.1 and is at a temperature of 350K, and the other has an emissivity of 0.05 and is at a temperature of 300K.*

*Calculate the percentage change in the total heat transfer rate by coating the first surface so as to reduce its emissivity to 0.025.*

(Pemalar Stefan-Boltzman =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ . Konduksian haba untuk udara = 0.026 W/m.K).

*(Stefan-Boltzmann constant =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ . Thermal conductivity of air = 0.026 W/m.K).*

(10 markah)

- [b] Kirakan kadar haba yang terbebas dari sebatang paip wap pada kedudukan mengufuk berukuran 6 m panjang, bergarispusat dalaman 50 mm dan bergarispusat luaran 60 mm di mana stim mengalir pada  $800 \text{ kN/m}^2$ . Suhu persekitaran ialah 290K. Berapakah kos stim yang dapat dijimatkan jika paip itu ditebatkan dengan 85% penebatan magnesia setebalan 50 mm dan mempunyai kekonduksian haba 0.07 W/mK, jika kos stim ialah RM5.00 per 100 kg. Kepancaran dari permukaan paip yang tidak ditebat dan penebat boleh diambil sebagai 0.85, dan pekali pemindahan haba untuk haba yang terbebas melalui perolakan boleh dikira melalui ungkapan  $h = 1.65 (\Delta T)^{0.25} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ , di mana  $\Delta T$  = pembezaan suhu dalam K. Pemalar Stefan-Boltzmann =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ . Haba pendam stim pada  $800 \text{ kN/m}^2 = 2050 \text{ kJ/kg}$ .

...7/-

Calculate the rate heat loss from a 6 m long horizontal steam pipe of 50 mm internal diameter and 60 mm external diameter when carrying steam at  $800 \text{ kN/m}^2$ . The temperature of surroundings is  $290\text{K}$ . What would be the cost of steam saved by insulating the pipe with a 50mm thickness of 85% magnesia insulation of thermal conductivity  $0.07 \text{ W/m.K}$ , if steam costs RM5.00 per 100 kg?. The emissivity of the surface of the bare pipe and of the insulater may be taken as 0.85, and the heat transfer coefficient for the heat loss by natural convection can be calculated from the expression  $h = 1.65 (\Delta T)^{0.25} \text{ W/m}^2.\text{K}$ , where  $\Delta T$  = the temperature difference in K. Stefan-Boltzmann constant =  $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2.\text{K}^4$ . Latent heat of steam at  $800 \text{ kN/m}^2 = 2050 \text{ kJ/kg}$ .

(10 markah)

6. Penukaran haba dwi-paip telah direka untuk memanaskan  $1.5 \text{ kg/s}$  air dari suhu  $25^\circ\text{C}$  ke  $95^\circ\text{C}$  di mana minyak mengalir secara songsang pada kadar  $1.9 \text{ kg/s}$ . Minyak mempunyai muatan haba  $2.1 \text{ kJ/kg.K}$  dan memasuki penukarhaba itu pada suhu  $250^\circ\text{C}$  dengan kelajuan  $0.75 \text{ m/s}$ . Pekali pemindahan haba keseluruhan ialah  $425 \text{ W/m}^2.\text{K}$ . Muatan haba tertentu bagi air ialah  $4.175 \text{ kJ/kg.K}$ , ketumpatan minyak =  $900 \text{ kg/m}^3$ .

*A double-pipe heat exchanger is to be designed to heat  $1.5 \text{ kg/s}$  of water from  $25$  to  $95^\circ\text{C}$  with an oil flow of  $1.9 \text{ kg/s}$ , in counter flow. The oil has a heat capacity of  $2.1 \text{ kJ/kg.K}$  and enters the heat exchanger at a temperature of  $250^\circ\text{C}$  and with a velocity of  $0.75 \text{ m/s}$ . The overall heat transfer coefficient is  $425 \text{ W/m}^2.\text{K}$ . The specific heat capacity of water is  $4.175 \text{ kJ/kg.K}$ , the density of oil =  $900 \text{ kg/m}^3$ .*

- [a] Kirakan luas penukar haba tersebut.

*Calculate the area of the heat exchanger.*

(8 markah)

- [b] Kirakan keberkesanan penukar haba itu.

*Calculate the effectiveness of the heat exchanger.*

(6 markah)

- [c] Kirakan panjang paip dalaman.

*Calculate the length of the inner pipe*

(6 markah)

...8/-

7. Minyak dipanaskan dari 27°C ke 71°C dengan mengalirkannya pada kadar 1 m/s melalui paip sebuah penukar haba jenis kelompang dan tiub yang mempunyai dua laluan. Air memasuki kelompang pada 100°C dan keluar pada 82°C. Tiub-tiub itu mempunyai garispusat luaran berukuran 48 mm dan garispusat dalaman 38 mm. Faktor kekotoran (Fouling Factor) ialah 0.0009 m<sup>2</sup>.K/W. Pekali pemindahan haba berubah dengan suhu minyak berdasarkan pada jadual di bawah,

*Oil is to be warmed from 27°C to 71°C by passing it at 1 m/s through the pipes of a shell-and-tube heat exchanger with two passes. Water enters the shell at 100°C and leaves at 82°C. The tubes have outer and inner diameters of 48 and 38 mm respectively. The fouling factor is 0.0009 m<sup>2</sup>.K/W. The heat transfer coefficient varies with the temperature of the oil according to the table below,*

Suhu minyak (K) = Oil temperature (K) =	300	311	322	333	344
Pekali pemindahan haba pada sisi W/m <sup>2</sup> .K = Oil side coefficient of heat transfer W/m <sup>2</sup> .K =	51.93	57.93	74.93	113.93	221.93

Muatan haba tertentu dan ketumpatan minyak diandaikan malar pada 1.9 kJ/kg.K dan 900 kg/m<sup>3</sup> secara berurutan, dan sebarang rintangan pemindahan haba pada bahagian air boleh diabaikan dengan menggunakan kaedah LMTD,

*The specific heat capacity and density of the oil may be assumed constant at 1.9 kJ/kg.K and 900 kg/m<sup>3</sup> respectively, and any resistance to heat transfer on the water side is neglected using the method of LMTD,*

- [a] Kirakan kadar aliran minyak melalui paip.

*Calculate the oil flow rate through the pipes.*

(4 markah)

- [b] Apakah pekali pemindahan haba keseluruhan?

*What would be the overall heat transfer coefficient?*

(4 markah)

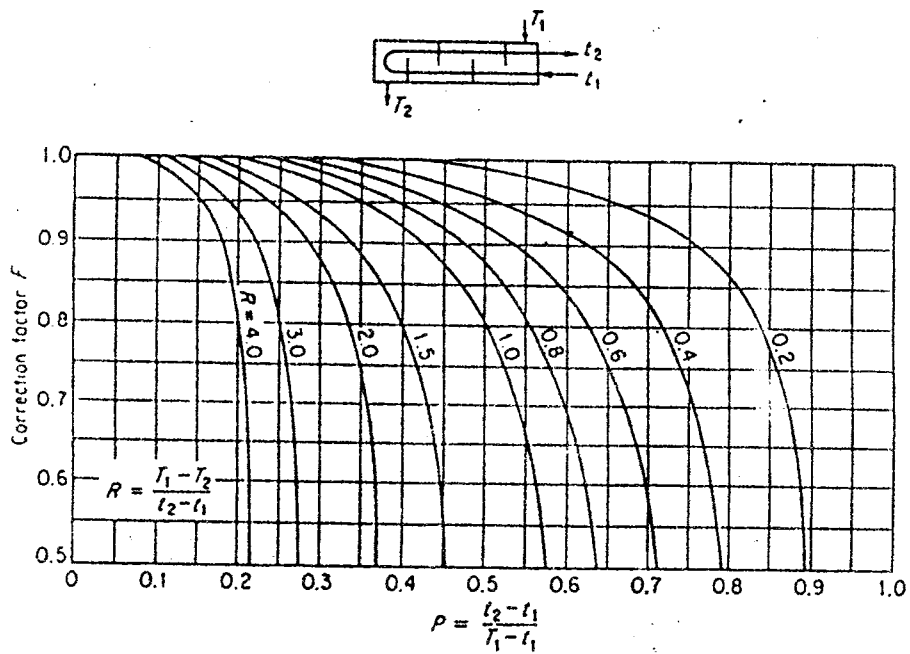
...9/-



[c] Kirakan panjang bekas tiub yang diperlukan.

*Calculate the length of the tube bundle required.*

(12 markah)



-ooo0ooo-



**APPENDIX****Given Information**

1. NTU relations for heat exchangers (counter flow geometry)

$$N = NTU = \frac{UA}{C_{\min}} = \frac{1}{C-1} \ln \frac{(\epsilon-1)}{(C \epsilon-1)}$$

$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad \epsilon = \text{Effectiveness}$$

2. Heat transfer equation for flow over flat plates.

$$Nu_x = 0.332 (Re_x)^{1/2} \cdot (Pr)^{1/3}$$

3. Heat transfer equation for forced convection inside pipe

$$Nu = C(Re)^n \cdot (Pr)^{1/3} \quad C = 0.0266 \quad n = 0.805$$

Properties of Air (see table 1)

**Table** Properties of Air at Atmospheric Pressure†  
 The values of  $\mu$ ,  $k$ ,  $c_p$ , and Pr are not strongly pressure-dependent and may be used over a fairly wide range of pressures.

$T$ , K	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ , kJ/kg K	$\mu$ , kg/m s $\times 10^5$	$\nu$ , m <sup>2</sup> /s $\times 10^6$	$k$ , W/m K	$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s $\times 10^4$	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.05745	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.34	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.267	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730