

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Semester Examination  
2012/2013 Academic Session

Januari 2013

**EMH 441/3 – Heat Transfer**  
**[Pemindahan Haba]**

Duration : 3 hours  
Masa : 3 jam

---

**INSTRUCTIONS TO CANDIDATE:**  
**ARAHAN KEPADA CALON:**

Please check that this paper contains **TEN (10)** printed pages, **NINE (9)** pages appendix and **FIVE (5)** questions before you begin the examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEPULUH (10)** mukasurat bercetak, **SEMBILAN (9)** mukasurat lampiran dan **LIMA (5)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.*

Answer **ALL** questions.  
Jawab **SEMUA** soalan.

**Appendix/Lampiran :**

1. Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids [9 pages/muka surat]

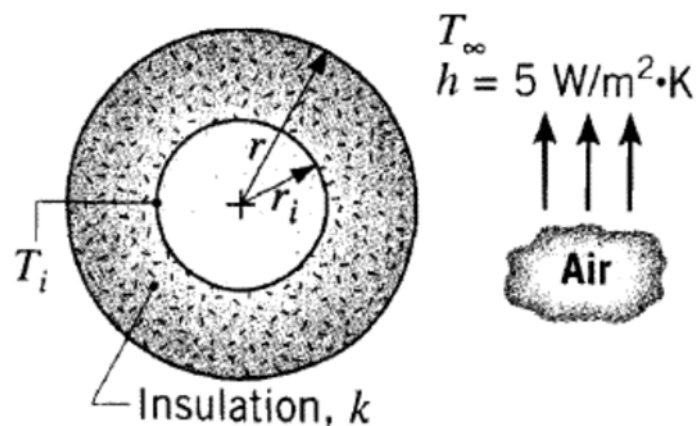
You may answer all questions in **English** OR **Bahasa Malaysia** OR a combination of both.  
*Calon boleh menjawab semua soalan dalam **Bahasa Malaysia** ATAU **Bahasa Inggeris** ATAU kombinasi kedua-duanya.*

Answer to each question must begin from a new page.  
*Jawapan untuk setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.*

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.*

- Q1. [a]** The possible existence of an optimum insulation thickness for radial systems is suggested by the presence of competing effects associated with an increase in the thickness. In particular, although the conduction resistance increases with the addition of insulation, the convection resistance decreases due to increasing outer surface area. Hence there may exist an insulation thickness that minimizes heat loss by maximizing the total resistance to heat transfer. Resolve this issue by considering the following system where a thin-walled copper tube of radius  $r_i$  is used to transport a low-temperature refrigerant and is at a temperature  $T_i$  that is less than that of the ambient air at  $T_\infty$  around the tube. Proof that if there is an optimum thickness associated with the application of insulation to the tube.

*Kewujudan mungkin ketebalan penebat optimum untuk sistem jejarian dicadangkan oleh kehadiran kesan bersaing yang dikaitkan dengan peningkatan dalam ketebalan. Khususnya, walaupun rintangan konduksi meningkat dengan penambahan penebat, rintangan perolakan berkurangan disebabkan untuk meningkatkan kawasan permukaan luar. Oleh itu terdapat mungkin wujud ketebalan penebat yang mengurangkan kehilangan haba dengan memaksimumkan jumlah rintangan kepada pemindahan haba. Menyelesaikan isu ini dengan mempertimbangkan sistem berikut yang mana satu tiub ber dinding nipis tembaga  $r_i$  jejari digunakan untuk mengangkut penyejuk suhu rendah dan pada  $T_i$  suhu yang kurang daripada udara ambien di  $T_\infty$  sekitar tiub. Buktikan bahawa jika terdapat ketebalan optimum berkaitan dengan permohonan penebat untuk tiub.*



**Figure Q1[a]**  
Rajah S1[a]

(40 marks/markah)

- [b] The engine cylinder of a motorcycle is constructed of 2024-T6 aluminium alloy and is of height  $H = 0.15\text{m}$  and outside diameter  $D = 0.15\text{m}$ . Under typical operating conditions the outer surface of the cylinder is at a temperature of  $500\text{K}$  and is exposed to ambient air at  $300\text{K}$ , with a convection coefficient of  $50\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . Annular fins are integrated cast with the cylinder to increase heat transfer to the surroundings. Consider five of such fins, which are of thickness  $t = 6\text{mm}$ , length  $l = 20\text{mm}$ , and equally spaced. Calculate the increase in the heat transfer due to the use of fins? Given  $k_{al} = 186\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ .

Silinder enjin motosikal dibina daripada aloi aluminium 2024-T6 dan ketinggian  $H = 0.15\text{m}$  dan diameter luar  $D = 0.15\text{m}$ . Di bawah keadaan operasi biasa permukaan luar silinder adalah pada suhu  $500\text{K}$  dan terdedah kepada udara ambien di  $300\text{K}$ , dengan pekali olakan  $50\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . Sirip annular bersepadu dibuang dengan silinder untuk meningkatkan pemindahan haba ke persekitaran. Pertimbangkan lima sirip tersebut, yang mempunyai ketebalan  $t = 6\text{mm}$ ,  $l =$  panjang  $20\text{mm}$ , dan sama jarak. Kirakan peningkatan dalam pemindahan haba disebabkan oleh penggunaan sirip? Diberikan  $k_{al} = 186\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ .

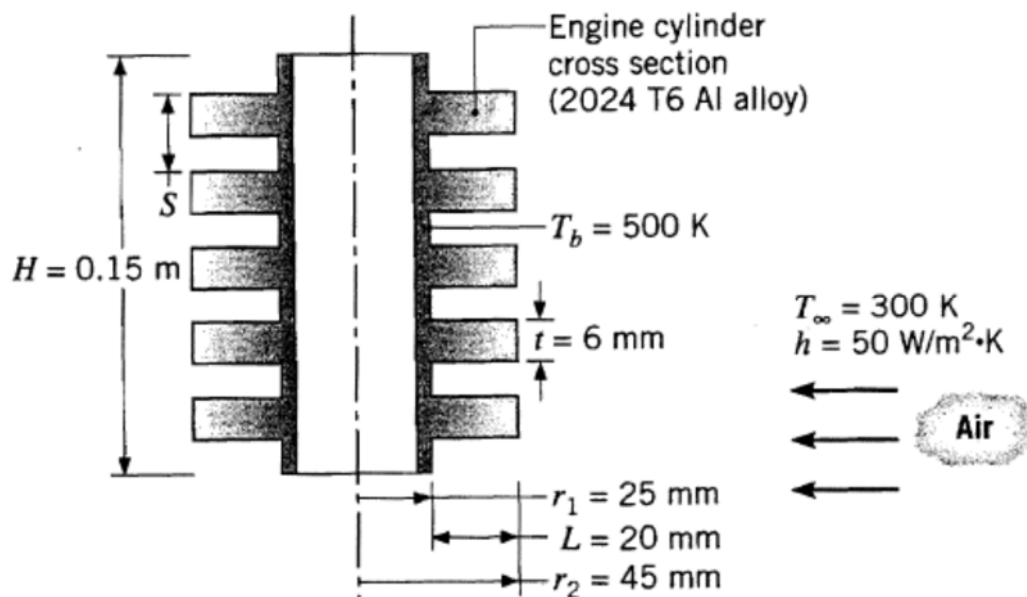


Figure Q1[b]  
Rajah S1[b]

(60 marks/markah)

- Q2. [a] The velocity distribution determines the advective component of the thermal energy transfer within the boundary layer, the nature of the flow also has a profound effect on the convective heat transfer rate. Similar to the laminar velocity boundary layer, the thermal boundary layer grows in the streamwise direction. Explain on the presence of heat transfer which can affect the location of the transient from laminar to turbulent flow if the density or dynamic viscosity of the fluid is dependent on temperature.**

*Agihan halaju menentukan komponen advectif pemindahan tenaga haba dalam lapisan sempadan, sifat aliran juga mempunyai kesan yang mendalam kepada kadar pemindahan haba perolakan. Sama seperti lapisan sempadan halaju aliran laminar, lapisan sempadan terma wujud dalam arah garis lurus. Terangkan bagaimana kehadiran pemindahan haba boleh mempengaruhi lokasi aliran fana dari aliran lamina ke gelora sekiranya ketumpatan atau kelikatan dinamik bendalir adalah bergantung kepada suhu.*

**(40 marks/markah)**

- [b] The front door of a dishwasher of width 580mm has a vertical air vent that is 500mm in height with a 20mm spacing between the inner tub operating at 52°C and an outer plane that is thermally insulated.**

- (i) **Determine the heat loss from the tub surface when the ambient air is 27°C.**
- (ii) **A change in the design of the door provides the opportunity to increase or decrease the 20mm spacing by 10mm. Give suggestions with regard of how the change in spacing will alter the heat losses?**

*Pintu depan sebuah mesin pencuci pinggan berukuran lebar 580mm mempunyai lubang udara menegak yang setinggi 500mm dan ruang antara pembukaan tab dalaman berukuran 20mm beroperasi pada suhu 52 ° C dan satah luar yang ditebat.*

- (i) *Tentukan kehilangan haba dari permukaan tab apabila udara ambien ialah 27 ° C*
- (ii) *Perubahan dalam reka bentuk pintu supaya dapat menyediakan peluang untuk meningkatkan atau mengurangkan jarak 20mm dengan 10mm. Berikan cadangan-cadangan dengan mengambil kira bagaimana perubahan dalam jarak akan mengubah kehilangan haba?*

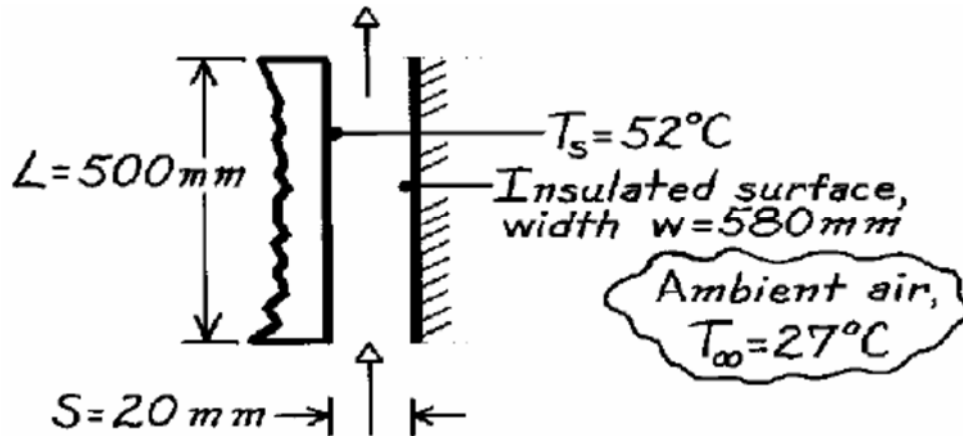


Figure Q2[b]  
Rajah S2[b]

(60 marks/markah)

- Q3. [a] Consider flow development in a vertical tube that is subjected to a constant surface heat flux, as shown in Figure Q3[a]. Heat transfer to the subjected liquid that enters the tube is initially by single-phase forced convection. Farther up the tube, the wall temperature exceeds the saturation temperature and vaporization is initiated. Explain the whole process of the flow regimes for forced convection boiling in a tube. Discuss how the local heat transfer coefficient are further increased in the early stages of the saturated flow boiling region.

*Pertimbangkan aliran pembangunan bagi tiub menegak yang tertakluk kepada fluk haba permukaan berterusan, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S3 [a]. Pemindahan haba kepada cecair tertakluk yang memasuki tiub pada mulanya oleh perolakan fasa tunggal terpaksa. Jauh ke bahagian atas tiub, suhu dinding melebihi suhu ketepuan dan pengewapan dimulakan. Terangkan keseluruhan proses rejim aliran untuk perolakan paksa mendidih dalam tiub. Bincangkan bagaimana pekali pemindahan haba setempat terus meningkat di peringkat awal rantau aliran tepu mendidih.*

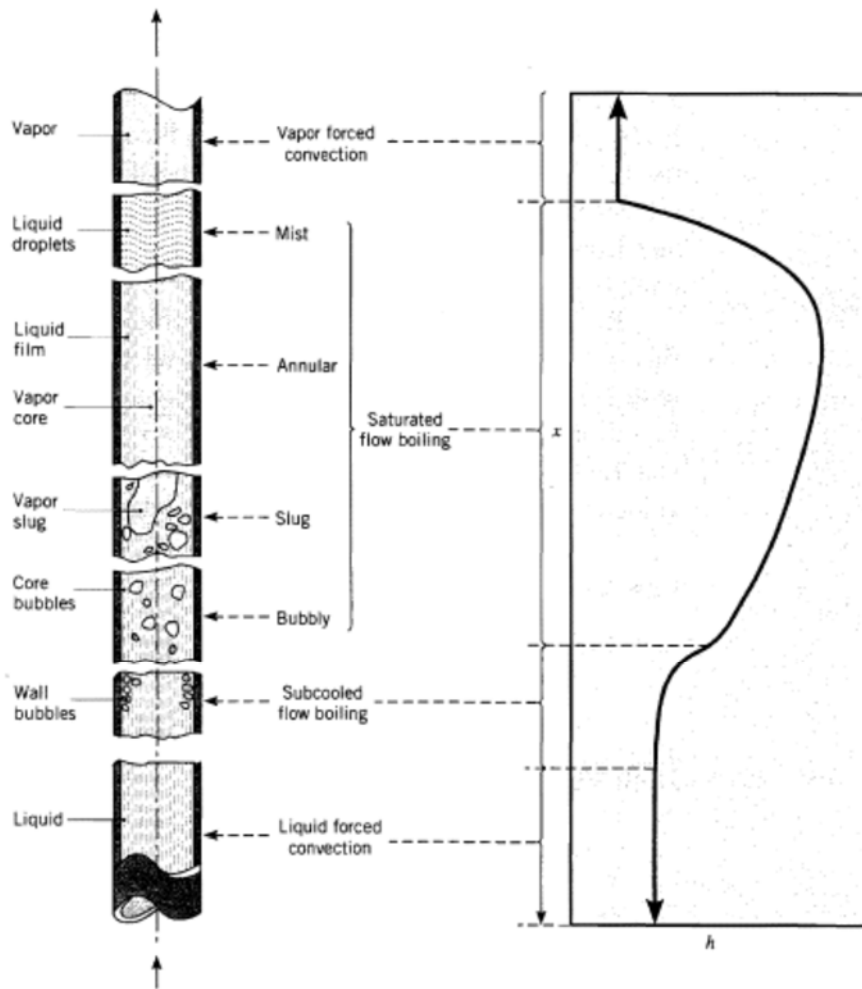


Figure Q3[a]  
Rajah S3[a]

(50 marks/markah)

- [b] A steam condenser consists of a square array of 400 tubes, each of 6mm in diameter. If the tubes are exposed to saturated steam at pressure of 0.15bar and the tube surface temperature is maintained at 25°C, calculate the rate at which steam is condensed per unit length of the tubes? Given the Bar and Chen Rohsenow correlation for Nusselts number as the following:

*Sebuah pemeluwap stim terdiri daripada 400 tiub yang setiap satu 6mm diameter disusun dalam susunan empat segi. Jika tiub terdedah kepada stim tepu pada tekanan 0.15bar dan suhu permukaan tiub dikekalkan pada 25 ° C, kirakan kadar di mana stim memeluwap per unit panjang tiub? Diberikan korelasi untuk nombor Nusselts oleh Bar dan Cohen Rohsenow seperti berikut:*

$$Nu_s = \left[ \frac{C_1}{(Ra_s S/L)^2} + \frac{C_2}{(Ra_s S/L)^{1/2}} \right]^{-1/2}$$

where  $C_1$  and  $C_2$  can be referred to Table Question 3(b) in Appendix.  
 yang mana  $C_1$  dan  $C_2$  boleh dirujuk pada Jadual Soalan 3(b) di di Apendik.

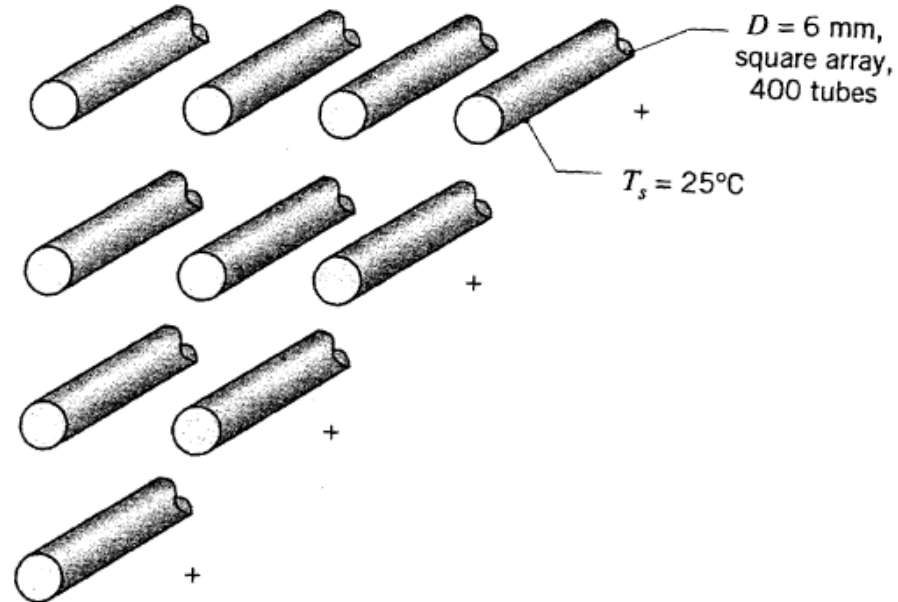


Figure Q3[b]  
 Rajah S3[b]

(50 marks/markah)

Q4. [a] The properties and flow rates for the hot and cold fluids of a heat exchanger are shown in the following table, Table Q4[a]. Which fluid limits the heat transfer rate of the exchanger? Explain your choice.

Sifat-sifat dan kadar aliran bagi bendalir panas dan sejuk penukar haba yang ditunjukkan dalam jadual berikut, Jadual S4 [a]. Bendalir yang manakah akan menghadkan kadar pemindahan haba penukar? Terangkan pilihan anda.

Table 4 (a)  
 Jadual 4(a)

	Hot fluid	Cold fluid
Density, kg/m <sup>3</sup> Ketumpatan	997	1247
Specific heat, J/kg. K Haba tentu	4179	2564
Thermal conductivity, W/m.K Konduktiviti haba	0.613	0.287
Viscosity, N.s/m <sup>2</sup> Kelikatan	$8.55 \times 10^{-4}$	$1.68 \times 10^{-4}$
Flow rate, m <sup>3</sup> /h Kadar aliran	14	16

(30 marks/markah)

- [b] Consider a finned tube, compact heat exchanger having the core configuration of Figure Q4 [b]. The core is fabricated from aluminium and the tubes have an inside diameter of 13.8mm. In a waste heat recovery application, water flow through the tubes provides an inside convection coefficient,  $h_i = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$ , while combustion gases at 1atm and 825K are in cross flow over the tubes. If the gas flow rate is  $1.25 \text{ kg/s}$  and the frontal area is  $0.2 \text{ m}^2$ , calculate the gas-side overall heat transfer coefficient? If water flow rate of  $1 \text{ kg/s}$  is to be heated from 290 to 370K, determine the required heat exchanger volume?

*Pertimbangkan tiub bersirip, penukar haba padat mempunyai konfigurasi teras Rajah S4 [b]. Teras direka dari Aluminium dan tiub mempunyai garis pusat dalam 13.8mm. Dalam aplikasi pemulihan haba sisa, aliran air melalui tiub menyediakan pekali olakan di dalam,  $h_i = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$ , manakala gas pembakaran pada 1atm dan 825K dalam aliran silang ke atas tiub. Jika kadar aliran gas ialah  $1.25 \text{ kg/s}$  dan kawasan hadapan adalah  $0.2 \text{ m}^2$ , kirakan pekali pemindahan haba untuk bahagian gas keseluruhan? Jika kadar aliran air  $1 \text{ kg/s}$  dipanaskan dari 290 kepada 370K, tentukan jumlah penukar haba yang diperlukan?*

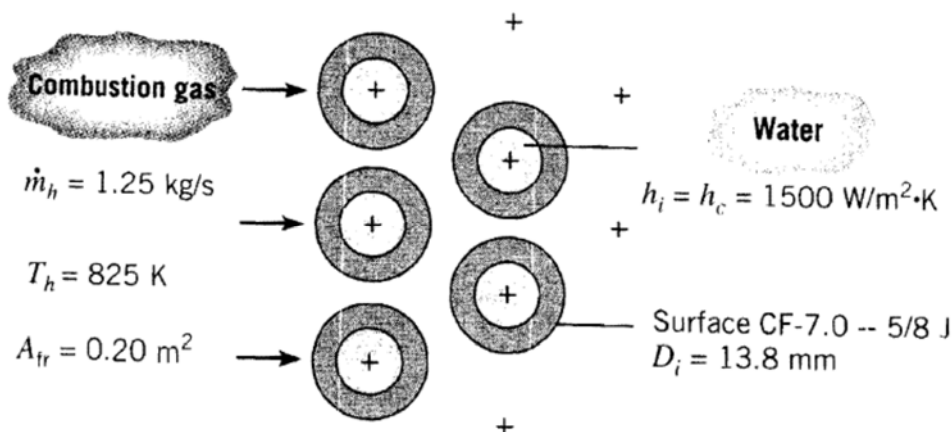


Figure Q4[b]  
Rajah S4[b]

(70 marks/markah)

- Q5. [a] A flat plate solar collector with no cover plate has a selective absorber surface of emissivity 0.1 and solar absorptivity 0.95. At given time of day the absorber surface temperature  $T_s$  is  $120^\circ\text{C}$  when the solar irradiation is  $750 \text{ W/m}^2$ , the effective sky temperature is  $-10^\circ\text{C}$  and the ambient temperature  $T_\infty$  is  $30^\circ\text{C}$ . Assume that the heat transfer convection coefficient for the calm day conditions can be estimated from the following equation. Calculate the useful heat removal rate ( $\text{W/m}^2$ ) from the collector for these conditions. What is the corresponding efficiency of the collector?



Satu pengumpul plat rata solar tanpa plat penutup mempunyai permukaan penyerap selektif keberpancaran 0.1 dan 0.95 absorptiviti solar. Pada waktu siang penyerap suhu permukaan adalah  $T_s = 120^\circ\text{C}$  apabila penyinaran suria adalah  $750\text{ W/m}^2$ , suhu yang berkesan langit adalah  $-10^\circ\text{C}$  dan suhu ambien  $T_\infty$  ialah  $30^\circ\text{C}$ . Andaikan bahawa pekali pemindahan haba perolakan untuk keadaan hari tenang boleh dianggarkan daripada persamaan di bawah ini. Kirakan kadar penyingkiran haba berguna ( $\text{W/m}^2$ ) dari pengumpul untuk keadaan ini. Apakah tentukan kecekapan sama pengumpul?

$$\bar{h} = 0.22(T_s - T_\infty)^{1/3} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

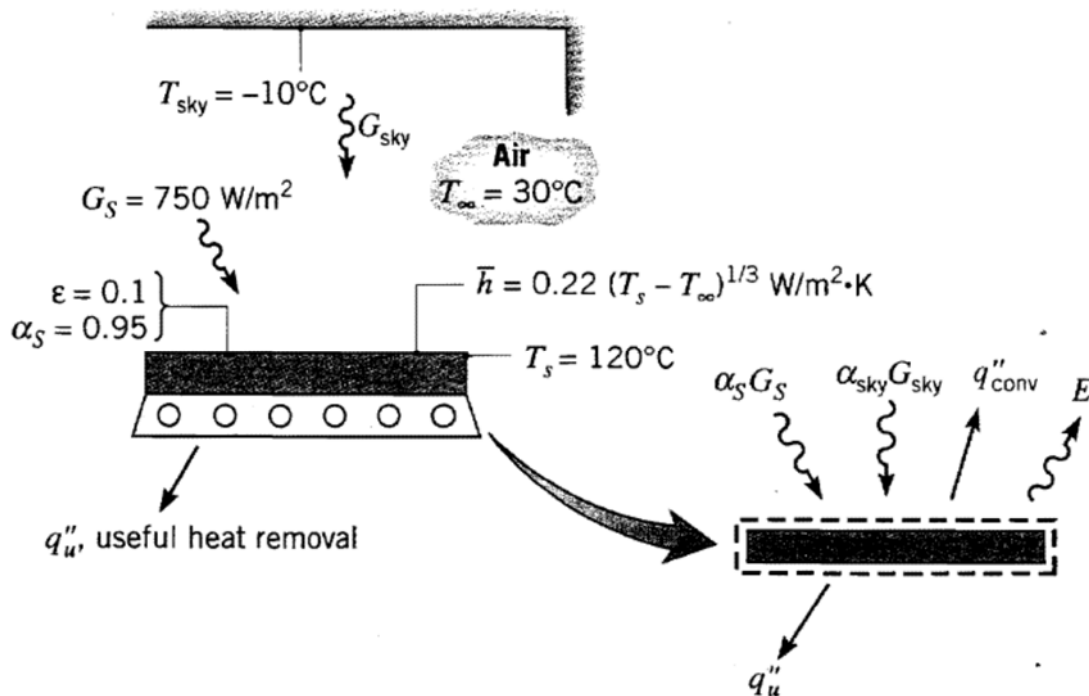


Figure Q5[a]  
Rajah S5[a]

(30 marks/markah)

- [b] Consider an air heater consisting of a semicircular tube for which the plane surface is maintained at  $1000\text{K}$  and the other surface is well insulated. The tube radius is  $20\text{mm}$  and both surfaces have an emissivity of  $0.8$ . If atmospheric air flows through the tube at  $0.01\text{ kg/s}$  and  $T_m = 400\text{K}$ , determine the rate at which heat must be supplied per unit length to maintain the plane surface at  $1000\text{K}$ ? Calculate the temperature of the insulated surface?

Pertimbangkan pemanas udara yang terdiri daripada tiub separuh bulatan yang permukaan satah dikekalkan pada  $1000\text{K}$  dan permukaan lain ditebatkan. Jejari tiub adalah  $20\text{mm}$  dan kedua-dua permukaan mempunyai keberpancaran  $0.8$ . Jika udara atmosfera mengalir melalui tiub pada  $0.01\text{ kg/s}$  dan  $T_m = 400\text{K}$ , tentukan kadar di mana haba mesti dibekalkan per unit panjang untuk mengekalkan permukaan satah pada  $1000\text{K}$ ? Kirakan suhu permukaan penebat?

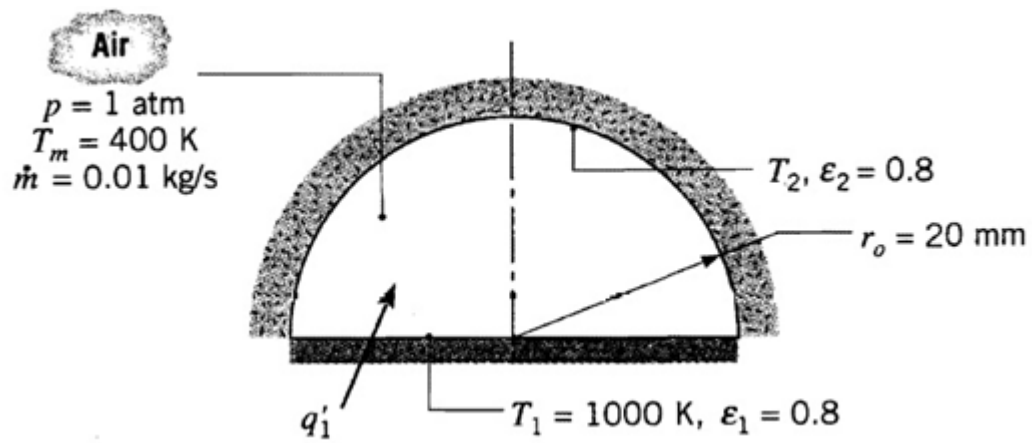


Figure Q5[b]  
Rajah S5[b]

(70 marks/markah)

-oooOOooo-