
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2014/2015 Academic Session

December 2014 / January 2015

EBB 333/3 – Transport Processes *[Proses-Proses Pengangkutan]*

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please ensure that this examination paper contains FIFTEEN printed pages before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi LIMA BELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

This paper consists of SEVEN questions.

[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan.]

Instruction: Answer FIVE questions. If a candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

[Arahan: Jawab LIMA soalan. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

The answers to all questions must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk semua soalan pada muka surat yang baru.]

You may answer a question either in Bahasa Malaysia or in English.

[Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]

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

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunakan.]

1. [a] Briefly explain the momentum flux, τ_{yx} . Compute the steady-state momentum flux τ_{yx} in Pascal when the lower plate velocity V , in Figure 1 is 0.30 m/s in the positive x direction, the plate separation, Y , is 0.03 cm, and the fluid viscosity, μ , is 7×10^{-4} Pa.s.

Terangkan secara ringkas fluks momentum, τ_{yx} . Kirakan keadaan tetap fluks momentum τ_{yx} dalam Pascal apabila halaju plat bawah, V , dalam Rajah 1 ialah 0.30 m/s dalam arah x positif, pemisahan plat, Y , ialah 0.03 cm, dan kelikatan bendalir, μ , ialah 7×10^{-4} Pa.s.

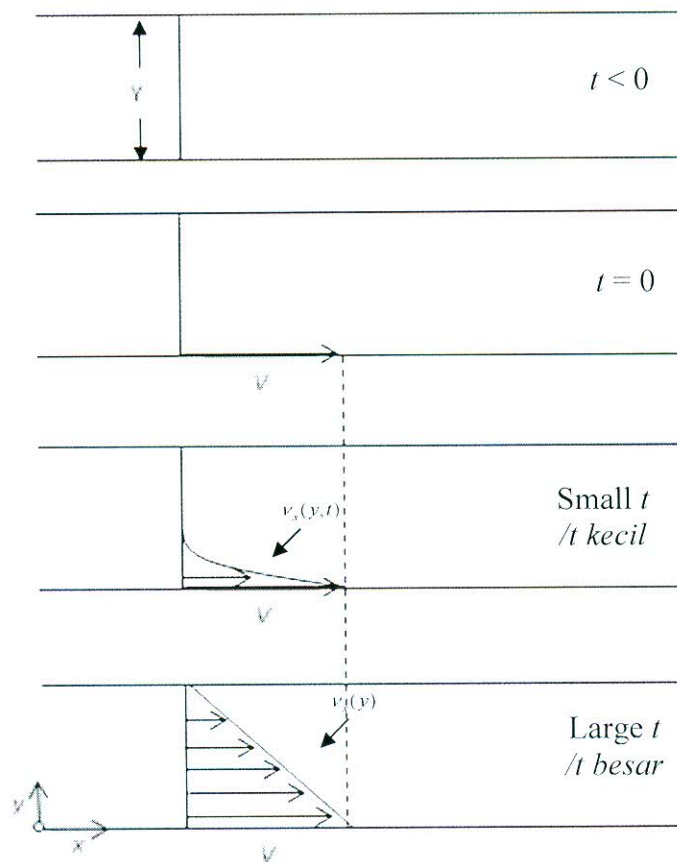


Figure 1 - The velocity profile of a fluid contained between two plates

Rajah 1 - Profil halaju untuk bendalir yang terkandung di antara dua plat

(50 marks/markah)

- [b] A differential manometer is used to measure the pressure change caused by a flow constriction in a piping system as shown in Figure 2. Determine the pressure difference between points A and B in Pascal. Which section has higher pressure?

Sebuah manometer pembezaan digunakan untuk mengukur perubahan tekanan yang disebabkan oleh penyempitan aliran dalam sistem paip seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2. Tentukan perbezaan tekanan antara titik A dan B dalam Pascal. Bahagian manakah yang mempunyai tekanan yang lebih tinggi?

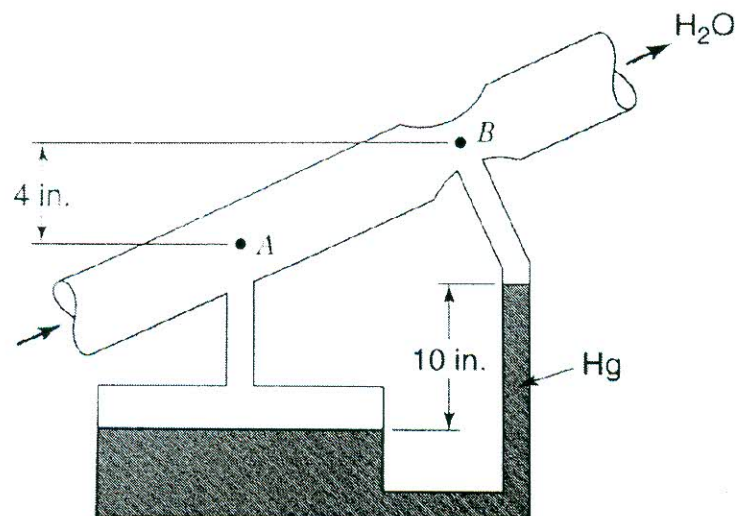


Figure 2 – A differential manometer
Rajah 2 – Sebuah manometer pembezaan

(50 marks/markah)

2. [a] Fluid is flowing at steady state through a reducing pipe bend as shown in Figure 3. Turbulent flow will be assumed with frictional forces are negligible. The volumetric flow rate of the liquid and the pressure, p_2 , at point 2 are known as well as the pipe diameters at both ends. Derive the equations to calculate the forces on the bend, R . Assume the density, ρ , is constant.

Bendalir mengalir pada keadaan tetap melalui sebuah paip bengkok yang berkurangan diameter, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3. Aliran turbulen akan diambil kira dengan daya geseran boleh diabaikan. Kadar aliran isipadu bendalir dan tekanan, p_2 , pada titik 2 diketahui, begitu juga dengan diameter paip di kedua-dua hujung. Terbitkan persamaan-persamaan untuk mengira daya pada pembengkokan. Andaikan ketumpatan, ρ , adalah malar.

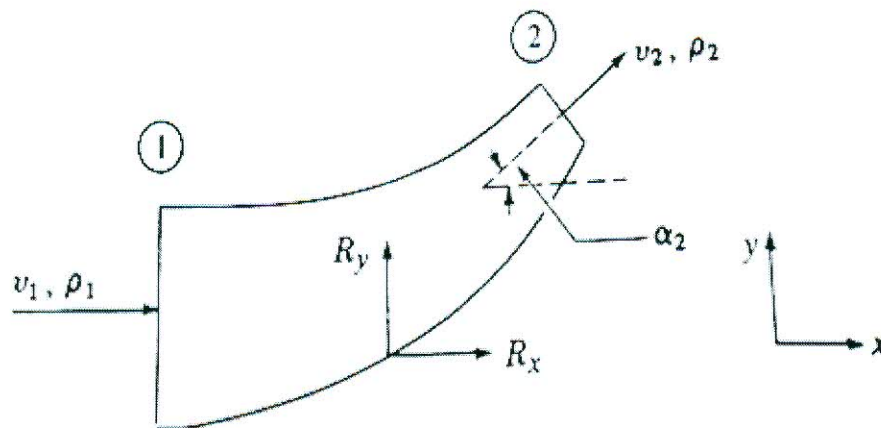


Figure 3 - Flow through a reducing bend

Rajah 3 - Aliran melalui pembengkokan pengecilan

(50 marks/markah)

- [b] A common type of viscometer for liquids consists of a relatively large reservoir with a very slender outlet tube (Figure 4), the rate of outflow being determined by timing the fall in the surface level. If oil constant density flows out of the viscometer shown at the rate of $0.273 \text{ cm}^3/\text{s}$, what is the kinematic viscosity of the fluid? The tube diameter is 0.18 cm.

Viskometer jenis umum untuk cecair terdiri daripada takungan yang agak besar dengan tiub outlet yang sangat tirus (Rajah 4), kadar aliran keluar yang ditentukan oleh waktu kejatuhan tahap permukaan. Jika ketumpatan malar mengalir keluar dari viskometer ditunjukkan pada kadar $0.273 \text{ cm}^3/\text{s}$, apakah kelikatan kinematik bendalir? Diameter tiub ialah 0.18 cm.

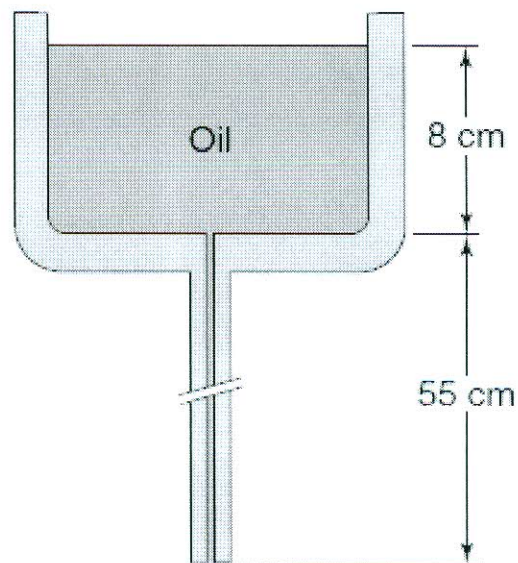


Figure 4 - A viscometer

Rajah 4 - Sebuah viskometer

(50 marks/markah)

3. [a] A Newtonian fluid is confined between two parallel and vertical plates as shown in Figure 5. The surface on the left is stationary and the other is moving vertically at a constant velocity v_0 . Assuming that the flow is laminar, solve for the velocity profile.

Bendalir Newtonian dihadkan di antara dua plat selari dan menegak seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5. Permukaan di sebelah kiri adalah pegun dan satu lagi permukaan bergerak secara menegak pada halaju malar v_0 . Dengan mengandaikan aliran adalah lamina, selesaikan profil halaju.

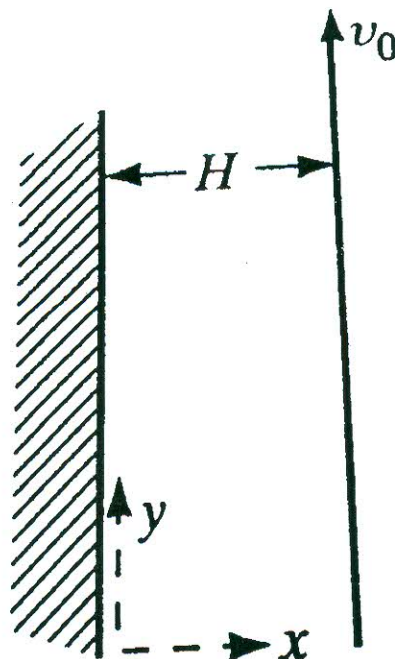


Figure 5 - Flow between vertical parallel plates

Rajah 5 - Aliran melalui plat selari menegak

(50 marks/markah)

- [b] A layer of viscous liquid of constant thickness (no velocity perpendicular to the plate) flows steadily down an infinite, inclined plane. Determine, by means of the Navier-Stokes equations, the relationship between the thickness of the layer and the discharge per unit width. The flow is laminar, and assume air resistance is negligible so that the shear stress at the free surface is zero.

Satu lapisan cecair likat dengan ketebalan tetap (tidak ada halaju seranjang dengan plat) mengalir secara tetap ke bawah satah yang tak terbatas, condong. Tentukan melalui persamaan Navier-Stokes, hubungan antara ketebalan lapisan dan kadar aliran per unit lebar. Aliran adalah lamina, dan anggap rintangan udara diabaikan supaya tegasan ricih pada permukaan bebas adalah sifar.

(50 marks/markah)

4. [a] In a food processing facility, a spherical container of inner radius, $r_1=20$ cm, outer radius $r_2 = 40$ cm, and thermal conductivity, $k = 2 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ is used to store hot water and to keep it at 90°C at all time. To accomplish this, the outer surface of the container is wrapped with a 400 W electric strip heater and then insulated like in Figure 6. The temperature of the inner surface of the container is observed to be nearly 90°C at all time. Assuming 5% of the heat generated in the heater is lost through the insulation, calculate the following heat transport properties:

- (i) Express the differential equation and boundary conditions for steady one-dimensional heat conduction through the container.

Sebuah kilang pemprosesan makanan menggunakan bekas berbentuk sfera dengan jejari dalam $r_1=20$ cm dan jejari luar $r_2 = 40$ cm yang mempunyai konduktiviti terma, $k = 2 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. Bekas itu digunakan untuk menyimpan air panas pada suhu 90°C pada setiap masa. Untuk melakukan perkara tersebut, permukaan luar bekas diselaputi jalur pemanas elektrik dengan kuasa 400 W seperti Rajah 6. Suhu bahagian dalam bekas itu ialah 90°C . Dengan andaian 5% haba yang terhasil hilang melalui penebat, kirakan sifat terma pengangkutan bekas ini.

- (i) *Nyatakan persamaan perbezaan dan keadaan sempadan untuk satu dimensi pengaliran terma pada keadaan mantap melalui bekas tersebut.*

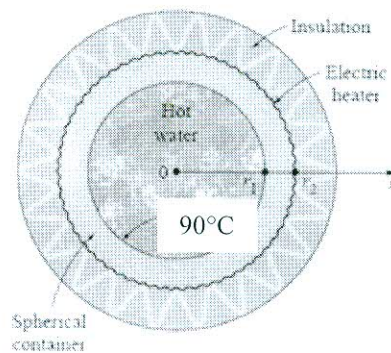


Figure 6: Water pipe with strip heater

Rajah 6: Jalur Pemanasan pada paip air

(20 marks/markah)

- (ii) Show a relation for the variation of temperature in the container material by solving the differential equation.

Tunjukkan persamaan untuk perbezaan suhu pada bekas tersebut melalui penyelesaian persamaan perbezaan di atas.

(40 marks/markah)

- (iii) Evaluate the outer-surface temperature of the container. Also determine how much water at 90°C this tank can supply if cold water enters at 15°C .

Nilaikan suhu permukaan bekas tersebut. Tentukan jumlah air yang diperlukan sekiranya suhu air sejuk yang digunakan ialah 15°C untuk mengawal suhu permukaan pada 90°C .

(40 marks/markah)

5. [a] Explain the following items;
- (i) Thermal Resistance Network
 - (ii) Conduction shape factor
 - (iii) Fourier's Law of Heat Conduction
 - (iv) Newton's law of cooling

Terangkan perkara-perkara di bawah;

- (i) *Rangkaian rintangan terma*
- (ii) *Faktor bentuk konduksi*
- (iii) *Hukum konduksi terma Fourier*
- (iv) *Hukum penyejukan Newton*

(50 marks/markah)

- [b] A transmission case measures $W = 0.30$ m on a side and receives a power input of $P_i = 150$ W from the engine. If the transmission efficiency is $\eta = 0.93$ and air flow over the case corresponds as in Figure 7. The temperature at $T_\infty = 30^\circ\text{C}$ and $h = 200$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, compute the surface temperature of the transmission?

Dimensi sebuah bekas penghantaran kereta berukuran $W = 0.30$ m pada satu sebelah dan memperoleh kuasa kemasukan sebanyak $P_i = 150$ W daripada enjin kereta. Sekiranya kecekapan penghantaran ialah $\eta = 0.93$ dan pengaliran udara melaluinya seperti Rajah 7. Suhu pada $T_\infty = 30^\circ\text{C}$ dan $h = 200$ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Kirakan suhu pada permukaan bekas penghantaran?

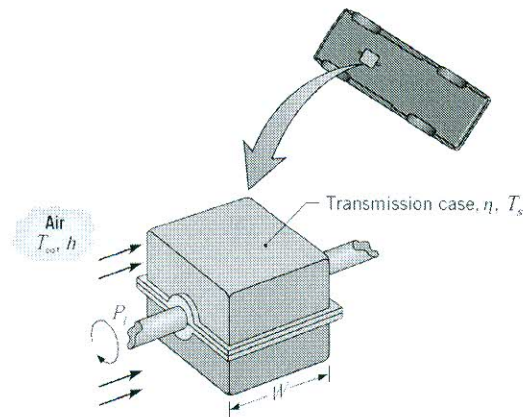


Figure 7: Transmission case on car

Rajah 7: Bekas penghantaran kereta

(50 marks/markah)

6. [a] Estimate the diffusivity of a dilute aqueous solution of acetic acid at 12.5°C, using Wilke-Chang equation below. The density of pure acetic acid is 0.937 g/cm³ at its boiling point. $\psi_B = 2.6$ (constant), MW= 60.05 g/mol. Use the equation below and estimate the dilute-viscosity based on Table 1.

Anggarkan pembauran untuk larutan cair asid asetik pada suhu 12.5°C dengan menggunakan persamaan Wilke-Chang di bawah. Ketumpatan asid asetik ialah 0.937 g/cm³ pada tahap pendidihan. Pemalar $\psi_B = 2.6$ dan berat jisim asid asetik, MW= 60.05 g/mol. Gunakan persamaan di bawah dan anggarkan kelikatan cair dengan menggunakan Jadual 1.

$$D_{AB} = 7.4 \times 10^{-8} \frac{\sqrt{\psi_B M_B T}}{\mu \tilde{V}_A^{0.6}}$$

Table 1: Viscosity of Water and Air at 1 atm Pressure

Jadual 1: Kelikatan air dan udara pada 1 atmosfera

Temperature <i>T</i> (°C)	Water (liq.) ^a		Air ^b	
	Viscosity μ (mPa · s)	Kinematic viscosity ν (cm ² /s)	Viscosity μ (mPa · s)	Kinematic viscosity ν (cm ² /s)
0	1.787	0.01787	0.01716	0.1327
20	1.0019	0.010037	0.01813	0.1505
40	0.6530	0.006581	0.01908	0.1692
60	0.4665	0.004744	0.01999	0.1886
80	0.3548	0.003651	0.02087	0.2088
100	0.2821	0.002944	0.02173	0.2298

^a Calculated from the results of R. C. Hardy and R. L. Cottington, *J. Research Nat. Bur. Standards*, **42**, 573–578 (1949); and J. F. Swidells, J. R. Coe, Jr., and T. B. Godfrey, *J. Research Nat. Bur. Standards*, **48**, 1–31 (1952).

^b Calculated from "Tables of Thermal Properties of Gases," *National Bureau of Standards Circular 464* (1955), Chapter 2.

(40 marks/markah)

- [b] Steel is carburized in a high-temperature process that depends on the transfer of carbon by diffusion. The value of the diffusion coefficient is strongly temperature dependent and may be approximated by $D_{C-S}(m^2/s) \approx 2E10^{-5} \exp[-17,000/T (K)]$. If the process is carried out at 1000°C and a carbon mole fraction of 0.02 is maintained at the surface of the steel, determine how much time is required to elevate the carbon content of the steel from an initial value of 0.1% to a value of 1.0% at a depth of 1 mm? Use the error function in Table 2 and equation given below.

Keluli besi dikarbon pada suhu tinggi melalui proses yang bergantung pada pembauran pengangkutan karbon. Nilai pemalar pembauran sangat berkait dengan suhu dan boleh dinilai dengan persamaan $D_{C-S} (m^2/s) \approx 2E10^{-5} \exp [-17,000/T (K)]$. Sekiranya suhu ini ialah 1000°C dan jumlah pecahan mol karbon ialah 0.02 pada permukaan keluli, tentukan berapa lama masa yang diperlukan untuk meningkatkan jumlah karbon daripada 0.1% kepada 1.0% pada kedalaman 1 mm? Gunakan jadual fungsi galat dalam Rajah 2 dan persamaan di bawah.

$$\frac{x_A(x,t) - x_{A,s}}{x_{A,i} - x_{A,s}} = \text{erf} \left(\frac{x}{2(D_{AB}t)^{1/2}} \right)$$

Table 2: Tabulation of Error Function Values

Jadual 2: Taburan nilai fungsi galat

z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$	z	$\text{erf}(z)$
0	0	0.55	0.5633	1.3	0.9340
0.025	0.0282	0.60	0.6039	1.4	0.9523
0.05	0.0564	0.65	0.6420	1.5	0.9661
0.10	0.1125	0.70	0.6778	1.6	0.9763
0.15	0.1680	0.75	0.7112	1.7	0.9838
0.20	0.2227	0.80	0.7421	1.8	0.9891
0.25	0.2763	0.85	0.7707	1.9	0.9928
0.30	0.3286	0.90	0.7970	2.0	0.9953
0.35	0.3794	0.95	0.8209	2.2	0.9981
0.40	0.4284	1.0	0.8427	2.4	0.9993
0.45	0.4755	1.1	0.8802	2.6	0.9998
0.50	0.5205	1.2	0.9103	2.8	0.9999

(60 marks/markah)

... 14/-

7. [a] Explain the concepts below that play an important role in mass transport phenomena:

- (i) Non-steady State Diffusion
- (ii) Thiele modulus
- (iii) Sievert law
- (iv) Conditions for Steady State flow and Unsteady State non-flow

Terangkan konsep di bawah yang memainkan peranan penting di dalam fenomena pengangkutan jisim:

- (i) *Pembauran tidak mantap*
- (ii) *Modulus Thiele*
- (iii) *Hukum Sievert*
- (iv) *Keadaan pengaliran mantap dan keadaan pengaliran tidak mantap*

(50 marks/markah)

- [b] Compute the volume of ethyl through an unsteady-state diffusion-evaporation at 3 hours. From Table 3 estimate the average $D_{(\text{ethyl-air})}$. The given parameters are $P_{\text{ethyl}} = 31.5$ psi, $P_{\text{air}} = 771.2$ psi, $S_{\text{ethyl}} = 0.5$ m³, ψ is given in Table 4. The measured data for $t^{0.5}$ with respect to $D_{(\text{ethyl-air})}$ is given in Table 3.

Kirakan isipadu etil yang menyejat melalui proses penyejatan-penyerapan tidak mantap pada 3 jam. Daripada Jadual 3, anggarkan $D_{(\text{etil-udara})}$ purata. Parameter yang diberikan ialah $P_{\text{etil}} = 31.5$ psi, $P_{\text{air}} = 771.2$ psi, $S_{\text{etil}} = 0.5$ m³ dan ψ diberikan di dalam Jadual 4. Data yang diukur untuk $t^{0.5}$ berdasarkan $D_{(\text{etil-udara})}$ diberikan dalam Jadual 3.

Table 3 - Relationship between time and diffusion for ethyl-air mixture

Jadual 3 – Hubungan antara masa dan pembauran untuk campuran etil-udara

\sqrt{t}	15.5	19.4	23.4	26.9	30.5	34.0	37.5	41.5
D_{AB}	1.2	0.0281	0.0278	0.0272	0.0273	0.0270	0.0273	0.0269

Table 4 - Table of $\phi(x_{\text{ethyl}})$ and $\psi(x_{\text{ethyl}})$

Jadual 4 - $\phi(x_{\text{etil}})$ dan $\psi(x_{\text{etil}})$

x_{ethyl}	ϕ	$\psi = \phi \sqrt{\pi} / x_{\text{ethyl}}$
0.00	0.0000	1.000
0.25	0.1562	1.108
0.50	0.3578	1.268
0.75	0.6618	1.564
1.00	∞	∞

(50 marks/markah)