
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2011/2012 Academic Session

January 2012

EME 451/3 – Computational Fluid Dynamics
[Pengkomputeran Dinamik Bendalir]

Duration : 2 hours
Masa : 2 jam

INSTRUCTIONS TO CANDIDATE:
ARAHAN KEPADA CALON:

Please check that this paper contains **FOUR (4)** printed pages and **FOUR (4)** questions before you begin the examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **EMPAT (4)** mukasurat bercetak dan **EMPAT (4)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.*

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

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. Between the viscosity dominated sublayer on a smooth wall and the fully turbulent flow lies part of the wall layer where both viscous and turbulent friction are significant. Experiments show that this region is defined by:

$$5 < \frac{y(\tau_w/\rho)^{1/2}}{\nu} < 500$$

Di antara lapisan yang didominasi oleh kelikatan di atas permukaan yang licin dengan aliran gelora penuh, terdapat satu lapisan dinding yang mempunyai nilai geseran likat dan gelora yang tinggi. Eksperimen menunjukkan bahawa lapisan ini diwakili oleh persamaan berikut:

$$5 < \frac{y(\tau_w/\rho)^{1/2}}{\nu} < 500$$

[a] For turbulent flow in a pipe, $C_f = \tau_w / \left(\frac{1}{2}\right) \rho U^2 = 0.079 Re_d^{-1/4}$, for a smooth wall and for $Re_d < 100,000$, show that the limiting values of y are proportional to $(d Re_d^{-7/8})$.

Untuk aliran gelora di dalam paip, $C_f = \tau_w / \left(\frac{1}{2}\right) \rho U^2 = 0.079 Re_d^{-1/4}$ untuk permukaan licin dan untuk $Re_d < 100,000$. Tunjukkan bahawa nilai had y adalah berkadar kepada $(d Re_d^{-7/8})$.

(48 marks/markah)

[b] For a pipe of 10 cm diameter, estimate the thickness of the sublayer for $Re_d = 2000$ (the lowest Reynolds number at which turbulence can be maintained) and for $Re_d = 100,000$.

Untuk paip berdiameter 10 cm, anggarkan ketebalan sub lapisan untuk $Re_d = 2000$ (nombor Reynolds yang terkecil untuk mengekalkan gelora) dan untuk $Re_d = 100,000$.

(40 marks/markah)

[c] At what height (the thickness of the sublayer) will be the flow in the pipe to be hydrodynamically smooth.

Kirakan ketinggian (ketebalan sub lapisan) untuk aliran di dalam paip menjadi licin hidrodinamik.

(12 marks/markah)

- Q2. [a] Computational Fluid Dynamics involves three main stages namely pre-processing, solver, and post-processing. Grid generation is part of the pre-processing process and is one of the important steps in CFD in ensuring the accuracy of the CFD solutions. Discuss about the types of mesh and 2 of their advantages and disadvantages. What are the factors that affect the quality of the mesh?**

Pengiraan Dinamik Bendalir melibatkan 3 peringkat yang penting iaitu pre-proses, penyelesaian, dan pasca-proses. Penjanaan grid adalah sebahagian daripada pre-proses dan merupakan antara langkah yang penting dalam CFD untuk memastikan ketepatan selesaian CFD. Bincangkan tentang jenis jejaring dan 2 kelebihan dan 2 kekurangan setiapnya. Faktor apakah yang mempengaruhi kualiti jejaring?

(40 marks/markah)

- [b] Write down the steps in generating fully structured grids around an airfoil shown in Figure Q2[b]. By using C mesh or H mesh approaches, sketch the structured grids around the airfoil together with its domain.**

Tuliskan langkah-langkah untuk menjana grid berstruktur penuh di keliling aerofoil seperti ditunjukkan di dalam Gambarajah S2[b]. Dengan menggunakan jejaring C atau H, lakarkan grid berstruktur di keliling aerofoil bersama dengan domainnya.



Figure Q2[b]
Rajah S2[b]

(24 marks/markah)

- [c] If the airfoil has a chord length of 1 m with zero angle of attack, and has a freestream airflow velocity of 20 m/s, determine the type of viscous model needed to model this flow.**

Jika aerofoil tersebut mempunyai panjang sebanyak 1 m dengan sudut serangan sifar, juga dengan aliran halaju sebanyak 20 m/s, tentukan jenis model likat yang diperlukan untuk memodelkan aliran ini.

(20 marks/markah)

- [d] Will you use the same model if the airflow velocity becomes 1 m/s? Please state the reason of your answer.**

Adakah anda akan menggunakan model yang sama jika halajunya menjadi 1 m/s? Sila nyatakan sebab kepada jawapan anda.

(16 marks/markah)

- Q3. List down all types of PDE's in CFD and explain the similarities and differences of each PDE type. Also, please provide a mathematical model and numerical method to solve each type of PDE. Given $\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2/2)}{\partial x} = \epsilon \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(u)$, please determine the type of PDE for this equation and how to numerically solve this equation.**

Tuliskan semua jenis PDE dalam CFD dan terangkan persamaan dan perbezaan di antara setiap jenis PDE. Tentukan model dan kaedah yang digunakan untuk menyelesaikan setiap jenis PDE. Diberikan $\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(u^2/2)}{\partial x} = \epsilon \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + f(u)$, tentukan jenis PDE ini dan bagaimana hendak menyelesaikan persamaan tersebut secara numerik.

(100 marks/markah)

- Q4. The following scalar equation models the heat conduction in 1D.**

Persamaan berikut merupakan model pemindahan haba secara konduksi dalam 1D.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

- [a] Lewis Richardson proposed the following numerical method to solve Equation (1). Determine the scheme's order of accuracy.**

Lewis Richardson mencadangkan kaedah berikut untuk menyelesaikan Persamaan (1). Tentukan ketepatan kaedah yang digunakan.

$$\frac{T_j^{n+1} - T_j^{n-1}}{2\Delta t} = \kappa \frac{T_{j+1}^n - 2T_j^n + T_{j-1}^n}{\Delta x^2} \quad (2)$$

(32 marks/markah)

- [b] Using von Neumann analysis, show that the method proposed by Richardson is unconditionally unstable.**

Dengan menggunakan analisis von Neumann, tunjukkan kaedah Richardson adalah tidak stabil dalam semua keadaan.

(24 marks/markah)

- [c] Dufort and Fraenkel proposed the following numerical method to solve Equation (1). Show that the scheme is unconditionally stable.**

Dufort dan Fraenkel mencadangkan kaedah berikut untuk menyelesaikan Persamaan (1). Tunjukkan kaedah berikut adalah stabil dalam semua keadaan.

$$\frac{T_j^{n+1} - T_j^{n-1}}{2\Delta t} = \kappa \frac{T_{j+1}^n - (T_j^{n+1} + T_j^{n-1}) + T_{j-1}^n}{\Delta x^2} \quad (3)$$

(24 marks/markah)

- [d] Use LTE analysis to explain this unexpected result.**

Gunakan analisis LTE untuk menerangkan kejadian ini.

(20 marks/markah)