
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
Academic Session 2016/2017

December 2016 / January 2017

EME 451 – Computational Fluid Dynamics
[Pengkomputeran Dinamik Bendalir]

Duration : 2 hours
Masa : 2 jam

Please check that this paper contains **SIX(6)** printed pages and **FOUR(4)** questions before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **ENAM(6)** mukasurat bercetak dan **EMPAT(4)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.]*

INSTRUCTIONS : Answer **ALL** questions.

*[**ARAHAN** : Jawab **SEMUA** soalan.]*

Answer questions in English OR Bahasa Malaysia.

[Jawab soalan dalam Bahasa Inggeris ATAU Bahasa Malaysia.]

Answer to each question must begin from a new page.

[Jawapan bagi 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. 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 a numerical method to solve each type of PDE.**

Tuliskan semua jenis PDE dalam CFD dan terangkan persamaan dan perbezaan di antara setiap jenis PDE. Nyatakan model matematik dan kaedah berangka yang digunakan untuk menyelesaikan setiap jenis PDE.

(100 marks/markah)

- Q2. The 1D Navier-Stokes equations can be modeled by**
Persamaan 1D Navier-Stokes boleh dimodelkan oleh

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \frac{\partial(\mathbf{f})}{\partial x} = \frac{\partial(\mathbf{f}^v)}{\partial x} \quad (1)$$

where \mathbf{u} is vector representing the mass, momentum and energy while \mathbf{f} , \mathbf{f}^v represents the inviscid and viscous fluxes .

di mana \mathbf{u} merupakan vector merangkumi jisim, momentum dan tenaga dan \mathbf{f} , \mathbf{f}^v mewakili fluks-fluks tak likat dan likat.

- [a] The inviscid part can be discretized using the MacCormack (two-step) scheme**

Bahagian tak likat boleh didiskretkan dengan menggunakan teknik MacCormack (dua langkah)

$$\begin{aligned} \mathbf{u}_j^* &= \mathbf{u}_j^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} [\mathbf{f}_j^n - \mathbf{f}_{j-1}^n] \\ \mathbf{u}_j^{n+1} &= \frac{1}{2} [\mathbf{u}_j^n + \mathbf{u}_j^*] - \frac{\Delta t}{2\Delta x} [\mathbf{f}_{j+1}^* - \mathbf{f}_j^*] \end{aligned} \quad (2)$$

where $\mathbf{f}^* = \mathbf{f}(\mathbf{u}^*)$, and \mathbf{u}^* is an intermediate quantity.
di mana $\mathbf{f}^ = \mathbf{f}(\mathbf{u}^*)$, dan \mathbf{u}^* adalah kuantiti pertengahan.*

- (i) Apply the linear advection equation in MacCormack scheme in Eqn. (1). What does the scheme reduce to?**

Masukkan nilai-nilai persamaan adveksi linear dalam teknik MacCormack dalam persamaan (1). Apakah yang diringkaskan pada kaedah berangka tersebut?

- (ii) **Determine if this scheme can be used to take into account information coming in both left and right directions when solving the linear advection. Give a reason.**

Tentukan jika teknik yang digunakan ini mengambil kira informasi yang datang daripada arah kiri dan kanan semasa menyelesaikan masalah adveksi linear. Nyatakan sebabnya.

Assume that the inviscid part can be modeled by the linear (scalar) advection equation where $u = u$, and $f = au$.

Andaikan bahagian tak likat dimodelkan oleh persamaan (skalar) adveksi linear di mana $u = u$, dan $f = au$.

(50 marks/markah)

- [b] **The viscous part of the Navier-Stokes equations can be modeled using a similar approach as in the inviscid part. Write down the governing model equation for the Navier-Stokes which includes both inviscid and viscous parts.**

Bahagian likat persamaan Navier-Stokes boleh dimodelkan dengan cara yang sama seperti bahagian tak likat. Tuliskan model persamaan Navier-Stokes yang mengambil kira bahagian tak likat dan bahagian likat.

(15 marks/markah)

- [c] **Determine a suitable discretization method for the viscous part of the model.**

Tentukan persamaan diskret yang sesuai untuk bahagian likat dalam model itu.

(15 marks/markah)

- [d] **Determine the stability limit for the discrete model Navier-Stokes equations. Which is the dominant limiting factor in stability, the inviscid part or the viscous part? Justify your answer.**

Tentukan had stabil untuk model persamaan diskret Navier-Stokes. Antara bahagian tak likat dan likat, faktor manakah yang lebih dominan dalam menentukan kestabilan? Berikan justifikasi anda.

(20 marks/markah)

- Q3. [a] Give a definition of CFD (Computational Fluid Dynamics) using your own perspective.**

Berikan definisi CFD (Pengkomputeran Dinamik Bendalir) pada perspektif anda sendiri.

(15 marks/markah)

- [b] Explain why a CFD software package is powerful. Elaborate common drawbacks of using a CFD software.**

Terangkan kenapa pakej perisian CFD ialah alat yang berkuasa. Huraikan kemudaratan-kemudaratan penggunaan perisian CFD.

(15 marks/markah)

- [c] Explain the types of error in CFD and give also an example for each type. How can the errors be determined and reduced?**

Terangkan jenis-jenis ralat dalam CFD dan berikan juga satu contoh bagi setiap jenis. Bagaimanakah ralat-ralat itu dapat ditentukan dan dikurangkan?

(20 marks/markah)

- [d] (i) Give a definition of a boundary layer and flow separation. Explain the reason for flow separation.**

Berikan definisi lapisan sempadan dan pemisahan aliran. Terangkan sebab berlakunya pemisahan aliran.

- (ii) Assume a blunt body and by using a sketch, show at which positions of the surfaces of the body where a flow separation occurs.**

Andaikan jasad tumpul dan dengan menggunakan lakaran, tunjukkan posisi pada suatu permukaan jasad itu di mana berlakunya pemisahan aliran.

(25 marks/markah)

- [e] Discuss and identify the three main categories for predicting turbulent flow.**

Bincangkan dan tentukan tiga kategori utama untuk ramalan aliran gelora.

(25 marks/markah)

- Q4. [a] Explain the CFD procedures from pre-processing until post-processing stages.**

Terangkan tatacara-tatacara CFD bermula dari tahap pra-pemprosesan hingga pasca pemprosesan.

(10 marks/markah)

- [b] Give the definitions using sketches to support your answers for: homogeneity, isotropy, streamline, and streamtube.**

Berikan definisi menggunakan lakaran untuk menyokong jawapan anda bagi: keseragaman, isotropi, garis alir, dan tiub arus.

(20 marks/markah)

- [c]**

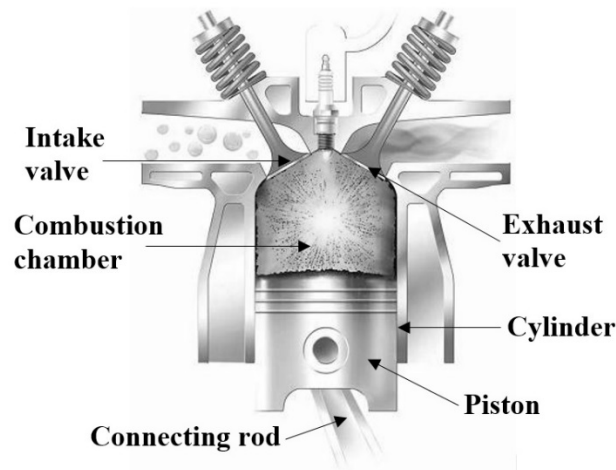


Figure Q4[c]
Gambarajah S4[c]

A two dimensional CFD simulation of combustion in four stroke spark ignition engine was carried out to predict the air-fuel ratio and exit temperature of the product gases. The engine piston is mounted to the connecting rod and moves in a reciprocating motion. The pressure of inlet fuel is 100 kPa and the flame temperature of the process is 2100 °C.

Satu simulasi dua dimensi CFD bagi pembakaran dalam enjin empat lejang nyalaan bunga api telah dilakukan untuk meramal nisbah udara-bahan api dan suhu produk gas-gas yang keluar. Omboh enjin tersebut dipasang dengan rod penyambung dan bergerak dalam gerakan salingan. Tekanan udara bagi kemasukan bahan api ialah 100 kPa dan suhu nyalaan bagi process tersebut ialah 2100 °C.

- (i) **Classify the boundary condition of each component in Figure Q4[c].**

Berikan klasifikasi keadaan sempadan bagi setiap komponen dalam Gambarajah S4[c].

(20 marks/markah)

- (ii) **Choose a suitable grid type for modeling the reciprocating engine. Give the reasons for your answer.**

Pilihkan sejenis grid yang sesuai untuk permodelan enjin salingan. Berikan sebab-sebab kepada jawapan anda.

(20 marks/markah)

- (iii) **Explain the determining criteria for accurate and reliable simulation results.**

Terangkan kriteria yang memastikan keputusan simulasi tepat dan boleh dipercayai.

(30 marks/markah)