
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2011/2012 Academic Session

June 2012

EMH 222/3 – Fluid Dynamics
[Dinamik Bendalir]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please check that this paper contains **NINE (9)** printed pages, **TWO (2)** pages appendix and **SIX (6)** questions before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEMBILAN (9)** mukasurat bercetak, **DUA (2)** mukasurat lampiran dan **ENAM (6)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.]*

Appendix/Lampiran :

1. Appendix 1 [2 pages/mukasurat]

INSTRUCTIONS : Answer **FIVE** questions. You may answer all questions in **English** OR **Bahasa Malaysia** OR a combination of both.

[ARAHAN : Jawab **LIMA** soalan. 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]** Simplify the Navier-Stokes equation as much as possible for the case of incompressible hydrostatics, with gravity acting in the negative z-direction. Begin with the incompressible vector form of the Navier-Stokes equation. Explain how and why some terms can be simplified and give your final result as vector equation.

Ringkaskan persamaan Navier-Stokes sebanyak mana yang boleh untuk kes hidrostatik tak boleh mampat, yang mana graviti bertindak dalam arah negatif-z. Mulakan dengan persamaan vektor Navier-Stokes tak boleh mampat. Terangkan bagaimana dan kenapa sesetengah terma tersebut boleh dimudahkan dan berikan jawapan akhir anda dalam bentuk vektor.

(40 marks/markah)

- [b]** Bob uses the computational fluid dynamics (CFD) code to model steady flow of an incompressible fluid through a two-dimensional sudden contraction as in Figure Q1(b). Channel height changes from $H_1 = 12\text{cm}$ to $H_2 = 4.6\text{cm}$. Uniform velocity $\vec{V}_1 = 18.5\vec{i}\text{ m/s}$ is to be specified on the left boundary of the computational domain. The CFD code uses numerical scheme in which the stream function must be specified along all boundaries of the computational domain. As shown in Figure Q1(b), ψ is zero along the entire bottom wall of the channel.

Bob menggunakan kod Pengkomputeran Dinamik Bendalir (CFD) untuk memodelkan aliran mantap untuk bendalir tak boleh mampat melalui tiub pengecutan mendadak seperti dalam Rajah S1(b). Tinggi saluran tersebut berubah dari $H_1 = 12\text{cm}$ kepada $H_2 = 4.6\text{cm}$. Halaju sekata $\vec{V}_1 = 18.5\vec{i}\text{ m/s}$ adalah di bahagian kiri sempadan domain pengkomputeran. Kod CFD menggunakan skim berangka yang mana fungsi arus hendaklah diklasifikasikan di sepanjang domain pengkomputeran. Seperti dalam Rajah S1(b), ψ adalah sifar di sepanjang bahagian bawah saluran.

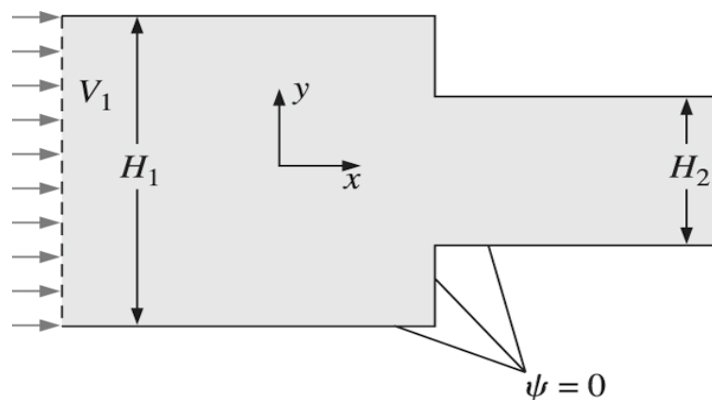


Figure Q1[b]
Rajah S1[b]

- (i) What value of ψ should Bob specify on the top wall of the channel?

Apakah nilai ψ yang sepatutnya Bob tentukan untuk dinding atas saluran tersebut?

(20 marks/markah)

- (ii) How should Bob specify ψ on the left side of the computational domain?

Bagaimana Bob perlu tentukan nilai ψ untuk bahagian kiri domain pengkomputeran tersebut?

(10 marks/markah)

- (iii) Discuss how Bob might specify ψ on the right side of the computational domain.

Bincangkan bagaimana Bob harus tentukan nilai ψ untuk bahagian kanan domain pengkomputeran.

(30 marks/markah)

- Q2. [a] An inviscid region of flow is NOT the same as an irrotational (potential) region flow. Discuss the differences and similarities between these two approximations. Give an example of each.**

Kawasan aliran tak likat adalah tidak sama dengan kawasan aliran tak putar (upaya). Bincangkan perbezaan dan persamaan antara keduanya. Berikan contoh untuk setiap satu.

(40 marks/markah)

- [b] Water at atmospheric pressure and temperature 20°C ($\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$ and $\mu = 1.003 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$) at free stream velocity of $V = 0.100481 \text{ m/s}$ flows over a two-dimensional circular cylinder of diameter $d = 1\text{m}$. Approximate the flow as potential flow.**

Air pada tekanan atmosfera dan suhu 20°C ($\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$ dan $\mu = 1.003 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$) berada pada halaju arus bebas $V = 0.100481 \text{ m/s}$ mengalir melalui silinder bulat dua dimensi berdiamater $d = 1\text{m}$. Buat penghampiran aliran tersebut sebagai aliran upaya.

- (i) Calculate the Reynolds number, based on the cylinder diameter. Is the Reynolds number is large enough that potential flow should be reasonable approximation?**

Kirakan nombor Reynolds berdasarkan diameter silinder. Adakah nilai nombor Reynolds cukup besar untuk diambilkira sebagai penghampiran yang munasabah?

(20 marks/markah)

- (ii) Estimate the minimum speed $|V|_{min}$ and maximum speed $|V|_{max}$.

Hitungkan halaju minimum $|V|_{min}$ dan halaju maksimum $|V|_{max}$.

(20 marks/markah)

- (iii) Calculate the minimum and maximum pressure difference $P - P_{\infty}$ in the flow.

Kirakan perbezaan tekanan minimum dan maksimum $P - P_{\infty}$ dalam aliran tersebut.

(20 marks/markah)

- Q3. [a]** A 2m high, 4m wide rectangular advertisement panel is attached to a 4m wide, 0.15m high rectangular concrete block (*density* = 2300 kg/m^3) by two 5cm diameter and 4m high (exposed part) poles as shown in Figure Q3[a]. If the sign is to withstand 150km/h winds from any direction,

Satu panel iklan berukuran 2m tinggi dan 4m lebar dilekatkan pada blok konkrit segi empat tepat berukuran 4m lebar, 0.15m tinggi (ketumpatan = 2300 kg/m^3) oleh tiang berukuran 5cm diameter dan 4m tinggi (permukaan terdedah) seperti dalam Rajah S3[a]. Sekiranya papan iklan tersebut terpaksa menahan aliran angin 150km/j dari mana-mana arah:

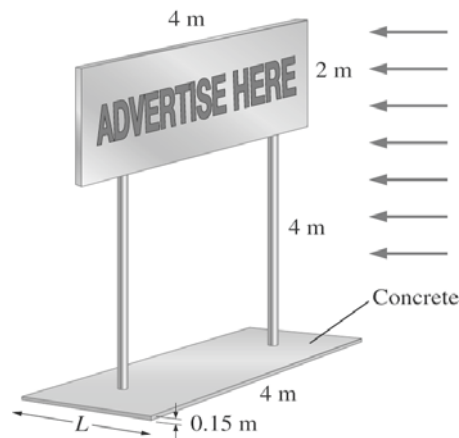


Figure Q3[a]
Rajah S3[a]

- (i) Determine the maximum drag force on the panel.

Kirakan daya seretan maksimum pada panel tersebut.

(10 marks/markah)

- (ii) Determine the drag force acting on the poles.

Kirakan daya seretan yang bertindak ke atas tiang-tiang.

(10 marks/markah)

- (iii) Determine the minimum length, L , of the concrete block for the panel to resist the winds. Take the density of air to be 1.30 kg/m^3 .

Kirakan panjang minimum, L , blok konkrit tersebut untuk menentang kepada aliran angin. Ambil ketumpatan udara sebagai 1.30 kg/m^3 .

(20 marks/markah)

- (iv) Discuss on the practical and application of the length calculated in (iii).

Bincangkan dari segi praktikal dan aplikasi panjang yang dikira di (iii).

(10 marks/markah)

- [b] Consider an airplane whose takeoff speed is 220 km/h and that takes 15 s to take off at sea level. For an airport at an elevation of 1600 m at sea level, determine:

(Given the density of standard air is $\rho_1 = 1.225 \text{ kg/m}^3$ at sea level, and $\rho_2 = 1.048 \text{ kg/m}^3$ at 1600 m altitude).

Sebuah kapal terbang berlepas pada halaju 220 km/h dan mengambil masa 15 s untuk berlepas pada aras laut. Untuk sebuah lapangan terbang pada ketinggian 1600 m aras laut, kirakan:

(Diberikan ketumpatan udara piawai ialah $\rho_1 = 1.225 \text{ kg/m}^3$ pada aras laut, dan $\rho_2 = 1.048 \text{ kg/m}^3$ pada 1600 m altitud).



Figure Q3[b]
Rajah S3[b]

- (i) The take-off speed.

Halaju berlepas.

(10 marks/markah)

- (ii) The take-off time.

Masa yang diperuntukkan untuk berlepas.

(20 marks/markah)

- (iii) The additional runway length required for this airplane. Assume constant acceleration for both cases.

Panjang landasan tambahan yang diperlukan oleh kapal terbang ini. Anggapkan pecutan sekata untuk kedua-dua kes.

(20 marks/markah)

- Q4. [a]** Air flowing steadily in a nozzle experiences a normal shock at a Mach number of $Ma = 3.2$ as in Figure Q4[a]. If the back pressure and temperature of air are 58kPa and 270K, respectively, upstream of the shock, calculate the pressure, temperature, velocity, Mach number and stagnation pressure downstream of the shock. Compare these results to those for helium under-going a normal shock under the same conditions. Given the properties of air are $k = 1.4$ and $R = 0.287$ kJ/kg·K, and the properties of helium are $k = 1.667$ and $R = 2.0769$ kJ/kg·K, where k is the specific heat ratio and R is the specific gas constant.

Udara mengalir secara mantap ke dalam satu muncung yang mengalami kejutan normal pada nombor Mach, $Ma_1 = 3.2$ seperti dalam Rajah S4[a]. Sekiranya tekanan balik dan suhu udara adalah 58kPa dan 270K pada hulu kejutan normal, kirakan tekanan, suhu, halaju, nombor Mach dan tekanan genangan di hilir aliran kejutan normal. Bandingkan jawapan untuk helium yang juga mengalami kejutan normal di bawah keadaan yang sama. Diberikan udara: $k = 1.4$ and $R = 0.287$ kJ/kg·K, dan helium: $k = 1.667$ and $R = 2.0769$ kJ/kg·K, di mana k adalah nisbah haba spesifik dan R adalah pemalar gas spesifik.

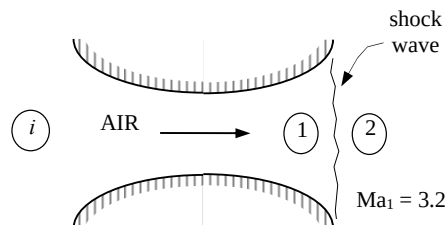


Figure Q4[a]
Rajah S4[a]

(50 marks/markah)

- [b] Consider a 16cm diameter tubular combustion chamber as in Figure Q4[b]. Air enters the tube at 450K, 80kPa and 55m/s. Fuel with a heating value of 39,000kJ/kg is burned by spraying it into the air. If the exit Mach number is $Ma_2=0.8$, calculate the rate at which the fuel is burned and the exit temperature. Assume complete combustion and disregard the increase in the mass flow rate due to the fuel mass. Given properties of air: $k = 1.4$, $c_p = 1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, and $R = 0.287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, where k is the specific heat ratio and R is the specific gas constant.

Satu kebuk pembakaran berbentuk tiub mempunyai diameter 16cm seperti dalam Rajah S4[b]. Udara mengalir masuk tiub tersebut pada 450K, 80kPa dan 55m/s. Bahan api yang mempunyai nilai pemanasan 39,000kJ/kg dibakar dengan kaedah semburan pada udara. Sekiranya nombor Mach, $Ma_2=0.8$, kirakan kadar pembakaran bahan api dan suhu keluaran. Anggapkan pembakaran adalah sempurna dan abaikan peningkatan dalam kadar aliran jisim pada jisim bahan api. Diberikan untuk udara: $k = 1.4$, $c_p = 1.005 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, and $R = 0.287 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$, di mana k adalah nisbah haba spesifik dan R adalah pemalar gas spesifik.

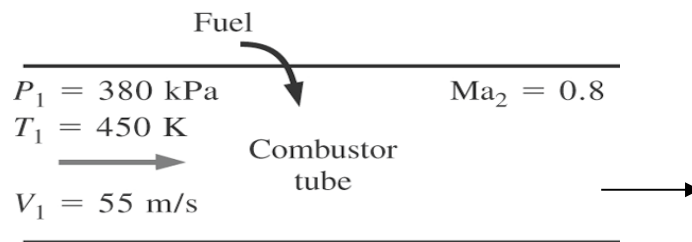


Figure Q4[b]
Rajah S4[b]

(50 marks/markah)

- Q5. [a] Write the equation that defines actual (available) net positive suction head (NPSH). From this definition, discuss at least five ways you can decrease the likelihood of cavitation in the pump, for the same liquid, temperature and volume flow rate.

Tuliskan persamaan yang memberikan maksud sebenar (kebolehsedian) turus sedutan positif net (NPSH). Daripada definisi tersebut, bincangkan sekurang-kurangnya lima cara bagaimana peronggaan di dalam pam dapat dikurangkan, untuk bendalir, suhu dan kadar aliran isipadu yang sama.

(40 marks/markah)

- [b] A performance data of a water pump to follow the curve fit $H_{available} = H_0 - a\dot{V}^2$, where the pump's shut off head is $H_0 = 7.46m$, coefficient $a = 0.0453m/(Lpm)^2$, the units of pump head are meters the unit of $\dot{V}$ are litre per minute (Lpm). The pump is used to pump water from one reservoir to another large reservoir at a higher elevation. The free surfaces of both reservoirs are exposed to atmospheric pressure. The system curve simplifies to $H_{required} = (z_2 - z_1) = b\dot{V}^2$, where elevation difference $z_2 - z_1 = 3.52m$ and coefficient $b = 0.0261m/(Lpm)^2$. Calculate the operating point of the pump ($\dot{V}_{operating}$ and $H_{operating}$) in appropriate units Lpm and meters respectively.

Satu data prestasi pam air menepati lengkungan padan $H_{available} = H_0 - a\dot{V}^2$, di mana pam tersebut mempunyai turus tutup $H_0 = 7.46m$, pekali $a = 0.053m/(Lpm)^2$, unit-unit turus pam adalah dalam meter dan unit untuk $\dot{V}$ adalah dalam Litre per minit (Lpm). Pam tersebut digunakan untuk mengepam air dari satu tangki ke satu tangki yang lebih besar pada ketinggian yang lebih tinggi. Permukaan bebas tangki-tangki tersebut terdedah kepada tekanan atmosfera. Lengkungan sistem diringkaskan kepada $H_{required} = (z_2 - z_1) = b\dot{V}^2$, yang mana perbezaan ketinggian adalah $z_2 - z_1 = 3.52m$ dan pekali $b = 0.0261m/(Lpm)^2$. Kirakan titik operasi pam ($\dot{V}_{operating}$ dan $H_{operating}$) dalam unit Lpm dan meter.

(30 marks/markah)

- [c] For the real engineering application, the flow rate of Question 5[b] is not adequate. At least 9Lpm is required. For a more powerful pump with $H_0 = 8.13m$, coefficient $a = 0.0297m/(Lpm)^2$, calculate the percentage of improvement in the flow rate compared to the original pump. Is this pump able to deliver the required flow rate?

Untuk aplikasi kejuruteraan sebenar, kadar aliran di Soalan 5[b] adalah tidak mencukupi. Sekurang-kurangnya 9Lpm diperlukan. Untuk pam berkuasa tinggi dengan $H_0 = 8.13m$, pekali $a = 0.0297m/(Lpm)^2$, kirakan peratusan peningkatan dalam kadar aliran berbanding pam terdahulu. Adakah pam ini mampu mengalirkan kadar aliran yang diperlukan?

(30 marks/markah)

- Q6. [a] Prove that for a given jet speed; volume flow rate, turning angle and wheel radius, the maximum shaft power produced by a Pelton wheel occurs when the turbine bucket moves at half of the jet speed. List the assumptions that have been made for verification.

Buktikan untuk sesuatu halaju jet; kadar aliran isipadu, sudut pusingan dan jejari roda, kuasa maksimum aci yang dihasilkan oleh roda Pelton berlaku apabila timba turbin bergerak setengah daripada halaju jet. Senaraikan anggapan-anggapan yang digunakan untuk pengesahan.

(40 marks/markah)

- [b] A Pelton wheel is used to produce hydroelectric power. The average radius of the wheel is 1.83m and the jet velocity is 102m/s from a nozzle of exit diameter equal to 10cm. The turning angle of the buckets is $\beta = 165^\circ$.**

Satu roda Pelton digunakan untuk menghasilkan kuasa hidroelektrik. Purata jejari roda tersebut ialah 1.83m dan halaju jet ialah 102m/s daripada muncung keluaran yang berdiameter 10cm. Sudut pusingan timba-timba adalah $\beta = 165^\circ$.

- (i) Calculate the volume flow rate through the turbine in m^3/s .**

Kirakan kadar aliran isipadu melalui turbin dalam unit m^3/s .

(20 marks/markah)

- (ii) What is the optimum rotation rate (in rpm) of the wheel for maximum power?**

Apakah kuasa optimum kadar putaran roda (dalam rpm) untuk kuasa maksimum?

(20 marks/markah)

- (iii) Calculate the output shaft power in MW if the efficiency of turbine is 82%?**

Kirakan kuasa keluaran aci dalam MW sekiranya kecekapan turbin ialah 82%.

(20 marks/markah)

-oooOOooo-