
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2014/2015 Academic Session

June 2015

ESA 244/2 – Aerodynamics
[Aerodinamik]

Duration : 2 hours
[Masa : 2 jam]

Please ensure that this paper contains **NINE (9)** printed pages and **THREE (3)** questions before you begin examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEMBILAN (9)** mukasurat bercetak dan **TIGA (3)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan].*

Instructions : Answer **ALL** of the questions.

Arahan : Jawab **SEMUA** soalan.

Answer all questions in English only.

[Jawab semua soalan di dalam Bahasa Inggeris sahaja].

Each answer must begin from a new page.

[Setiap jawapan 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 digunakan].

For the questions that require explanation, you are expected to answer the questions as detailed as possible with properly and fully constructed sentences to receive full credits.

[Bagi soalan-soalan yang memerlukan penerangan, anda di minta untuk menjawab soalan-soalan tersebut secara terperinci dengan menggunakan ayat yang disusun lengkap untuk menerima kredit yang penuh].

Each student is allowed to bring an A4-sized sheet of self-prepared two-page summary note.

[Setiap pelajar dibenarkan untuk membawa sehelai nota ringkasan bersaiz A4 yang mempunyai dua mukasurat yang ditulis sendiri].

Partial credits will be given accordingly to the work shown correctly.

[Sebahagian kredit akan diberikan secara berpatutan untuk jalan kerja yang ditunjukkan dengan betul]

1. [a] You have to operate a low speed subsonic wind tunnel so that the flow in the test section has a velocity of 150 mi/h. The density at sea-level is $0.002377 \text{ slugs/ft}^3$. Consider two different types of wind tunnels as shown in **Figure 1**. Which wind tunnel will you consider to be **more aerodynamically efficient** in terms of economy and why? Calculate the **pressure difference** across the wind tunnel to prove your answer.

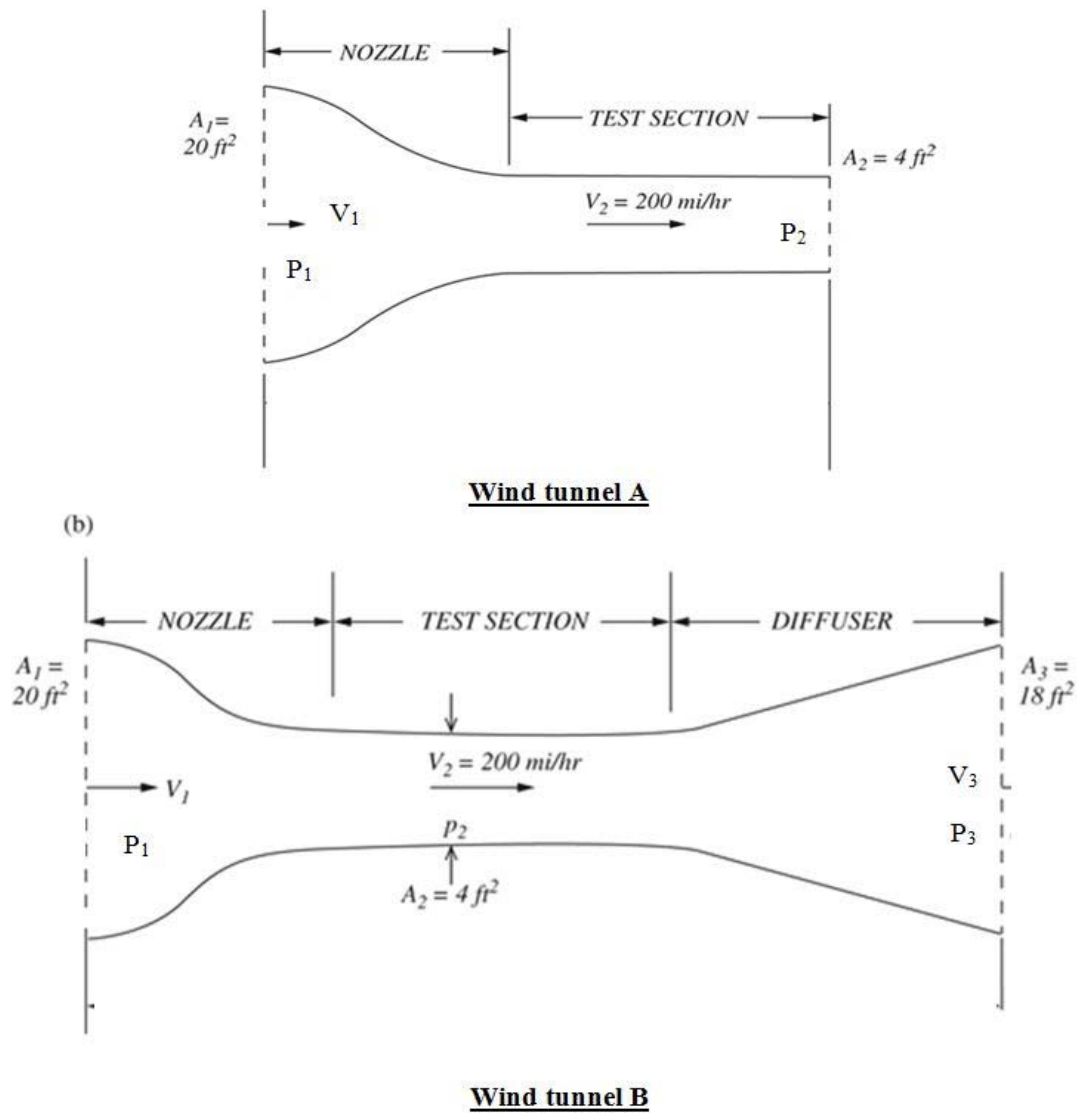


Figure 1: (i) Wind tunnel A and (ii) wind tunnel B.

(15 marks)

- [b] The subsonic flow over the wavy wall is illustrated in **Figure 2**. The wave length and amplitude of the wall are ℓ and h , respectively. The velocity field in Cartesian coordinates is given by:

$$u = V_{\infty} \left[1 + \frac{h}{\beta} \frac{2\pi}{\ell} \left(\cos \frac{2\pi x}{\ell} \right) e^{-2\pi\beta y / \ell} \right]$$

$$v = -V_{\infty} h \frac{2\pi}{\ell} \left(\sin \frac{2\pi x}{\ell} \right) e^{-2\pi\beta y / \ell}$$

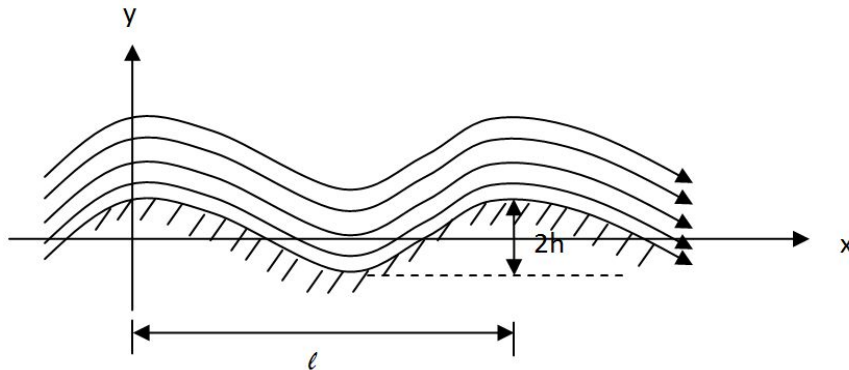


Figure 2: Wavy wall.

Is the flow **irrotational** or **rotational**? Derive to prove your answer.

(10 marks)

- [c] You are an engineer and you need to consider two different flows over geometrically similar airfoil shapes, one airfoil being twice the size of the other. The flow over the smaller airfoil has free stream properties given by $T_{\infty} = 200\text{K}$, $\rho_{\infty} = 1.23 \text{ kg/m}^3$ and $V_{\infty} = 100 \text{ m/s}$. The flow over the larger airfoil is described by $T = 800\text{K}$, $\rho_{\infty} = 1.739 \text{ kg/m}^3$ and $V_{\infty} = 200 \text{ m/s}$. Assume that both viscosity, μ , and the speed of sound, a , are proportional to $T^{1/2}$. Are the two flows **dynamically similar**? Prove your answer.

(10 marks)

2. [a] You are planning to test a finite wing with an aspect ratio of 10 in the new USM wind tunnel. The airfoil section of the wing is a symmetric airfoil with an infinite-wing lift slope of 0.11 per degree. The lift-to-drag ratio for this wing is 35 when the lift coefficient is equal to 0.35. If the angle of attack remains the same, and the aspect ratio is simply increased to 15 by adding extensions to the span of the wing, calculate the **new value of the lift-to-drag ratio**. Assume that the span effectiveness factors $e = e_1 = 0.9$ for both cases. **(15 marks)**

- [b] An incompressible, viscous fluid with fully developed laminar flow in the x -direction is placed between horizontal, parallel plates as shown in **Figure 3**. Find the **velocity profile** for the steady state flow by using the Navier-Stokes equation.

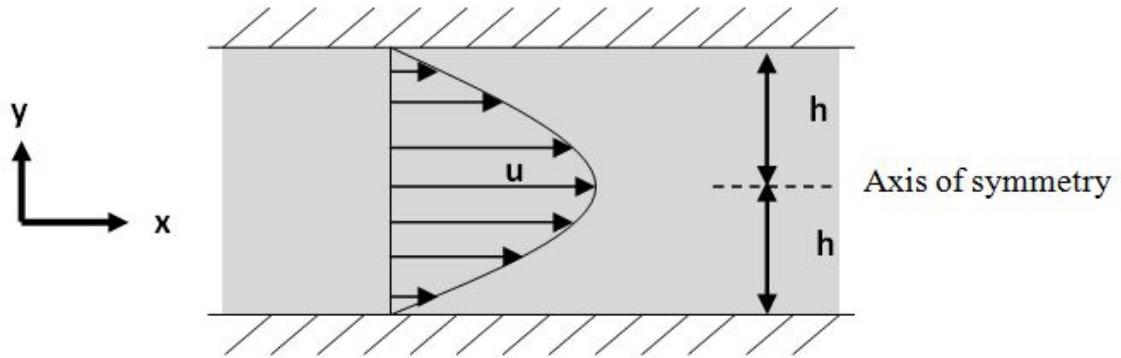


Figure 3: Velocity profile.

(15 marks)

3. Imagine that you are working as an F1 engineer for Sauber Petronas Engineering (Malaysia). You want to use a mysterious positively cambered airfoil for the new FI car spoiler design in right side up position as shown in **Figure 4**, with a zero-lift angle of -7° . The airfoil lift slope is 0.1 per degree. Before you make any decision, there are a few things that need to be analyzed and considered.

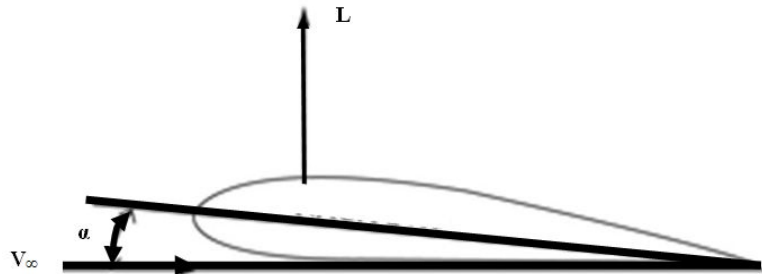
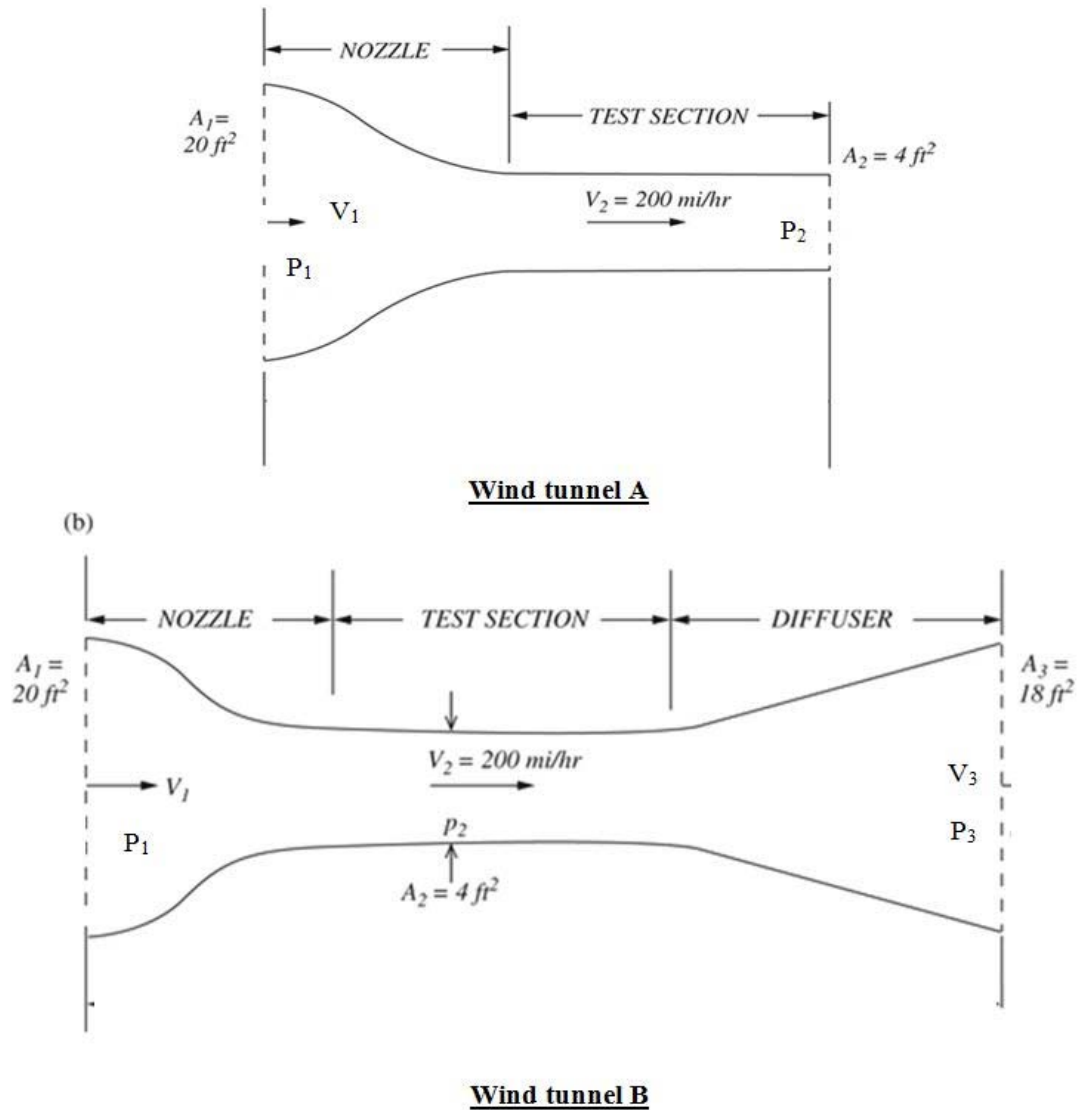


Figure 4: Positive-cambered airfoil (right side up position).

- [i] Consider if the **positively cambered airfoil** in the right side up position is turned **upside-down**. Do you expect the airfoil to produce any lift at 12° angle of attack? If yes, calculate its lift coefficient. If not, justify your answer. **(10 marks)**
- [ii] At what angle of attack must the **upside-down positively cambered** airfoil be set to generate the **same lift coefficient** as that when it is right-side-up position at 12° angle of attack? **(10 marks)**
- [iii] Now, if the positively cambered airfoil in the right side up position is changed to a **new symmetrical airfoil**, but at the same 12° angle of attack, do you expect the new symmetrical airfoil to produce any lift? If yes, calculate its lift coefficient. If not, justify your answer. **(10 marks)**
- [iv] For the purpose of the F1 car spoiler, will you proceed with your plan to use the **cambered airfoil** at the **right side up position**, or **upside down position**, or change it with a **symmetrical airfoil**? Provide justification for your answer. **(5 marks)**

1. [a] Anda perlu mengendalikan terowong angin berkelajuan subsonik supaya aliran di dalam bahagian ujian mempunyai kelajuan 150 mi/h. Ketumpatannya pada aras laut ialah $0.002377 \text{ slugs/ft}^3$. Pertimbangkan dua terowong angin yang berbeza seperti yang ditunjukkan dalam **Rajah 1**. Terowong angin yang manakah lebih efisien secara aerodinamik daripada segi ekonomi dan kenapa? Hitung perbezaan tekanan keseluruhan terowong angin untuk membuktikan jawapan anda.



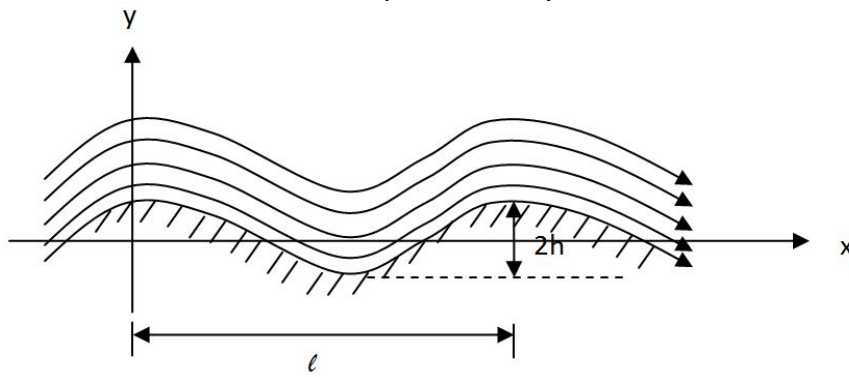
Rajah 1: (i) Terowong angin A, dan (ii) Terowong angin B.

(15 markah)

- [b] Aliran subsonik yang melalui dinding bergelombang digambarkan seperti **Rajah 2**. Panjang gelombang dan ketinggian dindingnya adalah ℓ dan h . Medan halaju di dalam koordinat Cartesian diberikan sebagai:

$$u = V_{\infty} \left[1 + \frac{h}{\beta} \frac{2\pi}{\ell} \left(\cos \frac{2\pi x}{\ell} \right) e^{-2\pi\beta y / \ell} \right]$$

$$v = -V_{\infty} h \frac{2\pi}{\ell} \left(\sin \frac{2\pi x}{\ell} \right) e^{-2\pi\beta y / \ell}$$



Rajah 2: Dinding bergelombang.

Adakah aliran ini tidak mempunyai putaran atau mempunyai putaran? Buktikan jawapan anda.

(10 markah)

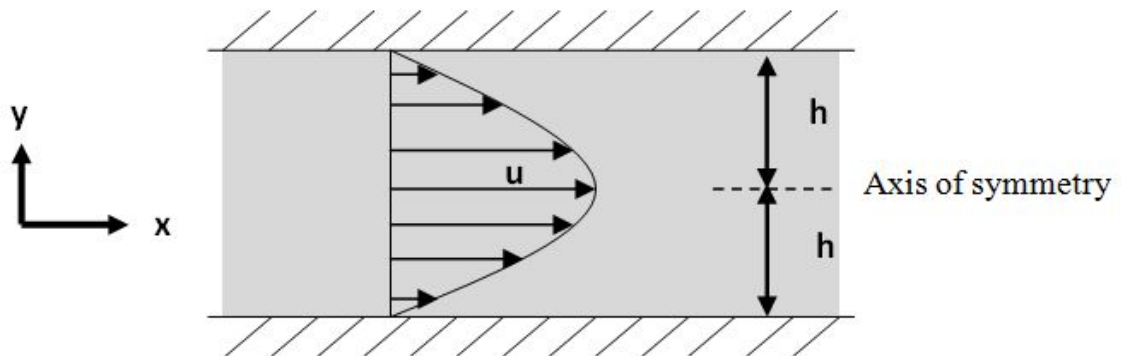
- [c] Anda merupakan seorang jurutera dan perlu mempertimbangkan dua aliran yang melalui aerofoil yang mempunyai geometri yang serupa; satu aerofoil bersaiz 2 kali ganda daripada yang satu lagi. Aliran yang melalui aerofoil yang lebih kecil mempunyai ciri-ciri seperti berikut; $T_{\infty} = 200\text{K}$, $\rho_{\infty} = 1.23 \text{ kg/m}^3$ dan $V_{\infty} = 100 \text{ m/s}$. Aliran yang melalui aerofoil yang lebih besar pula mempunyai $T = 800\text{K}$, $\rho_{\infty} = 1.739 \text{ kg/m}^3$ dan $V_{\infty} = 200 \text{ m/s}$. Anggapkan bahawa ia mempunyai kelikatan, μ , dan halaju bunyinya, a , adalah berkadar langsung dengan $T^{1/2}$. Adakah aliran yang melalui kedua-dua aerofoil itu sama secara dinamik? Buktikan jawapan anda.

(10 markah)

2. [a] Anda bercadang untuk menguji sayap kapal terbang yang mempunyai nisbah aspek 10 di dalam terowong angin baru USM. Keratan rentas aerofoil bagi sayap itu merupakan aerofoil simetri yang mempunyai kecerunan 0.11 setiap darjah. Nisbah daya angkat-seret bagi sayap ini adalah 35 apabila pemalar angkatnya bersamaan dengan 0.35 . Sekiranya sudut serangannya kekal sama, dan nisbah aspek ditingkatkan kepada 15 dengan menambahkan panjang sayap, hitung nilai daya angkat-seret yang baru. Anggapkan panjang bagi faktor efisien $e = e_1 = 0.9$ bagi kedua-dua kes tersebut.

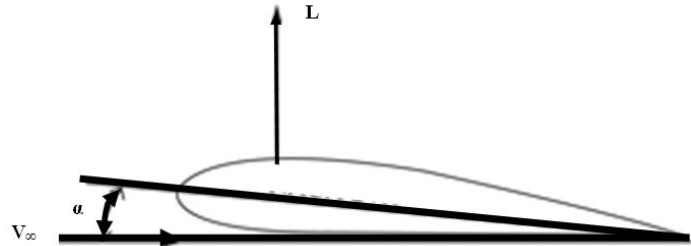
(15 markah)

- [b] Aliran tidak mampat dan likat yang membentuk lapisan laminar dalam arah- x di letakkan di antara plat selari yang melintang seperti **Rajah 3**. Cari profil halaju bagi aliran dalam keadaan tetap dengan menggunakan persamaan Navier-Stokes.

**Rajah 3: Profil halaju.**

(15 markah)

3. Bayangkan yang anda bekerja sebagai jurutera F1 untuk Kejuruteraan Sauber Petronas (Malaysia). Anda ingin menggunakan aerofoil misteri yang mempunyai kamber positif untuk rekabentuk pengacau kereta F1 yang baru dengan kedudukan posisi menghadap ke atas seperti **Rajah 4**, dengan sudut daya angkat sifarnya ialah -7° . Kecerunan aerofoil tersebut adalah 0.1 setiap darjah. Sebelum anda membuat sebarang keputusan, ada beberapa perkara yang perlu dianalisis dan dipertimbangkan.



**Rajah 4: Aerofoil berkamber positif
(Posisi menghadap ke atas).**

- [i] Pertimbangkan sekiranya aerofoil yang mempunyai kamber positif pada posisi menghadap ke atas itu diterbalikkan ke bawah. Adakah anda akan menjangka yang ia akan menghasilkan daya angkat pada sudut serangan 12° ? Jika ya, hitung nilai pemalar daya angkatnya. Jika tidak, berikan justifikasi bagi jawapan anda.
(10 markah)
- [ii] Pada sudut serangan apakah bagi aerofoil yang mempunyai kamber positif yang diterbalikkan itu perlu diletakkan supaya ia menghasilkan pemalar angkat yang sama dengan apabila ia dalam keadaan biasa pada sudut serangan 12° ?
(10 markah)
- [iii] Sekarang, sekiranya aerofoil yang mempunyai kamber positif itu ditukar kepada aerofoil simetri yang baru tetapi dikekalkan pada sudut serangan 12° , adakah anda menjangka yang aerofoil baru yang simetri ini akan menghasilkan daya angkat? Jika ya, hitung nilai pemalar angkat. Jika tidak, berikan justifikasi bagi jawapan anda.
(10 markah)
- [iv] Untuk tujuan rekabentuk pengacau kereta F1, adakah anda akan meneruskan rancangan anda untuk menggunakan aerofoil yang mempunyai kamber pada kedudukan biasa atau yang diterbalikkan, atau mengubahnya kepada simetri? Berikan justifikasi bagi jawapan anda.
(5 markah)

ooo000ooo