

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2012/2013 Academic Session

June 2013

**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].*

**Additional instructions related to this subject:**

*Arahan tambahan berkaitan dengan subjek ini:*

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.

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

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

*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.*

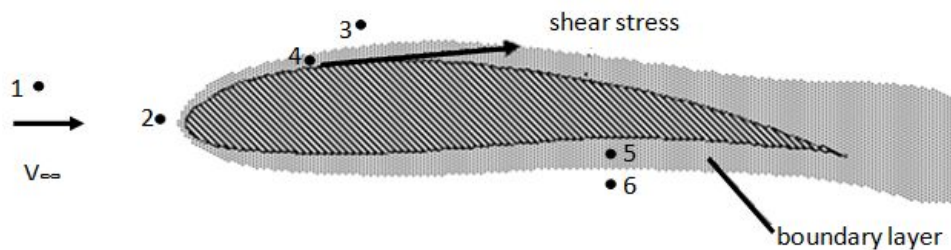
*Setiap pelajar dibenarkan untuk membawa sehelai nota ringkasan bersaiz A4 yang mempunyai dua mukasurat yang ditulis sendiri.*

*Sebahagian kredit akan diberikan secara berpatutan untuk jalan kerja yang ditunjukkan dengan betul.*

Answer **ALL** of the questions.

Jawab **SEMUA** soalan.

1. [a] Consider a low speed, steady flow around the thin airfoil as shown in Figure 1. You have obtained experimental values of the local static pressure at points 1 to 6. The shaded grey area surrounding the airfoil is the boundary layer. In between points 1 to 6, identify the location of the points where you can use Bernoulli's equation to determine the local velocity. Why you can use Bernoulli's equation at these points and why you cannot use it for the other points?



**Figure 1: Airfoil.**

**(3 marks)**

- [b] For the given shape as shown in Figure 1, what type of drag that is dominant and why? Compare it with a golf ball in Figure 2. What type of drag that is dominant for the golf ball and provide your reason. Why do you think that the golf ball has dimples surface?



**Figure 2: Golf ball.**

**(5 marks)**

- [c] Consider the non-lifting flow over a circular cylinder of a given radius and  $V_\infty = 5$  m/s. If  $V_\infty$  is doubled, that is  $V_\infty = 10$  m/s, does the shape of the streamlines change? Provide a reason for your answer.

**(7 marks)**

- [d] Consider the lifting flow over a circular cylinder of a given radius and with a given circulation. If  $V_\infty$  is doubled, keeping the circulation the same, does the shape of the streamlines change? Provide a reason for your answer.

**(7 marks)**

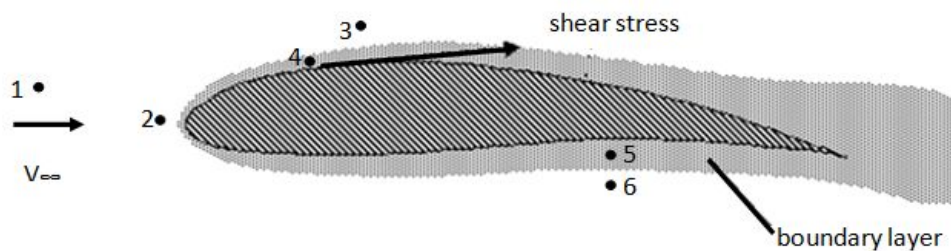
- [e] Consider that two of the three velocity components for an incompressible flow are:

$$u = x^2 + 2xz \qquad v = y^2 + 2yz$$

What is the general form of the velocity component of  $w(x,y,z)$  that satisfies the continuity equation?

**(8 marks)**

1. [a] *Pertimbangkan aliran mantap halaju perlahan di sekeliling airfoil nipis seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 1. Anda telah memperoleh nilai eksperimen bagi tekanan statik setempat pada titik 1 hingga 6. Kawasan bayangan kelabu yang mengelilingi airfoil itu merupakan lapisan sempadan. Di antara titik 1 hingga 6, kenal pasti lokasi titik-titik yang boleh menggunakan persamaan Bernoulli untuk menentukan halaju setempat. Mengapa anda boleh menggunakan persamaan Bernoulli di lokasi titik tersebut dan tidak boleh menggunakannya di lokasi titik yang lain?*



Rajah 1: Airfoil.

**(3 markah)**

- [b] *Bagi bentuk yang ditunjukkan di dalam Rajah 1, apakah jenis daya seretan yang dominan dan mengapa? Bandingkan ia dengan bola golf di dalam Rajah 2. Apakah jenis daya seretan yang dominan bagi bola golf tersebut dan nyatakan sebabnya. Pada fikiran anda, mengapa bola golf mempunyai permukaan yang berlekuk?*



Rajah 2: Bola golf.

**(5 markah)**

- [c] *Pertimbangkan aliran yang tidak-terangkat terhadap silinder bulat yang mempunyai jejari dan  $V_\infty = 5 \text{ m/s}$ . Sekiranya  $V_\infty$  diganda-duakan, iaitu menjadi  $V_\infty = 10 \text{ m/s}$ , adakah bentuk garis arus berubah? Berikan sebab bagi jawapan anda.*

**(7 markah)**

- [d] *Pertimbangkan aliran terangkat terhadap silinder bulat yang mempunyai jejari dan juga mempunyai kitaran. Jika  $V_\infty$  diganda-duakan, dengan mengekalkan kitaran yang sama, adakah bentuk garis arus berubah? Berikan sebab bagi jawapan anda.*

**(7 markah)**

- [e] *Pertimbangkan dua daripada tiga komponen halaju bagi aliran tidak mampat seperti berikut:*

$$u = x^2 + 2xz \qquad v = y^2 + 2yz$$

*Apakah bentuk umum bagi komponen halaju bagi  $w(x,y,z)$  yang memenuhi persamaan kesinambungan?*

**(8 markah)**

2. Imagine that you are an engineer, and your task is to design a new glider for a demanding rich client. The airfoil section of the wing of your glider is a NACA 2213 at the wing root, tapering to a NACA 2205 at the wing tip. The root chord is 8.33 ft. The measured total profile drag coefficient of the NACA 2213 airfoil is 0.006 at a Reynolds number of  $9 \times 10^6$ . Consider your glider cruising at an altitude of 18,000 ft. (density =  $1.3553 \times 10^{-3}$  slug/ft<sup>3</sup>, viscosity =  $3.5 \times 10^{-7}$  slug/ft.s).
- [a] On a single graph, sketch the plots of lift coefficient versus angle of attack for the NACA 2205 airfoil and NACA 2213 airfoil with proper labels. Identify these airfoils differences and similarities.  
**(3 marks)**
- [b] If you are given the option to change the NACA 2205 with a new NACA 0005 airfoil at the wing tip, will you consider changing it? Evaluate the option and justify your reason.  
**(2 marks)**
- [c] Find the velocity for your glider flying, if you want the root chord of NACA 2213 airfoil Reynolds number to be  $9 \times 10^6$ .  
**(4 marks)**
- [d] If you assume the flow is completely turbulent at that altitude and velocity, calculate the total skin friction drag coefficient for the NACA 2213 airfoil.  
**(4 marks)**
- [e] Compare the value of skin friction drag coefficient that you obtained with the given total profile drag coefficient. Comment on these values.  
**(2 marks)**
- [f] If you assume an initially laminar boundary layer starting at the leading edge, and then transitioning to be a turbulent boundary layer at some point downstream, calculate the total skin friction drag coefficient for the glider's airfoil. Assume a critical Reynolds number of  $1 \times 10^6$  for transition.  
**(10 marks)**
- [g] Now, consider a new design of a glider with a finite wing using the NACA 2213 airfoil with an aspect ratio of 8 and taper ratio of 0.8. Assume that  $\delta = \tau = 0.054$ . If the measured lift coefficient slope for the NACA 2213 airfoil is 0.108/deg and the zero-lift angle of attack is  $-1.3^\circ$ , calculate the lift and induced drag coefficients for this wing at a geometric angle of attack =  $7^\circ$ .  
**(10 marks)**
- [h] For this design it has been suggested that the wing aspect ratio is reduced to 3 to save cost. Do you agree or disagree with this suggestion? Provide proof and justification to backup your answer.  
**(5 marks)**

2. Bayangkan yang anda ialah seorang jurutera dan tugas anda adalah mereka bentuk peluncur baru untuk seorang pelanggan kaya yang suka mendesak. Keratan airfoil bagi sayap peluncur anda merupakan sebuah NACA 2213 di bahagian akar sayap, menirus kepada NACA 2205 di bahagian hujung sayap. Garis rentas akar berukuran 8.33 kaki. Jumlah pekali seretan profil yang diukur bagi airfoil NACA 2213 ialah 0.006 pada nombor Reynolds  $9 \times 10^6$ . Pertimbangkan yang peluncur anda menjajap pada altitud 18, 000 kaki. (ketumpatan =  $1.3553 \times 10^{-3}$  slug/ft<sup>3</sup>, kelikatan =  $3.5 \times 10^{-7}$  slug/ft.s).

[a] Di dalam satu graf, lakarkan plot bagi pekali angkat melawan sudut serangan bagi airfoil NACA 2205 dan airfoil NACA 2213 disertakan dengan pelabelan yang sesuai. Kenal pasti beberapa kesamaan dan perbezaan airfoil tersebut.

**(3 markah)**

[b] Sekiranya anda diberi pilihan untuk menukar airfoil NACA 2205 dengan NACA 0005 yang baru di hujung sayap, adakah anda akan mempertimbangkan untuk menukarnya? Berikan penilaian terhadap pilihan anda dan justifikasikan sebabnya.

**(2 markah)**

[c] Cari halaju peluncur anda, sekiranya anda mahu nombor Reynolds bagi garis rentas akar airfoil NACA 2213 menjadi  $9 \times 10^6$ .

**(4 markah)**

[d] Sekiranya anda menganggap bahawa aliran itu bergelora sepenuhnya pada altitud dan halaju tersebut, kira jumlah pekali seretan geseran kulit untuk airfoil NACA 2213.

**(4 markah)**

[e] Bandingkan nilai pekali seretan kulit yang anda perolehi dengan jumlah pekali seretan profil yang diberikan. Ulaskan tentang nilai-nilai tersebut.

**(2 markah)**

[f] Sekiranya anda menganggap yang lapisan sempadan laminar asalnya bermula dari pinggir depan, dan kemudiannya berubah menjadi lapisan sempadan gelora di hilirnya, kira jumlah pekali kulit geseran bagi airfoil peluncur itu. Anggapkan nombor kritikal Reynolds ialah  $1 \times 10^6$  semasa perubahan itu.

**(10 markah)**

[g] Sekarang, pertimbangkan rekaan baru bagi peluncur anda yang mempunyai sayap berpenghujung menggunakan airfoil NACA 2213 dengan nisbah aspek sebanyak 8 dan nisbah tirus sebanyak 0.8. Anggapkan yang  $\delta = \tau = 0.054$ . Sekiranya kecerunan pekali angkat bagi airfoil NACA 2213 adalah 0.108/deg dan sudut serangan ketika daya angkat sifar adalah  $-1.3^\circ$ , kira pekali angkat dan pekali seretan teraruh bagi sayap tersebut apabila sudut serangan geometriknya =  $7^\circ$ .

**(10 markah)**

[h] Bagi rekaan tersebut, adalah dicadangkan bahawa nisbah aspek sayap peluncur itu dikurangkan kepada 3 untuk menjimatkan kos. Adakah anda bersetuju atau tidak bersetuju dengan cadangannya? Sediakan bukti dan justifikasi untuk menyokong jawapan anda.

**(5 markah)**

3. [a] You are considering using an NACA 2412 airfoil for your wing design. The equation of the mean camber line for the airfoil is given by:

$$\frac{z}{c} = 2.7 \left[ \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0.6 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0.1 \left( \frac{x}{c} \right) \right]$$

For:  $0 \leq x \leq 0.2025 c$

$$\frac{z}{c} = 0.02 \left( 1 - \frac{x}{c} \right)$$

For:  $0.2025 c \leq x \leq 1.0 c$

By using the thin airfoil theory, calculate the moment coefficient about the quarter chord.

**(15 marks)**

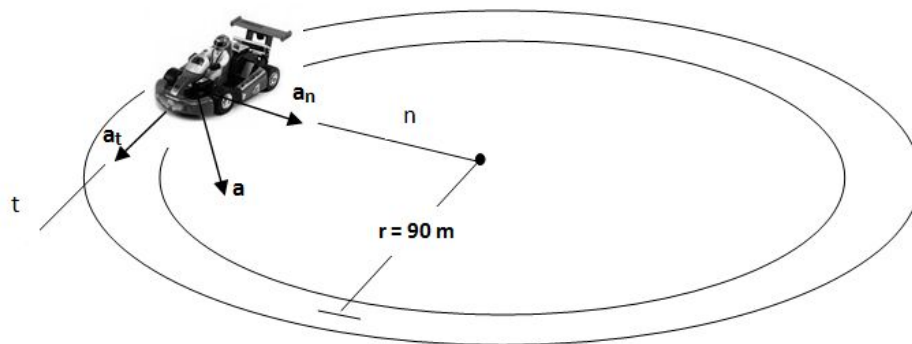
- [b] You are watching your brother playing a Go-Kart Race at Shah Alam. As an engineering student, you have noticed that your brother's go-kart car travels around the horizontal circular track that has a radius of 90 m as shown in Figure 3. If the go-kart car increases its velocity at a constant rate of  $2.1 \text{ m/s}^2$ , starting from rest:

- (i) Determine the time needed for it to reach a total acceleration of  $2.4 \text{ m/s}^2$ . What is its velocity at this instant?

**(10 marks)**

- (ii) If the total frontal area of the go-kart is  $5 \text{ m}^2$  and the drag coefficient is 0.25, calculate the drag of the go-kart assuming that Shah Alam is located at a sea-level condition.

**(5 marks)**



**Figure 3: Go-kart track.**



3. [a] Anda sedang mempertimbangkan untuk menggunakan airfoil NACA 2412 bagi rekaan sayap. Persamaan bagi garis kamber min airfoil tersebut diberikan sebagai:

$$\frac{z}{c} = 2.7 \left[ \left( \frac{x}{c} \right)^3 - 0.6 \left( \frac{x}{c} \right)^2 + 0.1 \left( \frac{x}{c} \right) \right]$$

Bagi:  $0 \leq x \leq 0.2025 c$

$$\frac{z}{c} = 0.02 \left( 1 - \frac{x}{c} \right)$$

Bagi:  $0.2025 c \leq x \leq 1.0c$

Dengan menggunakan teori airfoil nipis, kira pekali momen pada suku rentas.

**(15 markah)**

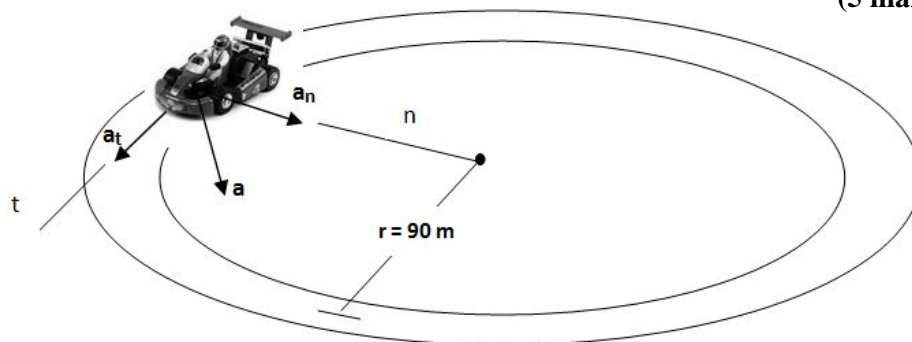
- [b] Anda sedang melihat abang anda bermain perlumbaan kereta lumba bermotor kecil di Shah Alam. Sebagai seorang pelajar kejuruteraan, anda perhatikan yang kereta lumba bermotor kecil abang anda bergerak mengelilingi trek bulatan mendatar yang mempunyai jejari sebanyak 90 m seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 3. Sekiranya kereta lumba bermotor kecil itu meningkatkan halaju pada kadar tetap sebanyak  $2.1 \text{ m/s}^2$ , bermula dari keadaan rehat:

- (i) Tentukan masa yang diperlukan untuk kereta lumba bermotor kecil itu mencecah pecutan  $2.4 \text{ m/s}^2$ . Berapakah halajunya pada ketika itu?

**(10 markah)**

- (ii) Sekiranya jumlah keluasan hadapan kereta lumba bermotor kecil adalah  $5 \text{ m}^2$  dan pekali seretannya adalah 0.25, kira daya seretan bagi kereta lumba bermotor kecil itu dengan menganggapkan bahawa Shah Alam terletak pada paras laut.

**(5 markah)**



Rajah 3: Trek kereta lumba bermotor kecil.

ooo000ooo