

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2009/2010 Academic Session

April/May 2010

**ESA 244/2 – Aerodynamics**  
*Aerodinamik*

Duration : 2 hours  
[Masa : 2 jam]

---

**INSTRUCTION TO CANDIDATES**  
**ARAHAN KEPADA CALON**

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

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

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

Student may answer the questions either in English or Bahasa Malaysia but not both.

*Pelajar boleh menjawab soalan dalam Bahasa Inggeris atau Bahasa Malaysia tetapi bukan kedua-duanya sekali.*

Each question must begin from a new page.

*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 kertas soalan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunapakai.*

1. Explain the following in your own words without using mathematics:

*Terangkan perkara-perkara yang berikut tanpa menggunakan matematik:*

- (a) Reynolds number

*Nombor Reynolds*

**(10 marks/markah)**

- (b) Vorticity

*Kepusaran*

**(10 marks/markah)**

- (c) Continuity equation

*Persamaan kesinambungan*

**(10 marks/markah)**

- (d) Boundary layer

*Lapisan sempadan*

**(10 marks/markah)**

- (e) Flow separation

*Pemisahan aliran*

**(10 marks/markah)**

2. A simple two-dimensional model for a tornado can be computed by superposing a vortex with a sink. The vortex models the circular motion of the flow and the sink models the 'suction' effect.

*Angin puting beliung dalam dua dimensi boleh dimodelkan dengan menggabungkan model kepusaran dan model aliran sedut. Model kepusaran mewakili pergerakan bulat dan model aliran sedut mewakili proses sedutan.*

- (a) Write an expression for the potential function for a tornado.

*Tuliskan fungsi keupayaan untuk angin puting beliung.*

**(10 marks/markah)**

- (b) Compute the radial ( $r$ ) and circumferential ( $\theta$ ) components of the velocity for the tornado

*Tentukan halaju jejari dan halaju lilitan untuk angin puting beliung.*

**(10 marks/markah)**

- (c) Integrate the velocity components to obtain the stream function  $\psi$ .

*Kamirkan halaju-halaju di atas untuk mendapatkan fungsi aliran  $\psi$ .*

**(10 marks/markah)**

- (d) Sketch the streamlines and determine the  $r(\theta)$ . What can you say about streamlines?

*Lakar fungsi aliran di atas dan tentukan  $r(\theta)$ . Apa yang anda boleh katakan tentang fungsi aliran tersebut?*

**(10 marks/markah)**

- (e) Derive an expression of pressure at a point in a tornado.

*Terbitkan persamaan untuk tekanan dalam angin puting beliung.*

**(10 marks/markah)**

3. A full-scale commercial aircraft is to be designed cruising at 35,000 feet with Mach number ( $M=0.8$ ) and Reynolds number ( $Re=9,000,000$ ). You are interested to estimate the aerodynamics characteristics of the aircraft's main wing (i.e. lift, drag and moment) during this equilibrium flight based on what you have learnt in this course. Assume that each main wing spans 20 meters with aspect ratio ( $AR=4.0$ ) and has a constant cross-sectional shape. The wing is also not swept back. For a start, you are to simplify the problem to two dimensions. Assume that the flow must remain attached at the leading edge (LE) and that the shape of the airfoil is as smooth as possible but with camber and  $A_1=0.3/\pi$  and  $A_2=0.282/\pi$ . In addition, assume that the flow over the airfoil is fully laminar and with no flow separation.

*Sebuah pesawat terbang (skala-penuh) direkabentuk untuk terbang pada ketinggian 35,000 kaki dengan nombor Mach ( $M=0.8$ ) dan nombor Reynolds ( $Re=9,000,000$ ). Anda ingin menganggarkan ciri-ciri aerodinamik (daya angkat, daya seretan dan momen) sayap utama pesawat tersebut semasa penerbangan seimbang berdasarkan ilmu yang didapati dalam kelas ini. Anggap setiap sayap utama mempunyai panjang 20 meter,  $AR=4.0$  dan mempunyai keratan rentas yang sekata. Sayap juga adalah lurus. Untuk permulaan, anda akan membuat analisis dalam 2D. Anggap aliran udara perlu berada di atas permukaan airfoil di LE dan bentuk airfoil adalah yang serata yang mungkin tapi mempunyai kamber dengan  $A_1=0.3/\pi$  and  $A_2=0.282/\pi$ . Selain itu, anggap aliran udara adalah laminar tanpa pemisahan.*

- (a) Using thin airfoil theory, determine the lift coefficient per unit span ( $C_L'$ ) and the location of center of pressure ( $X_{cp}$ )

*Dengan menggunakan teori airfoil nipis, tentukan ( $C_L'$ ) dan lokasi tekanan pusat ( $X_{cp}$ )*

**(10 marks/markah)**

- (b) Based on a flat plate model, estimate the non-dimensional boundary layer's maximum thickness and the maximum skin friction coefficient ( $C_f$ ) of the airfoil.

*Dengan menggunakan model plat rata, anggarkan ketebalan maksima lapisan sempadan (tanpa unit) dan daya geseran ( $C_f$ ) maksima airfoil tersebut.*

**(10 marks/markah)**

- (c) Now assume that the total lift coefficient ( $C_L$ ) is 0.50, estimate the induced drag based on Oswald efficiency ( $e$ ) of 0.9.

*Anggap pekali daya tujahan ( $C_L$ ) ialah 0.50, anggarkan daya geseran terbitan Berdasarkan nombor Oswald 0.9.*

**(10 marks/markah)**

- (d) Assume that the skin friction and pressure drag varies linearly with the lift coefficient ( $C_L$ ) and combining this with the induced drag, sketch the graph for the total drag coefficient ( $C_D$ ) versus  $C_L$ .

*Anggap daya geseran dan daya seretan daripada tekanan berubah secara linear berbanding dengan perubahan ( $C_L$ ), lakarkan graf daya seretan ( $C_D$ ) keseluruhan dengan  $C_L$ .*

**(10 marks/markah)**

- (e) Is this drag estimation reasonable? If not please explain why and how to improve the design without changing the flight speed or Re number.

*Adakah anggaran daya seretan di atas munasabah? Jika tidak terangkan mengapa dan terangkan bagaimana untuk menambahbaik reka bentuk tanpa mengubah halaju pesawat atau nombor Re.*

**(5 marks/markah)**

- (f) If you repeat the whole process using a model-scale aircraft (or wing), do you expect  $C_f$ ,  $C_L$  and  $C_D$  to vary? Why?

*Jika anda mengulangi proses di atas dengan menggunakan skala-model pesawat, adakah perubahan untuk  $C_f$ ,  $C_L$  and  $C_D$  dan kenapa?*

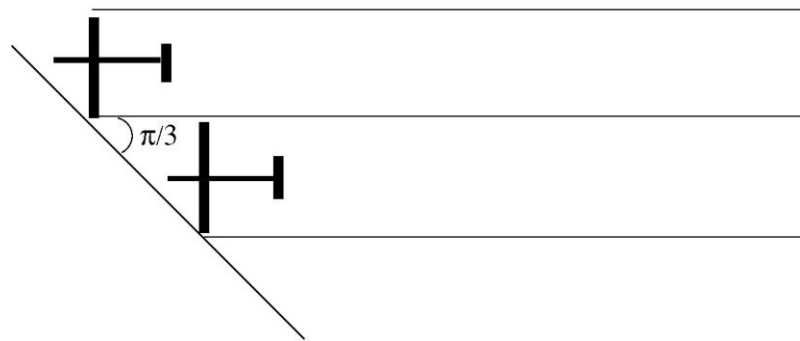
**(5 marks/markah)**

4. Two identical aircraft are flying in a tight formation as shown in **Figure 1**. Which of them experiences the most drag? Give a detailed mathematical justification. (Hint: Recall that induced drag is directly proportional to the downwash velocity.)

*Dua pesawat terbang yang sama sedang bergerak dalam formasi yang ditunjukkan dalam **Rajah 1**. Pesawat mana yang mengalami daya seretan yang tinggi? Sertakan justifikasi matematik yang lengkap.*

*(Daya seretan terbitan adalah berkadar terus dengan halaju kuak bawah)*

**(50 marks/markah)**



**Figure 1/Rajah 1**

-ooo000ooo-