

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2009/2010 Academic Session  
*Peperiksaan Semester Pertama  
Sidang Akademik 2009/2010*

November 2009

**ESA 343/2 – Aircraft Aerodynamics**  
*(Aerodinamik Pesawat)*

Duration : 2 hours  
*[Masa : 2 jam]*

---

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

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.*

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 digunakan pakai.*

## 1. Human Powered Flight.

*Penerbangan Yang Dijana kuasakan oleh Manusia.*

On August 23<sup>rd</sup> 1977, the Gossamer Condor aircraft won the Kramer prize for completing a half-mile distance powered by only muscles of its pilot. Weight and proportion of the plane are critical, as is the selection of the pilot, who must deliver a high power-to-weight ratio.

*Pada 23 haribulan Ogos 1977, pesawat Gossamer Condor telah memenangi hadiah Kramer dalam pertandingan pesawat yang diterbangkan sejauh separuh batu hanya dengan menggunakan otot-otot manusia. Berat dan bentuk pesawat adalah kritikal, termasuk berat juruterbang kerana dia harus menghasilkan nisbah kuasa penjanaan dengan berat badan yang tinggi.*

Data for the plane is that its empty weight was 84 lb, its wing area was  $1056 \text{ ft}^2$  and its span was 96 ft. The cruising speed was 15 ft/s and the drag coefficient at zero lift was 0.025. Assume that the wing was elliptical in shape and that the flight took place at sea level.

*Berat pesawat tersebut adalah 84 lb, dengan luas permukaan sayap  $1056 \text{ ka}^2$  dan panjang sayap adalah 96 ka. Halaju pesawat adalah 15 ka/s dan daya seretan tanpa daya angkat adalah 0.025. Andaikan sayap tersebut adalah berbentuk elliptik dan penerbangan dilakukan pada aras laut.*

The crucial question is, what kind of pilot can power this plane? Consider two cases:

*Juruterbang jenis apa yang boleh menerbangkan pesawat ini? Lihat dua kes di bawah:*

- (a) Show that pilot 1 weighing 140 lb and generating 0.4 horsepower (HP) can power the plane.

*Buktikan bahawa seorang juruterbang yang mempunyai berat badan 140 lb dan menghasilkan 0.4 kuasa kuda (HP) dapat menerbangkan pesawat tersebut.*

**(15 marks/markah)**

- (b) Pilot 2 weighs 120 lb and generates 0.3 HP. Can this pilot power the plane? If not, redesign the plan by changing the aspect ratio of the wing but keeping the wing area and everything else unchanged. Bear in mind that the structure is already as light as possible, why might your solution still not work?

*Juruterbang kedua mempunyai berat badan 120 lb dan menghasilkan 0.3 kuasa kuda (HP). Adakah dia dapat menerbangkan pesawat ini? Jika tidak, reka-bentuk semula pesawat tersebut dengan mengubah nisbah aspek sayap tanpa mengubah faktor-faktor yang lain. Jelaskan mengapa kaedah ini masih gagal, sila huraikan daripada segi struktur pesawat.*

(15 marks/markah)

**Hint:** Note that the power needed is  $P = DU_{\infty}$  where  $D$  is the total drag force. Recall that for an elliptical wing planform, the induced drag is given as  $C_{Di} = \frac{C_L^2}{\pi AR}$  where  $AR$  is the wing aspect ratio. Assume that the density at sea level is  $\rho = 0.00238 \frac{\text{slug}}{\text{ft}^3}$  and that  $1 \text{ lb} = 1 \frac{\text{slug-ft}}{\text{s}^2}$ . Also note that  $1 \text{ HP} = 550 \frac{\text{slug-ft}^2}{\text{s}^3}$ .

*Maklumat tambahan: Kuasa yang diperlukan adalah  $P = DU_{\infty}$  di mana  $D$  adalah jumlah daya seretan. Untuk sayap elliptik, daya seretan disebabkan oleh daya seretan induksi adalah  $C_{Di} = \frac{C_L^2}{\pi AR}$  di mana  $AR$  ialah nisbah aspek sayap. Ketumpatan udara pada aras laut adalah  $\rho = 0.00238 \frac{\text{slug}}{\text{ft}^3}$  dan  $1 \text{ lb} = \frac{\text{slug-ft}}{\text{s}^2}$ ,  $1 \text{ HP} = 550 \frac{\text{slug-ft}^2}{\text{s}^3}$ .*

## 2. Verifying CFD Data.

*Mengenalpsti Data CFD.*

In the following pairs of pictures, only one parameter has been changed (i.e. angle of attack or Reynolds number) between the two plots. Compare the two plots and answer the relevant question. Include a brief justification of your choice.

*Lihat rajah-rajah di bawah, di mana salah satu parameter telah diubah (sama ada sudut serangan ataupun nombor Reynolds). Bandingkan kedua-dua rajah tersebut dan jawab soalan yang diberikan. Jawapan anda hendaklah diikuti dengan sebab.*

- (a) Which airfoil is at a higher angle of attack?

*Aerofoil yang mana berada pada sudut serang yang lebih tinggi?*

(10 marks/markah)

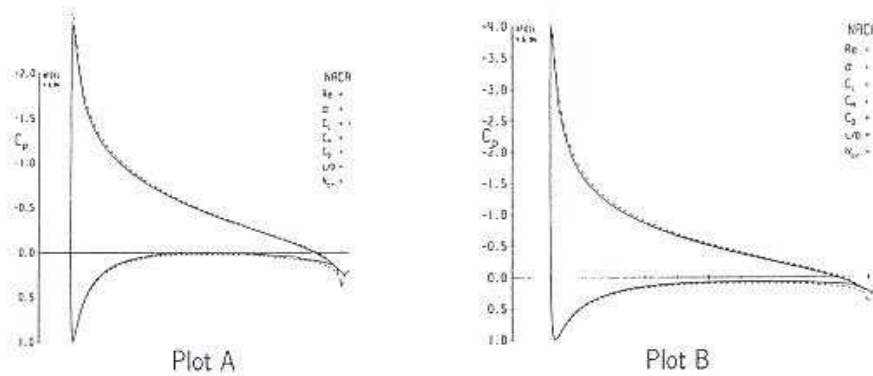


Figure 1/Rajah 1:  $C_p$  versus  $x/c$

- (b) Which airfoil is at a higher Reynolds number?

*Aerofoil yang mana mempunyai nombor Reynolds yang lebih tinggi?*

(10 marks/markah)

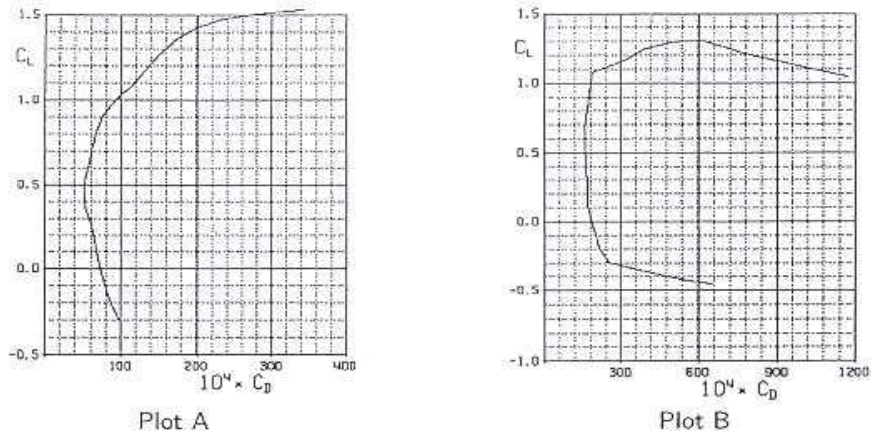


Figure 2/Rajah 2:  $C_L$  versus  $C_D$

(c) Which airfoil has a turbulent upper surface boundary layer?

*Aerofoil yang mana mempunyai lapisan sempadan turbulen pada permukaan atas?*

(10 marks/markah)

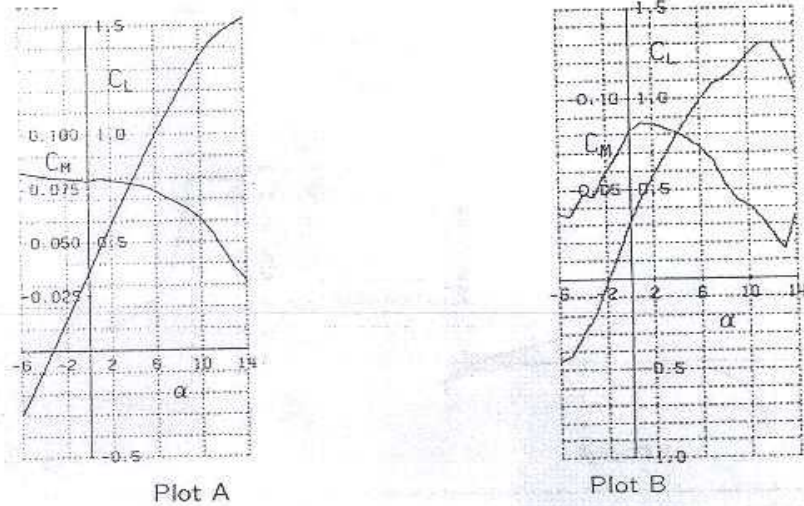


Figure 3/Rajah 3:  $C_L, C^M$  versus  $\alpha$

(d) Which airfoil is more cambered?

*Aerofoil yang mana mempunyai kamber yang lebih tinggi?*

(10 marks/markah)

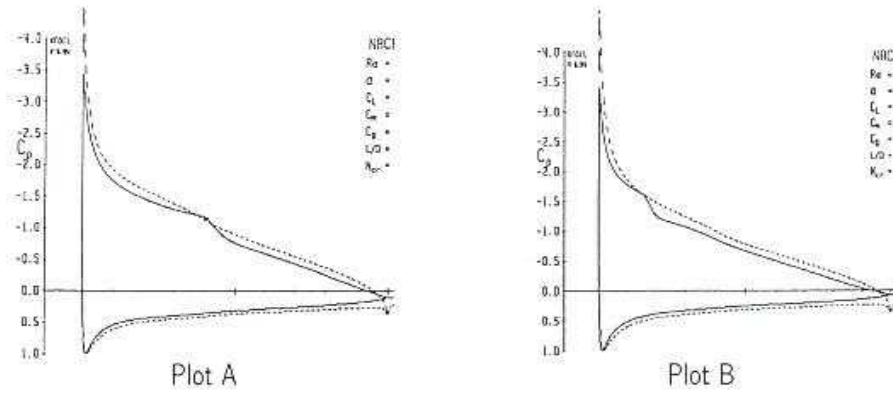


Figure 4/Rajah 4:  $C_p$  versus  $x/c$

## 3. Heavy-Fluid Wind Tunnels.

*Bendalir-Berat dalam Terowong Angin.*

For a wind tunnel experiment to correspond to an actual physical situation, the important non-dimensional parameters of the problem must be matched. For many aerodynamic situations, this primarily means that the Mach number and the Reynolds number must be the same in the experiment as in flight. Consider an airplane flying at an altitude of 10 kilometers, where

*Untuk menyelaraskan eksperimen di dalam terowong angin dengan penerbangan sebenar, adalah penting untuk beberapa parameter tidak berunit mempunyai nilai yang sama. Dalam aerodinamik, nombor Mach dan Reynolds mesti sama di dalam penerbangan sebenar serta dalam eksperimen. Untuk penerbangan yang dijalankan pada ketinggian 10 kilometer di mana*

$$a = 299 \text{ m/s}$$

$$p = 2.64 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 0.413 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.45 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

If a wind tunnel is run with air as the working fluid at sea level, with

*Jika terowong angin menggunakan udara sebagai bendalir pada aras permukaan laut*

$$a = 340 \text{ m/s}$$

$$p = 1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 1.23 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.78 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{ms}}$$

- (a) What speed must the tunnel be run at relative to the flight speed, in order to match the flight Mach number?

*Berapakah nisbah kelajuan di dalam terowong angin berbanding dengan kelajuan sebenar pesawat untuk memastikan nombor Mach adalah sama?*

(6 marks/markah)

- (b) By what factor must the length (chord) of the model wing differ from the length (chord) of the actual wing?

*Apakah faktor perbezaan di antara perentas sayap model dan perentas sayap sebenar?*

(6 marks/markah)

- (c) Is this reasonable, please explain why?

*Adakah ini boleh diterima dan mengapa?*

(3 marks/markah)

Now, the test is conducted in the wind tunnel using a 'heavier' fluid, Sodium HexaFlouride, which has the following properties at sea-level

*Ekspirimen diulangi dengan menggunakan Sodium HexaFlouride yang mempunyai parameter-parameter berikut*

$$a = 134 \text{ m/s}$$

$$p = 1.01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 6.14 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1.50 \times 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

- (d) What speed must the tunnel be run at relative to the flight speed, in order to match the flight Mach number?

*Berapakah nisbah kelajuan di dalam terowong angin berbanding dengan kelajuan sebenar pesawat untuk memastikan nombor Mach adalah sama?*

(6 marks/markah)

- (e) By what factor must the length (chord) of the model wing differ from the length (chord) of the actual wing?



*Apakah faktor perbezaan di antara perentas sayap model dan perentas sayap sebenar?*

**(6 marks/markah)**

(f) *Is this reasonable, please explain why?*

*Adakah ini boleh diterima dan mengapa?*

**(3 marks/markah)**

~ ooo000ooo ~