

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2012/2013 Academic Session

January 2013

**ESA 343/2 – Aircraft Aerodynamics**  
**[Aerodinamik Pesawat]**

Duration : 2 hours  
[Masa : 2 jam]

---

Please ensure that this paper contains **EIGHT (8)** printed pages and **FOUR (4)** questions before you begin examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **LAPAN (8)** mukasurat bercetak dan **EMPAT (4)** 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 question must begin from a new page.

*Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.*

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.*

Answer **ALL** of the questions.

Jawab **SEMUA** soalan.

1. Consider a flying wing with a planform area of 3699 ft<sup>2</sup>, a root chord at the airplane centerline of 34.13 ft, an overall taper ratio of 0.275 and a span of 170 ft. The airplane is cruising at an altitude of 17,000 ft on a standard day (density = 0.001401 slug/ft<sup>3</sup>) with a temperature of 458.11° R, wing form factor as shown in Figure 1 and a wing loading of 105 lb/ft<sup>2</sup>. The cruise Mach number is 0.23 and the viscosity is around 3.388 x 10<sup>-7</sup> slug/ft-s.

*Pertimbangkan sayap terbang yang mempunyai keluasan 3699 ft<sup>2</sup>, panjang rentas pangkal daripada garis pusat sebanyak 34.13 ft, nisbah tirus 0.275 dan panjang sayap 170 ft. Pesawat itu sedang terbang di altitud 17,000 ft pada hari biasa (ketumpatan = 0.001401 slug/ft<sup>3</sup>) dengan suhu 458.11° R, faktor pembentukan sayap seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1, dan bebanan sayap sebanyak 105 lb/ft<sup>2</sup>. Nombor Mach ketika terbang adalah 0.23 dan kelikatannya sebanyak 3.388 x 10<sup>-7</sup> slug/ft-s.*

- [a] Calculate the skin friction coefficient,  $C_f$ .

*Kira pekali geseran kulit,  $C_f$ .*

**(5 marks/markah)**

- [b] If the wetted areas include the top and bottom of the wing, calculate the skin friction drag coefficient,  $C_{Dsf}$ .

*Sekiranya keluasan basah merangkumi kawasan sayap atas dan bawah, kira pekali seret geseran kulit,  $C_{Dsf}$ .*

**(3 marks/markah)**

- [c] Calculate the total zero-lift drag coefficient of the wing,  $C_{Do}$ .

*Kira jumlah pekali seret daya angkat sifar sayap terbang itu,  $C_{Do}$ .*

**(3 marks/markah)**

- [d] If the wing has 35° of sweepback at the 25% chord line and the average airfoil thickness ratio is 10%, calculate the pressure drag coefficient,  $C_{Dp}$ .

*Sekiranya sayap itu mempunyai 35° sapu ke belakang pada 25% garis rentas dan nisbah purata ketebalan airfoil ialah 10%, kira pekali seretan tekanan  $C_{Dp}$ .*

**(3 marks/markah)**

- [e] If the induced drag factor is 0.01, determine how to maintain a steady, level flight and estimate the induced drag coefficient,  $C_{Di}$ .

*Sekiranya faktor seret teraruh ialah 0.01, tentukan bagaimana untuk mengekalkan keadaan mantap, penerbangan mendatar dan anggarkan pekali seretan teraruh,  $C_{Di}$ .*

(5 marks/markah)

- [f] Estimate the total drag coefficient.

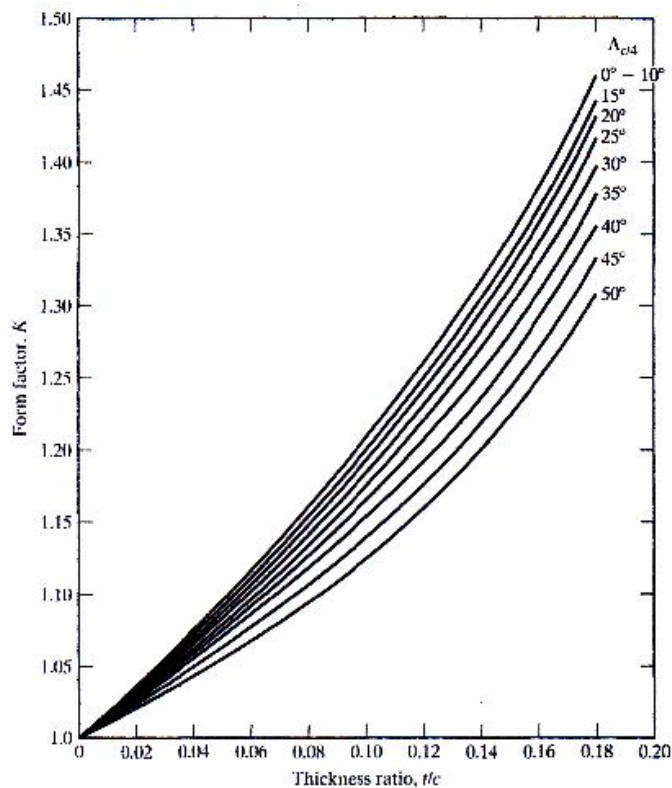
*Anggarkan jumlah pekali seret.*

(3 marks/markah)

- [g] Estimate the total drag.

*Anggarkan jumlah daya seret.*

(3 marks/markah)



**Figure 1: Wing Form Factor**  
*Rajah 1: Faktor Sayap 'Form'*

2. Imagine that you are flying an unknown airplane to a mysterious destination with a full load of fuel and weighs about  $1.2 \times 10^5$  N. By the time you have reached your destination, the weight of the airplane is about 85,000 N (assume that you have fully used the fuel at this time). The wing of your airplane area is  $18 \text{ m}^2$ , very thin with a thickness of 3%, and has a sharp leading edge, designed to minimize wave drag at supersonic speeds. Unfortunately, this wing has a very poor low speed aerodynamic performance.

*Bayangkan anda sedang menerbangkan pesawat yang tidak diketahui ke sebuah destinasi misteri dengan beban minyak yang penuh dan berat sebanyak  $1.2 \times 10^5$  N. Setelah anda tiba di destinasi, berat pesawat terbang itu adalah 85,000 N (anggapkan yang anda telah menggunakan minyak sepenuhnya pada masa ini). Keluasan sayap terbang anda adalah  $18 \text{ m}^2$ , sangat nipis dengan ketebalan 3%, dan mempunyai pinggir depan yang tajam, direkabentuk untuk mengurangkan seretan gelombang pada kelajuan supersonik. Malangnya, sayap ini mempunyai prestasi aerodinamik halaju rendah yang teruk.*

- [a] What are some of the possible reasons for this wing to have 'poor lowspeed aerodynamic performance'?

*Apakah sebab-sebab yang memungkinkan sayap ini mempunyai 'prestasi aerodinamik halaju rendah yang teruk'?*

**(3 marks/markah)**

- [b] Your airplane has both leading-edge and trailing edge flaps, but in spite of these high-lift devices, the maximum lift coefficient at subsonic speeds is only 1.2. Estimate the stalling speed at standard sea level (density =  $1.225 \text{ kg/m}^3$ ) when the airplane has a full fuel tank.

*Pesawat terbang anda mempunyai kibas pinggir depan dan belakang, tetapi, walaupun mempunyai peranti angkat tinggi, pekali angkat maksimum pada kelajuan subsonik hanya 1.2. Anggarkan halaju pegun pada aras laut (ketumpatan =  $1.225 \text{ kg/m}^3$ ) apabila tangki minyak pesawat penuh.*

**(3 marks/markah)**

- [c] Then estimate the stalling speed when the airplane has reached its destination.

*Kemudian, anggarkan halaju pegun setelah pesawat tiba di destinasi.*

**(3 marks/markah)**

- [d] Compare and explain your results for the case when the airplane has a full and empty fuel tank.

*Bandingkan dan jelaskan keputusan anda bagi kes apabila tangki pesawat penuh dan kosong.*

**(3 marks/markah)**

- [e] You are arguing with your friends on the method to reduce the induced drag and you believe that one of the ways to reduce the induced drag is by increasing the aspect ratio. Discuss and justify the advantages and disadvantages when you increase the aspect ratio.

*Anda berhujah dengan kawan anda tentang kaedah untuk mengurangkan seretan teraruh dan anda percaya bahawa salah satu cara untuk mengurangkan seretan teraruh adalah dengan meningkatkan nisbah bidang. Bincang dan berikan justifikasi kelebihan dan kekurangan apabila anda meningkatkan nisbah bidang.*

**(4 marks/markah)**

- [f] Discuss the purpose and advantages of adding winglets to an aircraft.

*Bincangkan tujuan dan kelebihan penambahan sayap lawi pada pesawat.*

**(4 marks/markah)**

3. An airplane encounters its lowest flight speeds at takeoff or landing –two periods that are most critical for aircraft safety. The slowest speed at which an airplane can fly in straight and level flight is defined as the stalling speed,  $V_{\text{stall}}$ . The calculation of  $V_{\text{stall}}$ , as well as aerodynamic methods of making  $V_{\text{stall}}$  as small as possible, is of vital importance.

*Pesawat terbang berhadapan dengan kelajuan pesawat paling rendah semasa berlepas dan mendarat – dua keadaan yang sangat kritikal untuk keselamatan pesawat. Kelajuan paling perlahan apabila pesawat terbang dalam keadaan lurus dan penerbangan yang mendarat didefinisikan sebagai kelajuan pegun. Pengiraan halaju pegun, dan juga kaedah untuk menjadikan halaju pegun serendah yang boleh amat penting.*

- [a] For an airplane of given weight and size at a given altitude, formulate an expression of the stalling speed and explain on how are you going to reduce the stalling speed.

*Bagi pesawat yang diberikan berat dan saiz pada altitud yang ditentukan, formulasikan ekspresi halaju pegun dan terangkan bagaimana untuk mengurangkan halaju pegun.*

**(4 marks/markah)**

- [b] Sketch to illustrate the effect of flaps on the lift curve. In the same curve, make sure you compare the effect of:

*Lakarkan untuk menggambarkan kesan kibasan dalam cerun lengkung angkat. Pastikan anda bandingkan kesan berikut dalam cerun lengkung yang sama bagi:*

- [i] no flap  
*tiada kibas*

**(1 marks/markah)**

- [ii] flap with a small deflection angle  
*kibas dengan sudut pesongan yang kecil.*

**(2 marks/markah)**

- [iii] flap with a high deflection angle.  
*kibas dengan sudut pesongan yang tinggi*

**(2 marks/markah)**

- [c] Sketch and identify the difference between:  
*Lakar dan kenal pasti perbezaan di antara:*

- [i] the plain flap  
*kibas rata*

**(3 marks/ markah)**

- [ii] the split flap  
*kibas terpisah*  
**(3 marks/markah)**
- [iii] the single slotted flap  
*kibas berlubang alur satu*  
**(3 marks/ markah)**
- [iv] the leading edge slat  
*selat pinggir depan*  
**(3 marks/markah)**
- [d] Draw the streamline patterns over the commercial airliner airfoil section (i.e. Boeing 727) to illustrate and compare the high-lift devices deployed for:  
*Lukiskan corak garis aliran bagi keratan aerofoil pesawat komersial (cth: Boeing 727) untuk menggambarkan dan membandingkan peranti angkat tinggi yang diletak atur untuk:*
- [i] Landing configuration.  
*Konfigurasi mendarat.*  
**(3 marks/markah)**
- [ii] Takeoff configuration.  
*Konfigurasi berlepas.*  
**(3 marks/markah)**
- [iii] Clear configuration (no deployment of the high-lift devices) for cruise.  
*Konfigurasi terang (tiada peranti angkat tinggi yang diletak atur) semasa penerbangan 'cruise'.*  
**(3 marks/markah)**

Hint: Draw the slat, fore-flap, mid-flap and aft-flap where necessary.

*Petunjuk: Lukis selat, kibas depan, tengah dan belakang bagi keadaan yang sesuai.*

4. Imagine that you are flying an aircraft at sea level (density =  $1.225 \text{ kg/m}^3$ ) with cruising speed of 65 m/s. The aircraft has a rectangular wing shape with a span of 10 m and a chord of 2 m. Assume that the skin friction drag on the wing can be approximated by the drag on a flat plate of the same dimensions and the viscosity coefficient for air is  $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m-s}$ .

*Bayangkan anda menerbangkan pesawat pada aras laut (ketumpatan  $1.225 \text{ kg/m}^3$ ) dengan halaju penerbangan 65 m/s. Pesawat itu mempunyai sayap berbentuk segi empat tepat dengan panjang sayap 10 m dan panjang rentas 2 m. Anggapkan bahawa seretan geseran kulit pada sayap boleh dianggarkan sama dengan seretan plat rata yang mempunyai dimensi yang sama dan pekali kelikatan udara ialah  $1.7894 \times 10^{-5} \text{ kg/m-s}$ .*

- [a] If the flow is completely laminar, which is not the case in real life, estimate the skin friction drag,  $D_f$ .

*Sekiranya aliran adalah lamina sepenuhnya, iaitu bukan kes yang sebenar dalam realiti, anggarkan daya seret geseran kulit.*

**(4 marks/markah)**

- [b] Now, assume if the flow is completely turbulent, which is more realistic, estimate the skin friction drag,  $D_f$  and compare the result with (a).

*Sekarang, anggapkan aliran gelora sepenuhnya, iaitu lebih realistik, anggarkan daya seret geseran kulit dan bandingkan keputusan anda dengan (a)*

**(4 marks/markah)**

- [c] If the flow is completely laminar, calculate the boundary layer thickness at the trailing edge.

*Sekiranya aliran adalah lamina sepenuhnya, kira ketebalan lapisan sempadan pada pinggir belakang.*

**(4 marks/markah)**

- [d] If the flow is completely turbulent, how would you expect the boundary layer thickness characteristic at the trailing edge. Calculate the boundary layer thickness for this case.

*Sekiranya aliran adalah gelora sepenuhnya, bagaimana karakteristik ketebalan lapisan sempadan pada pinggir hujung. Kira ketebalan lapisan sempadan bagi kes ini.*

**(4 marks/markah)**

- [e] If you assume the transition Reynolds number =  $5 \times 10^5$ , calculate the total skin friction drag accounting for transition.

*Sekiranya anda menganggarkan nombor Reynolds peralihan =  $5 \times 10^5$ , kira jumlah daya seret geseran kulit dengan mengambil kira peralihan.*

**(9 marks/markah)**

ooo000ooo