

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination  
2012/2013 Academic Session

June 2013

**ESA 368/3 Aerodinamik Berkelajuan Tinggi**  
***[High Speed Aerodynamic]***

Duration : 3 hours  
*[Masa : 3 jam]*

---

Please ensure that this paper contains **EIGHT (8)** printed pages and **THREE (3)** questions before you begin examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **LAPAN (8)** mukasurat bercetak dan **TIGA (3)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan].*

**Instructions** : Answer **THREE (3)** questions.

**Arahan** : Jawab **TIGA (3)** 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].*

In the event of any discrepancies, the English version shall be used.

*[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai].*

**Additional instructions related to this subject:*****Arahan tambahan berkaitan dengan subjek ini:***

1. 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.
  2. Each person can bring an A4-sized sheet of self-prepared two-page summary note.
  3. Partial credits will be given accordingly to the work shown correctly.
- 
1. *Untuk soalan-soalan yang memerlukan penerangan, anda di minta untuk menjawab soalan-soalan tersebut secara terperinci dengan menggunakan ayat yang disusun lengkap untuk menerima kredit penuh.*
  2. *Setiap orang boleh membawa sehelai nota ringkasan bersaiz A4 berisi dua muka surat yang dibuat sendiri.*
  3. *Sebahagian kredit akan diberikan secara berpatutan untuk kerja yang ditunjukkan dengan betul.*

1. A convergent-divergent nozzle with a circular cross-section has a divergent profile with a diameter  $d$  of:

$$d(x) = 3 \ln(x + 2)$$

where  $d$  and  $x$  (distance from the throat) are in meters. The length of the divergent section is 2 meters. A reservoir is attached at the upstream end of the convergent section, where inside the reservoir the pressure is 300 kPa and the temperature is 300 K.

- [a] If a normal stationary shock occurs at  $x = 0.5$  m, calculate the mass flow rate and the back pressure. Draw the schematic diagram of the nozzle, the reservoir and the flow with proper labels.

**(8 marks)**

- [b] On a single graph, draw the plots of pressure versus  $x$  across the nozzle (from reservoir to exit) for 3 conditions below. Calculate also the required back pressure for each condition. In each question below, your calculation must be supported with detailed explanation.

- (i) Minimum back pressure possible where the flow throughout the nozzle is subsonic.

**(3 marks)**

- ii) Supersonic design condition with no shock or expansion.

**(3 marks)**

- (iii) When a normal shock appears at the nozzle exit.

**(3 marks)**

- [c] There is a range of back pressure that will cause a normal shock to appear inside the nozzle. Show on your diagram in (b) where this range is and explain why the normal shock has to appear inside the nozzle.

**(5 marks)**

- [d] If an expansion occurs at the exit with a deflection angle of  $5.5^\circ$ , calculate the mass flow rate inside the nozzle, the back pressure, and the Mach number after the deflection. Draw the nozzle and the flow with proper labels.

**(8 marks)**

1. Sebuah corong menirus-mencapah dengan keratan rentas bulat mempunyai profil mencapah dengan diameter  $d$ :

$$d(x) = 3 \ln(x + 2)$$

$d$  dan  $x$  (jarak dari leher) di dalam unit meter. Panjang keseluruhan bahagian mencapah ialah 2 meter. Sebuah takungan di pasang pada hulu bahagian menirus, di mana di dalam takungan itu dengan tekanan 300 kPa dan suhu 300 K.

- [a] Jika satu kejutan normal kaku berlaku di  $x = 0.5$  m, kirakan kadar aliran jisim dan tekanan balik. Lakarkan diagram skematik corong, takungan, dan aliran tersebut dengan label yang sesuai.

**(8 markah)**

- [b] Di atas satu graf, lukiskan plot-plot tekanan melawan  $x$  di sepanjang corong (dari takungan ke bahagian keluar) untuk 3 keadaan tersebut. Kirakan juga tekanan belakang yang diperlukan untuk setiap keadaan tersebut. Untuk setiap soalan di bawah, kiraan anda perlu disokong dengan penjelasan yang terperinci.

- (i) Tekanan balik minimum yang mungkin di mana aliran melalui corong adalah subsonik.

**(3 markah)**

- (ii) Keadaan rekabentuk supersonik dengan tiada kejutan atau kembangan.

**(3 markah)**

- (iii) Apabila satu kejutan normal terhasil di bahagian keluar corong.

**(3 markah)**

- [c] Ada satu julat tekanan belakang yang akan menyebabkan satu kejutan normal terhasil di dalam corong. Tunjukkan di dalam rajah di (b) di mana julat berada dan terangkan kenapa kejutan normal itu perlu terjadi di dalam corong itu.

**(5 markah)**

- [d] Jika sebuah kembangan berlaku di bahagian keluar corong itu dengan sudut pesong  $5.5^\circ$ , kirakan kadar alir jisim di dalam corong, tekanan balik, dan nombor Mach selepas pesongan tersebut. Lakarkan corong dan aliran dengan label yang sesuai.

**(8 markah)**

2.

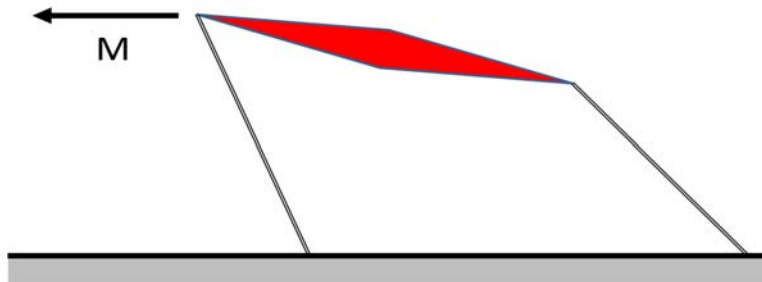
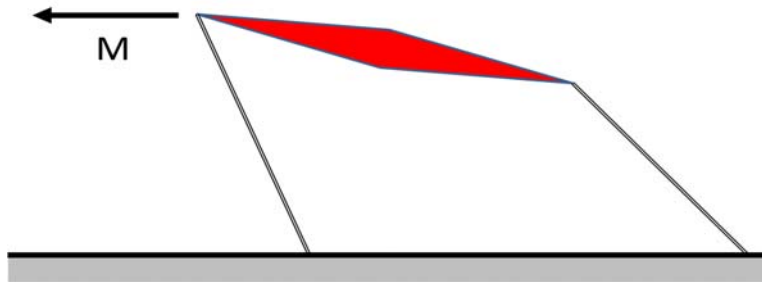


Figure 1

A two dimensional supersonic airfoil is flying at a Mach number of 3.8 (See Figure 1). Its angle of attack is 8 degrees. The airfoil is symmetric and diamond shaped, with the wedge angle  $2\Delta$  of 10 degrees.

- [a] To solve the problem, redraw and label the schematic diagram above as detailed as possible. Find the lift and drag coefficients of the jet. **(15 marks)**
- [b] Calculate the wedge angle such that no more expansion or shock waves are created behind the leading edge below the airfoil surface. Explain why. **(5 marks)**
- [c] In Figure 1, there is another shock wave at the trailing edge. Using a schematic diagram of the flow at the trailing edge, explain why it occurs and describe your strategy to calculate the oblique shock wave angle. **(10 marks)**

2.



Gambarajah 1

Sebuah aerofoil supersonik dua dimensi terbang dengan nombor Mach 3.8 (lihat Gambarajah 1). Sudut serangnya adalah 8 darjah. Aerofoilnya simetri berbentuk berlian dengan sudut baji  $2\Delta 10$  darjah.

- [a] Untuk menyelesaikan masalah ini, lakarkan semula dan labelkan rajah skematik di atas se-terperinci yang mungkin. Carikan pekali daya angkatan dan seretan pesawat tersebut.

**(15 markah)**

- [b] Kirakan berapa sudut baji yang perlu supaya tiada lagi gelombang kembangan atau kejutan dihasilkan di belakang pinggir hadapan di bawah permukaan bawah aerofoil. Terangkan kenapa.

**(5 markah)**

- [c] Di dalam Rajah 1 di atas, terdapat satu lagi gelombang kejutan di pinggir mengekor sayap. Dengan menggunakan gambarajah skematik aliran udara di bahagian pinggir mengekor sayap, terangkan mengapa ini berlaku dan nyatakan strategi anda untuk mengira sudut gelombang kejutan yang serong itu.

**(10 markah)**

3. A normal shock wave is propagating down a duct containing still air at a pressure of 125 kPa and a density of  $1.3 \text{ kg}/(\text{m}^3)$ . The density of air behind the moving shock is  $5.2 \text{ kg}/(\text{m}^3)$ . This shock wave is then reflected off the closed end of the duct. Use  $R = 287 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ .

[a] Draw a schematic diagram with proper labels before and after the reflection. Describe your strategy to solve the problem.

**(5 marks)**

[b] Find the air pressure, temperature, and velocity behind the shock before the reflection.

**(10 marks)**

[c] Find the air pressure and temperature near the closed wall behind the reflected shock. You must use the iterative procedure.

**(10 marks)**

[d] What is the shock velocity after it is reflected?

**(5 marks)**

[e] Design a programming algorithm to solve for the shock velocity, pressure and temperature of the still air after the reflection. Assume an arbitrary problem where the pressure and temperature of the still air before the reflection are  $P$  and  $T$  respectively, and the velocity of the incoming shock is given as  $V$ .

**(10 markah)**

3. *Satu gelombang kejutan biasa sedang bergerak melalui corong lurus yang mengandungi udara tenang pada tekanan 125 kPa dan ketumpatan  $1.3 \text{ kg}/(\text{m}^3)$ . Ketumpatan udara di belakang kejutan bergerak ini ialah  $5.2 \text{ kg}/(\text{m}^3)$ . Gelombang kejutan ini kemudiannya di pantulkan pada sebuah dinding di hujung corong itu. Gunakan  $R = 287 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$ .*

[a] *Lakarkan diagram skematik dengan label berpatutan sebelum dan selepas pantulan. Terangkan strategi anda untuk menyelesaikan masalah ini.*

**(5 markah)**

[b] *Tentukan tekanan, suhu dan halaju udara di belakang kejutan sebelum pantulan.*

**(10 markah)**

[c] *Tentukan tekanan dan suhu udara berdekatan dinding bertutup di belakang kejutan yang terpantul. Anda mesti menggunakan prosedur berulang.*

**(10 markah)**

[d] *Berapakah kelajuan kejutan selepas ianya dipantulkan?*

**(5 markah)**

- [e] *Rekabentuk satu algoritma program untuk menyelesaikan halaju kejutan, tekanan dan suhu udara kaku selepas pantulan. Anggapkan masalah yang umum di mana tekanan dan suhu udara tenang sebelum pantulan adalah  $P$  dan  $T$ , dan halaju kejutan mendatang adalah  $V$ .*

**(10 markah)**

**ooo000ooo**