
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2007/2008 Academic Session
*Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2007/2008*

April 2008
April 2008

ESA 423/3 – Aerospace Material & Composite
Bahan Aeroangkasa & Komposit

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

INSTRUCTION TO CANDIDATES
ARAHAN KEPADA CALON

Please ensure that this paper contains **FOURTEEN (14)** printed pages included formulas and **FIVE (5)** questions before you begin examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **EMPAT BELAS (14)** mukasurat bercetak termasuk formula dan **LIMA (5)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.*

PART A: Please answer only **FOUR (4)** questions from the following questions.

PART B: Answer **THREE (3)** questions.

*BAHAGIAN A: Sila jawab hanya **EMPAT (4)** soalan daripada soalan-soalan yang berikut.*

*BAHAGIAN B: Jawab **TIGA (3)** soalan.*

Student may answer the questions either in English or Bahasa Malaysia.

Pelajar boleh menjawab soalan dalam Bahasa Inggeris atau Bahasa Malaysia.

Each questions must begin from a new page.

Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

PART A/BAHAGIAN A

1. (a) What are the differences between steel, aluminium and brittle materials with respect to tensile stresses? Explain them by using the respective stress-strain diagrams.

Apakah perbezaan di antara keluli, aluminium dan bahan rapuh terhadap tegasan tegangan? Terangkan dengan menggunakan rajah tegasan-terikan.

(25 marks/markah)

- (b) Discuss the definition of the alloys and their categories in respect to the compositions of the single-phase structure.

Bincangkan definisi aloi dan kategori-kategorinya berdasarkan komposisi struktur fasa-tunggal.

(25 marks/markah)

- (c) Discuss the types of reinforcing fibers and matrix available for use in non-polymer, polymer matrix composites and sandwich application and explain their role when subjected to applied load.

Bincangkan jenis-jenis getian tetulang dan matriks sedia ada yang digunakan dalam komposit bukan polimer, komposit matrik polimer dan aplikasi sandwich serta terangkan fungsi-fungsi bahan apabila dikenakan daya.

(25 marks/markah)

- (d) Explain the types and principles of the experimental methods to characterize the: (i) tensile properties; (ii) compressive properties; (iii) shear properties, of the unidirectional laminae of composite structures.

Terangkan jenis-jenis dan prinsip-prinsip kaedah amali untuk menentukan: (i) ciri-ciri tegangan; (ii) ciri-ciri penekanan; (iii) ciri-ciri ricihan, bagi lapisan eka-arah struktur komposit.

(25 marks/markah)

- (e) The fabrication techniques of the composite materials consist of (i) wet lay-up method, (ii) vacuum bagging method, (iii) hot-press method, (iv) autoclave molding, (v) resin infusion, (vi) injection molding, (vii) double-diaphragm technique, and (viii) filament winding. Discuss only two (2) of the fabrication techniques in respect to the working principles, their application, and advantages and disadvantages of the techniques.

Teknik-teknik fabrikasi bahan komposit terdiri daripada (i) kaedah lakuran basah, (ii) kaedah beg vakum, (iii) kaedah tekanan-panas, (iv) ketuhar beracuan, (v) campuran resin, (vi) suntikan beracuan, (vii) teknik diafram berkembar, dan (viii) putaran filamen. Bincangkan hanya dua (2) daripada teknik-teknik fabrikasi tersebut terhadap prinsip-prinsip kerja, aplikasi, kelebihan dan kekurangan teknik.

(25 marks/markah)

- (f) Discuss the types of micro- and macro-scales of failure mechanisms in composite materials and their effect on the rigidity of the structures.

Bincangkan jenis-jenis mekanisme kegagalan dalam skala mikro dan makro bagi bahan-bahan komposit and kesan mereka ke atas kekuatan struktur.

(25 marks/markah)

- (g) In the non-destructive testing of composite materials, ultrasonic technique is widely used in most of the structural integrity evaluation purposes during production and in-service. Discuss the (i) arrangement and working principle of the techniques; and (ii) type of defects that are detectable using the technique.

Dalam pemeriksaan Ujian Tak Musnah bagi bahan-bahan komposit, teknik ultrasonik digunakan secara meluas dalam tujuan mengevaluasi kebanyakan kekuatan struktur ketika pengeluaran produk dan ketika operasi. Bincangkan (i) susunan dan fungsi kerja teknik; dan (ii) jenis-jenis kecacatan yang boleh dikesan menggunakan teknik tersebut.

(25 marks/markah)

PART B/BAHAGIAN B

2. Alloys material can be classified into two main categories; namely solid solutions and intermediate phases.

Bahan aloi boleh dibahagikan kepada dua kategori utama; iaitu penyelesaian pepejal dan fasa pertengahan.

- (a) Discuss the intermediate phase with respect to the discrepancies from the solid solutions.

Bincangkan kategori fasa pertengahan berdasarkan perbezaan-perbezaan berbanding kategori penyelesaian pepejal.

(20 marks/markah)

- (b) **Figure 2(b)** shows a phase diagram for the copper-nickel alloy (Cu-Ni) system. Determine the compositions of (i) liquid and (ii) solid phases in the Cu-Ni system at an aggregate composition of 50% nickel and a temperature of 1316°C (2400°F).

Rajah 2(b) menunjukkan gambarajah fasa bagi sistem aloi tembaga – nikel (Cu-Ni). Tentukan komposisi-komposisi (i) fasa cecair dan (ii) fasa pepejal dalam sistem Cu-Ni pada jumlah komposisi 50% nikel dan suhu pada 1316°C (2400°F).

(40 marks/markah)

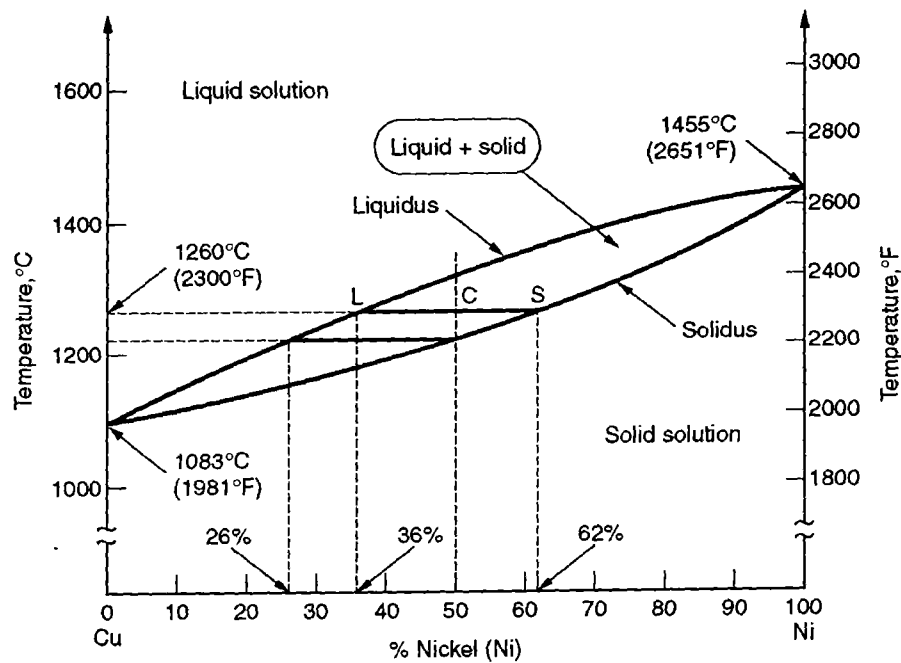


Figure 2(b)
Rajah 2(b)

(c) Discuss:

Bincangkan:

- (i) The significance of the inverse lever rule in the alloys system; and
Kepentingan hukum "inverse lever" dalam sistem aloi; dan

(10 marks/markah)

- (ii) The application of the inverse lever rule in the alloy system.
Aplikasi hukum "inverse lever" dalam sistem aloi.

(10 marks/markah)

- (d) In aircraft and aerospace applications, the obligation to obtain high specific material properties is mandatory as the mass / weight is a key design of the structures. Please discuss three (3) available methods to enhance the mechanical properties in metals.

Dalam aplikasi-aplikasi kapal terbang dan aero-angkasa, keperluan untuk mencapai ciri-ciri spesifik bahan yang tinggi adalah keutamaan kerana jisim/berat adalah kunci kepada rekabentuk sesuatu struktur. Bincangkan tiga (3) kaedah sedia ada untuk meningkatkan ciri-ciri mekanikal bagi logam-logam.

(20 marks/markah)

3. (a) Continuous fibers have been used to fabricate a glass / epoxy composites. Diameter of the glass fibers is $9 \mu\text{m}$ and the fibers are coated with $1 \mu\text{m}$ thick epoxy coating. Determine the maximum fiber volume fraction, V_f , for:

- (i) Square packing array
(ii) Hexagonal packing array

Gentian berterusan telah digunakan untuk menghasilkan komposit kaca/epoksi. Garispusat gentian kaca adalah $9 \mu\text{m}$ dan gentian-gentian tersebut disadurkan dengan $1 \mu\text{m}$ tebal lapisan epoksi. Tentukan pecahan maksimum isipadu gentian, V_f , bagi:

- (i) Susunan segiempat sama
(ii) Susunan hexagon

(20 marks/markah)

- (b) Derive the expression for the in-plane shear modulus G_{12} using the mechanics of material approach for a unidirectional glass/epoxy composite with square array in terms of G_{12f} , G_m , and V_f .

If the composite has the properties as follows,

$$\begin{aligned} G_{12f} &= 28.3 \text{ GPa} \\ G_m &= 1270 \text{ MPa} \\ V_f &= 0.55 \end{aligned}$$

Determine the in-plane shear modulus, G_{12} , using:

- (i) mechanics of materials approach
(ii) Halpin-Tsai relationship with $\xi = 1$.

Hasilkan ungkapan bagi modulus ricih G_{12} menggunakan kaedah bahan mekanik untuk komposit eka-arah kaca / epoksi dengan susunan segiempat sama dalam bentuk G_{12f} , G_m , dan V_f .

Jika komposit tersebut mempunyai ciri-ciri seperti berikut;

$$\begin{aligned} G_{12f} &= 28.3 \text{ GPa} \\ G_m &= 1270 \text{ MPa} \\ V_f &= 0.55 \end{aligned}$$

Tentukan modulus ricih, G_{12} , dengan menggunakan:

- (i) Kaedah bahan mekanik
- (ii) Hubungan Halpin-Tsai dengan $\xi = 1$.

(50 marks/markah)

- (c) The longitudinal modulus of a glass /epoxy composite containing short aligned fibers of length l is $E_l = 40$ GPa. Using Halpin's semi-empirical relation, determine the length l of the fibers for the properties:

Modulus membujur bagi komposit kaca / epoksi mengandungi gentian disusun pendek dengan panjang l adalah $E_l = 40$ GPa. Dengan menggunakan hubungan semi-empirikal Halpin's, tentukan panjang l gentian tersebut untuk ciri-ciri seperti berikut:

$$V_f = 0.60$$
$$d_f = 10 \mu\text{m}$$

$$E_f = 70 \text{ GPa}$$
$$E_m = 3.5 \text{ Gpa}$$

(30 marks/markah)

4. (a) In aerospace application, carbon fiber reinforced plastics (CFRP) composites have been used extensively. If the CFRP composites possess the following properties:

$$\begin{array}{ll} E_1 = 145 \text{ GPa} & E_2 = 10.45 \text{ GPa} \\ G_{12} = 6.9 \text{ GPa} & \nu_{12} = 0.28 \end{array}$$

Compare the exact and approximate values of Young's modulus at 45° to the fiber direction of the material.

Dalam aplikasi aero-angkasa, komposit karbon-epoksi plastik bertetulang (CFRP) telah digunakan secara meluas. Jika komposit CFRP mempunyai ciri-ciri seperti berikut:

$$\begin{array}{ll} E_1 = 145 \text{ GPa} & E_2 = 10.45 \text{ GPa} \\ G_{12} = 6.9 \text{ GPa} & \nu_{12} = 0.28 \end{array}$$

Bandingkan nilai sebenar dengan nilai anggaran bagi modulus Young's pada kedudukan 45° ke arah bahan gentian.

(30 marks/markah)

- (b) Determine Poisson's ratio ν_{xy} at an angle $\theta = 30^\circ$ to the fiber direction for the two (2) materials below with the given properties:

Tentukan nisbah Poisson's ν_{xy} pada sudut $\theta = 30^\circ$ ke arah bahan gentian untuk dua (2) bahan di bawah dengan ciri-ciri yang diberikan:

- (i) $E_1 / E_2 = 3$
 $G_{12} / E_2 = 0.5$
 $\nu_{12} = 0.25$
- (ii) $E_1 / E_2 = 15$
 $G_{12} / E_2 = 0.625$
 $\nu_{12} = 0.3$

(30 marks/markah)

- (c) An off-axis unidirectional CFRP lamina is loaded as shown in **Figure 4(c)**, and the strain ϵ_x in the x -direction is measured with a strain gage.

*Satu lapisan luar-paksi CFRP eka-arah dikenakan daya seperti yang ditunjukkan pada **Rajah 4(c)**, dan terikan ϵ_x dalam arah- x diukur dengan menggunakan tolok terikan.*

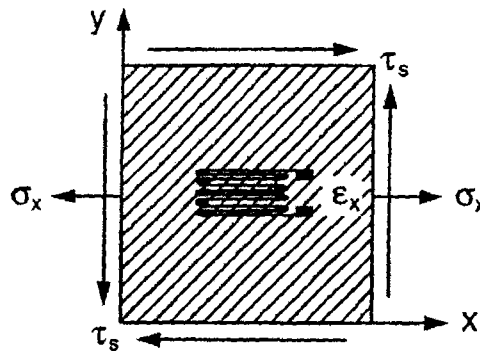


Figure 4(c)
Rajah 4(c)

- (i) Find an expression for the shear coupling coefficient η_{sx} in terms of E_x , G_{xy} , σ_x , τ_s , and the measured ϵ_x .

Dapatkan ungkapan bagi pekali gabungan ricih η_{sx} dalam bentuk pemalar E_x , G_{xy} , σ_x , τ_s , dan juga nilai ukuran ϵ_x .

- (ii) Determine the shear strain γ_s for the following values:

Tentukan terikan ricih γ_s untuk nilai-nilai berikut:

$$\begin{aligned}\epsilon_x &= 2 \times 10^{-3} \\ E_x &= 58.7 \text{ GPa} \\ G_{xy} &= 9.7 \text{ GPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_x &= 193 \text{ MPa} \\ \tau_s &= 48.3 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(40 marks/markah)

5. (a) **Figure 5(a)** shows two types of stress-strain behaviors of a CFRP composite consisting of unidirectional carbon fibers and epoxy matrix. Discuss the behaviors of the material regarding the relative magnitudes of the ultimate tensile strains of the constituents and effects to the overall load distribution and energy absorbing capabilities of the composites.

Rajah 5(a) menunjukkan dua jenis sifat bagi tegasan-terikan komposit CFRP yang mengandungi gentian karbon eka-arah dan matrik epoksi. Bincangkan sifat-sifat bahan tersebut berdasarkan nilai-nilai relatif tegangan terikan akhir bahan-bahan komponen dan kesan-kesan kepada keseluruhan daya agihan dan keupayaan tenaga penyerapan bagi komposit.

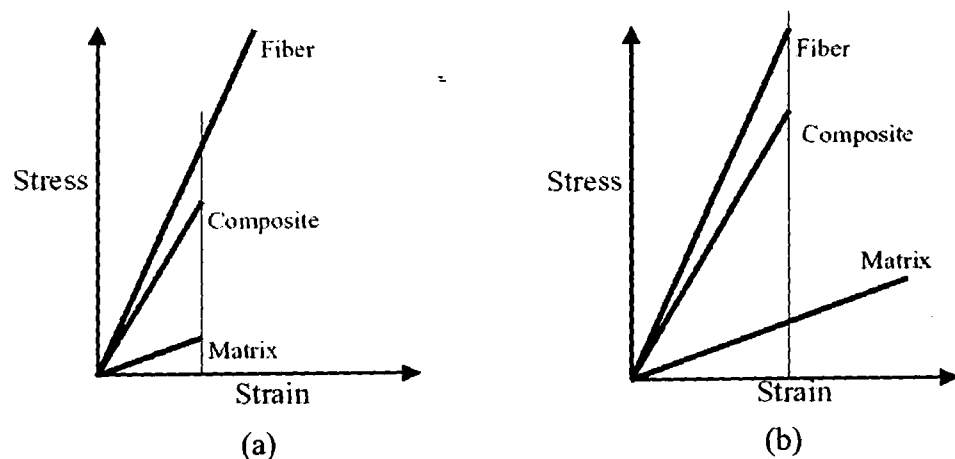


Figure 5(a)
Rajah 5(a)

(30 marks/markah)

- (b) A unidirectional silicon carbide (SiC)/ceramic composite comprises the following properties:

Komposit eka-arah bagi silika berkarbide (SiC) / seramik mempunyai ciri-ciri seperti berikut:

$$\begin{array}{ll} V_f = 0.40 & F_{ft} = 1930 \text{ MPa} \\ E_f = 172 \text{ GPa} & F_{mt} = 138 \text{ MPa} \\ E_m = 97 \text{ GPa} & \end{array}$$

Determine the longitudinal modulus E_l and longitudinal tensile strength F_{lt} of the composite.

Assume linear elastic behavior for both fiber and matrix. Note that, as everything else being equal, explain how does the strength F_{lt} vary with the fiber modulus E_{lf} ?

Tentukan modulus membujur E_l dan kekuatan tegangan membujur F_{lt} bagi komposit tersebut.

Anggap sifat linear keanjalan bagi kedua-dua gentian dan matrik. Perhatikan, jika semua ciri yang lain adalah sama, terangkan bagaimana kekuatan F_{lt} berbeza dengan modulus gentian E_{lf} ?

(40 marks/markah)

- (c) **Figure 5(c)** provides a schematic of the failure sequences observed in quasi-static and low-velocity tests on sandwich beams composite. The figure outlines four different cases in respect to the type of failures.

- (i) Discuss types of the failure mechanisms for each case.
- (ii) Determine the best failure modes for energy absorption and explain the reason.

Rajah 5(c) menunjukkan satu lukisan skematik urutan kegagalan yang ditemui ketika ujian quasi-statik dan halaju-rendah pada rasuk-rasuk komposit sandwich. Rajah tersebut menggariskan empat kes yang berlainan berdasarkan jenis-jenis kegagalan.

- (i) *Bincangkan jenis-jenis mekanisme kegagalan bagi setiap kes.*
- (ii) *Tentukan mod kegagalan terbaik bagi serapan tenaga dan terangkan sebab-sebabnya.*

(30 marks/markah)

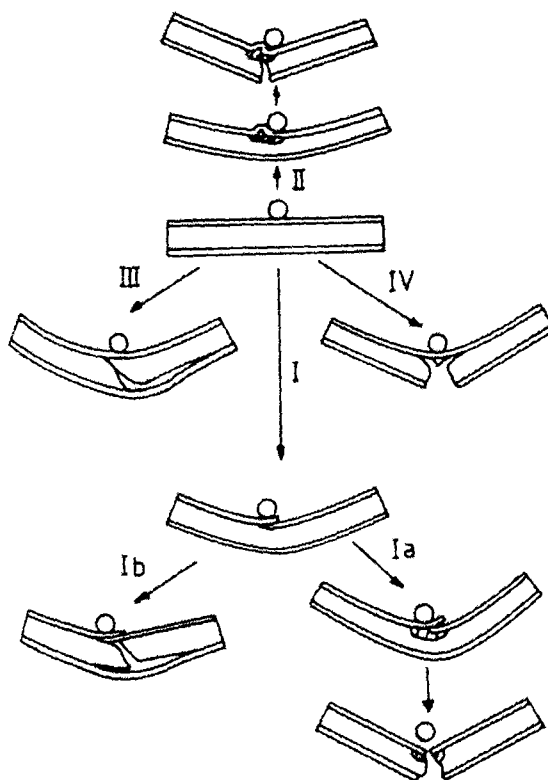


Figure 5(c)
Rajah 5(c)

Appendix/Lampiran

$$V_f = \frac{\pi}{4} \left(\frac{r}{R} \right)^2$$

$$V_f = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \left(\frac{r}{R} \right)^2$$

$$G_{12} = \frac{G_{12f} + G_m}{G_{12f} V_m + G_m V_f}$$

$$G_{12} = G_m \frac{1 + \xi \eta V_f}{1 - \eta V_f}$$

$$\eta = \frac{G_{12f} - G_m}{G_{12f} + G_m}$$

$$E_1 = E_m \frac{E_{1f}(1 + 2sV_f) + 2sE_m V_m}{E_{1f} V_m + E_m(2s + V_f)}$$

$$\left(\frac{1}{E_x} \right)_{\theta=45^\circ} = \frac{1 - \nu_{12}}{4E_1} + \frac{1 - \nu_{21}}{4E_2} + \frac{1}{4G_{12}} \cong \frac{G_{12} + E_2}{4G_{12}E_2}$$

$$\left(\frac{\nu_{xy}}{E_x} \right)_{\theta=45^\circ} = \frac{1}{4E_1} (\nu_{12} - 1) + \frac{1}{4E_2} (\nu_{21} - 1) + \frac{1}{4G_{12}}$$

$$\gamma_s = \frac{\eta_{xs}}{E_x} \sigma_x + \frac{\tau_s}{G_{xy}}$$

$$E_1 = V_f E_f + V_m E_m$$

$$F_{1f} = F_f \left(V_f + V_m \frac{E_m}{E_f} \right)$$

$$F_{1m} = F_m \left(V_m + V_f \frac{E_f}{E_m} \right)$$

~ ooo000ooo ~