
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2013/2014 Academic Session

December 2013/January 2014

ESA 323/3 – Aerocomposite Engineering
[Kejuruteraan Aerokomposit]

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please ensure that this paper contains **NINETEEN (19)** printed pages, **FIVE (5)** pages appendix and **FIVE (5)** questions before you begin examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEMBILAN BELAS (19)** mukasurat bercetak, **LIMA (5)** mukasurat lampiran dan **LIMA (5)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.*

Instruction : Answer **ALL** questions.

Arahan : Jawab **SEMUA** soalan.

Appendix/Lampiran

- | | | |
|----|-------------------------|----------------------------|
| 1. | Table 1/Jadual 1 | [2 pages/mukasurat] |
| 2. | Table 2/Jadual 2 | [1 page/mukasurat] |
| 3. | Table 3/Jadual 3 | [2 pages/mukasurat] |

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

Pelajar boleh menjawab soalan dalam Bahasa Inggeris atau Bahasa Malaysia.

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.

1. [a] In a certain application, a steel beam (AISI 4340 steel) of round cross section (diameter = 10 mm) is to be replaced by a unidirectional fiber-reinforced epoxy beam of equal length. The composite beam is designed to have a natural frequency of vibration 50% higher than that of the steel beam. Among the fibers to be considered are high-strength carbon fiber, high-modulus carbon fiber and Kevlar 49. By using **Table 1**, select one of these fibers on the basis of minimum weight for the beam and the design requirement.

Note that the natural frequency of vibration of a beam is given by the following equation:

$$\omega_n = C \left(\frac{EI}{mL^4} \right)^{1/2}$$

ω_n = fundamental natural frequency

C = a constant that depends on the beam support conditions

E = modulus of the beam material

I = moment of inertia of the beam cross section

m = mass per unit length of the beam

L = beam length

(50 marks)

- [b] In a typical fabrication of polymer matrix composite (PMC), two types of matrix systems are generally employed, namely thermoplastics and thermosetting resins. **Figure 1[b]** shows the polymerisation stages of the resin with respect to the curing temperature and time, as well as the resin structure during the polymerisation. Demonstrate your understanding on the polymerisation process of the matrix by comprehensively discussing the figure. The discussion may include the followings:

- i. The difference between those two matrixes,
- ii. The polymerization process of the matrixes, and
- iii. Different stages that define the condition of the resin.

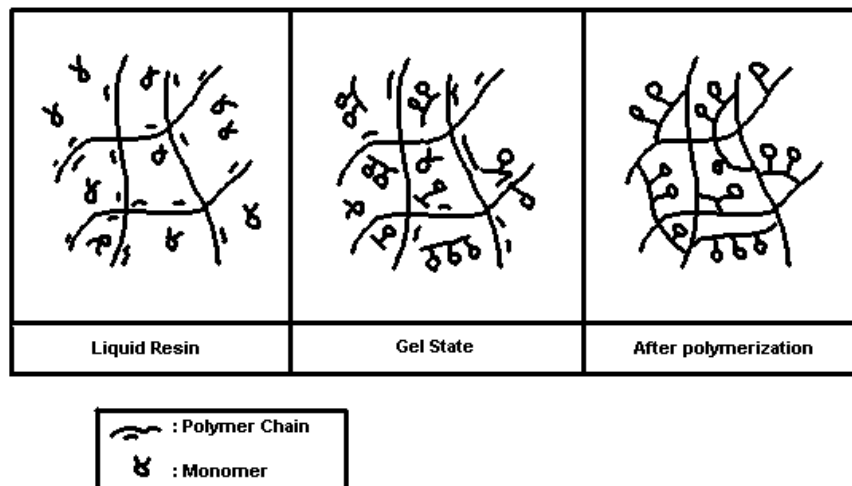
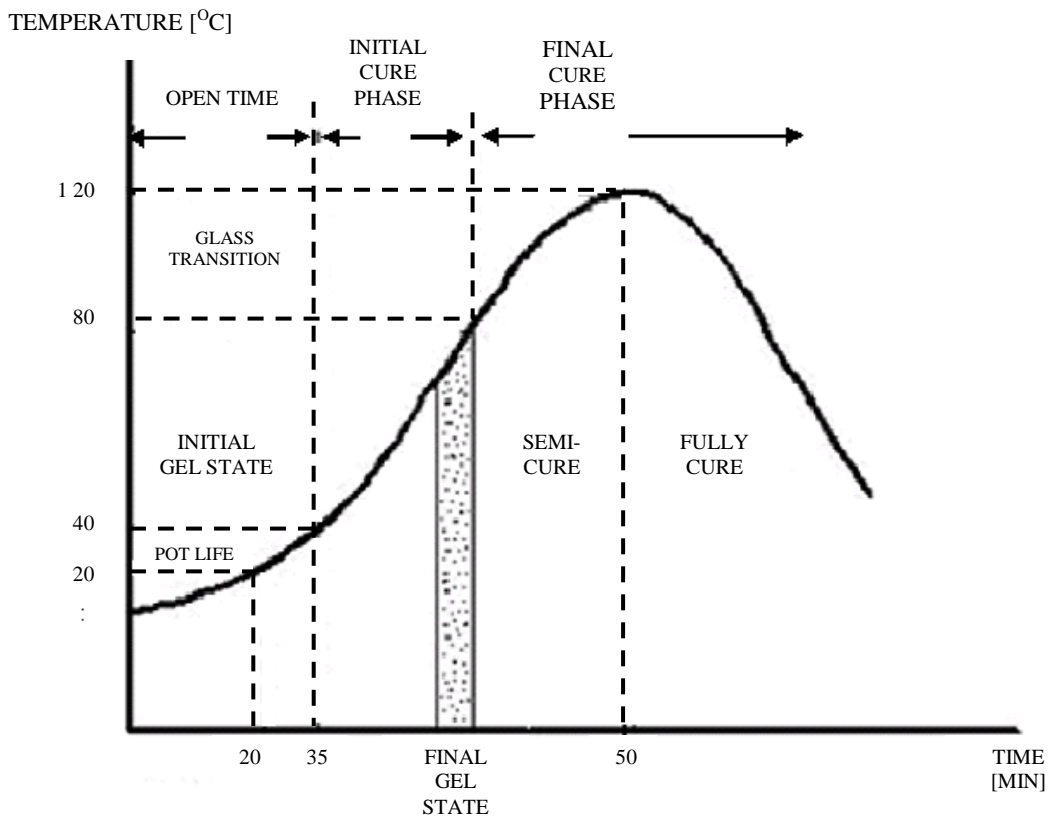


Figure 1[b]

(50 marks)

- [a] Dalam aplikasi tertentu, rasuk keluli (AISI 4340 keluli) yang mempunyai keratan rentas bulat (diameter = 10 mm) akan digantikan dengan rasuk gentian epoksi bertetulang eka-arah yang mempunyai panjang yang sama. Rasuk komposit ini direkabentuk untuk mempunyai frekuensi asli getaran 50% lebih tinggi daripada rasuk keluli. Antara gentian yang dipertimbangkan adalah serat karbon berkekuatan tinggi, serat karbon tinggi modulus dan Kevlar 49. Dengan menggunakan **Jadual 1**, pilih salah satu daripada gentian berdasarkan berat minimum bagi rasuk tersebut:

Perhatikan bahawa frekuensi semulajadi getaran rasuk diberikan oleh persamaan berikut:

$$\omega_n = C \left(\frac{EI}{mL^4} \right)^{1/2}$$

ω_n = frekuensi asas semulajadi

C = pemalar yang berdasarkan keadaan sokongan rasuk

E = modulus bahan rasuk

I = momen inersia bagi keratan rentas rasuk

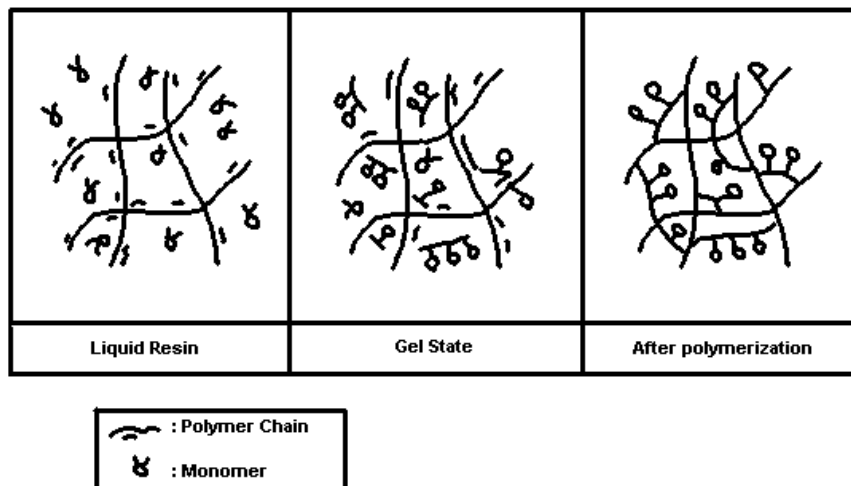
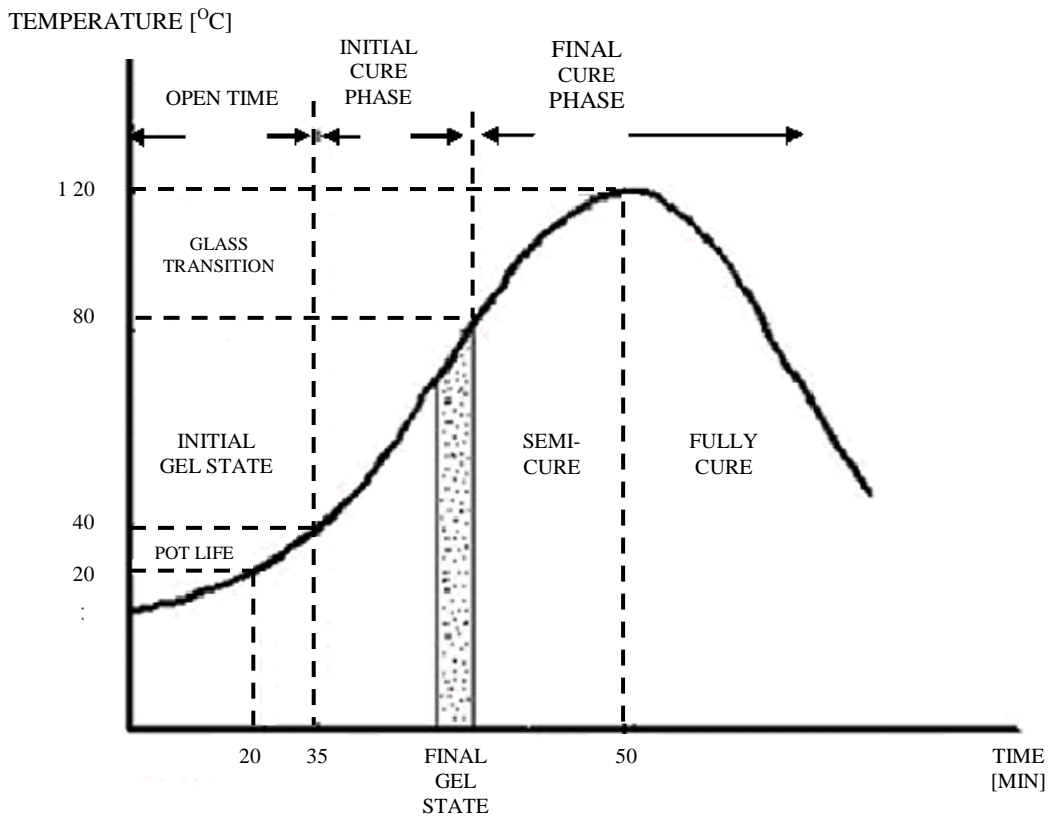
m = jisim per unit panjang rasuk

L = panjang rasuk

(50 markah)

- [b] Dalam fabrikasi tipikal komposit matriks polimer (PMC), dua jenis matrik sistem secara amnya digunakan, iaitu thermoplastik dan thermoseting resin. **Rajah 1[b]** menunjukkan peringkat polymerisasi terhadap resin dengan suhu pengawetan dan masa, serta struktur resin dalam polymerisasi tersebut. Tunjukkan pemahaman anda dalam proses polymerisasi terhadap matrik ini dengan membincangkan secara menyeluruh berkaitan rajah tersebut. Perbincangan mungkin boleh meliputi perkara-perkara berikut:

- (i) Perbezaan antara dua matrik tersebut,
- (ii) Proses polimerasi terhadap matrik, dan
- (iii) Fasa-fasa berlainan yang terlibat dalam menentukan keadaan resin



Rajah 1[b]

(50 markah)

2. [a] Consider a carbon fiber/epoxy composite laminate in pre-preg forms fabricated using a bag moulding process. The processing involves the use of various consumables (i.e. non-direct materials) in the preparation of the laminate as shown in **Figure 2[a]**. Apart from the curing and layup processes, it has been discussed that different bagging moulding parameters may also cause disparity in the quality of cured laminates.

Describe the different functions of the bagging consumables and how they may affect the quality of the laminates with regards to the void content, surface quality, mechanical properties etc.

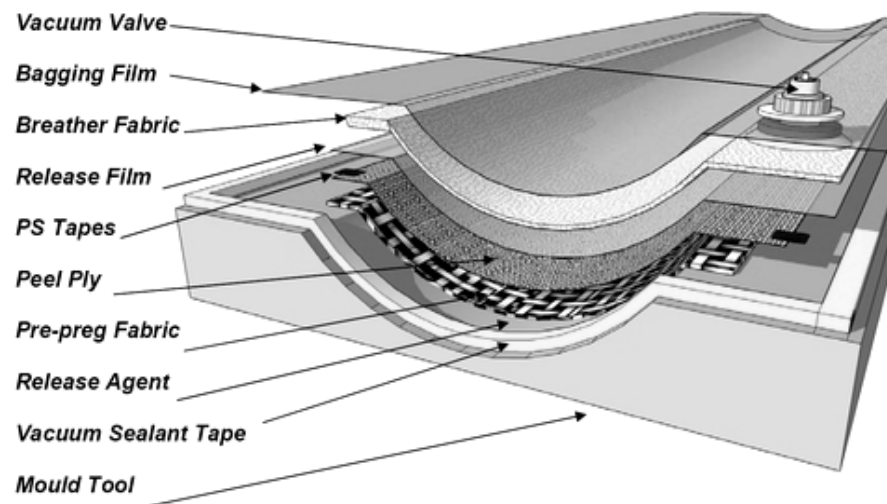


Figure 2[a]

(50 marks)

- [b] In producing typical aircraft composite parts, the most established manufacturing process involves autoclave moulding process. It was found that the curing process play key role in determining the quality of the cured parts. The curing process involves the introduction of heat, vacuum and pressure into the system to enable high compaction on the laminates for low void and porosity content, thus high mechanical properties. Based on **Figure 2[b]**, the composite pre-pregs will be cured using the autoclave with two-stage cure cycle. Analyze the effect of the temperature, pressure and vacuum distribution profiles on the viscosity state of the resin, and hence the quality of the cured laminates.

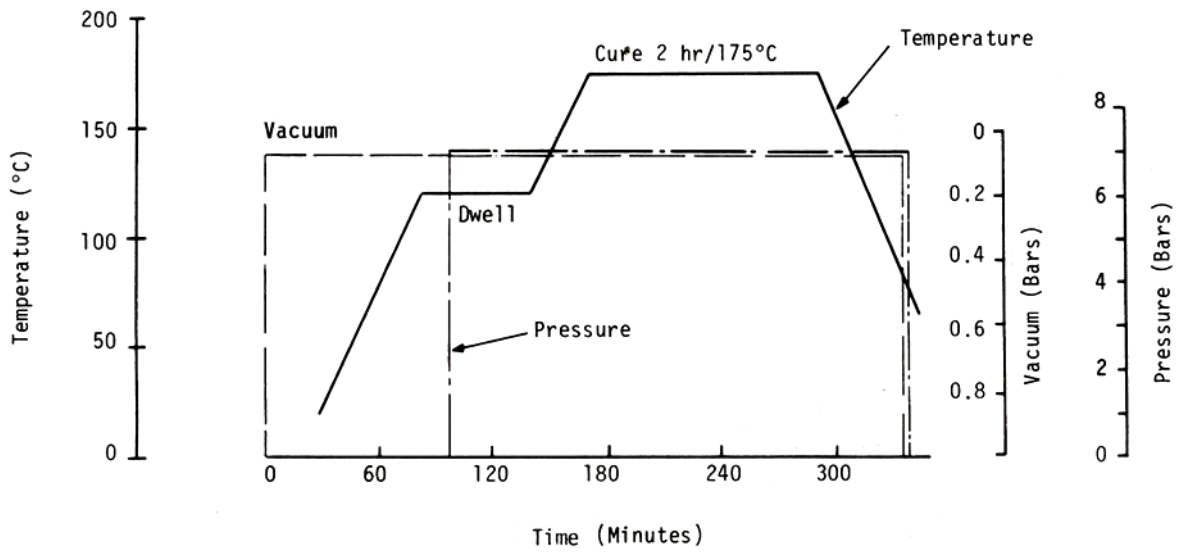
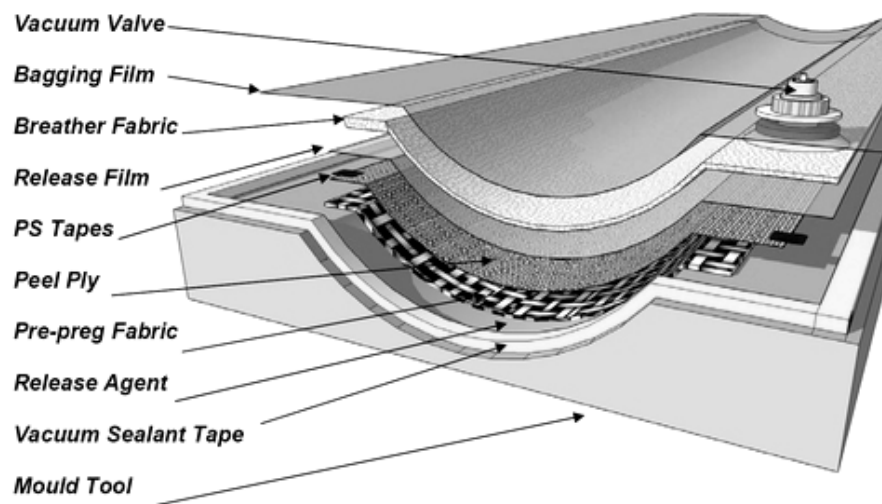


Figure 2[b]

(50 marks)

- [a] *Pertimbangkan serat karbon / epoksi komposit lamina dalam bentuk pre-preg yang dihasilkan melalui proses pengacuan beg. Pemprosesan ini melibatkan penggunaan pelbagai bahan guna habis (iaitu bahan-bahan bukan langsung) dalam penyediaan lamina tersebut seperti dalam **Rajah 2[a]**. Selain daripada proses pengawetan dan layup, ia telah dibincangkan bahawa parameter pengacuan beg yang berbeza juga boleh menyebabkan perbezaan dalam kualiti komposit lamina yang terhasil.*

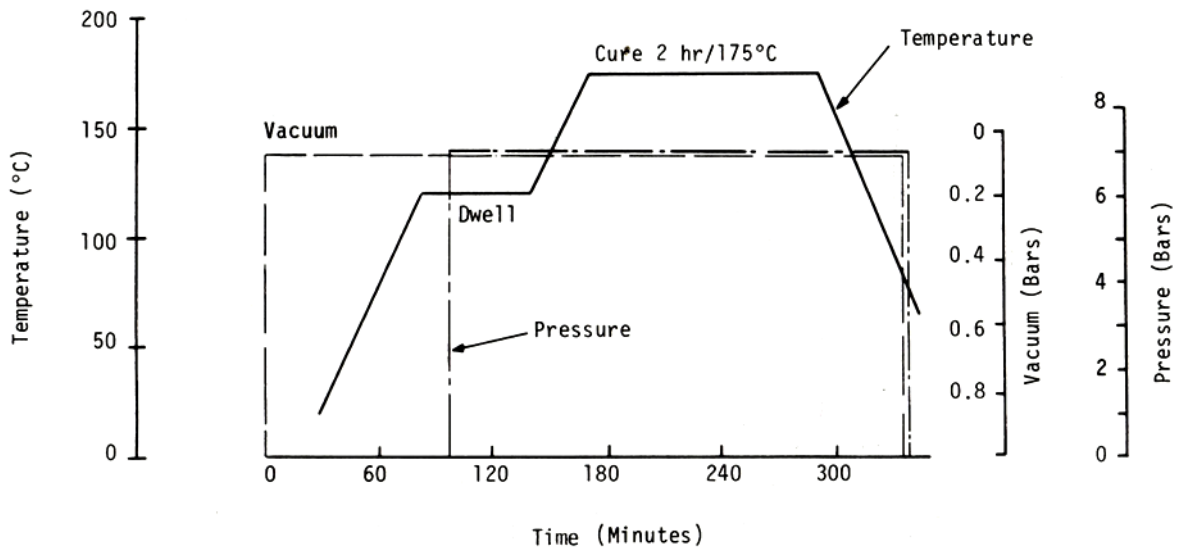
Huraikan fungsi berbeza bagi bahan guna habis ini dan bagaimana mereka boleh menjejaskan kualiti komposit lamina berdasarkan kandungan void, kualiti permukaan, dan sifat-sifat mekanikal dan lain-lain.



Rajah 2[a]

(50 markah)

- [b] *Dalam penghasilan komponen komposit bagi sesuatu pesawat, proses pembuatan yang paling mantap adalah melibatkan proses pengacuan autoklaf. Ia telah didapati bahawa proses pengawetan memainkan peranan penting dalam menentukan kualiti bahagian-bahagian yang dihasilkan. Proses pengawetan ini akan melibatkan pengenalan haba, vakum dan tekanan ke dalam sistem untuk membolehkan pepadatan yang tinggi pada lamina bagi kandungan void dan keliangan yang rendah, serta sifat-sifat mekanikal yang tinggi. Berdasarkan **Rajah 2[b]**, prepreg komposit akan diawetkan menggunakan teknik autoklaf dengan kitaran dua peringkat awetan. Analisis kesan suhu, tekanan dan profil edaran vakum terhadap kelikatan resin, dan juga kualiti lamina yang terhasil.*



Rajah 2[b]

(50 markah)

3. An efficient sandwich panel is obtained when the weight of the core is almost equivalent to the combined weight of the skins. By using **Tables 2 and 3**, design a sandwich panel by choosing the suitable type of materials as well as the thicknesses for the skin and core. In addition, determine the flexural rigidity of the sandwich panel using the following equation:

$$D = \int E z^2 dz = \frac{E_f t_f^3}{6} + \frac{E_f t_f d^2}{2} + \frac{E_c t_c^3}{12} = 2D_f + D_0 + D_c$$

Where

E_f = Young's modulus of the skin

E_c = Young's modulus of the core

t_f = thickness of the skin

t_c = thickness of the core

d = the distance between the centroid of the skin ($d = t_f + t_c$)

Based on your design values (i.e. Young's modulus and thickness), evaluate the percentage contribution of individual constituent materials and sandwich construction towards the rigidity of the structure. Show also that the bending stiffness of the sandwich greatly exceeds that of a solid structure having the same total weight and made of the same material as the skins.

Subsequently, based on the different levels of approximations, with the aid of sketch, determine the stress distribution (i.e. direct and shear) of the sandwich in cross sectional area.

(100 marks)

Panel terapit yang efektif boleh dihasilkan apabila berat teras adalah hampir sama dengan gabungan berat kulit. Dengan menggunakan **Jadual 2 dan 3** yang diberikan, rekabentukkan panel terapit ini dengan memilih jenis bahan-bahan yang sesuai serta ketebalan bagi kulit dan teras. Di samping itu, tentukan ketegaran lenturan panel terapit ini dengan menggunakan persamaan berikut:

$$D = \int E z^2 dz = \frac{E_f t_f^3}{6} + \frac{E_f t_f d^2}{2} + \frac{E_c t_c^3}{12} = 2D_f + D_0 + D_c$$

Di mana

E_f = Modulus Young kulit

E_c = Modulus Young teras

t_f = ketebalan kulit

t_c = ketebalan teras

d = jarak di antara sentroid dengan kulit ($d = t_f + t_c$)

Berdasarkan nilai-nilai rekabentuk anda (modulus dan ketebalan), tentukan nilai peratusan sumbangan komponen-komponen individu dan panel terapit ini terhadap ketegaran struktur. Juga tunjukkan bahawa kekukuhan lenturan panel terapit adalah melebihi struktur yang mempunyai jumlah berat yang sama dan diperbuat daripada bahan yang sama seperti kulit.

Selepas itu, berdasarkan tahap anggaran yang berbeza, dengan bantuan lakaran, tentukan agihan tegasan (iaitu normal dan ricih) panel terapit di kawasan keratan rentas.

(100 markah)

4. [a] **Figure 4[a]** shows two types of stress-strain behavior 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 their effects towards the overall load distribution and energy absorbing capabilities of the composites.

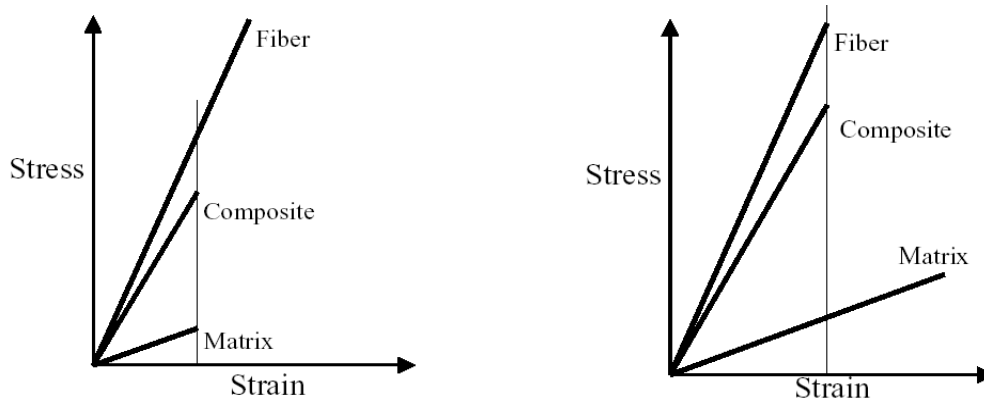


Figure 4[a]

(20 marks)

- [b] Assume that the area under the stress-strain diagram of a material is a measure of its toughness. Using the stress-strain diagram shown in **Figure 4[b]**, compare the toughness of three matrix resins considered. Explain how the toughness values contribute to the performance of the materials.

(30 marks)

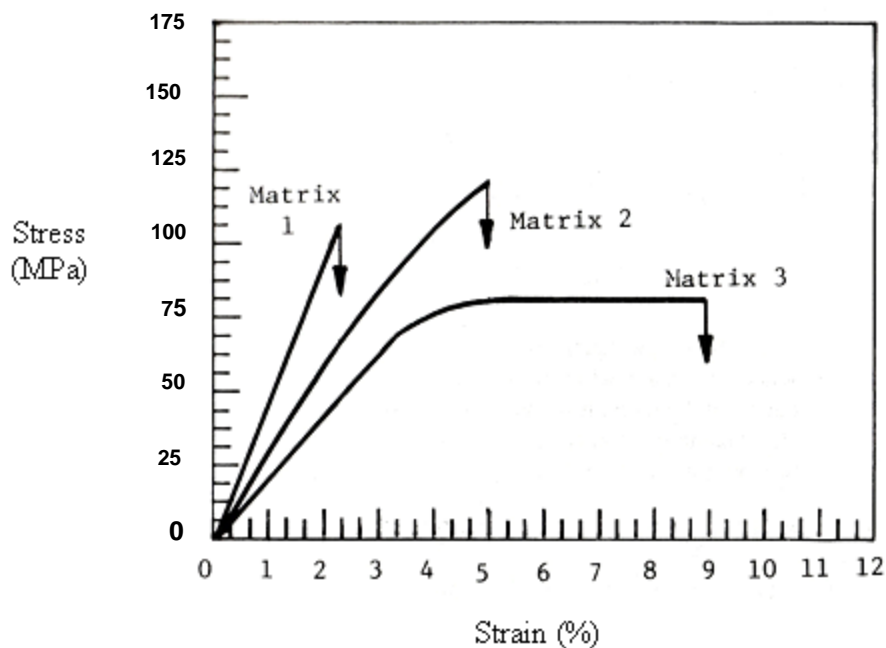


Figure 4[b]

[c] Tensile stress-strain diagram of a $[0/90_4]_S$ AS-4 carbon fiber/epoxy laminate is shown in **Figure 4[c]**. The longitudinal and transverse moduli of a 0° unidirectional laminate of the same material are 142 and 10.3 GPa, respectively.

- (i) Determine the initial axial modulus of the $[0/90_4]_S$ laminate and compare it with the theoretical value. How would this value change if the 90° layers are at the outside or the laminate construction is changed to $[0_2/90_3]_S$?

(30 marks)

- (ii) The knee in the stress-strain diagram is at a strain of 0.005 mm/mm. However, the ultimate longitudinal and transverse strains of the 0° unidirectional laminate are at 0.0146 and 0.006 mm/mm, respectively. Explain what might cause a lower strain at the knee.

(20 marks)

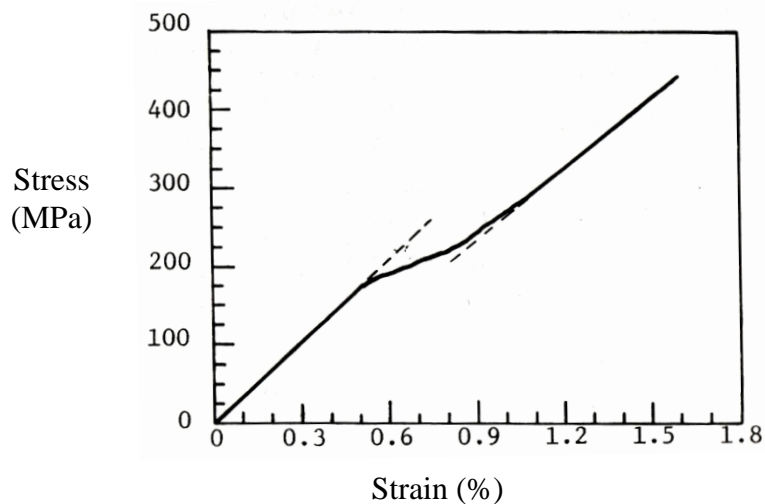
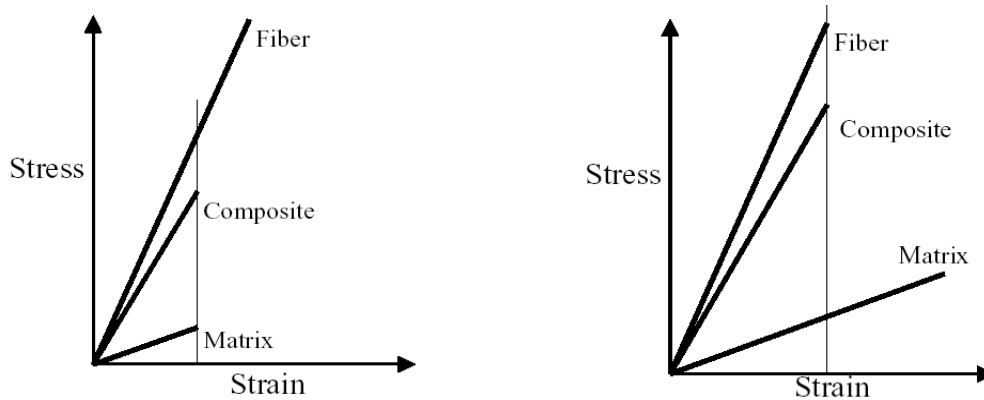


Figure 4[c]

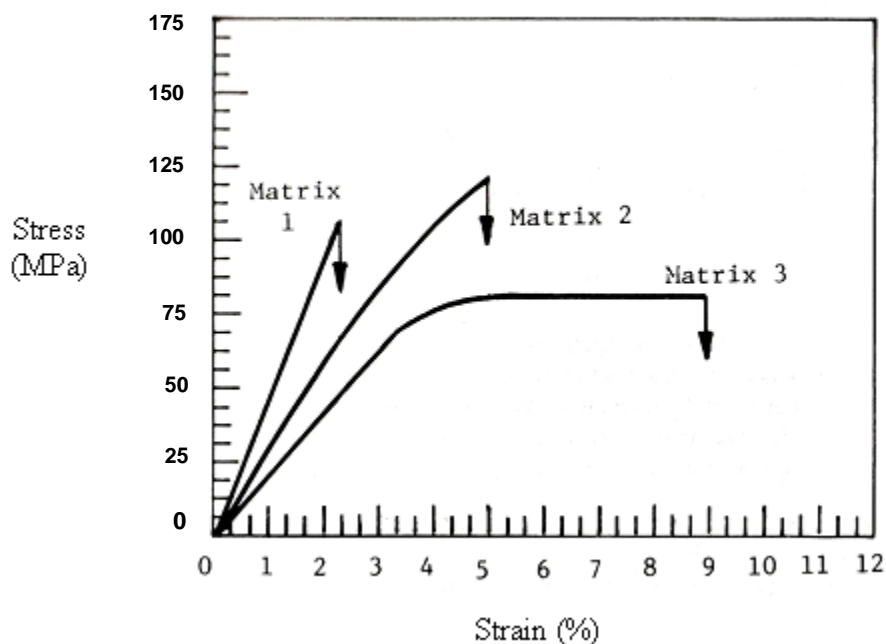
- [a] **Rajah 4[a]** menunjukkan dua jenis sifat bagi tegasan-terikan komposit CFRP yang mengandungi gentian karbon eka-arah dan matrik epoksi. Bincangkan sifat-sifat bahan tersebut berdasarkan nilai-nilai relatif tegasan terikan akhir bahan-bahan komponen dan kesan-kesan kepada keseluruhan daya agihan dan keupayaan tenaga penyerapan bagi komposit.

**Rajah 4[a]**

(20 markah)

- [b] Anggapan bahawa luas di bawah rajah tegasan-terikan adalah ukuran keliatan sesuatu bahan. Dengan menggunakan gambar rajah tegasan-terikan yang ditunjukkan dalam **Rajah 4[b]**, bandingkan keliatan bagi tiga resin matrik yang dipertimbangkan. Juga, jelaskan bagaimana nilai-nilai keliatan ini menyumbang kepada prestasi bahan.

(30 markah)

**Rajah 4[b]**

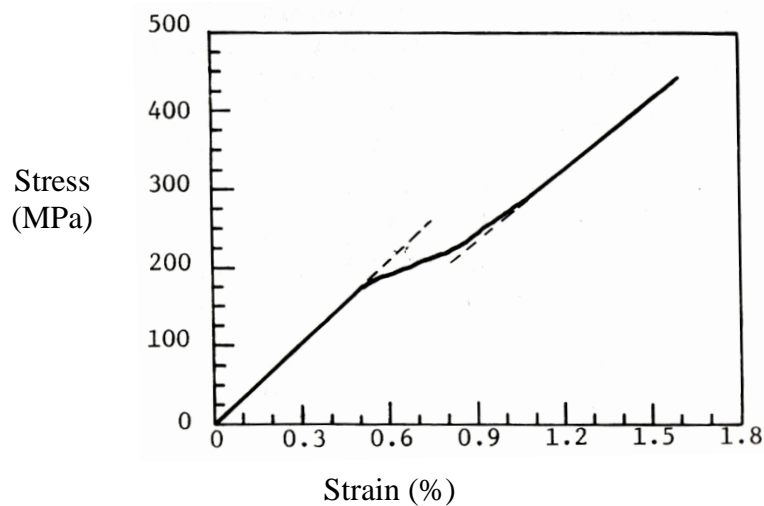
[c] Gambar rajah tegasan-terikan bagi $[0/90_4]_S$ AS-4 carbon fiber/epoksi lamina ditunjukkan dalam **Rajah 4[c]**. Moduli membujur dan melintang bagi lamina eka-arah 0° daripada bahan yang sama adalah masing-masing 142 dan 10.3 GPa.

(i) Tentukan modulus pada paksi awal bagi lamina $[0/90_4]_S$ dan bandingkan dengan nilai teori. Bagaimanakah nilai ini akan berubah jika lapis 90° berada di luar, atau rekabentuk lamina ditukarkan kepada $[0_2/90_3]_S$?

(30 markah)

(ii) 'Knee' di dalam gambarajah tegasan-terikan adalah berlaku pada terikan 0.005 mm/mm. Walau bagaimanapun, terikan membujur dan melintang muktamad lamina eka-arah 0° didapati masing-masing pada 0.0146 dan 0.006 mm/mm. Jelaskan apakah yang mungkin menyebabkan terikan yang rendah pada 'knee' tersebut?

(20 markah)



Rajah 4[c]

5. [a] The followings highlight several design cases of composite structures, which may indicate good or poor designs. Critically, evaluate those designs and justify your assessment accordingly.

(i)

1	2	3	4	5	6
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰				
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰			
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
---- Middle plane ----					

1	2	3	4	5	6
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
0 ⁰	0 ⁰				
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰			
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
---- Middle plane ----					

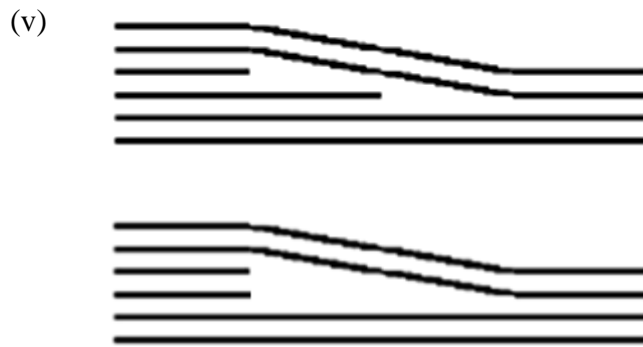
(ii)

1	2	3	4	5	6	7
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰				
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
45 ⁰						
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
---- Middle plane ----						
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰		
45 ⁰	45 ⁰					
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰			

1	2	3	4	5	6	7
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰				
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
45 ⁰						
135 ⁰	135 ⁰					
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
---- Middle plane ----						
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰		
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰			

- (iii) [45/135/90/135/45/0/45/135/90/45/135/0/135/45/90]s
 [45/135/90₃/135/45/0/45/135₂/45/0/135/45]s

- (iv) [45/0/135/90/45/0/135]s
 [45/0/90/135/45/0/135]s



(75 marks)

- [b] When there is a change in thickness in the design of the composite laminates, the ply drop-off is typically utilized to compensate the variation. However, the design should obey several rules that take into account the manufacturing, analysis and design constraints. With the help of **Figure 5[b]**, highlight those rules with regards to the following aspects:

- Slope ratio
- Staggering patterns
- External plies
- Covering ply

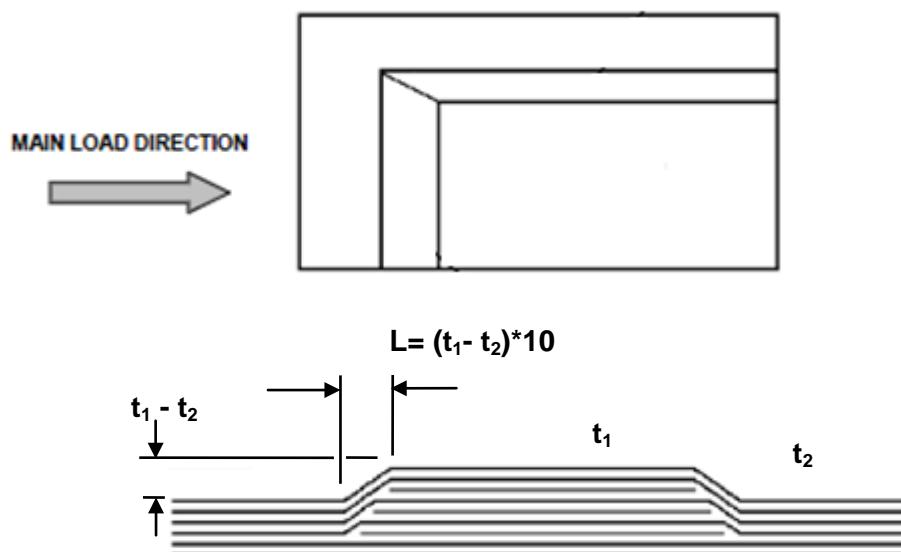


Figure 5[b]

(25 marks)

[a] Berikut adalah beberapa kes rekabentuk struktur komposit, yang mungkin menunjukkan rekabentuk yang baik atau lemah. Secara kritis, nilaikan rekabentuk-rekabentuk tersebut dan berikan justifikasi terhadap penilaian anda sewajarnya.

(i)

1	2	3	4	5	6
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰				
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰			
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
---- Middle plane ----					

1	2	3	4	5	6
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
0 ⁰	0 ⁰				
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰			
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
---- Middle plane ----					

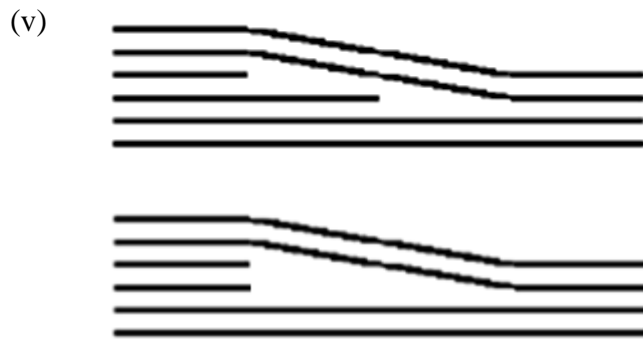
(ii)

1	2	3	4	5	6	7
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰				
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
45 ⁰						
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
---- Middle plane ----						
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰		
45 ⁰	45 ⁰					
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰			

1	2	3	4	5	6	7
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰				
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
45 ⁰						
135 ⁰	135 ⁰					
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
---- Middle plane ----						
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰		
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	
90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰	90 ⁰
45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰	45 ⁰
135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰	135 ⁰
0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0 ⁰			

(iii) [45/135/90/135/45/0/45/135/90/45/135/0/135/45/90]s
 [45/135/90₃/135/45/0/45/135₂/45/0/135/45]s

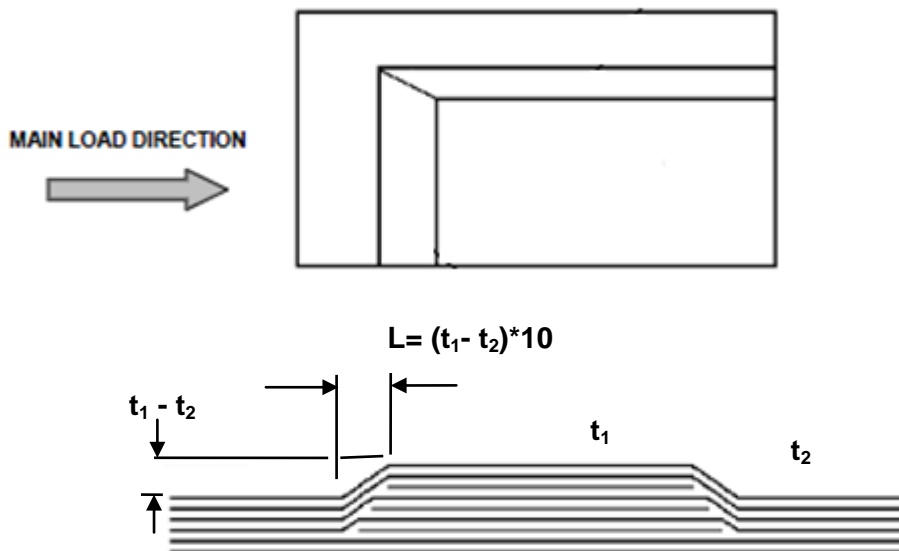
(iv) [45/0/135/90/45/0/135]s
 [45/0/90/135/45/0/135]s



(75 markah)

[b] Apabila berlaku perubahan dalam ketebalan rekabentuk komposit lamina, lapis 'drop-off' biasanya digunakan untuk mengimbangi perubahan ini. Walau bagaimanapun, rekabentuk perlulah mematuhi beberapa peraturan dengan mengambil kira kekangan kaedah pembuatan, analisis dan reka bentuk. Dengan bantuan **Rajah 5[b]**, ketengahkan peraturan-peraturan tersebut yang berkaitan dengan aspek-aspek berikut:

- Nisbah cerun
- Corak mengejut
- Lapisan luar
- Lapisan penutup

**Rajah 5[b]**

(25 markah)

00000000

