

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
2014/2015 Academic Session

December 2014 / January 2015

EBB 344/3 – Mechanical Metallurgy *[Metalurgi Mekanikal]*

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

Please ensure that this examination paper contains FIFTEEN printed pages before you begin the examination.

[Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi LIMA BELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.]

This paper consists of SEVEN questions. One question in PART A, THREE questions in PART B and THREE questions in PART C.

[Kertas soalan ini mengandungi TUJUH soalan. SATU soalan di BAHAGIAN A, TIGA soalan di BAHAGIAN B dan TIGA soalan di BAHAGIAN C.]

Instruction: Answer FIVE questions. Answer ALL questions from PART A and TWO questions from PART B and TWO questions from PART C. If a candidate answers more than five questions only the first five questions answered in the answer script would be examined.

[Arahan: Jawab LIMA soalan. Jawab SEMUA soalan dari BAHAGIAN A, DUA soalan dari BAHAGIAN B dan DUA soalan dari BAHAGIAN C. Jika calon menjawab lebih daripada lima soalan hanya lima soalan pertama mengikut susunan dalam skrip jawapan akan diberi markah.]

The answers to all questions must start on a new page.

[Mulakan jawapan anda untuk semua soalan pada muka surat yang baru.]

You may answer a question either in Bahasa Malaysia or in English.

[Anda dibenarkan menjawab soalan sama ada dalam Bahasa Malaysia atau Bahasa Inggeris.]

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

[Sekiranya terdapat sebarang percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah digunapakai.]

PART A / BAHAGIAN A

1. [a] Explain what is meant by the phrases; 'failure by excessive deflection', 'failure by yielding' and 'failure by fracture'?

Terangkan apa yang dimaksudkan dengan frasa; 'kegagalan disebabkan lenturan berlebihan', 'kegagalan disebabkan alah' dan 'kegagalan disebabkan pecah'?

(50 marks/markah)

- [b] Two steel samples were sent for mechanical testing and the SEM micrographs of their fractured surfaces are given in Figure 1. Steel sample X was hardened and sample Y was annealed. Choose between Figure 1 (a) and (b) to match with samples X and Y. Explain your choice and why.

Dua sampel keluli telah dihantar untuk ujian mekanikal dan mikrograf SEM untuk kedua-dua permukaan patah diberikan dalam Rajah 1. Sampel keluli X telah dilakukan pengerasan dan sampel Y disepuh lindap. Pilih di antara Rajah 1 (a) dan (b) untuk dipadankan dengan sampel X dan Y. Terangkan pilihan anda dan mengapa.

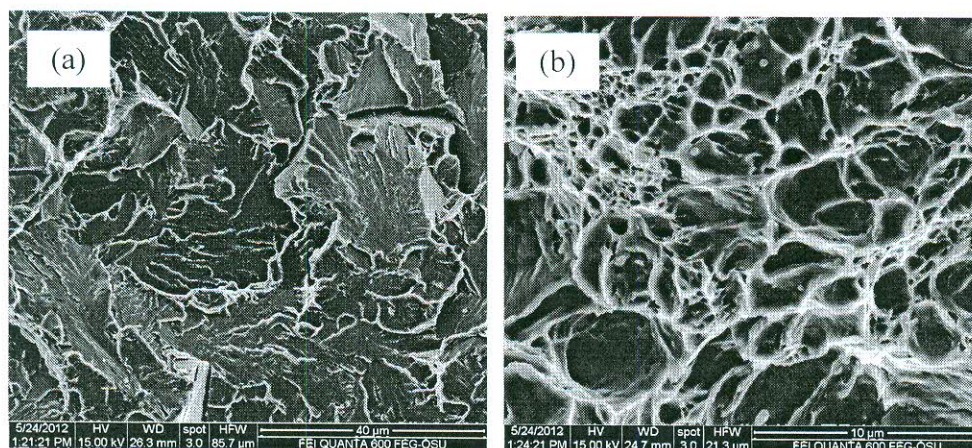


Figure 1(a) & (b) : SEM micrograph of samples

Rajah 1(a) & (b) : Mikrograf SEM sampel

(20 marks/markah)

...3/-

- [c] Figure 2 gives a graph of deformation variation with time under different stresses (A, B & C) for a metal. I, II and III refers to the three stages in creep deformation ; primary, secondary or steady states, and tertiary creep accordingly. Discuss why the creep behavior changes with stress. Also what are the other factors that influence creep behavior of a metal.

Rajah 2 memberikan graf variasi ubahbentuk dengan masa di bawah tegasan-tegasan berbeza (A, B & C) untuk satu logam. I, II dan III merujuk kepada tiga aras di dalam ubah bentuk rayapan ; primer, sekunder atau keadaan mantap, dan rayapan tertier. Bincangkan mengapa kelakuan rayapan berubah dengan tegasan. Juga apakah faktor-faktor lain yang mempengaruhi kelakuan rayapan sesuatu logam.

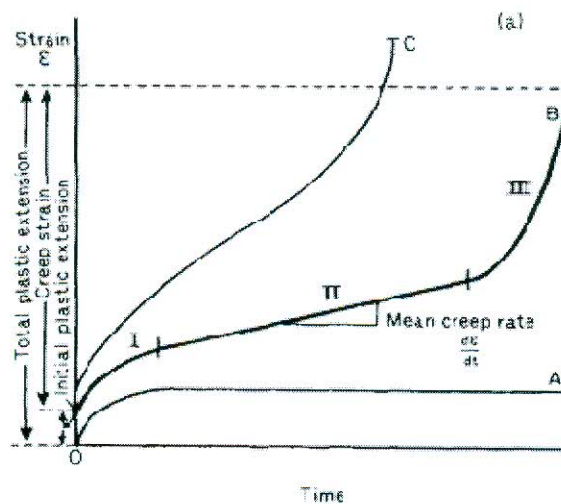


Figure 2 : The variation of metal deformation with time under different stresses

Rajah 2 : variasi ubah bentuk logam dengan masa di bawah tegasan yang berbeza.

(30 marks/markah)

PART B / BAHAGIAN B

2. [a] Describe how does engineering stress-strain curve differs from true stress-strain curve ? In what situation the value of engineering stress could be estimated using the value of true stress.

Perihalkan bagaimana keluk tegasan-terikan kejuruteraan berbeza dari keluk tegasan-terikan sebenar? Dalam situasi apakah nilai tegasan kejuruteraan boleh dianggarkan menggunakan nilai tegasan sebenar?

(50 marks/markah)

- [b] Two copper bars and one aluminum bar are fixed at the bottom as shown in Figure 3. The top ends of all three bars are supposed to be welded to a rigid steel plate. The aluminum bar is a little shorter ($\delta = 0.1$ cm.) than the copper bars and it had to be heated to make it extend to the same length as the copper bars to complete the welding process.

Calculate what is the temperature increase, ΔT ($^{\circ}\text{C}$), that is needed to bring the aluminum bar to the same length as that of copper bars?

$$E_{\text{Al}} = 73.0 \times 10^9 \text{ Pa}; E_{\text{Cu}} = 18.0 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$\alpha_{\text{Al}} = 13.0 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}; A_{\text{Al}} = A_{\text{Cu}} = 1.0 \text{ m}^2; L = 30 \text{ cm}$$

Dua bar kuprum dan satu bar aluminium bar dilekatkan pada dasar seperti Rajah 3. Bahagian hujung atas ketiga-tiga bar dikimpal pada plat keluli kaku. Bar aluminium pendek sedikit ($\delta = 0.1$ cm.) berbanding bar kuprum dan ia dipanaskan untuk menjadikan ia memanjang kepada panjang yang sama seperti bar-bar kuprum bagi melengkapkan proses kimpalan tersebut.

Kirakan apakah peningkatan suhu, ΔT ($^{\circ}\text{C}$), yang diperlukan untuk membawa bar aluminium kepada panjang yang sama seperti bar-bar kuprum?

$$E_{\text{Al}} = 73.0 \times 10^9 \text{ Pa}; E_{\text{Cu}} = 18.0 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$\alpha_{\text{Al}} = 13.0 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}; A_{\text{Al}} = A_{\text{Cu}} = 1.0 \text{ m}^2; L = 30 \text{ cm}$$

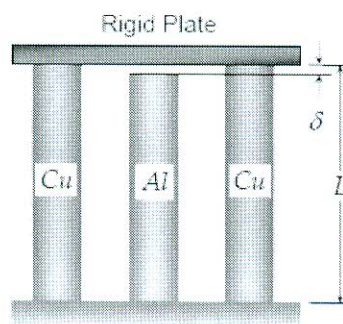


Figure 3
Figure 3

(50 marks/markah)

...6/-

3. [a] Explain various ways of a metal structure may fail with the application of load during service.

Bincangkan pelbagai cara yang mungkin bagi sebuah struktur logam untuk gagal dengan penggunaan beban ketika perkhidmatan.

(50 marks/markah)

- [b] The bar in Figure 4 is subjected to a compression force $P = -90$ kN. The cross-sectional area of the bar is 1200 mm². Estimate the normal stress and shear stress on the p-q face and on the t face of an element oriented at angle $\theta = 25^\circ$.

Bar dalam Rajah 4 diberikan daya mampatan $P = -90$ kN. Luas keratin rentas bar ialah 1200 mm². Anggarkan tegasan normal dan tegasan ricih yang bertindak di satah p-q dan t pada sebuah unsur terorientasi pada sudut $\theta = 25^\circ$.

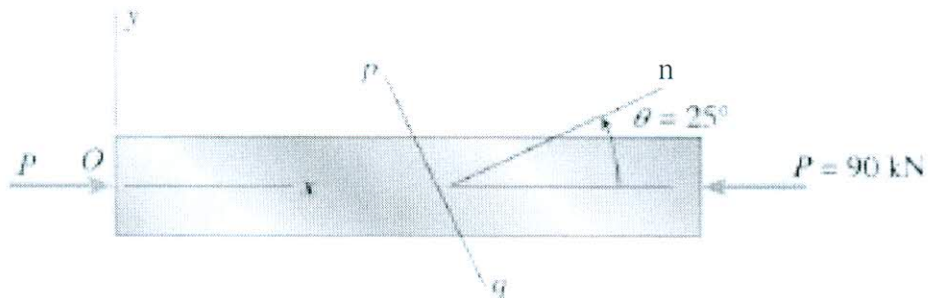


Figure 4
Rajah 4

(50 marks/markah)

4. At a point on the surface of a generator shaft the stresses are $\sigma_x = -50\text{MPa}$, $\sigma_y = 10\text{MPa}$ and $\tau_{xy} = -40\text{MPa}$ as shown in Figure 5. Using Mohr's circle determine the following:

- (i) Stresses acting on an element inclined at an angle $\theta = 45^\circ$
- (ii) The principal stresses and
- (iii) The maximum shear stresses

Pada satu titik pada permukaan sebuah aci penjana tegasan adalah $\sigma_x = -50\text{MPa}$, $\sigma_y = 10\text{MPa}$ and $\tau_{xy} = -40\text{MPa}$ seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5. Dengan menggunakan bulatan Mohr, tentukan yang berikut:

- (i) Tegasan yang bertindak pada unsur yang condong pada satu sudut $\theta = 45^\circ$
- (ii) Tegasan utama dan
- (iii) Tegasan ricih maksimum

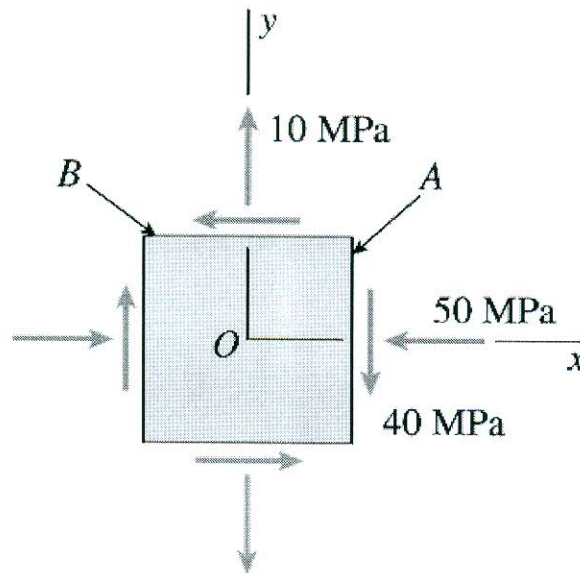


Figure 5

Rajah 5

(100 marks/markah)

PART C / BAHAGIAN C

5. [a] Define and explain about these terms, K , K_{IC} and K_C . Why are they different? How are they useful in fracture mechanics?

Takrif dan terangkan mengenai terma-terma ini, K , K_{IC} dan K_C . Mengapakah mereka berbeza? Bagaimanakah mereka berguna di dalam mekanik kepatahan?

(25 marks/markah)

- [b] A titanium alloy (Ti-6% Al-4% V) is used for aircraft applications. The Non-Destructive Evaluation method used cannot detect flaws whose size is smaller than 1 mm. You are asked, as the design engineer, to specify the maximum tensile stress that the part can bear in plane-stress and plane-strain situations. The yield stress of the alloy is 1,450 MPa. From consideration of fracture toughness, what would be the limiting stress to be used?

Given : $E = 115 \text{ GPa}$, $\nu = 0.321$ and $G_c = 23.6 \text{ kN/m}$

Satu aloi titanium (Ti-6% Al-4% V) digunakan untuk aplikasi kapal terbang. Kaedah penilaian tidak musnah yang digunakan tidak mampu untuk mengesan kecacatan yang mempunyai saiz lebih kecil daripada 1 mm. Sebagai jurutera rekabentuk, anda diminta untuk menentukan tegasan tegangan maksima yang boleh ditanggung oleh komponen tersebut di dalam situasi tegasan-satah dan terikan-satah. Tegasan aloi tersebut adalah 1,450 MPa. Daripada pertimbangan ketahanan patah, apakah had tegasan yang akan digunakan?

Diberi : $E = 115 \text{ GPa}$, $\nu = 0.321$ dan $G_c = 23.6 \text{ kN/m}$

(25 marks/markah)

[c] Figure 6 gives the effect of sulfur content on the fracture toughness of AISI 4345 steel.

- (i) Explain why the fracture toughness changes with the sulfur content.
- (ii) Discuss what are the factors affecting fracture toughness of a metal. Since fracture toughness is a material property just like strength and ductility, can we improve the fracture toughness of a metal via the same method as increasing strength/ductility?

Rajah 6 memberikan kesan kandungan sulfur ke atas ketahanan patah keluli AISI 4345.

- (i) Terangkan mengapa ketahanan patah berubah dengan kandungan sulfur.*
- (ii) Bincangkan apakah faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan patah sesuatu logam. Memandangkan ketahanan patah adalah satu sifat bahan sama seperti kekuatan dan kemuluran, bolehkah kita meningkatkan ketahanan patah sesuatu logam dengan kaedah yang sama seperti meningkatkan kekuatan/kemuluran.*

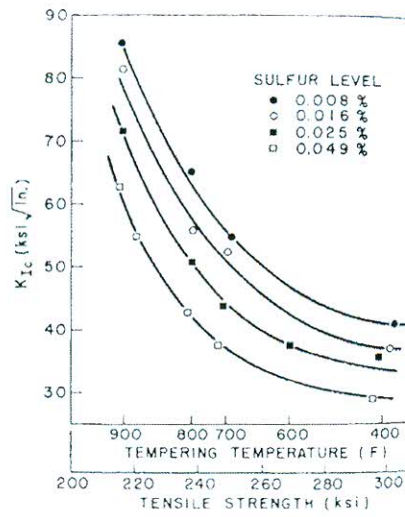


Figure 6 : Effect of sulfur content on the fracture toughness of AISI 4345 steel

Rajah 6 : Kesan kandungan sulfur ke atas keliatan patah keluli AISI 4345

(50 marks/markah)

6. [a] Figure 7 gives a plot of stress (endurance limit) versus cycles to failure for some methods of surface treatment done to sections of a crankshaft.
- (i) Discuss why the fatigue endurance limit changes with different kinds of surface treatment.
 - (ii) Discuss case hardening (heat treatment to harden a specific depth on surface of component) would influence fatigue resistance of a metal?

Rajah 7 memberikan plot tegasan (had ketahanan) melawan kitaran kegagalan bagi beberapa kaedah rawatan permukaan yang dilakukan kepada sebahagian aci sesondol.

- (i) *Bincangkan mengapa had ketahanan lesu berubah dengan pelbagai jenis rawatan permukaan.*
- (ii) *Bincangkan samada pengerasan permukaan (rawatan haba untuk meningkatkan kekerasan satu kedalaman yang spesifik pada permukaan sesuatu komponen) mempengaruhi rintangan lesu sesuatu logam?*

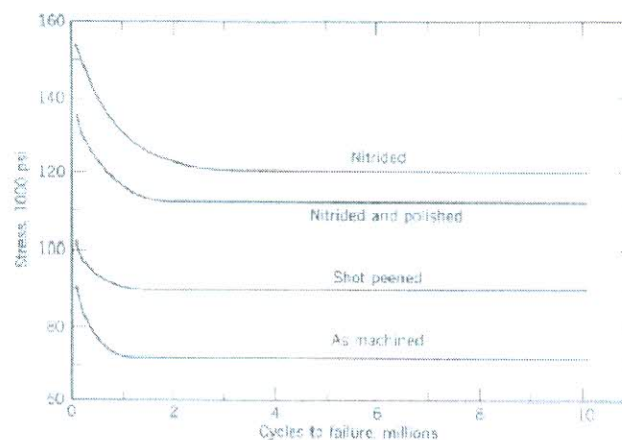


Figure 7 : Bending fatigue test results on sections from crankshafts:
endurance limit versus surface treatment

Rajah 7 : Keputusan ujian lesu lenturan pada sebahagian aci sesondol : had ketahanan melawan rawatan permukaan

(40 marks/markah)

... 12/-

- [b] What are the typical features you would find in the fracture surface of a sample failed due to fatigue? Use appropriate diagram to illustrate your answer.

Apakah ciri-ciri tipikal yang anda akan jumpa di dalam permukaan patah satu sampel yang gagal disebabkan oleh lesu? Gunakan rajah yang sesuai untuk menerangkan jawapan anda.

(20 marks/markah)

- [c] A strain gage is installed in the longitudinal direction on the surface of an aluminum beverage can (see Figure 8). The radius-on-thickness ratio of the can is 200. When the lid of the can is popped open, the strain changes by $\epsilon_0 = 170 \times 10^{-6}$. What was the internal pressure P in the can? Assume $E = 70 \text{ GPa}$ and $\nu = 0.33$.

Satu tolok terikan dipasang pada arah memanjang pada permukaan satu tin minuman aluminium (lihat Rajah 8). Nisbah jejari-kepada-tebal tin tersebut ialah 200. Apabila penutup tin tersebut dibuka, terikannya berubah sebanyak $\epsilon_0 = 170 \times 10^{-6}$. Apakah tekanan dalaman P di dalam tin tersebut? Andaikan $E = 70 \text{ GPa}$ dan $\nu = 0.33$.



Figure 8 : An aluminum beverage can

Rajah 8 : Satu tin minuman aluminium

(40 marks/markah)

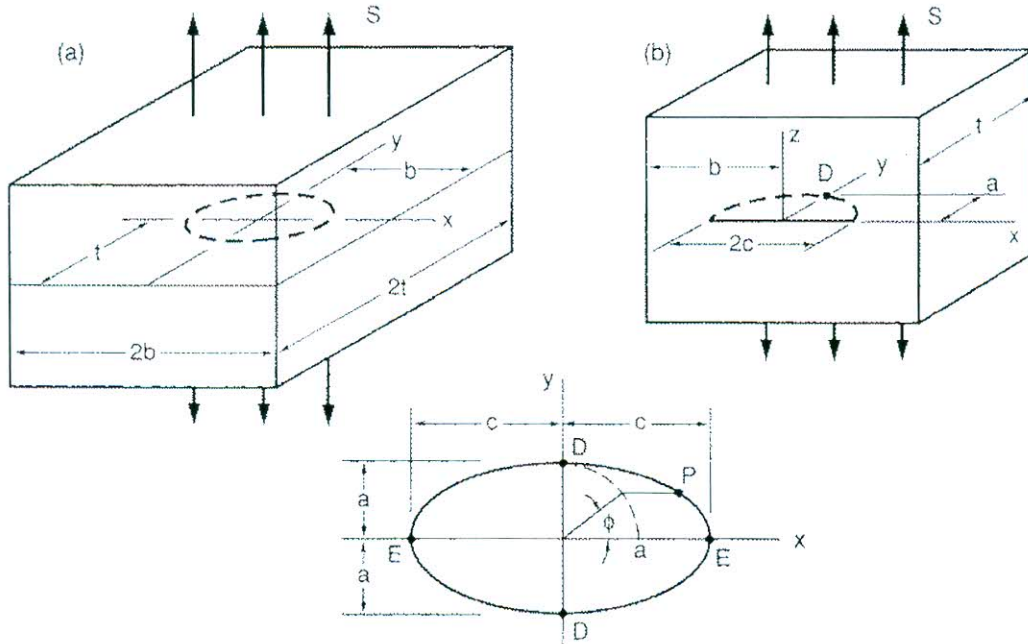
7. [a] A large part in a turbine-generator unit operates near room temperature and is made of ASTM A470-8 steel. A surface crack has been found that is roughly a semi-ellipse, with surface length, $2c = 50$ mm and depth $a = 15$ mm. The stress normal to the plane of the crack is 250 MPa, and the member width and thickness are large compared to the crack size.
- (i) What is the safety factor against brittle fracture?
 - (ii) Should the power plant continue to operate if failure of this part is likely to cause costly damage to the remainder of the unit?

Given the $K_{IC} = 60$ MPa $\sqrt{\text{m}}$ and Yield strength = 620 MPa. Refer to Figure 9.

Satu komponen yang besar di dalam unit penjana-turbin beroperasi pada suhu yang hampir dengan suhu bilik dan diperbuat daripada keluli ASTM A470-8. Satu retak permukaan telah dijumpai yang mana bentuknya menyerupai satu separa-elip, dengan panjang permukaan $2c = 50$ mm dan kedalaman $a = 15$ mm. Tegasan normal kepada satah retak adalah 250 MPa dan tebal dan lebar bahagian tersebut adalah besar berbanding dengan saiz retak.

- (i) Apakah faktor selamat menangani patah rapuh?*
- (ii) Perlukah penjana kuasa tersebut terus beroperasi sekiranya kegagalan bahagian ini kemungkinan akan menyebabkan kerosakan yang mahal kepada bahagian lain pada unit tersebut?*

Diberi $K_{IC} = 60$ MPa $\sqrt{\text{m}}$ dan kekuatan alah = 620 MPa. Rujuk Rajah 9.



$$K_D = F_D S \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}, \quad Q \approx 1 + 1.464 \left(\frac{a}{c}\right)^{1.65} \quad (a/c \leq 1)$$

Case	Values for small $a/t, c/b$	Limits for 10% accuracy
(a)	$F_D = 1$	$\frac{a}{t} < 0.4, \frac{c}{b} < 0.2$
(b)	$F_D \approx 1.12$	$\frac{a}{t} < 0.3^1, \frac{c}{b} < 0.2$

Note: ¹Except limit to $a/t < 0.16$ if $a/c < 0.25$.

Figure 9 : Stress intensity factors for (a) an embedded elliptical crack and (b) a similar half-elliptical surface crack

Rajah 9 : Faktor-faktor keamatan tegasan untuk (a) satu retak bentuk elip tertanam dan (b) satu retak permukaan berbentuk separa-elip

(40 marks/markah)

- [b] How does the processing history of a part affect wear? For example, if a cam is forged, cast, machined or made from electrical discharge machining (EDM), how would you expect its wear behavior to change?

Bagaimanakah sejarah pemrosesan sesuatu komponen mempengaruhi haus? Sebagai contoh, sekiranya satu sesondol ditempa, tuang, mesin atau diperbuat daripada pemesinan discaj elektrik (EDM), bagaimanakah anda menjangka kelakuan hausnya berubah?

(40 marks/markah)

- [c] One of the important properties measured using Charpy impact test is the ductile-to-brittle transition temperature or DBTT. Explain, using appropriate examples, about DBTT and what is the importance of this value in design.

Salah satu sifat-sifat penting yang diukur menggunakan ujian hentaman Charpy ialah suhu peralihan mulur-kepada-rapuh atau DBTT. Terangkan, dengan menggunakan contoh-contoh yang sesuai, mengenai DBTT dan apakah kepentingan nilai ini di dalam rekabentuk.

(20 marks/markah)