

---

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination  
2012/2013 Academic Session

January 2013

**EMC201/3 – Measurement & Instrumentation**

*[Pengukuran & Peralatan]*

Duration : 3 hours

*Masa : 3 jam*

---

Please check that this paper contains **TWELVE (12)** printed pages, **ONE (1)** page appendix and **FIVE (5)** questions before you begin the examination.

*[Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **DUA BELAS (12)** mukasurat bercetak **SATU (1)** mukasurat lampiran dan **LIMA (5)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.]*

**Appendix/Lampiran :**

Appendix A

1. Student's  $t$ -Distribution (Values of  $t_{\alpha, v}$ ) [1 page/mukasurat]

**INSTRUCTIONS** : Answer **ALL** questions. You may answer all questions in **English** OR **Bahasa Malaysia** OR a combination of both.

**ARAHAN** : Jawab **SEMUA** soalan. Calon boleh menjawab semua soalan dalam **Bahasa Malaysia** ATAU **Bahasa Inggeris** ATAU kombinasi kedua-duanya.]

Answer to each question must begin from a new page.

*[Jawapan untuk 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.]*

Q1. [a] (i) Define the term 'precision error'.

(ii) An engineer measures the length of 25 camshafts selected randomly from a large shipment. The sample yields  $\bar{x} = 1159.5$  mm and  $S_x = 12.9$  mm. The manufacturer of the camshaft claims that the manufactured length  $\bar{x}_m$  is 1150.0 mm. Determine whether the manufacturer's claim is expected to lie with a confidence level of 95% based on the engineer's data.

(i) Takrifkan istilah 'ralat kepersisan'.

(ii) Seorang jurutera mengukur panjang 25 aci sesendol yang diperoleh secara rawak daripada satu hantaran yang besar. Sampel ini menunjukkan  $\bar{x} = 1159.5$  mm dan  $S_x = 12.9$  mm. Pembuat aci sesendol ini menuntut bahawa panjang yang dibuat  $\bar{x}_m$  adalah 1150.0 mm. Tentukan sama ada tuntutan pembuat ini adalah terkandung dalam jangkauan pada aras keyakinan 95% dengan merujuk kepada data jurutera ini.

(25 marks/markah)

[b] In a laboratory testing, the resistance of piece of nickel is to be determined. The nickel was shaped into a cylindrical form with a length  $L$  and diameter  $D$  as shown in Figure Q1[b].

Dalam satu ujian makmal, rintangan sekeping nikel perlu ditentukan. Kepingan nikel ini berbentuk silinder dengan panjangnya  $L$  dan diameter  $D$  seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S1[b].

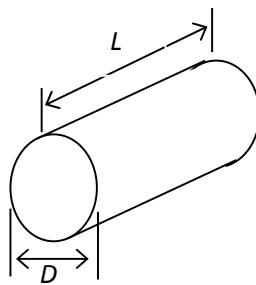


Figure Q1[b]

Rajah S1[b]

The length  $L$  and diameter  $D$  were measured repeatedly and summarized in Table Q1b as follow:

*Panjang  $L$  dan diameter  $D$  diukur berulang kali dan diringkaskan dalam Jadual Q1b yang berikut:*

**Table Q1[b]**  
**Jadual S1[b]**

<b><u>Attempt/Cubaan</u></b>	<b><u>Length/panjang, L(mm)</u></b>	<b><u>Diameter/diameter, D (mm)</u></b>
1	25.016	4.984
2	25.012	5.008
3	24.984	4.986
4	24.978	5.004
5	25.026	5.002
6	25.006	4.988
7	25.002	4.992
8	24.992	5.006
9	24.994	4.986
10	25.008	5.008

**Determine the best estimate of the resistance (at 95% level of confidence) of the nickel from the data in Table Q1b. Given that the nickel has a resistivity of material  $7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$  at  $20^\circ C$  ( $\pm 5\%$  uncertainty) and there is no bias error in any measurement. The resistance of a conductor is given by:**

*Tentukan anggaran paling baik bagi rintangan (pada aras keyakinan 95%) nikel daripada data dalam Jadual Q1b. Diberikan bahawa nikel mempunyai kerintangan bahan  $7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$  pada  $20^\circ C$  ( $\pm 5\%$  ketakpastian) dan tiada ralat pincangan dalam mana-mana pengukuran. Rintangan sesuatu konduktor diberikan oleh:*

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

**where**

- $R$  = resistance ( $\Omega$ )**
- $L$  = the length of the conductor ( $m$ )**
- $A$  = cross-sectional area of the conductor ( $m^2$ )**
- $\rho$  = the resistivity of the material ( $\Omega \cdot m$ )**

di mana  $R = \text{rintangan } (\Omega)$   
 $L = \text{panjang konduktor } (m)$   
 $A = \text{luas keratan rentas konduktor } (m^2)$   
 $\rho = \text{kerintangan bahan } (\Omega \cdot m)$

(75 marks/markah)

- Q2. [a] The root-mean-square (RMS) voltage in Malaysia is 240 V, alternating at 50 cycles per second. Assuming that the voltage is a perfect sine wave,**
- (i) calculate the maximum amplitude of the voltage in Malaysia**
  - (ii) plot a waveform of the voltage in Malaysia up to 3 cycles using time as the independent variable**
  - (iii) determine the average voltage in Malaysia over the time period from 0 to 0.015s.**

*[a] Voltan punca-min-kuasa-dua (RMS) dalam Malaysia adalah 240 V, berulang pada 50 kitaran sesaat. Anggapkan bahawa voltan ini merupakan gelombang sinus sempurna,*

- (i) kirakan amplitud maksimum untuk voltan dalam Malaysia*
- (ii) plotkan gelombang voltan dalam Malaysia ini sehingga 3 kitaran dengan menggunakan masa sebagai pemboleh ubah tak bersandar*
- (iii) tentukan voltan purata dalam Malaysia bagi tempoh daripada 0 to 0.015s.*

(40 marks/markah)

- [b] Explain the phenomena of aliasing when an analog waveform is recorded by discrete sampling and give ONE suggestion on how to prevent this problem.**

*Terangkan fenomena pengaliansan apabila satu gelombang analog direkodkan dengan pensampelan diskrit dan berikan SATU cadangan untuk mencegah masalah ini.*

(20 marks/markah)

- [c] A waveform is described by the following equation:**

*Satu gelombang diperihalkan oleh persamaan berikut:*

$$y = 4 - \frac{32}{\pi^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[ \frac{1}{(2n-1)^2} \cos(2n-1)\omega t \right]$$

- (i) Sketch the frequency spectrum up to the 9<sup>th</sup> harmonic.  
 (ii) Determine the minimum sample rate  $f_s$  and the number of points  $N$  recorded so that the waveform can be accurately resolved up to the 9<sup>th</sup> harmonic.

- (i) Lakarkan spektrum frekuensi sehingga harmonik ke-9.  
 (ii) Tentukan kadar pensampelan  $f_s$  minimum dan bilangan titik  $N$  untuk direkodkan supaya gelombang ini boleh diuraikan dengan jituanya sehingga harmonik ke-9.

(40 marks/markah)

- Q3. [a] The spring-mass-damper system is a fundamental model of the dynamic response of mechanical systems. Explain the difference between the first-order system and the second-order system, and write a generic equation for both systems given that a force-excited second-order system for a mechanical model is shown in Figure Q3[a].

Sistem spring-jisim-peredam adalah model asas gerak-balas dinamik untuk sistem mekanik. Terangkan perbezaan antara sistem tertib pertama dengan sistem tertib kedua dan tuliskan satu persamaan generik untuk kedua-dua sistem tersebut. Diberikan bahawa suatu sistem rangsangan-daya tertib kedua untuk model mekanikal adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S3[a].

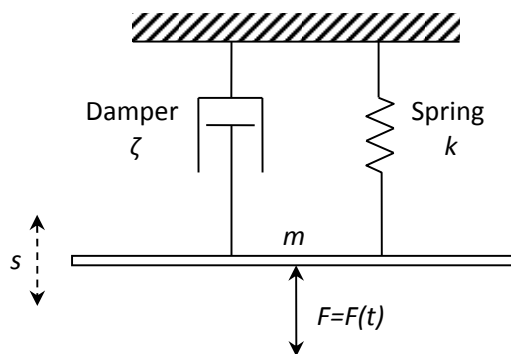


Figure Q3[a]  
Rajah S3[a]

(15 marks/markah)

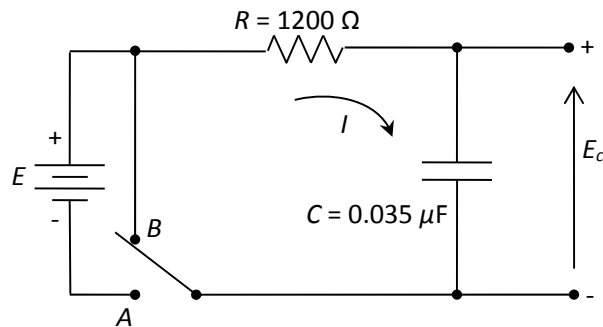


Figure Q3[b]

Rajah S3[b]

- [b] Figure Q3[b] shows a simple RC circuit consisting of a capacitor, a resistor and a 12 V voltage source connected in series. Assuming that the capacitor carries no initial charge and then the switch is moved to contact A.

Rajah S3[b] menunjukkan suatu litar RC ringkas yang mengandungi kapasitor, perintang dan bekalan voltan 12 V yang disambung secara bersiri. Anggapkan bahawa kapasitor ini tidak bercas pada mulanya dan kemudian suis dibiarkan menyentuhkan titik A.

- (i) Prove that the voltage drop across  $E_c$  when the time  $t$  elapses is  $E_c = E(1 - e^{-t/\tau})$
- (ii) Calculate the time constant  $\tau$  of the RC circuit when the capacitor starts charging.
- (iii) Calculate the time constant  $\tau$  if one of the plates of the capacitor experiences an area reduction of 30%. Assuming that the capacitor is formed from a pair of parallel flat plates and its capacitance is given by:
  - (i) Buktikan bahawa voltan merentasi  $E_c$  apabila masa,  $t$  berlalu adalah  $E_c = E(1 - e^{-t/\tau})$
  - (ii) Kirakan pemalar masa  $\tau$  bagi litar RC ini apabila kapasitor ini mula mencas.
  - (iii) Kirakan pemalar masa  $\tau$  sekiranya salah satu plat daripada kapasitor ini mengalami kesusutan luas sebanyak 30%. Anggapkan bahawa kapasitor ini dibentuk daripada sepasang plat dan kapasitansnya diberi oleh:

$$C = \frac{\epsilon_0 KA}{d}$$

where  $C = \text{capacitance (pF)}$   
 $\epsilon_0 = \text{permittivity of free space, } 8.8542 \text{ (pF/m)}$   
 $K = \text{dielectric constant of medium between plates (=1 for air)}$   
 $A = \text{area of one side of one plate (m}^2\text{)}$   
 $d = \text{separation of plates surfaces (m)}$

di mana  $C = \text{kapasitans (pF)}$   
 $\epsilon_0 = \text{ketelusan ruang bebas, } 8.8542 \text{ (pF/m)}$   
 $K = \text{pemalar dielectrik bagi medium antara plat (=1 for air)}$   
 $A = \text{luas bagi salah satu plat (m}^2\text{)}$   
 $d = \text{jarak pemisahan permukaan kedua-dua plat (m)}$

(35 marks/markah)

- [c] Figure Q3[c] shows a simple voltage dividing circuit. If the voltmeter has an internal resistance of  $R_L$  derive an expression for the voltage  $e_o$  across the resistor  $R_2$  in terms of the other variables given in the figure. Hence, determine the voltage across  $R_2$  if the following data is given:  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $R_2 = 200 \Omega$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  and supply voltage  $e_i = 12 \text{ V}$ .

Rajah S3[c] menunjukkan suatu litar pembahagi voltan mudah. Jika meter voltan mempunyai rintangan dalaman sebanyak  $R_L$  terbitkan suatu persamaan bagi voltan  $e_o$  melintasi perintang  $R_2$  dalam sebutan pembolehubah-pembolehubah yang lain di dalam rajah tersebut. Seterusnya, tentukan voltan melintasi  $R_2$  jika data berikut diberikan:  $R_1 = 100 \Omega$ ,  $R_2 = 200 \Omega$ ,  $R_L = 1 \text{ k}\Omega$  dan voltan bekalan  $e_i = 12 \text{ V}$ .

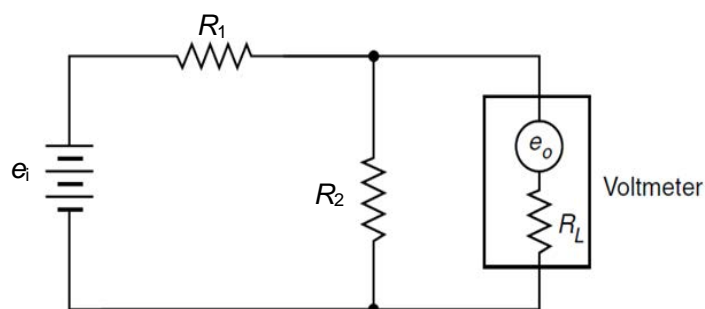
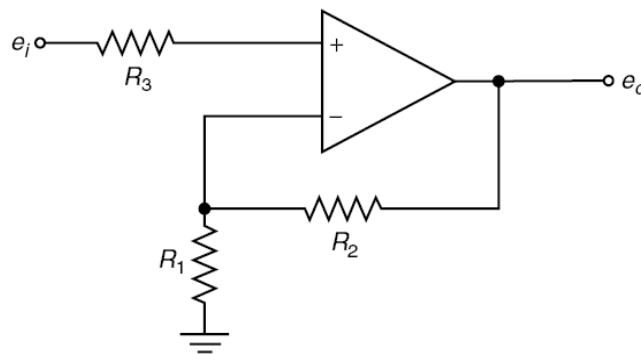


Figure Q3[c]  
Rajah S3[c]

(30 marks/markah)

- [d] **Figure Q3[d] shows an amplifier circuit. What type of amplifier is this? Derive an expression for the gain of the amplifier in terms of the other variables shown in the figure. If  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ , determine a suitable combination of  $R_1$  and  $R_2$  to obtain a gain of 1000.**

*Rajah S3[d] menunjukkan litar penguat. Apakah jenis penguat ini? Terbitkan suatu ungkapan untuk gandaan penguat tersebut dalam sebutan pembolehubah-pemboleh ubah yang lain dalam rajah tersebut. Jika  $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ , tentukan gabungan  $R_1$  dan  $R_2$  yang sesuai untuk mendapatkan gandaan sebanyak 1000.*



**Figure Q3[d]**

*Rajah S3[d]*

(20 marks/markah)

- Q4. [a] State TWO (2) advantages of the resistance bridge circuit used in strain measurement compared to the ballast circuit.**

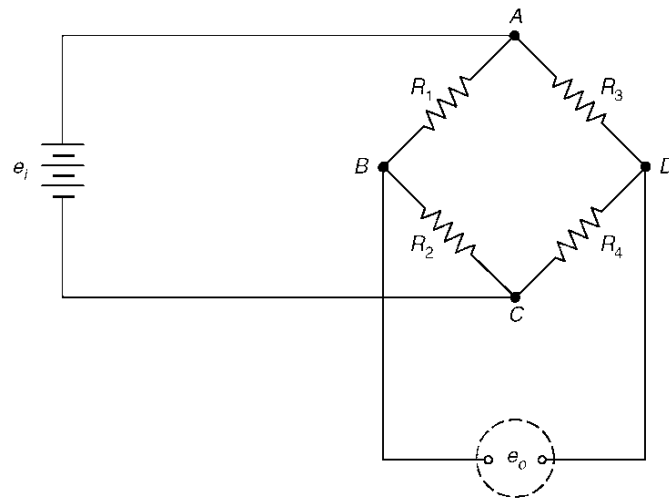
*Nyatakan DUA (2) kelebihan litar rintangan tetimbang yang digunakan dalam pengukuran terikan dibandingkan dengan litar balas.*

(6 marks/markah)

- [b] **Figure Q4[b] shows a resistance bridge circuit. The strain gage has a nominal resistance of  $R_1$ . The resistance in all the arms are initially equal, i.e.  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ . If the strain gage undergoes a resistance change of  $\Delta R_1$  derive an expression for the change in the output voltage  $\Delta e_o$ . Hence, calculate the change in the output voltage  $\Delta e_o$  if  $R = 100 \Omega$ ,  $\Delta R_1 = 5 \Omega$  and supply voltage  $e_i = 12 \text{ V}$ .**

*Rajah S4[b] menunjukkan litar rintangan tetimbang. Tolok terikan mempunyai rintangan nominal  $R_1$ . Rintangan di dalam kesemua lengan pada awalnya adalah sama, iaitu  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ . Jika tolok terikan melalui perubahan rintangan sebanyak  $\Delta R_1$  terbitkan suatu ungkapan bagi perubahan voltan output  $\Delta e_o$ . Seterusnya, kira perubahan voltan output  $\Delta e_o$  jika  $R = 100 \Omega$ ,  $\Delta R_1 = 5 \Omega$  dan voltan bekalan  $e_i = 12 \text{ V}$ .*



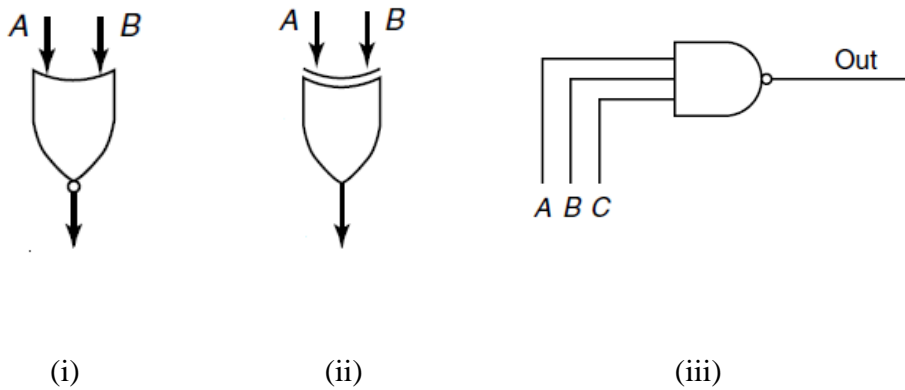


**Figure Q4[b]**  
Rajah S4[b]

(44 marks/markah)

[c] **Figure Q4[c](i)-(iii) shows three logic gates. State the type of gate and construct the truth table for each of the logic gate.**

*Rajah S4[c](i)-(iii) menunjukkan tiga get logik. Nyatakan jenis get dan bina jadual benar bagi setiap get logik.*



**Figure Q4[c]**  
Rajah S4[c]

(30 marks/markah)

- [d] **The output from a temperature sensor varies from 0.500 mV to 2.500 mV. The signal is fed into a 16-bit analog-to-digital (A/D) converter having a  $\pm 5.0$  V range. Estimate the voltage increment represented by the least significant bit (LSB). What should be the gain to which the signal needs to be amplified?**

*Keluaran sensor suhu berubah antara 0.5 mV dan 2.5 mV. Isyarat tersebut dimasukkan ke dalam pengubah analog-ke-digital (A/D) 16-bit yang mempunyai julat  $\pm 5.0$  V. Anggarkan tokokan voltan yang diwakili oleh bit paling rendah (LSB). Apakah nilai gandaan isyarat tersebut perlu digandakan?*

**(20 marks/markah)**

- Q5. [a] Explain the difference between static pressure, dynamic pressure and stagnation pressure. Illustrate with diagrams, if necessary.**

*Terangkan perbezaan antara tekanan static, tekanan dinamik dan tekanan stagnasi. Ilustrasi dengan gambarajah, jika perlu.*

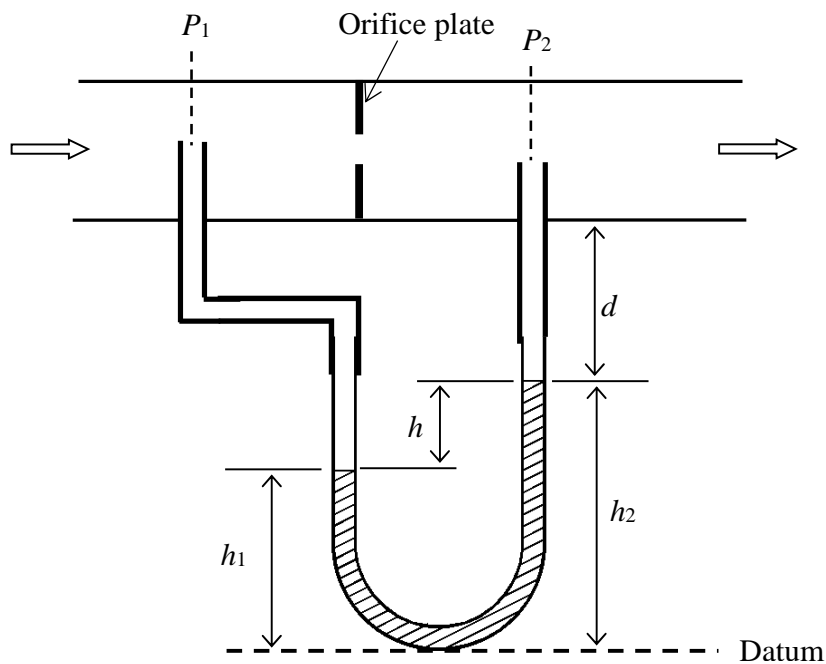
**(10 marks/markah)**

- (b) A manometer that uses mercury as the working fluid is used to measure the differential pressure between two points in a liquid flowing in a pipeline as shown in Figure Q5[b]. The density of the liquid in the pipeline is  $880 \text{ kg/m}^3$ , whereas the density of mercury is  $13600 \text{ kg/m}^3$ . Take  $g$  as  $9.81 \text{ m/s}^2$ .**

- (i) Determine the differential pressure  $\Delta P$  ( $= P_1 - P_2$ ) if the difference in the mercury level in the two arms of the manometer is 80 mm.**
- (ii) Recalculate the differential pressure  $\Delta P$  in part (i) if the density of the liquid in the pipeline is neglected. Hence, calculate percentage error (%) in differential pressure if the density of the liquid is neglected.**
- (iii) Suggest TWO (2) methods of increasing the sensitivity of the manometer.**

*Sebuah manometer yang menggunakan raksa sebagai bendalir kerja digunakan untuk mengukur tekanan kebezaan antara dua titik di dalam cecair yang mengalir di dalam sebuah paip seperti ditunjukkan dalam Rajah S5[b]. Ketumpatan cecair di dalam paip ialah  $880 \text{ kg/m}^3$ , manakala ketumpatan raksa ialah  $13600 \text{ kg/m}^3$ . Ambil  $g$  sebagai  $9.81 \text{ m/s}^2$ .*

- (i) Tentukan tekanan kebezaan  $\Delta P$  ( $= P_1 - P_2$ ) jika perbezaan paras merkuri dalam kedua-dua lengan manometer ialah 80 mm.**
- (ii) Kira semula tekanan kebezaan  $\Delta P$  dalam bahagian (i) jika ketumpatan cecair di dalam paip diabaikan. Seterusnya, kira peratus ralat (%) dalam tekanan kebezaan jika ketumpatan cecair tersebut diabaikan.**
- (iii) Cadangkan DUA(2) kaedah untuk meningkatkan kepekaan manometer tersebut.**



(60 marks/markah)

- [c] **State the law of intermediate temperature used for thermocouples.**

**A type K thermocouple is used for measuring the temperatures in an air conditioning unit. The reference junction temperature is  $20.5^{\circ}\text{C}$ . If the e.m.f. output given by the thermocouple is  $2.265\text{ mV}$ , determine the corresponding temperatures in the air conditioning unit. The data for type K thermocouple is given in Table Q5[c].**

*Nyatakan hukum suhu perantaraan yang digunakan untuk pengganding suhu.*

*Pengganding suhu jenis K digunakan untuk mengukur suhu di dalam sebuah unit penyamanan udara. Suhu simpang rujukan ialah  $20.5^{\circ}\text{C}$ . Jika d.g.e. keluaran yang diberikan oleh pengganding suhu ialah  $2.265\text{ mV}$ , tentukan suhu di dalam sistem penyamanan udara tersebut. Data untuk pengganding suhu jenis K diberikan dalam Jadual S5[c].*

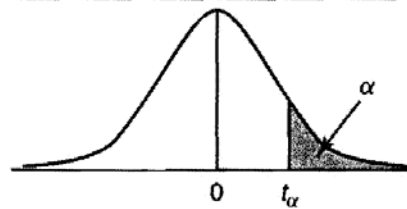
(30 marks/markah)

**Table Q5[c]**  
*Jadual S5[c]*

**Voltage (mV) versus temperature for type K  
thermocouple having reference junction at 0°C**

°C	Type K				
	0	5	10	15	20
-200	-5.891	-5.813	-5.730	-5.642	-5.550
-175	-5.454	-5.354	-5.250	-5.141	-5.029
-150	-4.913	-4.793	-4.669	-4.542	-4.411
-125	-4.276	-4.138	-3.997	-3.852	-3.705
-100	-3.554	-3.400	-3.243	-3.083	-2.920
-75	-2.755	-2.587	-2.416	-2.243	-2.067
-50	-1.889	-1.709	-1.527	-1.343	-1.156
-25	-0.968	-0.778	-0.586	-0.392	-0.197
0	0.000	0.198	0.397	0.597	0.798
25	1.000	1.203	1.407	1.612	1.817
50	2.023	2.230	2.437	2.644	2.851
75	3.059	3.267	3.474	3.682	3.889
100	4.096	4.303	4.509	4.715	4.920
125	5.124	5.328	5.532	5.735	5.937
150	6.138	6.340	6.540	6.741	6.941
175	7.140	7.340	7.540	7.739	7.939

-oooOOooo-

**Appendix A/Lampiran A**Student's  $t$ -Distribution (Values of  $t_{\alpha, \nu}$ )

$\nu$	$t_{0.10, \nu}$	$t_{0.05, \nu}$	$t_{0.025, \nu}$	$t_{0.01, \nu}$	$t_{0.005, \nu}$	$\nu$
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	1
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	2
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	3
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	4
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	6
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	7
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	8
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	9
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	10
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	11
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	12
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	13
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	14
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	15
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	16
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	17
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	18
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	19
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	20
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	21
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	22
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	23
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	24
25	1.316	1.798	2.060	2.485	2.787	25
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	26
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	27
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	28
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	29
$\infty$	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	$\infty$