
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

First Semester Examination
Academic Session 2015/2016

December 2015/January 2016

EMC 201 – Measurement & Instrumentation
[Pengukuran & Peralatan]

Duration: 3 hours
Masa: 3 jam

Please check that this paper contains **TWELVE** printed pages, **TWO** page Appendix and **FIVE** questions before you begin the examination.

*[sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **DUA BELAS** mukasurat beserta **DUA** mukasurat Lampiran dan **LIMA** soalan yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan.]*

Appendix/Lampiran:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------|
| 1. Type K Thermocouples | [1page/mukasurat] |
| 2. Student's <i>t</i> -Distribution | [1page/mukasurat] |

INSTRUCTIONS : Answer **ALL** questions.

*[ARAHAN : Jawab **SEMUA** soalan.]*

Answer Questions In English OR Bahasa Malaysia.

[Jawab soalan dalam Bahasa Inggeris ATAU Bahasa Malaysia.]

Answer to each question must begin from a new page.

[Jawapan bagi 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] What is calibration? Explain single-point calibration and multi-point calibration.**

Apakah penentukuran? Terangkan penentukuran satu-titik dan penentukuran pelbagai-titik.

(25 marks/markah)

- [b] Give TWO (2) sources of systematic errors and TWO (2) sources of random error.**

Berikan DUA (2) punca ralat sistematik dan DUA (2) punca ralat rawak.

(20 marks/markah)

- [c] Experiments on viscosity of fluid were conducted in a laboratory for two different specimens. Five fluid samples of each specimen were tested. The results are shown in Table Q1[c].**

Ujikaji ke atas kelikatan cecair telah dijalankan di dalam makmal untuk dua spesimen yang berbeza. Lima sampel cecair daripada setiap spesimen diuji. Keputusan adalah seperti ditunjukkan dalam Jadual S1[c].

Table Q1[c]

Jadual S1[c]

Viscosity (Dimensionless)

<i>Sample No.</i>	<i>Specimen A</i>	<i>Specimen B</i>
1	48	50
2	73	70
3	55	54
4	43	46
5	50	48
6	60	61
7	64	47
8	57	58
9	49	55
10	51	53

Determine the 99% confidence interval for the true mean for each specimen. Comment on the difference in the confidence interval for both specimens.

Tentukan tahap keyakinan 99% bagi min sebenar bagi setiap spesimen. Ulaskan mengenai perbezaan dalam selang keyakinan untuk kedua-dua spesimen.

(55 marks/markah)

- Q2. [a] Signals from measurement are usually obtained in time-series and the frequency composition of a signal can be obtained using the Fourier series as represented in the equation below

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

The following function is given

$$f(x) = \begin{cases} 0, & -\pi \leq x < 0 \\ \pi, & 0 \leq x \leq \pi \end{cases}$$

- (i) Sketch the function above
- (ii) Determine the first THREE Fourier coefficients
- (iii) Write the Fourier series of the above function

Kebanyakan isyarat daripada pengukuran diperolehi di dalam siri masa dan komposisi frekuensi isyarat tersebut boleh ditentukan dengan menggunakan siri Fourier seperti ditunjukkan di bawah:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{n\pi x}{L}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right)$$

Fungsi berikut diberikan

$$f(x) = \begin{cases} 0, & -\pi \leq x < 0 \\ \pi, & 0 \leq x \leq \pi \end{cases}$$

- (i) *Lakarkan fungsi tersebut*
- (ii) *Tentukan TIGA pekali pertama Fourier untuk fungsi tersebut*
- (iii) *Tuliskan siri Fourier tersebut*

(30 marks/markah)

- [b] Elaborate on the importance of Fourier series in the analysis of the measured signals and explain how the frequency components of the signal can be used to solve problems in particular those related to maintainance of machines.**

Huraikan kepentingan siri Fourier di dalam analisis isyarat pengukuran dan jelaskan bagaimana komponen frekuensi di dalam isyarat ini boleh membantu menyelesaikan masalah terutama yang berkaitan dengan penyelenggaraan mesin.

(30 marks/markah)

- [c] Figure 3[c] below shows the response of thermometer reading which is taken from 5 degree Celcius and soaked into a 75 degree Celcius bath. Assume the thermocouple can be modeled as first order system. From the experimental result shown in the figure determine the (i) time constant and (ii) based on the time constant calculated comment on the suitability of the thermometer to be used in the measurement of a dynamic process where the temperature is cyclical with a period of 5 seconds.**

Rajah 3[c] di bawah menunjukkan bacaan jangkasuhu yang diambil pada permulaan suhu 5 darjah Celcius yang kemudiannya direndam di dalam takungan bersuhu 75 darjah Celcius. Andaikan jangkasuhu tersebut boleh dimodelkan sebagai sistem peringkat pertama. Berdasarkan keputusan ujikaji yang ditunjukkan di dalam rajah tersebut tentukan (i) pemalar masa (ii) berdasarkan pemalar masa yang dikira berikan ulasan tentang kesesuaian jangkasuhu tersebut untuk digunakan di dalam pengukuran satu proses dinamik di mana suhu berubah dengan kitaran 5 saat.

Large Step Input Thermocouple Dynamic Calibration in Water

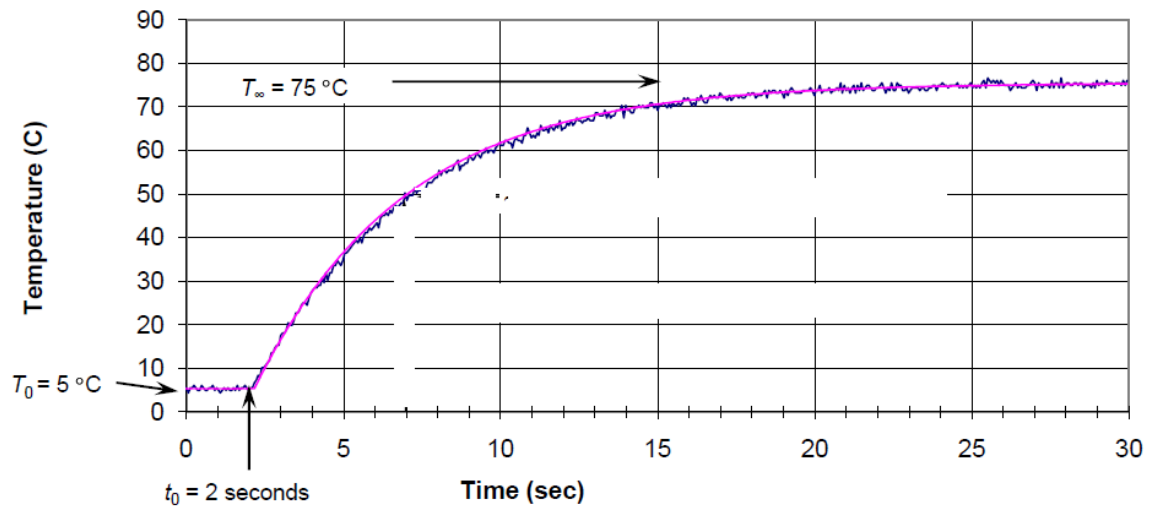


Figure 3[c]

Rajah 3[c]

(40 marks/markah)

- Q3. [a] A configuration of a capacitive sensor to detect displacement in a parallel direction is shown in Figure Q3[a]. The sensor consists of two parallel 12-mm-square plates separated by a distance of 0.2 mm. Given that the permittivity of free space is 8.85 pF/m and the dielectric constant of medium between plates is 1,

Satu konfigurasi penderia kapasitif digunakan untuk mengesan anjakan dalam arah selari seperti yang ditunjukkan dalam Rajah S3[a]. Penderia ini terdiri daripada dua plat 12-mm-persegi yang selari dan dipisahkan oleh jarak 0.2 mm. Diberi ketelusan ruang bebas sebagai 8.85 pF/m dan pemalar dielektrik medium antara plat ialah 1,

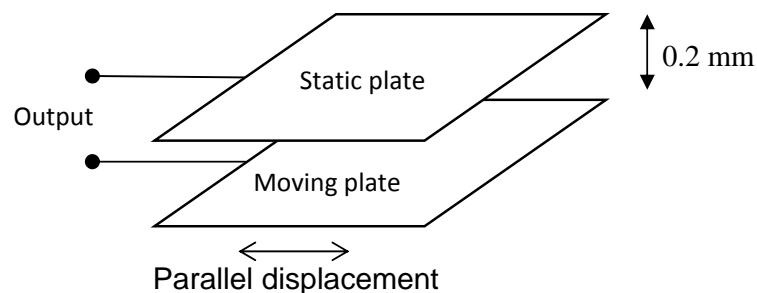


Figure Q3[a]

Rajah Q3[a]

- [i] estimate the sensitivity of the capacitive sensor of this configuration in pF/mm.

Anggarkan sensitiviti penderia kapasitif berkonfigurasi ini dalam pF/mm.

(15 marks/markah)

- [ii] calculate the rate of change in capacitance if the moving plate is moved with a speed of 0.05 mm/s to the left.

Kirakan kadar perubahan kapasitans jika plat yang bergerak digerakkan dengan kelajuan 0.05 mm/s ke kiri.

(15 marks/markah)

- [iii] give ONE (1) suggestion to improve the sensitivity of this configuration.

Berikan SATU (1) cadangan untuk meningkatkan sensitiviti konfigurasi ini.

(5 marks/markah)

- [b] Consider the voltage dividing circuit shown in Figure Q3[b]. The parameters of the circuit are: $E_i = 10\text{ V}$, $R_T = R_1 + R_2 = 500\ \Omega$ and $R_1 = kR_T$, R_m is $10000\ \Omega$, $k = 0.5$.

Pertimbangkan litar pembahagi voltan yang ditunjukkan dalam Rajah S3[b]. Parameter-parameter litar ini ialah: $E_i = 10\text{ V}$, $R_T = R_1 + R_2 = 500\ \Omega$ dan $R_1 = kR_T$, R_m adalah $10000\ \Omega$, $k = 0.5$.

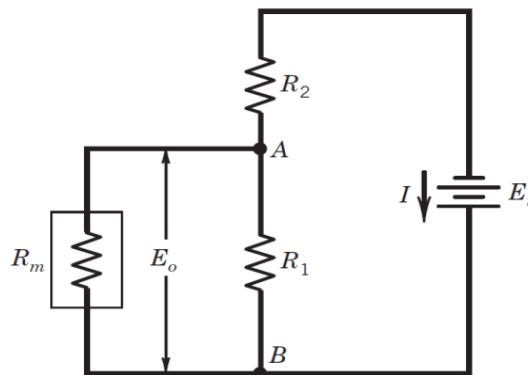


Figure Q3[b]

Rajah Q3[b]

- [i] Determine the loading error as a percentage of the full scale voltage output.**

Tentukan ralat muatan dalam litar ini sebagai peratusan daripada voltan keluaran skala penuh.

(25 marks/markah)

- [ii] Determine a minimum value of R_m so that the loading error can be minimized to less than 0.1% of the full scale voltage output. Justify your answer mathematically.**

Tentukan nilai minimum R_m supaya ralat muatan itu boleh dikurangkan kurang daripada 0.1% daripada voltan keluaran skala penuh. Jelaskan jawapan anda secara matematik.

(15 marks/markah)

- [c] A temperature sensor produces a time varying signal between -7.5 to 7.5 mV. The signal is fed to an amplifier with programmable gains of 5, 10, 50, 100, 500 or 1000 before it is fed to an 8-bit A/D converter with an input range of ± 5 V.**

Satu penderia suhu menghasilkan isyarat berubah dengan masa antara -7.5 hingga 7.5 mV. Isyarat ini dihantar kepada satu penguat yang gandaannya boleh diprogramkan sebagai 5, 10, 50, 100, 500 atau 1000 sebelum dihantar kepada satu penukar A / D 8-bit dengan julat masukan ± 5 V.

- [i] Given that the quantization error of the converter can be estimated as ± 0.5 LSB (lowest significant bit), determine the quantization error of the converter.**

Diberi bahawa ralat pengkuantuman penukar ini boleh dianggarkan sebagai ± 0.5 LSB (bit signifikan terendah), tentukan ralat pengkuantuman penukar.

(10 marks/markah)

- [ii] Select an appropriate gain for the amplifier so that the quantization error (as a percentage of input voltage from the sensor) is minimum. Prove your selection using appropriate calculation.**

Pilih gandaan yang sesuai untuk penguat supaya ralat pengkuantuman (sebagai peratusan daripada voltan masukan daripada penerima) adalah minimum. Buktikan pilihan anda dengan pengiraan yang sesuai.

(15 marks/markah)

- Q4. [a] Explain why the simple ballast circuit is unsuitable for strain measurement.**

Terangkan kenapa litar balast ringkas tidak sesuai untuk pengukuran terikan.

(5 marks/markah)

- [b] The resistance bridge circuit shown in Figure Q4[b] was used for the measurement of strain in a mechanically loaded structure. A strain gage with a nominal resistance of 500 Ω and a gage factor of 2.0 was attached to the structure and formed one arm of the bridge circuit. The resistances in all the remaining three arms of the bridge were selected so that they are all equal to the nominal resistance of the strain gage, i.e. 500 Ω .**

Litar tetimbang rintangan yang ditunjukkan dalam Rajah S4[b] digunakan untuk mengukur terikan dalam struktur yang dikenakan beban mekanik. Suatu tolok terikan dengan rintangan nominal 500 Ω dan faktor tolok 2.0 dipasangkan kepada struktur tersebut dan membentuk salah satu daripada lengan litar tetimbang tersebut. Rintangan dalam tiga lengan yang lain dipilih supaya semuanya sama dengan rintangan nominal tolok terikan, iaitu 500 Ω .

- [i] Using the principle of the voltage divider, show that the output voltage e_o is given by**

Dengan menggunakan prinsip pembahagi voltan, tunjukkan bahawa voltan keluaran e_o diberikan oleh

$$e_o = \frac{\epsilon F}{4 + 2\epsilon F} e_i$$

where ϵ is the strain on the loaded structure, F is the gage factor and e_i is the input voltage.

di mana ϵ ialah terikan pada struktur, F ialah faktor tolok dan e_i ialah voltan input.

- [ii] **If the input voltage is 10 V while the output voltage of the circuit is 10 mV, determine the strain in the structure.**

Jika voltan masukan ialah 10 V manakala voltan keluaran litar ialah 10 mV, tentukan terikan di dalam struktur tersebut.

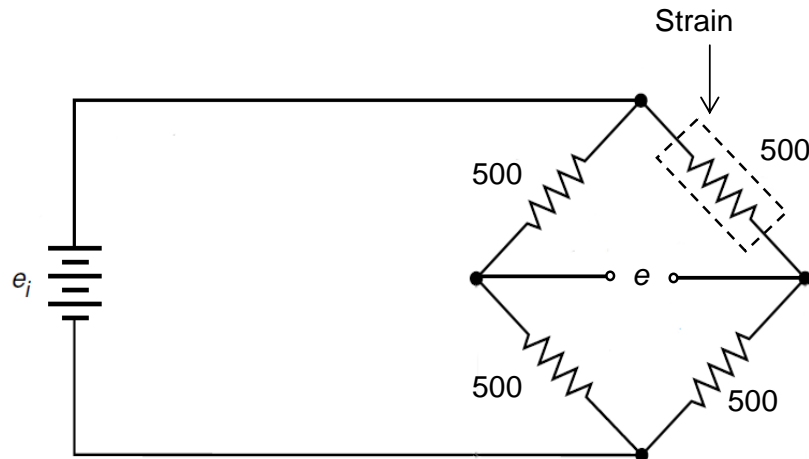


Figure Q4[b]

Rajah S4[b]

(45 marks/markah)

- [c] **What is meant by ‘Seebeck e.m.f’?**

Figure Q4[c] shows a type-K thermocouple circuit. The copper extension wires connect the thermocouples to the meter. The extension wire junctions are at same temperature as the reference temperature.

Apakah yang dimaksudkan dengan ‘d.g.e. Seebeck’?

Rajah S4[c] menunjukkan litar pengganding suhu jenis-K. Wayar penyambung tembaga menyambung pengganding suhu kepada meter. Simpan wayar penyambung berada pada suhu yang sama dengan suhu rujukan.

- [i] **Using the Seebeck effect or otherwise, show that the output voltage E is not affected by the presence of the copper extension wires.**

Dengan menggunakan kesan Seebeck atau cara lain, tunjukkan bahawa voltan output E tidak dipengaruhi oleh kewujudan wayar-wayar penyambung tembaga.

- [ii] What is the output voltage E if the measuring temperature $T_m = 180^\circ\text{C}$ and the reference temperature $T_{ref} = 0^\circ\text{C}$?

Apakah voltan output E jika suhu mengukur $T_m = 180^\circ\text{C}$ dan suhu rujukan $T_{ref} = 0^\circ\text{C}$?

- [iii] Determine the measuring temperature if the output voltage is 3.16 mV when the reference temperature is 25°C .

Tentukan suhu mengukur jika voltan output ialah 3.16 mV apabila suhu rujukan ialah 25°C .

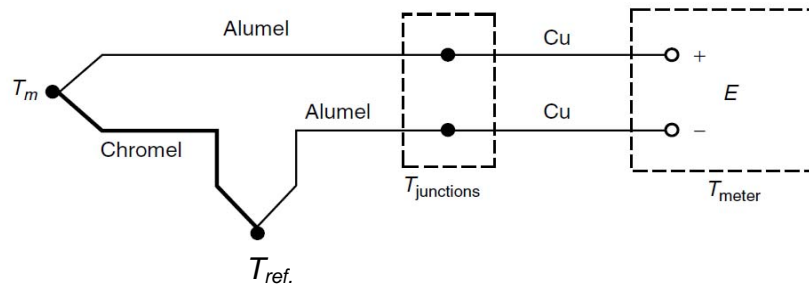


Figure Q4[c]
Rajah S4[c]

(50 marks/markah)

- Q5. [a] State TWO(2) limitations of a manometer as a pressure measurement instrument. How can the sensitivity of the manometer be increased?**

Nyatakan DUA(2) kelemahan yang terdapat pada manometer sebagai alat pengukuran tekanan. Bagaimanakah kepekaan sebuah manometer boleh ditingkatkan?

(10 marks/markah)

- [b] Figure Q5[b] shows a well-type of manometer in which the measuring arm is inclined at an angle θ to the horizontal.**

Rajah S5[b] menunjukkan manometer jenis telaga di mana lengan mengukur condong pada sudut θ kepada satah mendatar.

- [i] Show that the sensitivity S of the manometer is given by**

Tunjukkan bahawa kepekaan S manometer tersebut diberikan oleh

$$S = \frac{L}{\Delta P} = \frac{1}{\rho_m g \sin \theta}$$

where L is the length of the liquid in the inclined tube and ΔP is the differential pressure $P_1 - P_2$.

di mana L ialah panjang cecair di dalam lengan condong dan ΔP ialah tekanan kebezaan $P_1 - P_2$.

- [ii] Determine the % change in the sensitivity if the manometer liquid is changed from water (density 998 kg/m^3) to oil ($\rho = 780 \text{ kg/m}^3$). Does the sensitivity increase or decrease?

Tentukan % perubahan kepekaan jika cecair manometer ditukar daripada air (ketumpatan 998 kg/m^3) kepada minyak ($\rho = 780 \text{ kg/m}^3$). Adakah kepekaan bertambah atau berkurang?

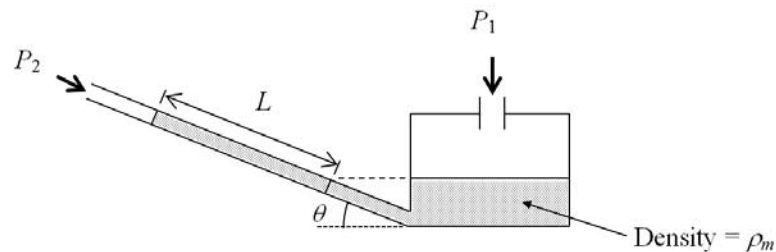


Figure Q5[b]
Rajah S5[b]

(40 marks/markah)

- [c] Name the THREE(3) obstruction-type flow meters used in flow measurement. Which of these have the lowest overall pressure drop? Explain.

Namakan TIGA(3) meter aliran jenis halangan yang digunakan untuk mengukur aliran? Manakah daripada meter tersebut yang mempunyai susutan tekanan keseluruhan yang paling rendah? Terangkan.

(10 marks/markah)

- [d] Figure Q5[d] shows a pitot-static tube used to measure flow rate of oil in a pipeline. If the cross-sectional area of the pipe is A , show that the flow rate is given by

Rajah S5[d] menunjukkan tiub pitot-statik yang digunakan untuk mengukur kadar aliran minyak di dalam paip. Jika luas keratan rentas paip ialah A , tunjukkan bahawa kadar aliran diberikan oleh

$$Q = A \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

where ΔP is the difference between the total and static pressure and ρ is the density of the liquid. State any assumptions made.

di mana ΔP ialah perbezaan tekanan antara tekanan total dan tekanan static dan ρ ialah ketumpatan cecair. Nyatakan sebarang andaian yang dibuat.

Given the following data, determine the flow rate:

Diberikan data berikut, tentukan kadar aliran:

Pipe diameter = 20 cm

Diameter paip = 20 cm

Liquid density = 780 kg/m³

Ketumpatan cecair = 780 kg/m³

Differential pressure = 2 MPa

Tekanan kebezaan = 2 MPa

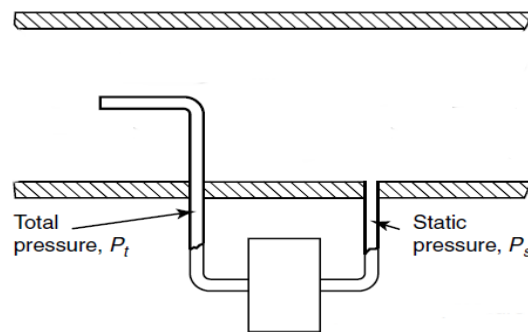


Figure Q5[d]

Rajah S5[d]

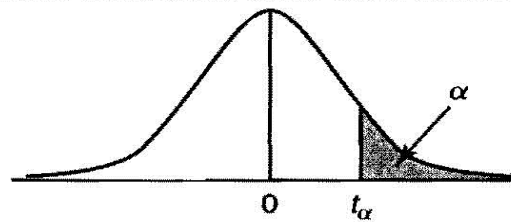
(40 marks/markah)

APPENDIX/LAMPIRAN

Output voltage (millivolts) versus Measuring Temperature for Type K Thermocouples
Having Reference Junctions 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
200	8.139	8.338	8.539	8.739	8.940
225	9.141	9.343	9.545	9.747	9.950
250	10.153	10.357	10.561	10.766	10.971
275	11.176	11.382	11.588	11.795	12.002
300	12.209	12.416	12.624	12.832	13.040
325	13.248	13.457	13.665	13.875	14.084
350	14.293	14.503	14.713	14.923	15.133
375	15.343	15.554	15.764	15.975	16.186

APPENDIX/LAMPIRAN

Student's t -Distribution (Values of $t_{\alpha, \nu}$)

ν	$t_{0.10, \nu}$	$t_{0.05, \nu}$	$t_{0.025, \nu}$	$t_{0.01, \nu}$	$t_{0.005, \nu}$	ν
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	1.708	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
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	∞