

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 1995/96

Oktober/November

EKC 335 - Dinamik dan Kawalan Proses

Masa: [3 jam]

ARAHAN KEPADA CALON:

Sila pastikan kertas soalan ini mengandungi **SEBELAS (11)** muka surat dan **TIGA (3)** lampiran bercetak sebelum anda mula menjawab soalan.

Kertas ini mengandungi **ENAM (6)** soalan.

Jawab mana-mana **EMPAT (4)** soalan.

Anda dimestikan menjawab **SATU** soalan dalam **Bahasa Malaysia** dan anda dibenarkan menjawab soalan-soalan lain dalam **Bahasa Inggeris**.

Soalan terjemahan Bahasa Inggeris ditaip dalam bentuk tulisan **Italic**.

Kesemua soalan mengandungi jumlah markah yang sama iaitu 25 markah

1. Cadangkan alatan yang sesuai untuk mengukur proses di bawah. Peralatan yang dicadangkan mesti mempunyai kemampuan untuk digunakan sebagai sebahagian daripada sistem kawalan teragih. Jelaskan pilihan anda dengan ringkas dan lakarkan gambarajah skema alatan dan tandakan bahagian-bahagian yang penting.

For the following process measurements suggest a suitable instrument. In all applications the instrument suggested by you should be capable of being used as a part of a distributed control system. Justify your choice very briefly and draw a schematic of the instrument and mark the important parts.

- [a] Air pada kadar aliran nominal 100 l/min digunakan sebagai media penyejuk di dalam penukar haba.
Water at a nominal flow rate of 100 l/min used as cooling medium in a heat exchanger.

(4 markah)

- [b] Buburan arangbatu-air (ampaian pepejal di dalam cecair) mengalir melalui talian paip.
A coal-water slurry (suspension of solid in liquid) flowing through a pipe line.

(4 markah)

- [c] Suhu yang mempunyai nilai nominal 500°C di dalam relau pemulih.
A temperature having a nominal value of 500°C in a reformer furnace.

(4 markah)

- [d] pH aliran kumbahan di dalam loji rawatan air.
pH of an effluent stream in a water treatment plant.

(4 markah)

- [e] Kepekatan oksigen di udara ke penapai.
Concentration of oxygen in the air supplied to a fermentor.

(4 markah)

- [f] Kepekatan CO_2 di dalam aliran gas serombong (gas serombong ialah gas-gas selepas pembakaran, ($\text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} +$ kesan-kesan gas keluar daripada relau).

Concentration of CO_2 in a flue gas stream (flue gas is the gases after combustion, $\text{N}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O} +$ trace gases coming out from a furnace).

(5 markah)

2. [a] Sebuah manometer tiub condong menggunakan cecair bergraviti tentu 1.4. Jika sudut kecondongan daripada datar ialah 30° , apakah kepekaan manometer tersebut.

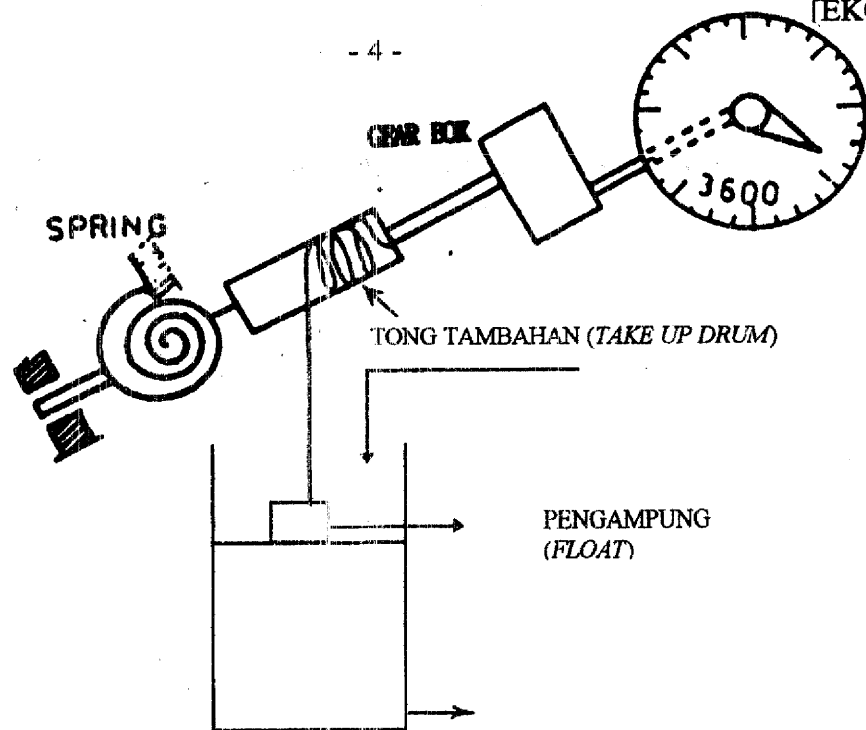
An inclined tube manometer uses liquid of specific gravity 1.4. If the angle of inclination from horizontal is 30° what is the sensitivity of the manometer.

(8 markah)

- [b] Satu peranti pengukur aras (Rajah 1) terdiri daripada sebuah pelampung yang disambungkan ke satu penunjuk bergerak skala bulat melalui sebuah kotak gear yang mempunyai nisbah 15. Kabel pengapung dililitkan ke sebuah tong berdiameter 12 cm. Perubahan aras maksimum ialah $\pm 2\text{m}$ dari aras min. Penunjuk boleh melalui sudut 360° lengkap. Jika kita boleh membaca sehingga sudut 1° , apakah peleraian alatan.

A level measuring device (Fig. 1) consists of a float connected to a pointer moving on a circular scale through a gear box of ratio 15. The float cable is wound on a drum of diameter 12cm. The maximum level change is $\pm 2\text{ m}$ from the mean level. The pointer can traverse the complete 360° angle. If we can read to 1° angle what is the instrument resolution.

(9 markah)



Rajah 1

- [c] Satu ujian telah dibuat ke atas sebuah pengganding suhu seperti berikut. Ia disimpan pada suhu bilik dan dengan tiba-tiba dimasukkan ke dalam mandian ujian dan suhu dicatat.

A test is made on a thermocouple as follows. It is kept at room temperature and suddenly plunged into a test bath and the temperature noted.

Masa s (Time, s)	0	1	2.5	5	8	10
Suhu, °C (Temperature, °C)	24	42	60	96	118	139
Masa, s (Time, s)	15	30				
Suhu, °C (Temperature, °C)	165	196				

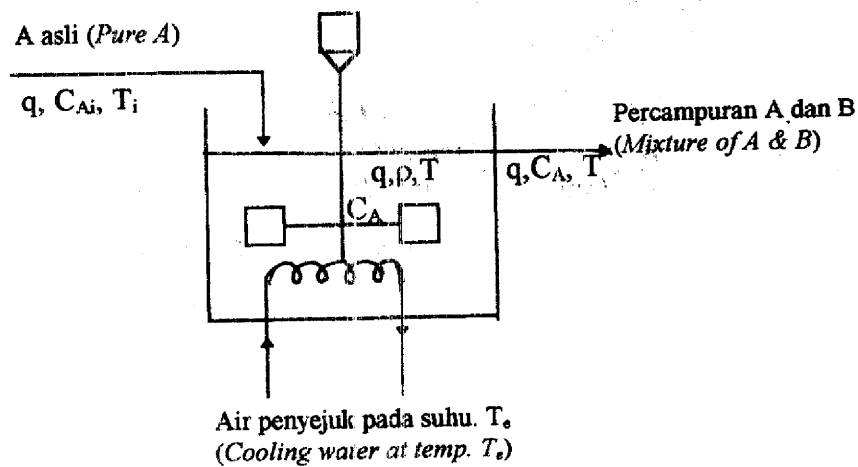
Tentukan pemalar masa bagi pengganding suhu tersebut.
Determine the time constant of the thermocouple.

(8 markah)

3. Pertimbangkan satu tindakbalas kimia luahan haba tak boleh balik tertib pertama di mana spesies kimia A bertindak membina spesies B.
Consider a simple first-order irreversible exothermic Chemical reaction where chemical species A reacts to form species B.



Penyejukan dilakukan dengan mengalirkan air penyejuk melalui gegelung penyejuk.
The cooling is done by passing cooling water through the cooling coil.



Rajah 2

- [a] Terbitkan model keadaan tak mantap bagi sistem tersebut. (Andaikan kadar tindakbalas setiap unit isipadu sebagai $r_A = K_o e^{-E/RT} C_A$) Nyatakan semua andaian.
Derive unsteady state model of the system (Assume the rate of reaction per unit volume as $r_A = K_o e^{-E/RT} C_A$). State all the assumptions.

(9 markah)

- [b] Kenal pasti semua pembolehubah dalam tindakbalas. Jalankan analisis darjah kebebasan dan pastikan model itu ditakrifkan dengan sempurna.
Identify all the of variables of the process. Carry out Degree of Freedom analysis and check that the model is properly defined.

(4 markah)

- [c] Andaikan keadaan sesuhu (suhu reaktor: 80°C), tentukan pemalar masa dan gandaan keadaan mantap model tertib pertama dan sambutan dinamik alur keluar reaktor, untuk pertukaran peringkat dalam C_A yang diberi oleh:

Assuming isothermal condition (Reactor temperature : 80°C), determine the time constant and steady state gain of the first order model and the dynamic response of the reactor outlet, for step change in C_{Ai} given by,

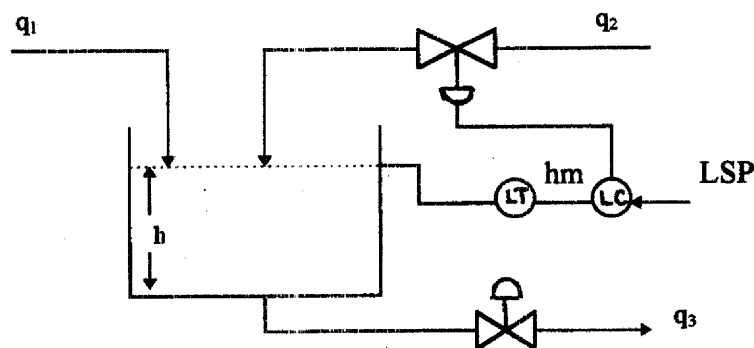
$$\begin{aligned} C_{Ai} &= C_{Ai} \quad t < 0 \\ C_{Ai} &= 2C_{Ai} \quad t \geq 0 \end{aligned}$$

Data di bawah boleh digunakan:
The following data apply:

$$\begin{aligned} \text{Isipadu reaktor (Vol. of the reactor)} &= 4\text{m}^3 \\ \text{Kadar aliran (Flow rate)} &= 2\text{m}^3/\text{min} \\ C_{Ai} \text{ (mula) } (C_{Ai} \text{ (initial)}) &= 1\text{kg mol/m}^3 \\ K &= 2.4 \times 10^{25} \exp\left(\frac{-20000}{T}\right) \text{min}^{-1} \\ T &= ^{\circ}\text{K} \end{aligned}$$

(12 markah)

4. Satu sistem kawalan aras cecair ditunjukkan di bawah:
A liquid level control system is shown below:



Rajah 3

Persamaan keseimbangan jisim keadaan tak mantap dalam bentuk pembolehubah sisihan ditunjukkan oleh:

The unsteady state mass balance equation in terms of deviation variables is represented by:

$$A \frac{dh'}{dt} = q_1' + q_2' - \frac{h'}{R} \quad \text{dimana } R \text{ adalah rintangan injap (valve resistance).}$$

- [a] Terbitkan fungsi pindah bagi sistem tersebut.
Derive the transfer functions of the system.

(3 markah)

- [b] Penghantar aras dan injap kawalan mempunyai dinamik yang boleh diabaikan dan fungsi pindah sepadan diberi oleh $G_m(s) = K_m$ dan $G_v(s) = K_v$. Pengawal berkadaran elektronik digunakan. Gandaan penukar I/P diberi oleh $G_{IP}(s) = K_{IP}$. Lakur gambarajah blok untuk sistem gelung tertutup yang menunjukkan semua fungsi pindah dan pembolehubah yang berlainan menggunakan unit-unit yang betul.

The level transmitter and control valve have negligible dynamics and the corresponding transfer functions are given by $G_m(s) = K_m$ and $G_v(s) = K_v$. An electronic proportional controller is used. The I/P converter gain is given by $G_{IP}(s) = K_{IP}$. Draw the block diagram for the closed loop system showing all the transfer functions and different variables with proper units.

(5 markah)

- [c] Daripada gambarajah blok dalam [b], terbitkan ungkapan untuk fungsi pindah gelung tertutup untuk perubahan titik set (fungsi pindah servo) dan perubahan beban (fungsi pindah pengatur).

From the block diagram in [b] derive the expression for closed loop transfer functions for set point changes (servo transfer function) and load changes (Regulator transfer function).

(7 markah)

- [d] Tentukan sambutan gelung tertutup h yang disebabkan oleh penukaran peringkat magnitud M dalam titik set, dan tentukan ofsetnya. Data di bawah boleh didapati:

Determine the closed loop of response h due to a step change of magnitude M in the setpoint, and determine the offset. The following data are available.

$$A = 0.785 \text{ m}^2, R = 6.4 \text{ min/m}^2$$

$$\text{Pemalar masa proses (Process time constant)} = RA = 5 \text{ min}$$

$$K_m = 16 \text{ mA/m}$$

$$K_v = 0.0103 \text{ m}^3/\text{min.psi}$$

$$K_{IP} = 0.75 \text{ psi/mA}$$

$$M \text{ tukar peringkat (Step change)} = 0.1 \text{ m}$$

$$K_c = 5$$

$$q_1, q_2 \text{ pada keadaan mantap (at steady state)} = 3 \text{ m}^3/\text{min}$$

(10 markah)

5. [a] Sistem tertib tinggi boleh dianggarkan oleh model tertib pertama dan model lengah-masa

Higher order system can be approximated by a first-order plus time-delay model

$$G(s) = \frac{K \exp(-\theta s)}{Ts + 1}$$

Untuk menentukan parameter-parameter ini, pengawal di dalam sistem kawalan suapan balik telah diletakkan dalam mod manual dan keluaran injap pengawal ditukarkan dari 50% kepada 62.5%. Lengkungan tindakbalas proses yang diperolehi dalam carta perakam diberi dibawah:

To determine these parameters the controller in a feed back control system was put in manual mode and the control valve output changed from 50% to 62.5%. The resulting process reaction curve obtained in a recorder chart is given below.

Suhu °C (<i>Temp. °C</i>)	35	35	37	40	45	46.5	46.8	46.8
Jarak dilalui oleh carta, mm (<i>Distance traversed by the chart, mm</i>)	0	20	30	40	70	100	120	140

Maklumat dibawah diberi

The following information is available.

Gandaan penghantar (<i>Transmitter gain</i>)	$(K_m) = 0.16 \text{ mA/}^\circ\text{C}$
Gandaan perakam (<i>Recorder gain</i>)	$(K_r) = 6.25^\circ\text{C /mA}$
Gandaan penukar masukan/keluaran (<i>I/P converter gain</i>)	$(K_{IP}) = 0.75 \text{ psi/mA}$
Gandaan injap (<i>Valve gain</i>)	$(K_v) = 6.25\%/\text{mA}$
Kelajuan perakam (<i>Recorder speed</i>)	$= 2000 \text{ mm/hr}$

- [i] Lakarkan lengkungan tindakbalas proses dan tentukan parameter untuk model proses yang dianggarkan.

Draw the process reaction curve and determine the parameters for the approximate process model.

(10 markah)

- [ii] Tentukan penentu pengawal PID menggunakan kaedah penalaan Ziegler-Nichols (kaedah lengkungan tindakbalas proses).

Determine the PID controller settings using Ziegler-Nichols Tuning method (Process Reaction curve method).

Penentu Ziegler-Nichols dengan kaedah I
Ziegler-Nichols Settings by method I

$$K_c = \frac{1.2}{\theta \text{ s}}$$

$$\tau_i = 2\theta$$

$$\tau_D = 0.5\theta$$

(10 markah)

- [b] Ciri-ciri polinomial untuk sistem kawalan suapan balik di dalam domain Laplace diberi oleh $10s^3 + 20s^2 + 10s + 1 + K_c = 0$. Dengan menggunakan nilai tara kestabilan Routh, cari nilai K_c yang membuatkan sistem itu stabil.

The characteristic polynomial for a feed back control system in Laplace domain is given by $10s^3 + 20s^2 + 10s + 1 + K_c = 0$. Using Routh Stability Criteria find out the values of K_c that make the system stable.

(5 markah)

6. [a] Pemanas bakar terus untuk pemanasan minyak mentah dengan membakar gas loji penapis ditunjukkan di bawah. Lakarkan skema kawalan untuk sistem itu jika tekanan gas bahan api dan suhu masukan minyak mentah adalah pembolehubah beban penting. Skema apakah yang akan anda gunakan untuk mengawal aliran udara?

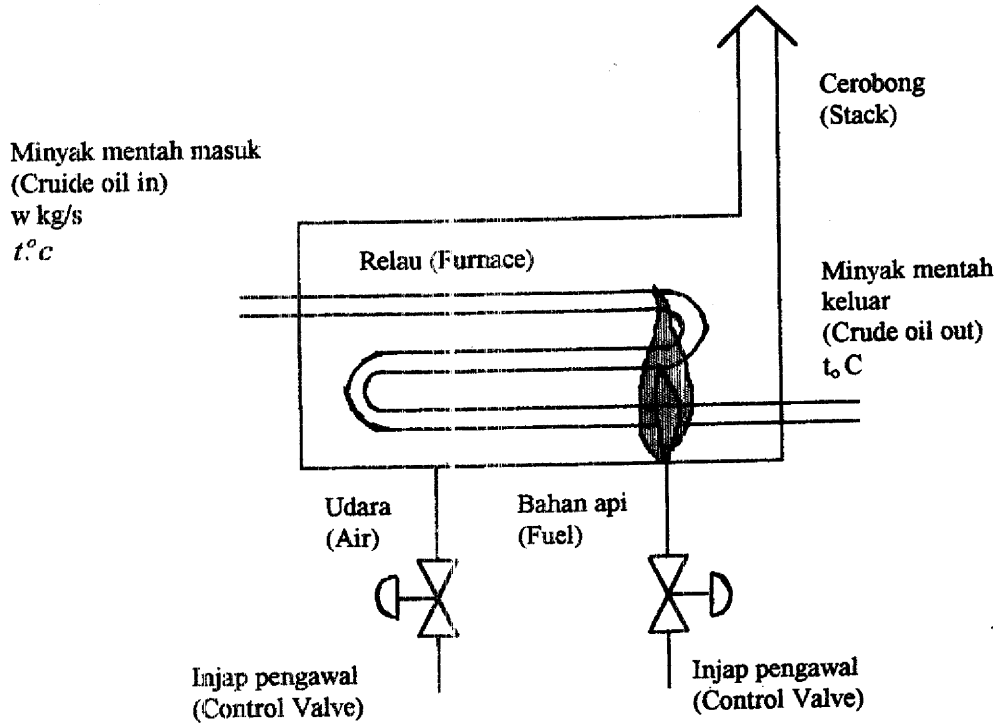
A direct fired heater for heating crude oil by firing refinery gases is shown in Figure 4. Draw control schematics for the system if fuel gas pressure and crude inlet temperature are important load variables. What schematic will you use for controlling air flow.

(16 markah)

- [b] Tuliskan nota pendek/ringkas tentang sistem kawalan teragih? Apakah senibina DSC/SPS? Apakah konsep Kawalan Proses Berhierarki?

Write a short note on distributed control systems? What is DSC/SPS architecture? What is the concept of Hierarchical Process control.

(9 markah)



Rajah 4

-0000000-

LAMPIRAN**Laplace Transforms for Various Time-Domain Functions**

	$f(t)$	$F(s)$
1.	$\delta(t)$ (unit impulse)	1
2.	$S(t)$ (unit step)	$\frac{1}{s}$
3.	t (ramp)	$\frac{1}{s^2}$
4.	t^{n-1}	$\frac{(n-1)!}{s^n}$
5.	e^{-bt}	$\frac{1}{s+b}$
6.	$\frac{1}{\tau} e^{-t/\tau}$	$\frac{1}{\tau s + 1}$
7.	$\frac{t^{n-1} e^{-bt}}{(n-1)!} (N > 0)$	$\frac{1}{(s+b)^n}$
8.	$\frac{1}{\tau^n (n-1)!} t^{n-1} e^{-t/\tau}$	$\frac{1}{(\tau s + 1)^n}$
9.	$\frac{1}{b_1 - b_2} (e^{-b_2 t} - e^{-b_1 t})$	$\frac{1}{(s+b_1)(s+b_2)}$
10.	$\frac{1}{\tau_1 - \tau_2} (e^{-t/\tau_1} - e^{-t/\tau_2})$	$\frac{1}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$
11.	$\frac{b_3 - b_1}{b_2 - b_1} e^{-b_1 t} + \frac{b_3 - b_2}{b_1 - b_2} e^{-b_2 t}$	$\frac{s + b_3}{(s+b_1)(s+b_2)}$
12.	$\frac{1}{\tau_1} \frac{\tau_1 - \tau_3}{\tau_1 - \tau_2} e^{-t/\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} \frac{\tau_2 - \tau_3}{\tau_2 - \tau_1} e^{-t/\tau_2}$	$\frac{\tau_3 s + 1}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$

13.	$1 - e^{-t/\tau}$		$\frac{1}{s(\tau s + 1)}$
14.	$\sin \omega t$		$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
15.	$\cos \omega t$		$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
16.	$\sin (\omega t + \phi)$		$\frac{\omega \cos \phi + s \sin \phi}{s^2 + \omega^2}$
17.	$e^{-bt} \sin \omega t$	b, ω real	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\omega}{(s+b)^2 + \omega^2} \\ \frac{s+b}{(s+b)^2 + \omega^2} \end{array} \right.$
18.	$e^{-bt} \cos \omega t$		
19.	$\frac{1}{\tau \sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi t/\tau} \sin(\sqrt{1-\xi^2} t/\tau)$ ($0 \leq \xi < 1$)		$\frac{1}{\tau^2 s^2 + 2\xi \tau s + 1}$
20.	$1 + \frac{1}{\tau_2 - \tau_1} (\tau_1 e^{-t/\tau_1} - \tau_2 e^{-t/\tau_2})$ ($\tau_1 \neq \tau_2$)		$\frac{1}{s(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$
21.	$1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\xi t/\tau} \sin[\sqrt{1-\xi^2} t/\tau + \psi]$ $\psi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}$ ($0 \leq \xi < 1$)		$\frac{1}{s(\tau^2 s^2 + 2\xi \tau s + 1)}$

22. $1 - e^{-t/\tau} [\cos(\sqrt{1-\xi^2} t / \tau) + \frac{\xi}{1-\xi^2} \sin(\sqrt{1-\xi^2} t / \tau)]$
 $(0 \leq |\xi| < 1)$ $\frac{1}{s(\tau^2 s^2 + 2\xi\tau s + 1)}$
23. $1 + \frac{\tau_3 - \tau_1}{\tau_1 - \tau_2} e^{-t/\tau_1} + \frac{\tau_3 - \tau_2}{\tau_2 - \tau_1} e^{-t/\tau_2}$
 $(\tau_1 \neq \tau_2)$ $\frac{\tau_3 s + 1}{s(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$
24. $\frac{df}{dt}$ $sF(s) - f(0)$
25. $\frac{d^n f}{dt^n}$ $s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - s^{n-2} f^{(1)}(0) - \dots - s f^{(n-2)}(0) - f^{(n-1)}(0)$