
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2008/2009 Academic Session
*Peperiksaan Semester Kedua
Sidang Akademik 2008/2009*

April/Mei 2009

ESA 322/3 – Structural Dynamics
Dinamik Struktur

Duration : 3 hours
[Masa : 3 jam]

INSTRUCTION TO CANDIDATES
ARAHAN KEPADA CALON

Please ensure that this paper contains **NINE(9)** printed pages and **FIVE (5)** questions before you begin examination.

*Sila pastikan bahawa kertas soalan ini mengandungi **SEMBILAN (9)** mukasurat bercetak dan **LIMA (5)** soalan sebelum anda memulakan peperiksaan.*

Answer **ALL** questions.
*Jawab **SEMUA** soalan.*

Student may answer the questions either in English or Bahasa Malaysia.
Pelajar boleh menjawab soalan dalam Bahasa Inggeris atau Bahasa Malaysia.

APPENDIX/LAMPIRAN

1. Appendix A/Lampiran A (1 page/mukasurat)

Each questions must begin from a new page.
Setiap soalan mestilah dimulakan pada mukasurat yang baru.

1. (a) A railroad car of mass 2000 kg travelling at a velocity 10 m/s is stopped at the end of the tracks by a spring-damper system, as shown in **Figure 1(a)**. The stiffness of the spring is 40 N/mm and the damping constant is 20 N-s/mm. The bumper of the car is modelled to have elastic stiffness of 60 N/mm and damping constant 30 Ns/mm, determine:

*Sebuah kepala keretapi berjisim 2000 kg yang bergerak dengan halaju 10 m/s dihentikan di hujung landasan oleh sebuah sistem spring-peredam seperti yang tertera di **Rajah 1(a)**. Kekakuan spring ialah 40 N/mm dan pekali redaman peredam 20 N-s/mm. Bumper kepala keretapi itu dianggap mempunyai kekakuan spring 60 N/mm dan pekali redaman peredam 30 N-s/mm, tentukan:*

- (i) Draw the free body diagram of the system when the car engages the spring-damper system and determine the equation of motion.

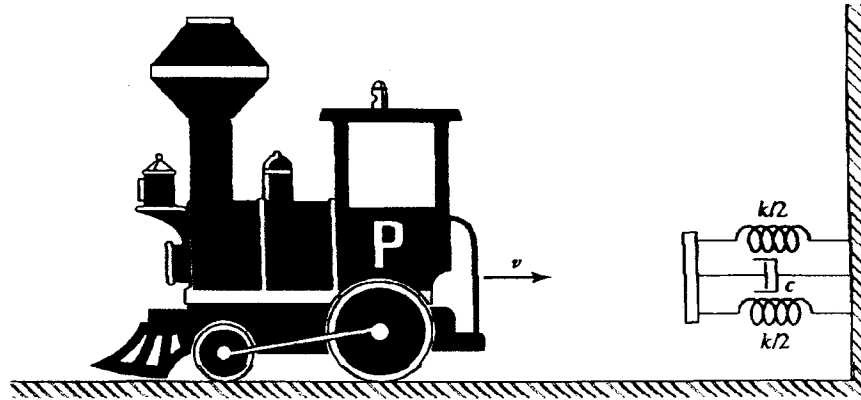
Lukis gambarajah jasad bebas sistem di atas ketika kepala keretapi melekat pada sistem spring-peredam dan tentukan persamaan pergerakan.

- (ii) Determine the maximum displacement of the car after engaging the springs and damper.

Tentukan anjakan maksima kepala keretapi itu selepas ia melekat pada spring dan peredam.

- (iii) You want to reduce the time to reach the maximum displacement by half. Show, by way of calculations, how to do this. State the final value(s) of any parameter(s) that should be modified.

Anda ingin mengurangkan masa yang diambil untuk sampai kepada anjakan maksima itu sebanyak setengah. Tunjukkan, dengan cara pengiraan, bagaimana ia ditentukan. Berikan nilai akhir bagi sebarang parameter yang perlu diubah.

**Figure 1(a)/Rajah 1(a)****(60 marks/markah)**

- (b) One of the tail rotor blades of a helicopter has an unbalanced mass m of 0.5 kg at a distance 0.15 m from the axis of rotation, as shown in **Figure 1(b)**. The tail section $A-B$ has a length of 4 m, a mass of 230 kg, and a flexural stiffness of 2.5 MN-m^2 . The mass of the tail rotor blades including their drive system is 30 kg.

*Salah satu bilah rotor ekor sebuah helikopter mempunyai jisim tak seimbang m 0.5 kg pada jarak 0.15 m dari paksi putaran, seperti yang tertera di dalam **Rajah 1(b)**. Bahagian ekor $A-B$ mempunyai panjang 4 m, jisim 230 kg, dan kekakuan lenturan 2.5 MN-m^2 . Jisim bilah-bilah rotor ekor itu termasuk sistem pemacu ialah 30 kg.*

- (i) Draw the free body diagram of the tail section specifying the equivalent spring stiffness k .

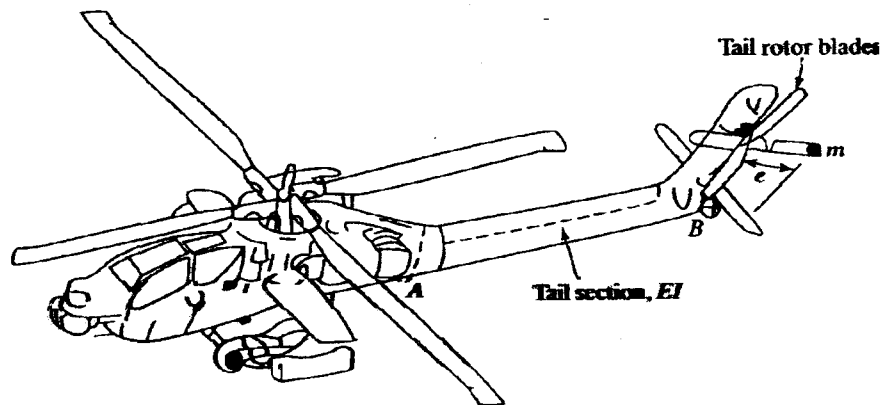
Lukis rajah badan bebas bahagian ekor itu dengan perincian kekakuan setara spring k .

- (ii) Derive the steady-state forced response of the tail section when the blades rotate at N rpm. Assume zero damping.

Terbitkan tindak balas mantap paksaan bahagian ekor itu jika bilah-bilah berputar pada N rpm. Andaikan tiada redaman.

- (iii) Determine the steady-state forced response of the tail section if $N = 1350$ for the case of damping ratio 0.02.

Tentukan tindak balas mantap paksaan bahagian ekor itu jika $N = 1350$ bagi kes nisbah redaman 0.02.

**Figure 1(b)/Rajah 1(b)****(40 marks/markah)**

2. (a) An off-shore oil rig is subjected to a harmonic sea waves described by acceleration, as shown in **Figure 2(a)**.

*Sebuah pelantar minyak luar pantai dikenakan ombak laut yang boleh dijelaskan dengan pecutan harmonik seperti yang tertera di dalam **Rajah 2(a)**.*

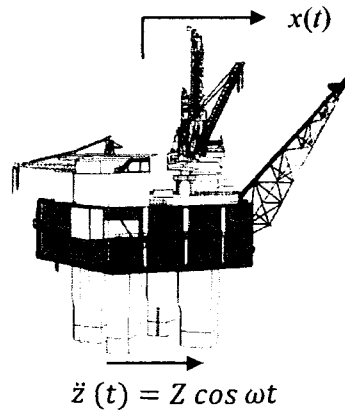
- (i) Determine the steady-state motion of the oil rig.

Tentukan pergerakan mantap pelantar.

- (ii) Determine the horizontal harmonic displacement of the rig when $Z = 50 \text{ m/s}^2$. Assume the mass of the rig is $1 \cdot 10^6 \text{ kg}$ and the equivalent stiffness of the columns as 90 MN/m ; $f = 1 \text{ Hz}$, and:
 $z(t = 0) = \dot{z}(t = 0) = x(t = 0) = \dot{x}(t = 0) = 0$.

Tentukan anjakan mengufuk harmonik lantai jika $Z = 50 \text{ mm/s}^2$. Andaikan jisim pelantar $1 \cdot 10^6 \text{ kg}$ dan kekakuan setara tiang-tiang 90 MN/m ; $f = 1 \text{ Hz}$, dan:

$$z(t = 0) = \dot{z}(t = 0) = x(t = 0) = \dot{x}(t = 0) = 0.$$

**Figure 2(a)/Rajah 2(a)****(40 marks/markah)**

- (b) The landing gear of an airplane can be idealized as the spring-mass-damper system. If the runway surface is described as $y(t) = y_0 \cos \omega t$,

Sebuah gear pendaratan bagi sebuah pesawat boleh dianggap sebagai sistem spring-jisim-peredam. Jika permukaan landasan diberikan sebagai $y(t) = y_0 \cos \omega t$.

- (i) Determine the values of spring stiffness k and damping coefficient c that limit the amplitude of vibration of the airplane (x) to 0.1 m. Assume mass $m = 10000$ kg, $y_0 = 0.2$ m, and $\omega = 150$ rad/s.

Tentukan nilai-nilai kekakuan spring k dan pekali redaman c yang menghadkan amplitud getaran kapal terbang (x) kepada 0.1 m. Andaikan $m = 10000$ kg, $y_0 = 0.2$ m and $\omega = 150$ rad/s.

- (ii) Prove, by way of calculation, that there exists a speed at which the damping constant has no effect on the amplitude of the vibration of the airplane.

Buktikan, dengan pengiraan, bahawa terdapat kelajuan di mana tiada nilai pekali redaman yang berkesan terhadap amplitud getaran pesawat.

- (iii) Determine the speed you prove in (ii) in km/h for the wavelength of 2 m for the runway.

Tentukan nilai kelajuan di dalam km/h bagi kelajuan yang anda buktikan di dalam (ii) bagi panjang gelombang landasan 2 m.

(60 marks/markah)

3. (a) The drilling machine shown in **Figure 3(a)** can be modeled as a two degree of freedom system as indicated in the figure. The bending stiffness of the column are given by:

$$k_{11} = \frac{768 EI}{7 l^3}; \quad k_{12} = k_{21} = -\frac{240 EI}{7 l^3}; \quad k_{22} = \frac{96 EI}{7 l^3};$$

*Sebuah mesin gerudi yang tertera di dalam **Rajah 3(a)** boleh dimodel sebagai sistem dua darjah kebebasan seperti yang ditunjukkan di dalam rajah itu. Kekakuan lentur tiang diberikan sebagai:*

$$k_{11} = \frac{768 EI}{7 l^3}; \quad k_{12} = k_{21} = -\frac{240 EI}{7 l^3}; \quad k_{22} = \frac{96 EI}{7 l^3};$$

- (i) Draw free body diagram of m_1 and m_2

Lukis rajah jasad bebas bagi m_1 dan m_2 .

Determine:

Tentukan:

- (ii) the stiffness matrix and the mass matrix

matriks kekakuan dan matriks jisim

- (iii) the characteristic equation of the system

persamaan ciri sistem

- (iv) the natural frequencies of the system for the case of $m_1 = 20$ kg, $m_2 = 60$ kg, $l = 2$ m, $EI = 20$ MN-m²

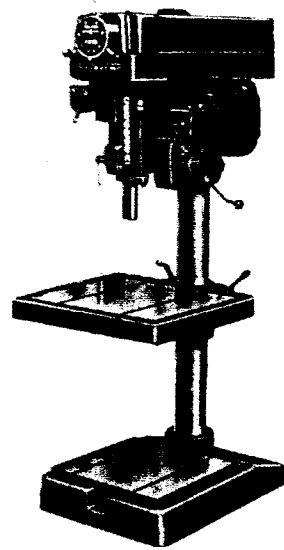
frekuensi-frekuensi jati sistem bagi kes $m_1 = 20$ kg, $m_2 = 60$ kg, $l = 2$ m, $EI = 20$ MN-m²

- (v) the mode shapes of the system (sketch)

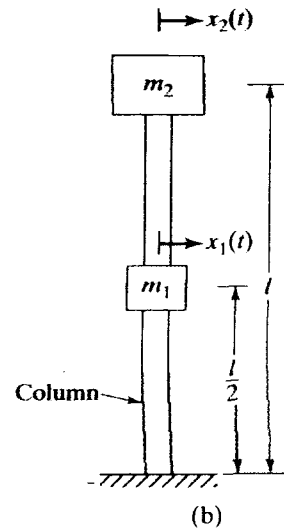
bentuk-bentuk mod sistem (lakarkan)

- (vi) the amplitude of vibration of m_1 if a transverse harmonic force $F_t = \sin t$ acts on m_2 .

amplitud getaran jisim m_1 jika daya harmonik melintang $F_t = \sin t$ bertindak ke atas m_2 .



(a)



(b)

Figure 3(a)/Rajah 3(a)**(70 marks/markah)**

- (b) One of the most remarkable modern engineering feats is the design and construction of the dynamic vibration absorber in Taipei 101 tower, whose major component is a 700,000 kg orb to protect the tower from earthquakes and typhoons (see **Figure 3(b)**).

*Salah satu pencapaian kejuruteraan moden yang terunggul ialah rekabentuk dan pembangunan peredam getaran dinamik pada menara Taipei 101 di mana sebuah bebola seberat 700,000 kg digunakan untuk melindungi menara dari gempa bumi dan taufan (lihat **Rajah 3(b)**).*

By way of 2-DOF model, free body diagram, and relevant plots, explain the principles of this absorber system.

Dengan menggunakan model 2 darjah kebebasan, gambarajah jasad bebas, serta plot-plot yang berkaitan, terangkan prinsip-prinsip sistem redaman ini.

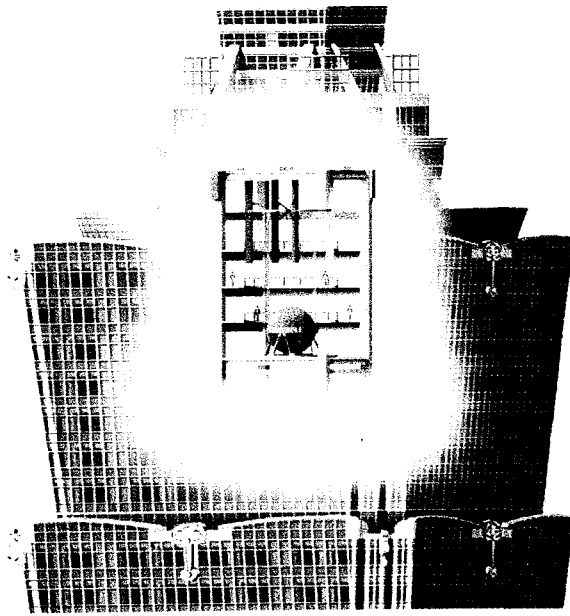


Figure 3(b)/Rajah 3(b)

(30 marks/markah)

4. (a) Vibration of structures or machines can be used to monitor a machine condition. Explain in brief the following techniques used in machine condition monitoring AND cite one example for each case:

Getaran struktur atau mesin boleh digunakan untuk memantau keadaan sesebuah mesin. Terangkan dengan ringkas teknik-teknik berikut untuk memantau keadaan mesin DAN nyatakan satu contoh penggunaan bagi setiap kes:

- (i) Spectrum analysis using Fast Fourier Transform technique.

Analisis spektrum menggunakan teknik Jelmaan Fourier Pantas.

- (ii) Order analysis.

Analisis peringkat.

(20 marks/markah)

- (b) A compressor system onboard an aircraft consists of an electric motor driving a turbo compressor via a rigid coupling. The motor has 8 coils and the turbo compressor has a single piece turbine with 28 blades. Based on this limited information, discuss on the possible signals expected if order analysis is carried out at a speed of 3200 rpm.

Sebuah sistem pemampat di dalam sebuah pesawat mempunyai motor elektrik yang memacu sebuah pemampat menerusi penggading tegar. Motor tersebut mempunyai 8 gelung dan pemampat mempunyai pemutar dengan 28 bilah. Berdasarkan maklumat ini, nyatakan isyarat-isyarat yang akan dijangkakan jika analisis peringkat dijalankan pada kelajuan motor 3200 putaran per minut.

(30 marks/markah)

- (c) Calculate the complex frequency response function (FRF) for a single degree of freedom system at frequency of 2 rad/s where the mass is 1 kg, stiffness is 16 N/m and damping coefficient is 0.8 Ns/m.

Kira fungsi sambutan frekuensi (FRF) kompleks bagi sistem satu darjah kebebasan pada frekuensi 2 rad/s dengan nilai jisim 1 kg, kekakuan 16 N/m dan pekali redaman 0.8 Ns/m.

(50 marks/markah)

5. Calculate the displacement at time $t = 2\Delta t$ where $\Delta t = 0.01s$ for a single degree of freedom system with 1 kg mass, 1 N/m stiffness and damping coefficient of 0.2 Ns/m when subjected to a force

$$F(t) = 10t \text{ Newton}$$

Kirakan anjakan pada masa $t = 2 \Delta t$ dimana $\Delta t = 0.01s$ bagi sebuah sistem satu darjah kebebasan dengan jisim 1 kg, kekakuan 1 N/m dan pekali redaman 0.2 Ns/m apabila dikenakan daya

$$F(t) = 10t \text{ Newton}$$

Use the fourth order Runge Kutta method. The system is stationary at $t = 0$

Gunakan kaedah Runge-Kutta tertib keempat. Sistem berada pada keadaan pegun pada masa $t = 0$.

(100 marks/markah)

~ ooo000ooo ~

APPENDIX A/LAMPIRAN A**Vibration-related Formulas**

1. $\zeta = \frac{c}{2\omega_n m}$
2. $x(t) = e^{-\zeta\omega_n t} (A_1 \cos(\omega_d t) + A_2 \sin(\omega_d t))$
3. $\omega_d = \sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n$
4. $x_p = X \sin(\omega t - \varphi)$, $X = \frac{F_0 / k}{\left((1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2 \right)^{1/2}}$, $\varphi = \tan^{-1} \frac{2\zeta r}{1 - r^2}$
5. $\frac{F_T}{kY} = r^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2}$
6. $TR = \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2}$
7. $\frac{mX}{m_0 e} = \frac{r^2}{\left((1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2 \right)^{1/2}}$
8. $A^{-1} = \frac{1}{\det(A)} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$
9. $\det(A) = ad - bc$
10. $\delta = \frac{Px^2}{6EI} (3L - x)$
11. $\delta = \frac{wx^2}{24EI} (x^2 - 4Lx - 6L^2)$