
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Second Semester Examination
2009/2010 Academic Session

April/May 2010

EAS 454/4 – Advanced Structural Engineering
[*Kejuruteraan Struktur Lanjutan*]

Duration : 3 hours
[*Masa : 3 jam*]

Please check that this examination paper consists of **EIGHTEEN (18)** pages of printed material including appendix before you begin the examination.

[*Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi **LAPAN BELAS (18)** muka surat yang bercetak termasuk lampiran sebelum anda memulakan peperiksaan ini.*]

Instructions : This paper contains **SEVEN (7)** questions. Answer **FIVE (5)** questions. All questions carry the same marks.

[***Arahan** : Kertas ini mengandungi **TUJUH (7)** soalan. Jawab **LIMA (5)** soalan sahaja. Semua soalan membawa jumlah markah yang sama.*]

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

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

All questions **MUST BE** answered on a new page.

[*Semua soalan **MESTILAH** dijawab pada muka surat baru*].

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

[*Sekiranya terdapat percanggahan pada soalan peperiksaan, versi Bahasa Inggeris hendaklah diguna pakai*].

1. (a). Describe **THREE (3)** causes of the dynamic loading on structures.

[6 marks]

- (b). A single-storey building subjected to an external dynamic force is idealized as a single degree of freedom (SDOF) system as shown in Figure 1.

- i) With the help of the free body diagram showing all the forces acting on the system, write the equation of motion for this system and state all assumptions made.
- ii) If the system is an undamped system without any external excitation, derive the equation for the displacement response $u(t)$ for the SDOF system due to initial displacement $u = u(0)$ and velocity $\dot{u} = \dot{u}(0)$.
- iii) Sketch the time series of the displacement response of an undamped system in part b(ii) and for the cases with the initial conditions of $u = 0$ and $\dot{u} = \dot{u}(0)$; $u = u(0)$ and $\dot{u} = 0$ and $u = 0$ and $\dot{u} = 0$.
- iv) The system is assumed to be viscously damped and an external force $P = 100$ kN is applied so that the system is displaced 50 mm at time zero. The external force is suddenly removed and the free vibration is recorded. The vibration takes 0.5 seconds to complete one cycle. At the end of the first complete cycle, the amplitude of the system is 40 mm. Compute the natural period of undamped vibration, effective stiffness, effective mass, logarithmic decrement, damping ratio, damping coefficient and the amplitude after five complete cycles.

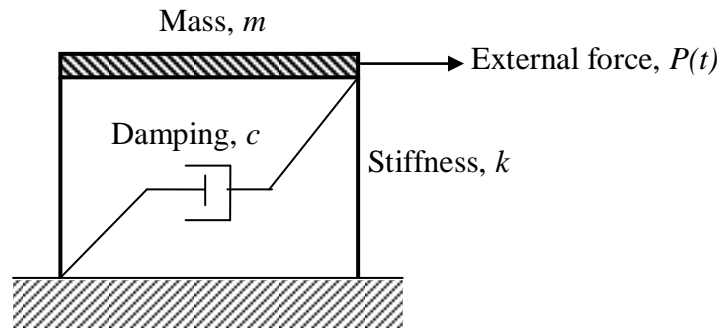


Figure 1

[14 marks]

2. (a). Explain **THREE (3)** direct and/or indirect effects of earthquake to structures.

[6 marks]

- (b). A reinforced concrete office building as shown in Figure 2 will be constructed on a piece of land consisted of more than 50 m stiff soil from the ground surface. The building is located in seismic zone 3. It is an ordinary moment resisting framed building. The dead load is 15 kN/m for the roof level and 20 kN/m for the floor level.

Using the relevant sections of the UBC 1997,

- i) Determine the seismic base shear.
- ii) Distribute the seismic base shear over the height of the building and sketch the seismic loading acting on the building on a diagram.
- iii) Calculate the diaphragm force for each level by neglecting the weights of the walls.

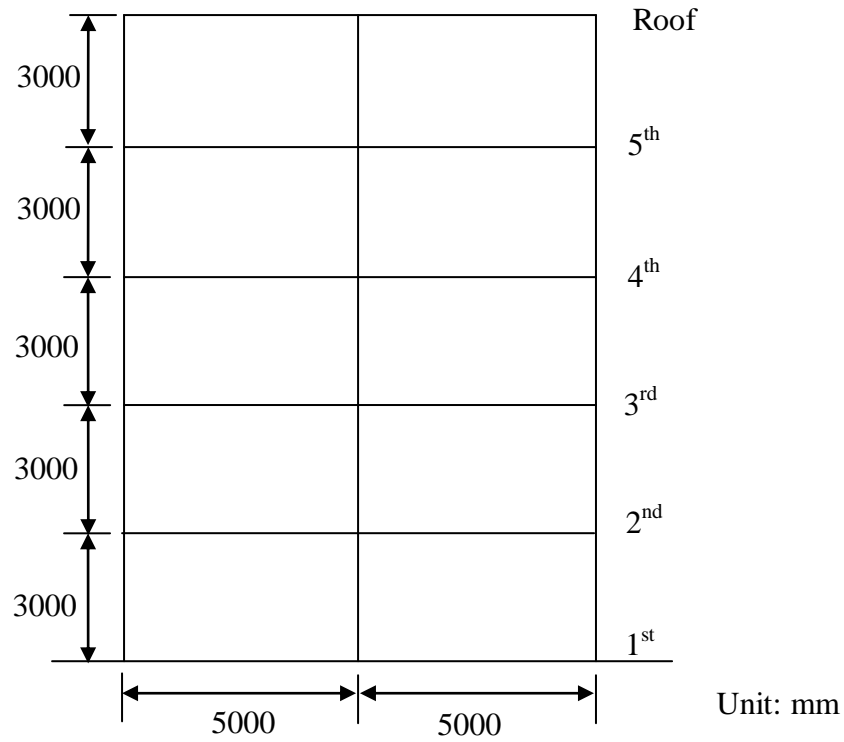


Figure 2

[14 marks]

3. Form the structure stiffness matrix for truss structure as in figure below. Compute all joint displacements and force reactions. Given:

Area for all bars, $A = 1500 \text{ mm}^2$

Elastic Modulus, $E = 210 \text{ GPa}$

Use;

$$\begin{bmatrix} Q_k \\ Q_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_u \\ D_k \end{bmatrix}$$

$$k = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} \lambda_x^2 & \lambda_x \lambda_y & -\lambda_x^2 & -\lambda_x \lambda_y \\ \lambda_x \lambda_y & \lambda_y^2 & -\lambda_x \lambda_y & -\lambda_y^2 \\ -\lambda_x^2 & -\lambda_x \lambda_y & \lambda_x^2 & \lambda_x \lambda_y \\ -\lambda_x \lambda_y & -\lambda_y^2 & \lambda_x \lambda_y & \lambda_y^2 \end{bmatrix}, \lambda_x = \cos\theta_x ; \lambda_y = \sin\theta_x$$

[20 marks]

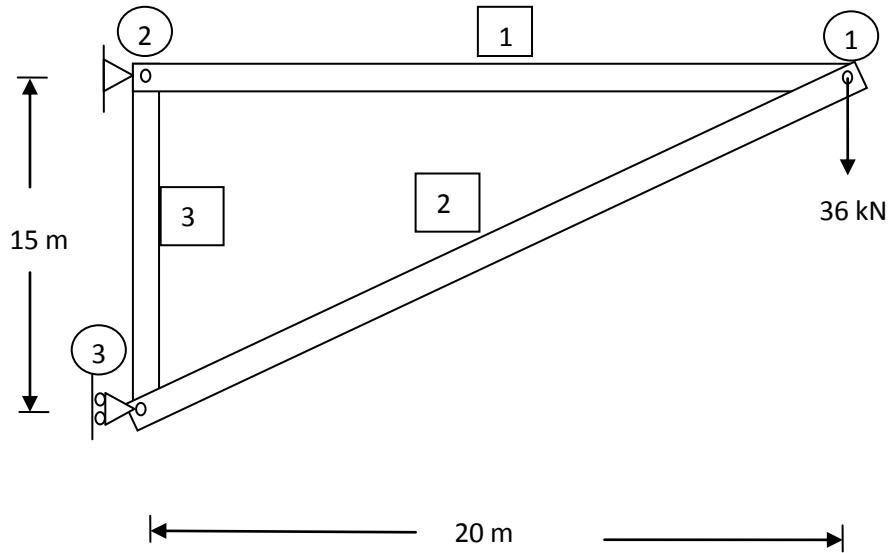


Figure 3

4. (a). State the **FOUR** basic conditions on displacement fields that a conforming finite element must satisfy. Elaborate the four basic conditions stated above using the simple 1D bar element shown in Fig.4. It is given that the displacement field adopted for the bar element is $u=A_0+A_1 x$ where u is the axial displacement in x-direction, A_0 and A_1 are constants.

[8 marks]

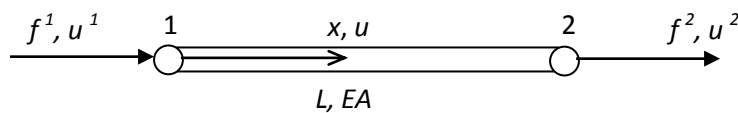


Figure 4

- (b). For linear conservative system, stiffness equation to be used in finite element analysis can be derived using Principle of Minimum Potential Energy (PMPE). Fig.5 shows an axially loaded spring where f^i, f^j : nodal forces at node i and node j, respectively, k : spring constant and u^i, u^j : nodal displacement of node i and node j, respectively. Derive the element stiffness matrix using PMPE.

[8 marks]

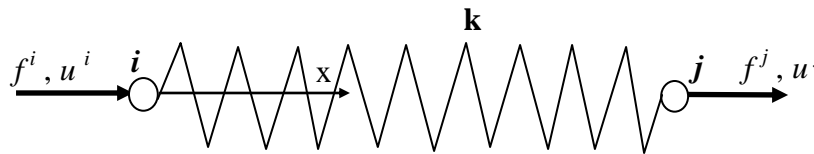


Figure 5

- (c). By using the relation between strain energy U_p and the nodal displacements D_i ($i=1,2,3,\dots,N$) representing the degrees of freedom of an element (where N : number of degree of freedom of an element), explain why a stiffness matrix \mathbf{K} in finite element displacement approach must be symmetrical.

[4 marks]

5. (a). Starting from the following expression for assumed displacement field v in a 1D finite element,

$$v = \mathbf{N} \mathbf{d}$$

where \mathbf{N} : shape functions matrix, \mathbf{d} : vector of nodal displacement; show that kinematically consistent nodal load vector \mathbf{Q} for distributed load \mathbf{w} can be written as follows :

$$\mathbf{Q} = \int_x \mathbf{N}^T \mathbf{w} dx$$

Next, derive Q for the case of uniformly distributed load as shown in Fig.6. It is given that the shape function used for displacement field v is as follows:

$$N = \left[1 - \frac{3x^2}{L^2} + \frac{2x^3}{L^3} \quad x - \frac{2x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2} \quad \frac{3x^2}{L^2} - \frac{2x^3}{L^3} \quad -\frac{x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2} \right]$$

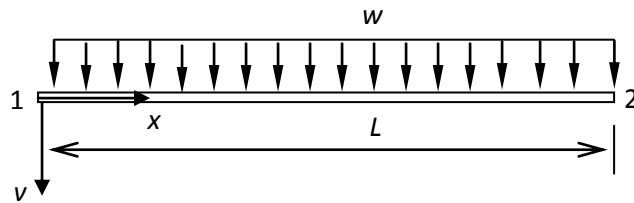


Figure 6

[12 marks]

- (b). If it is given that the beam as shown in Figure 6 is fixed at end 1 and has constant flexural rigidity EI , obtain the stiffness equation to be used in finite element analysis. Use only one element in the modeling of the beam and use the symbols v^1 , θ^1 and v^2 , θ^2 to represent lateral displacement and rotation at end 1 and 2, respectively. Refer Appendix A for the stiffness matrix of a beam element.

[8 marks]

6. (a). Define 'positive and negative pressures' that may be formed around building due to wind loads .

[4 marks]

- (b). A tall building as shown in Figure 6 is situated in Sandakan, Sabah with terrain category 2. Calculate the value of design wind pressure on the W(windward) surface at level 24 m. Design data can be extracted from MS1553 (2002).

10 marks]

- (c). The building is also equipped with a signboard of 15 m x 2 m on the windward surface as shown in Figure 6. Assumed that it is a cladding element, calculate the maximum pressure experienced by the signboard.

[6 marks]

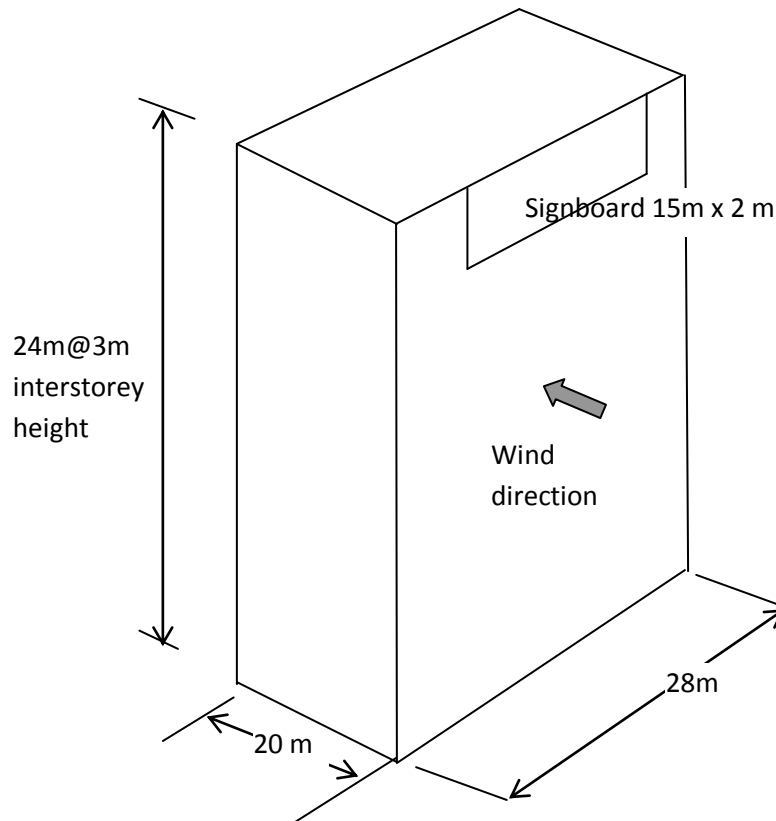


Figure 6

7. (a). Briefly explain **THREE (3)** design criteria of tall building .

[3 marks]

- (b). Briefly explain the advantages and disadvantages of wall frame structural system and shear wall structures.

[5 marks]

- (c). Figure 7 shows a continuous beam forming part of a rigid frame. Determine the maximum moment at each support and the maximum mid-span moments using two-cycle moment distribution method.

[12 marks]

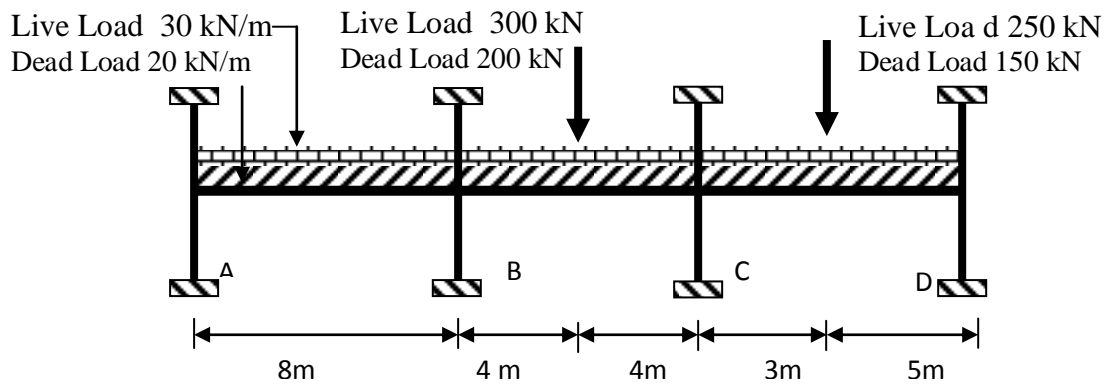


Figure 7

1. (a). *Jelaskan TIGA (3) punca beban dinamik ke atas stuktur.*

[6 markah]

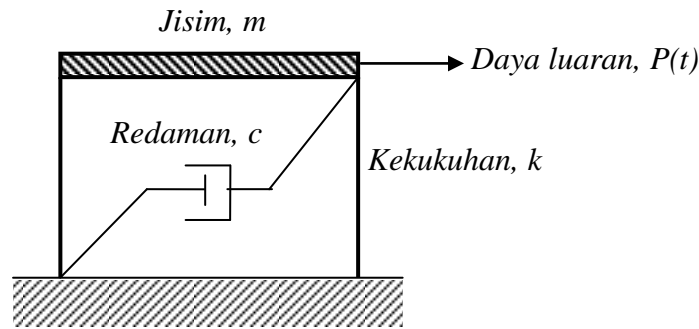
(b). *Sebuah bangunan satu tingkat yang dikenakan daya dinamik luaran diunggulkan sebagai sistem satu darjah kebebasan (SDOF) seperti yang ditunjukkan di Rajah 1.*

i) *Dengan bantuan gambarajah jasad bebas yang menunjukkan daya-daya ke atas sistem, tulis persamaan gerakan untuk sistem ini dan nyatakan semua andaian yang dibuat.*

ii) *Jika sistem ini merupakan sistem tanpa redaman dan tanpa ujaan luar, terbitkan persamaan untuk sambutan anjakan $u(t)$ untuk sistem SDOF disebabkan anjakan awal $u = u(0)$ dan halaju awal $\dot{u} = \dot{u}(0)$.*

iii) *Lakarkan siri masa untuk sambutan anjakan sistem tanpa redaman di bahagian b(ii) dan untuk kes-kes dengan keadaan awal $u = 0$ dan $\dot{u} = \dot{u}(0)$; $u = u(0)$ dan $\dot{u} = 0$ dan $u = 0$ dan $\dot{u} = 0$.*

iv) *Sistem ini dianggap sebagai sistem teredam likat dan satu daya luar $P = 100$ kN telah dikenakan supaya sistem ini dianjak sebanyak 50 mm pada masa sifar. Daya luar tersebut dikeluarkan secara tiba-tiba dan getaran bebas direkod. Getaran mengambil masa 0.5 saat untuk melengkapkan satu kitaran penuh. Selepas kitaran penuh pertama, amplitud sistem ialah 40 mm. Kirakan tempoh tabii getaran tanpa teredam, kekukuhan berkesan, jisim berkesan, pengurangan logaritma, nisbah redaman, pekali redaman dan amplitud selepas lima kitaran penuh.*



Rajah 1

[14 markah]

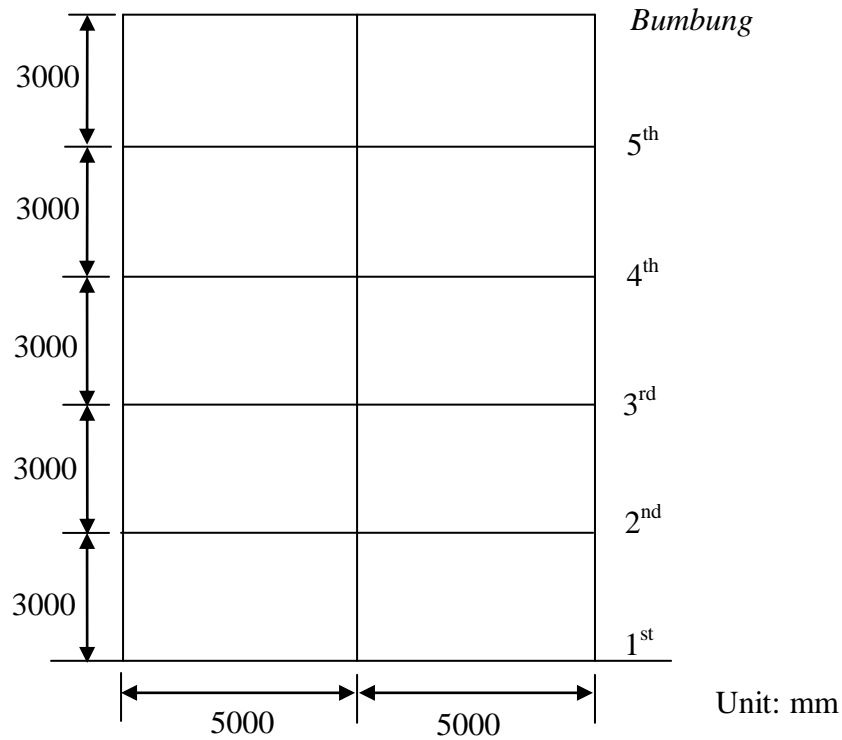
2. (a). *Jelaskan **TIGA (3)** kesan langsung dan/atau tidak langsung gempa bumi ke atas struktur.*

[6 markah]

- (b). *Sebuah bangunan pejabat konkrit bertetulang seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2 akan dibina di atas sebidang tanah yang mengandungi tanah kukuh dengan tebal lebih daripada 50 m dari permukaan tanah. Bangunan ini terletak di zon seismik 3. Ia merupakan bangunan berkerangka terintang momen biasa. Beban mati untuk tingkat bumbung ialah 15 kN/m dan untuk tingkat lantai ialah 20 kN/m.*

Gunakan bahagian-bahagian dalam UBC 1997 yang berkaitan.

- i) *Tentukan ricih tapak seismik.*
- ii) *Agihkan ricih tapak seismik ke seluruh ketinggian bangunan dan lakarkan beban gempa bumi yang dikenakan ke atas bangunan dalam satu gambarajah.*
- iii) *Kira daya gegendang di setiap tingkat dengan mengabaikan berat dinding.*



Rajah 2

[14 markah]

3. *Bentukkan matrik kekakuan struktur bagi gambarajah struktur kekuda di bawah. Kirakan semua anjakan sendi/sambungan dan daya tindakbalas yang berkaitan. Diberi:*

Luas bar, A = 1500 mm²

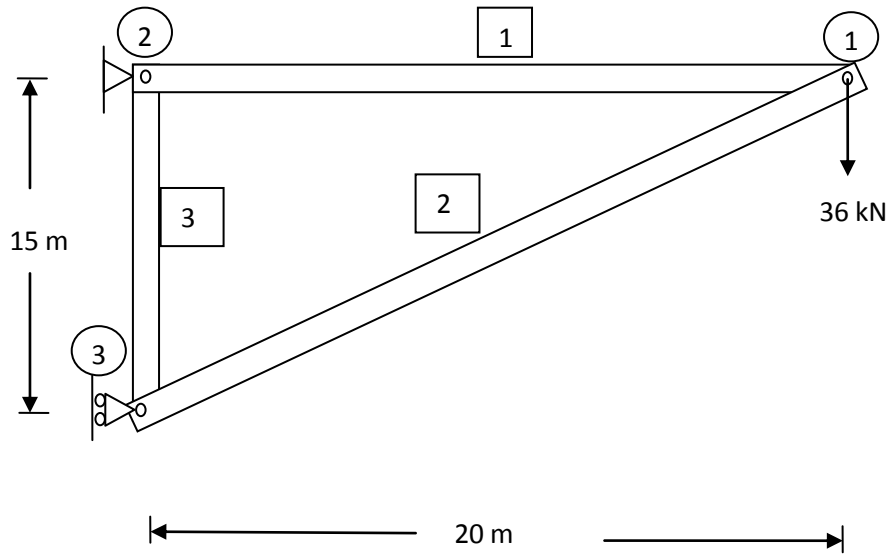
Elastik Keanjalan, E = 200GPa

Gunakan;

$$\begin{bmatrix} Q_k \\ Q_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_u \\ D_k \end{bmatrix}$$

$$k = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} \lambda_x^2 & \lambda_x \lambda_y & -\lambda_x^2 & -\lambda_x \lambda_y \\ \lambda_x \lambda_y & \lambda_y^2 & -\lambda_x \lambda_y & -\lambda_y^2 \\ -\lambda_x^2 & -\lambda_x \lambda_y & \lambda_x^2 & \lambda_x \lambda_y \\ -\lambda_x \lambda_y & -\lambda_y^2 & \lambda_x \lambda_y & \lambda_y^2 \end{bmatrix}, \lambda_x = \cos\theta_x ; \lambda_y = \sin\theta_x$$

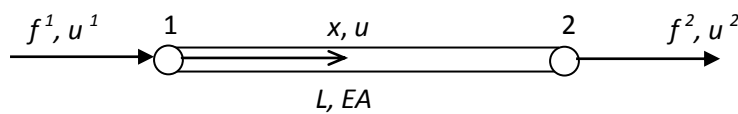
[20 markah]



Rajah 3

4. (a). Nyatakan **EMPAT** syarat yang mesti dipatuhi oleh elemen terhingga yang “conforming”. Tunjukkan dengan jelas empat syarat tersebut di atas dengan menggunakan contoh elemen bar 1D dengan 2 nod seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 4. Diberi bahawa pesongan yang digunakan untuk elemen bar adalah $u=A_0+A_1 x$ di mana u adalah anjakan paksi dalam arah x , A_0 dan A_1 adalah pemalar.

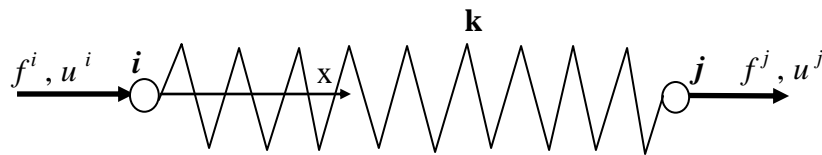
[8 markah]



Rajah 4

- (b). Untuk sistem konservatif lurus, Prinsip Tenaga Keupayaan Minima (PMPE) boleh digunakan untuk mendapatkan ungkapan persamaan kekakuan dalam analisis elemen terhingga. Rajah Q1-2 menunjukkan satu elemen pegas dibawah tindakan daya paksi, dimana f^i, f^j : daya nod pada nod i dan nod j , k : pemalar pegas dan u^i, u^j : anjakan nod pada nod i dan nod j . Terbitkan persamaan kekakuan elemen dengan menggunakan PMPE.

[8 markah]



Rajah 5

- (c). Dengan menggunakan hubungan antara tenaga terikan U_p dan anjakan nod D_i ($i=1,2,3,\dots,N$) yang mewakili darjah kebebasan sesuatu elemen (dimana N :bilangan darjah kebebasan sesuatu elemen), terangkan kenapa matrik kekakuan elemen \mathbf{K} dalam kaedah elemen terhingga berpendekatan anjakan mestilah simetri.

[4 markah]

5. (a). Mulai dengan ungkapan di bawah untuk pesongan anggapan v dalam satu elemen terhingga 1D,

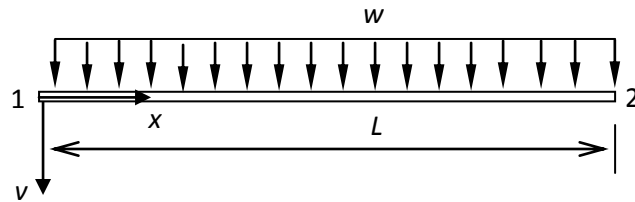
$$v = \mathbf{N} \mathbf{d}$$

di mana \mathbf{N} : matrik fungsi bentuk, \mathbf{d} : vektor anjakan pada nod; tunjukkan bahawa vektor daya nod yang "kinematically consistent" \mathbf{Q} untuk beban teragih \mathbf{w} boleh ditulis dalam bentuk ungkapan seperti di bawah:

$$\mathbf{Q} = \int_x \mathbf{N}^T \mathbf{w} \, dx$$

Seterusnya, terbitan persamaan Q untuk beban teragih seragam seperti yang ditunjukkan dalam Rajah Q2-1. Diberi bahawa fungsi bentuk yang digunakan untuk pesongan v adalah seperti berikut:

$$N = \left[1 - \frac{3x^2}{L^2} + \frac{2x^3}{L^3} \quad x - \frac{2x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2} \quad \frac{3x^2}{L^2} - \frac{2x^3}{L^3} \quad -\frac{x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2} \right]$$



Rajah 6

[12 markah]

- (b). Sekiranya diberi bahawa rasuk yang ditunjukkan dalam Rajah Q2-1 dipegang tegar pada hujung 1 dan mempunyai ketegaran lenturan EI yang seragam, dapatkan persamaan kekakuan yang diguna dalam analisa elemen terhingga. Gunakan satu sahaja elemen dalam permodelan rasuk dan gunakan simbol v^1 , q^1 dan v^2 , q^2 untuk mewakili anjakan pugak dan putaran pada hujung 1 dan 2. Rujuk Lampiran A untuk matrik kekakuan satu elemen rasuk.

[8 markah]

6. (a). Nyatakan definisi 'tekanan positif dan negatif yang kemungkinan akan terbentuk di sekeliling bangunan disebabkan oleh beban angin.

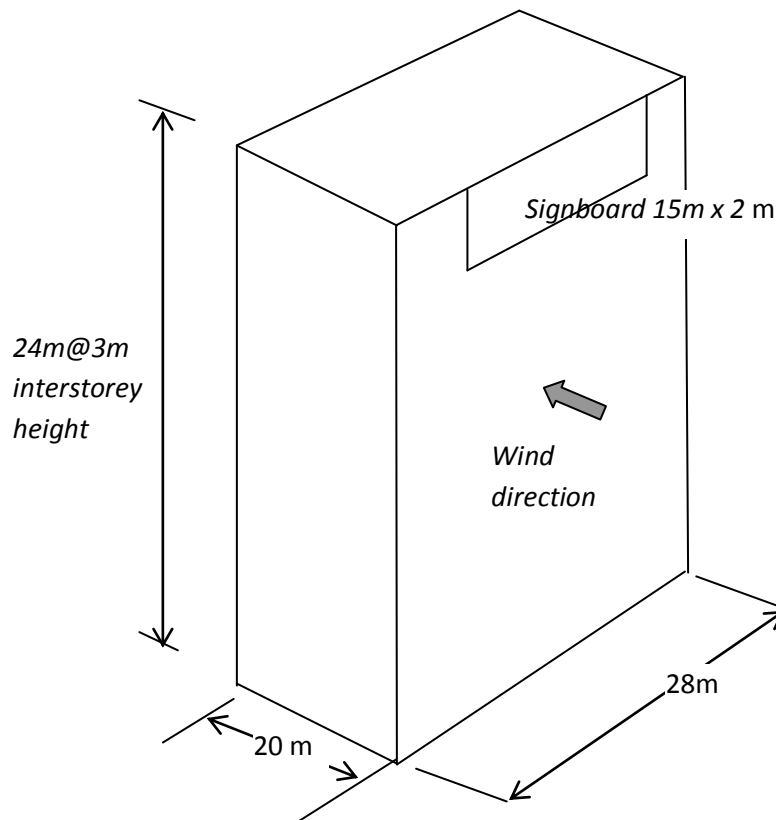
[4 markah]

- (b). Sebuah bangunan tinggi di Sandakan, Sabah berada dalam kategori rupa bumi 2 seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6. Kira nilai tekanan angin rekabentuk di permukaan W (arah angin) di ketinggian 24 m. Data rekabentuk boleh diperolehi dari MS1553 (2002).

[10 markah]

- (c). Bangunan tersebut juga dilengkapi dengan papan tanda berukuran 15m x 2 m dalam arah angin, W seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6. Anggap ia sebagai elemen pelapis, kira nilai tekanan maksima yang dialami oleh papan tanda tersebut.

[6 markah]



Rajah 6

7. (a). Terangkan dengan ringkas **TIGA (3)** kriteria rekabentuk bangunan tinggi.

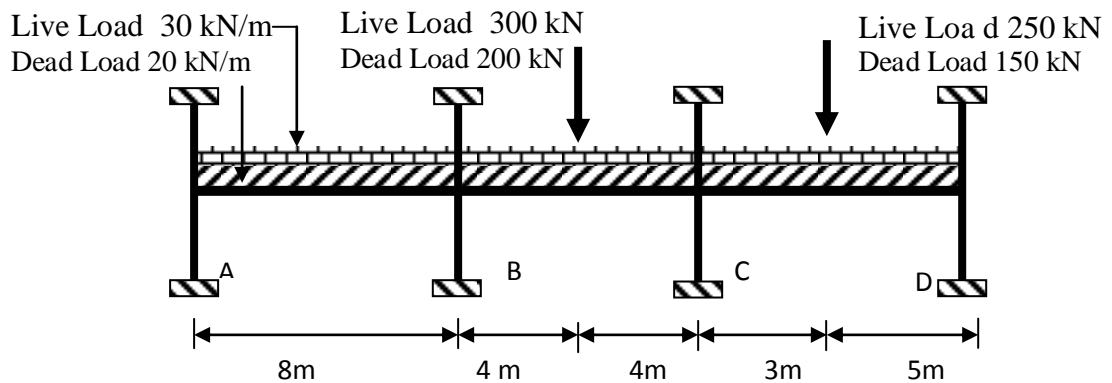
[3 markah]

(b). Nyatakan kelebihan dan kekurangan sistem struktur dinding kerangka dan struktur dinding ricih.

[5 markah]

(c). Rajah 7 menunjukkan satu rasuk selanjur yang membentuk sebahagian dari satu kerangka tegar. Tentukan nilai momen lentur maksima di setiap penyokong dan momen maksima di pertengahan rentang dengan menggunakan kaedah agihan momen dua kitaran.

[12 markah]

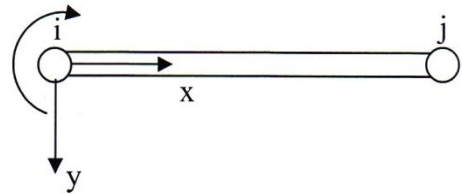


Rajah 7

APPENDIX A / LAMPIRAN A

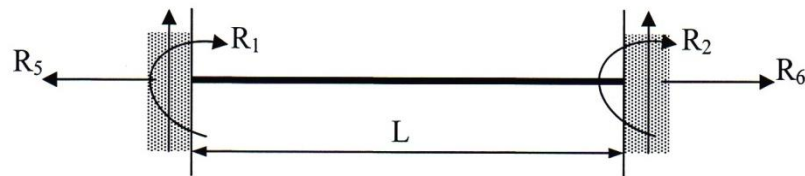
a. Element stiffness matrix of a beam element :

$$k = EI_z \begin{bmatrix} \frac{12}{L^3} & \frac{6}{L^2} & -\frac{12}{L^3} & \frac{6}{L^2} \\ \frac{6}{L^2} & \frac{4}{L} & -\frac{6}{L^2} & \frac{2}{L} \\ \frac{L^2}{12} & \frac{L}{6} & -\frac{L^2}{12} & \frac{L}{6} \\ -\frac{L^3}{6} & -\frac{L^2}{2} & \frac{L^3}{6} & -\frac{L^2}{2} \\ \frac{6}{L^2} & \frac{2}{L} & -\frac{6}{L^2} & \frac{4}{L} \\ \frac{L^2}{12} & \frac{L}{6} & -\frac{L^2}{12} & \frac{L}{6} \end{bmatrix}$$



where E : modulus of elasticity, I_z : moment of inertia of section with respect to z -axis (an axis pointing towards the plane of the paper) and L : length of element

b. Fixed end forces



| Type of loading | Moments | Vertical forces | Horizontal forces |
|-----------------|--|--|------------------------|
| | $R_1 = -Pab^2/L^2$ $R_2 = -Pa^2b/L^2$ | $R_3 = Pb(L^2 + ab - a^2)/L^3$ $R_4 = Pa(L^2 + ab - b^2)/L^3$ | $R_5 = 0$ $R_6 = 0$ |
| | $R_1 = -pL^2/12$ $R_2 = pL^2/12$ | $R_3 = pL/2$ $R_4 = pL/2$ | $R_5 = 0$ $R_6 = 0$ |