

Kerusakan-kerusakan struktur bangunan akibat gempa dapat dikurangi dengan mendesain struktur sesuai dengan prinsip-prinsip bangunan tahan gempa. Salah satu cara yang dapat ditempuh untuk mengurangi kerusakan pada bangunan adalah dengan pemakaian alat-alat peredam yang dapat mengurangi simpangan pada suatu struktur, dimana simpangan yang besar cenderung akan merusakkan struktur. Dengan demikian pengurangan simpangan akan sangat mendukung terhadap kestabilan struktur.

1.2 Rumusan Masalah

Semakin tinggi sebuah bangunan, maka simpangan yang terjadi pada tingkat teratas akan semakin besar akibat adanya gaya horizontal. Salah satu cara untuk mengatasi simpangan yang terjadi pada bangunan bertingkat banyak adalah dengan memberi sebuah peredam yang berfungsi untuk memperkecil simpangan maksimum, sehingga bangunan tingkat tinggi akan terhindar dari simpangan yang besar yang dapat mengakibatkan keruntuhan bangunan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah :

1. analisa yang digunakan untuk perhitungan kekakuan tingkat adalah Prinsip Bangunan Geser (*Shear Building*),
2. metode analisa dinamika menggunakan *time history* dari gempa El Centro 1940 (Chopra, 1995),
3. massa struktur dianggap menggumpal pada lantai-lantai (*Lumped Masses*),

Magnetorheological Damper adalah sebuah alat kontrol struktur yang dapat mengurangi respon struktur akibat beban gempa, dikembangkan oleh *Lord Corporation*. *Magnetorheological Damper* menggunakan *MR fluids* yang terdiri dari *silicone oil*. Jika sebuah gaya magnet bekerja maka partikel yang berada pada cairan tersebut akan membentuk suatu rantai partikel dan cairan tersebut akan menjadi semi solid, memperlihatkan perilaku plastis.

Alat ini mempunyai beberapa karakter yang atraktif, tegangan leleh tinggi, elastisitas yang rendah dan dapat bekerja dengan baik pada temperatur -40° - 150° , sehingga *Magnetorheological Damper* dapat dipasang di luar struktur (misalnya jembatan dan menara) atau di dalam struktur (misalnya bangunan).

Magnetorheological Damper panjangnya 21,5 cm, dan memiliki silinder dengan diameter 3,8 cm. Silinder utama adalah berbentuk sebuah penghisap, terdiri dari magnet, *accumulator* dan *MR fluids* sebanyak 50 ml.

Skema dari *MR Damper* ini dapat dilihat pada Gambar (2.1). Alat ini digerakkan melalui sebuah elektromagnetik pada kepala penghisap yang kemudian dihubungkan dengan sumber energi. Energi yang diperlukan untuk menggerakkan alat ini kurang dari 10 watt, sehingga dapat dioperasikan dengan sebuah baterai yang kecil. Pemasangan *MR Damper* pada bangunan bertingkat dapat dilihat pada Gambar (2.2).

Substitusi persamaan (3.67) kedalam persamaan (3.66) akan diperoleh,

$$\frac{q_{n+1} - 2q_n + q_{n-1}}{(\Delta t)^2} + 2\xi\omega_n \frac{q_{n+1} - q_{n-1}}{2\Delta t} + \omega_n^2 q_n = -\ddot{y}_t \quad (3.68)$$

Persamaan (3.68) dapat ditulis menjadi,

$$\left[\frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right] q_{n+1} = -\ddot{y}_n - \left[\omega_n^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right] q_n - \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right] q_{n-1} \quad (3.69)$$

Persamaan (3.69) dapat ditulis menjadi,

$$q_{n+1} = \frac{-\ddot{y}_n - aq_n - bq_{n-1}}{\hat{k}} \quad (3.70)$$

Dengan,

$$a = \left[\omega_n^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right] \quad (3.71a)$$

$$b = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right] \quad (3.71 b)$$

$$\hat{k} = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right] \quad (3.71c)$$

Setelah diperoleh nilai q untuk tiap-tiap *mode*. Selanjutnya nilai simpangan tiap *mode* dapat diperoleh $y_n(t)$:

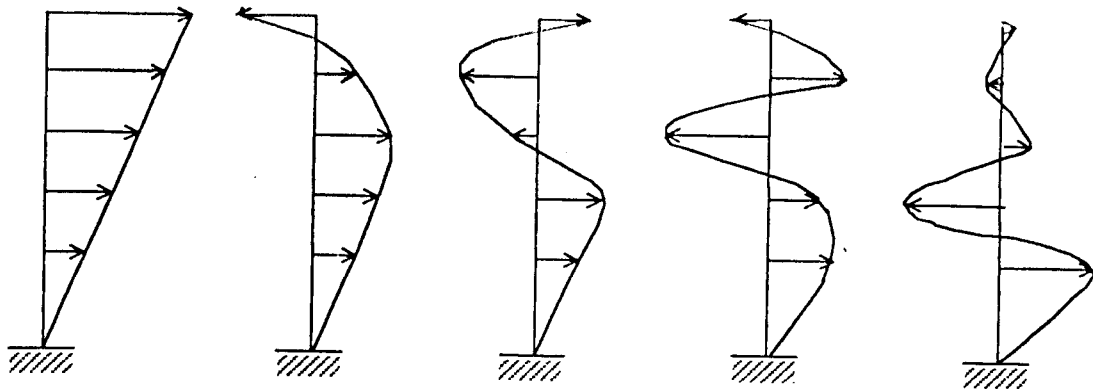
$$y_n(t) = \Gamma_n \phi_n q_n(t) \quad (3.72)$$

Jika matrik massa dan kekakuan dimasukkan persamaan (3.18), maka :

$$\begin{bmatrix} 30240 - 63560 \omega^2 & -15120 & 0 & 0 & 0 \\ -15120 & 22680 - 54480 \omega^2 & -7560 & 0 & 0 \\ 0 & -7560 & 15120 - 54480 \omega^2 & -7560 & 0 \\ 0 & 0 & -7560 & 11340 - 54480 \omega^2 & -3780 \\ 0 & 0 & 0 & -3780 & 3780 - 45400 \omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{Bmatrix} = 0 \quad (5.3)$$

Selanjutnya untuk memperoleh nilai *mode shape* dipakai program Matlab. Matlab adalah suatu program yang banyak dipakai untuk menyelesaikan persoalan matematika yang mempunyai variabel yang kompleks, persamaan diferensial dan lainnya. Nilai *mode shape* yang diperoleh adalah sebagai berikut (Lampiran 2 hal L2-b):

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 0,1153 \\ 0,2225 \\ 0,4095 \\ 0,5463 \\ 0,6863 \end{Bmatrix}, \phi_2 = \begin{Bmatrix} 0,2840 \\ 0,4492 \\ 0,4572 \\ 0,1371 \\ -0,6998 \end{Bmatrix}, \phi_3 = \begin{Bmatrix} 0,4616 \\ 0,5110 \\ -0,1725 \\ -0,5920 \\ 0,3815 \end{Bmatrix}, \phi_4 = \begin{Bmatrix} 0,3654 \\ 0,1079 \\ -0,7225 \\ 0,5586 \\ -0,1443 \end{Bmatrix}, \phi_5 = \begin{Bmatrix} 0,6671 \\ -0,7031 \\ 0,2373 \\ -0,0649 \\ 0,0084 \end{Bmatrix} \quad (5.4)$$



Mode ke 1

Mode ke 2

Mode ke 3

Mode ke 4

Mode ke 5

Persamaan diferensial model gerakan pada sistem diatas tanpa memperhitungkan nilai redaman adalah sebagai berikut :

$$[M^*] \{\ddot{q}\} + [K^*] \{q\} = \Gamma \ddot{y}_g(t) \quad (5.5a)$$

$$k_y = [K^*] = \{\phi_i^T\} [K] \{\phi_j\} \quad (5.5b)$$

$$m_y = [M^*] = \{\phi_i^T\} [M] \{\phi_j\} \quad (5.5c)$$

Elemen dari massa efektif dan kekakuan efektif adalah sebagai berikut (Lampiran 2 hal L2-f,g) :

$$[M^*] = \begin{bmatrix} 5,0321 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5,0765 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5,5091 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5,5504 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5,8518 \end{bmatrix} (1.0e+004^*) \text{ kg} \quad (5.6a)$$

$$[K^*] = \begin{bmatrix} 0,0855 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5055 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,1703 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,2510 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4,2512 \end{bmatrix} (1.0e+004^*) \text{ kg/cm} \quad (5.6b)$$

Baik Matrik massa maupun kekakuan adalah matrik diagonal, sehingga hasil perkalian dari $[M^*]^{-1}$ dengan $[K]$ adalah ω^2 juga merupakan matrik diagonal :

$$\sqrt{[M^*]^{-1}[K]} = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \omega_2^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_3^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega_4^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_5^2 \end{bmatrix} \quad (5.7a)$$

$$[C_{11}^*] = \begin{bmatrix} 14,4240 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 29,7703 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 206,5061 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 256,2101 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 401,8523 \end{bmatrix} \text{ kg/(cm/sec)} \quad (5.13k)$$

$$[C_{12}^*] = \begin{bmatrix} 9,8158 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 58,8008 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 123,9532 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 526,0037 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 177,0291 \end{bmatrix} \text{ kg/(cm/sec)} \quad (5.13l)$$

$$[C_{13}^*] = \begin{bmatrix} 10,0669 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 228,3161 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 342,7364 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 200,7870 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 152,6617 \end{bmatrix} \text{ kg/(cm/sec)} \quad (5.13m)$$

$$[C_{14}^*] = \begin{bmatrix} 9,3048 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 43,6718 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 64,2384 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 506,9494 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 583,1217 \end{bmatrix} \text{ kg/(cm/sec)} \quad (5.13n)$$

$$[C_{15}^*] = \begin{bmatrix} 9,5559 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 213,1871 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 283,0216 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 181,7327 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 558,7543 \end{bmatrix} \text{ kg/(cm/sec)} \quad (5.13o)$$

$$[C_{16}^*] = \begin{bmatrix} 16,2117 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 205,4682 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 414,7731 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 358,4264 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 277,2117 \end{bmatrix} \text{ kg/(cm/sec)} \quad (5.13p)$$

Baik matrik massa dan kekakuan adalah matrik diagonal, sedangkan matrik redaman bukanlah matrik diagonal dan persamaannya tetap merupakan persamaan yang masih berhubungan dengan kecepatan. Jika matrik redaman dikalikan dengan matrik massa atau dikalikan dengan matrik kekakuan atau kombinasi dari keduanya, maka matrik redaman efektif $[C^*]$ akan menjadi matrik diagonal dan kaitan dengan kecepatan diabaikan (Berg, 1988).

Berg juga menyatakan matrik redaman $[C]$ sangat sulit untuk ditentukan baik secara teoritis maupun eksperimen, permasalahannya terletak pada kecepatan yang selalu berkaitan meskipun diabaikan. Oleh karena itu dengan menganggap *modes* tanpa redaman, kemudian memasukkan nilai redaman pada setiap persamaan modal, akan dapat menyederhanakan permasalahan.

5.1.3 Respon Terhadap Beban Gempa Bumi

Seperti yang diperlihatkan pada persamaan (3.37), maka persamaan gerakan dengan redaman adalah sebagai berikut :

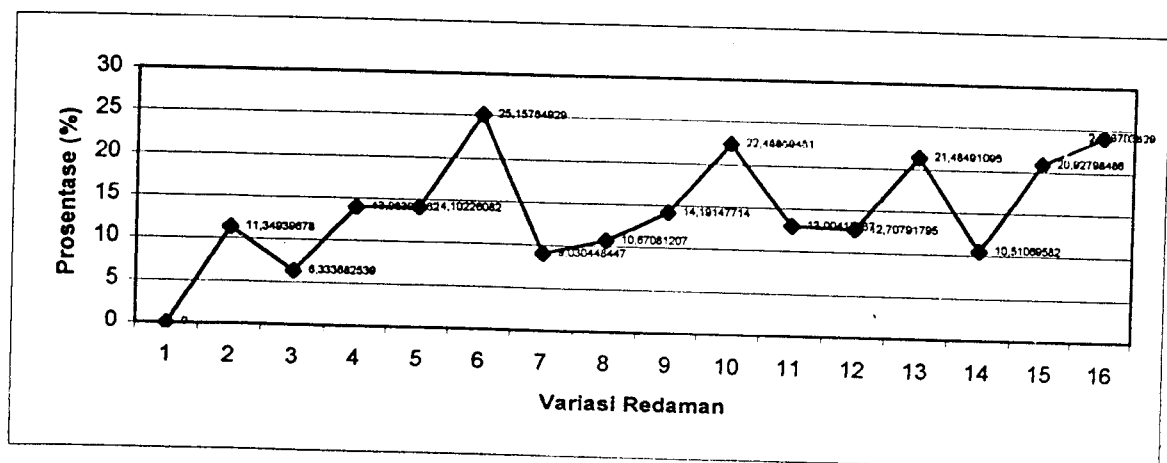
$$\ddot{q}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{q}_n + \omega_n^2 q_n = -\Gamma_n \ddot{y}_g(t) \quad (5.14)$$

Jika

5.2.1.5 Simpangan Lantai 5

Tabel 5.6 Prosentase Perubahan Simpangan Lantai 5

Variasi Redaman	Posisi Redaman	Nilai Simpangan	Prosentase Pengurangan
1	Tanpa Redaman	14,7955	0
2	Tk 1	13,1163	11,3493
3	Tk 2	13,8584	6,3336
4	Tk 3	12,7265	13,9839
5	Tk 4	12,709	14,1022
6	Tk 5	11,0733	25,1576
7	Tk 1 dan 2	13,4594	9,0304
8	Tk 2 dan 3	13,2167	10,6708
9	Tk 3 dan 4	12,6958	14,1914
10	Tk 4 dan 5	11,4682	22,4885
11	Tk 1 dan 3	12,87147	13,0041
12	Tk 1 dan 4	12,9153	12,7079
13	Tk 1 dan 5	11,6167	21,4849
14	Tk 2 dan 4	13,24039	10,5106
15	Tk 2 dan 5	11,6991	20,9279
16	Tk 3 dan 5	11,2391	24,037



Gambar 5.12 Prosentase Perubahan Simpangan Lantai 5
(Sesuai Tabel 5.6)