

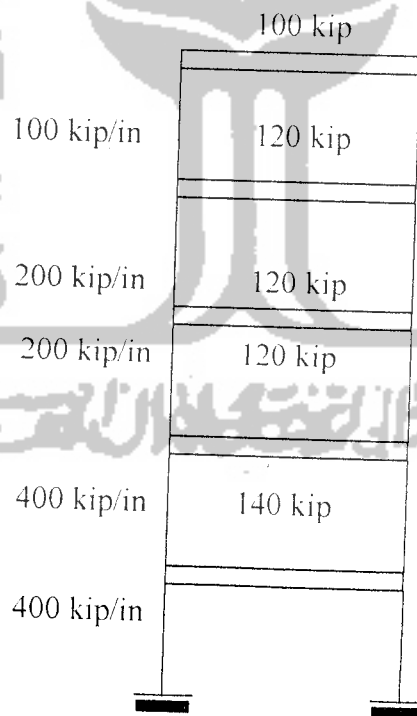
BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan hasil, dan selanjutnya akan dibahas dalam pembahasan, sebagaimana yang akan diuraikan berikut ini.

5.1 Analisis

Analisis menggunakan sebuah model 5 lantai diambil dari buku *Element of Structural Dynamics* (Berg, 1998). Berat lantai dan kekakuan seperti Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Model Bangunan Geser

5.1.1 Ragam Bentuk (*Mode Shape*) dan Frekuensi Natural

Dalam perhitungan berikut ini dilakukan perhitungan tanpa redaman, selanjutnya menggunakan redaman yang penempatannya divariasikan dari lantai pertama sampai lantai teratas. Hasil perhitungan dari matrik massa dan kekakuan berdasarkan pada persamaan (3.7a) dan (3.7b) adalah:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \quad (5.1a)$$

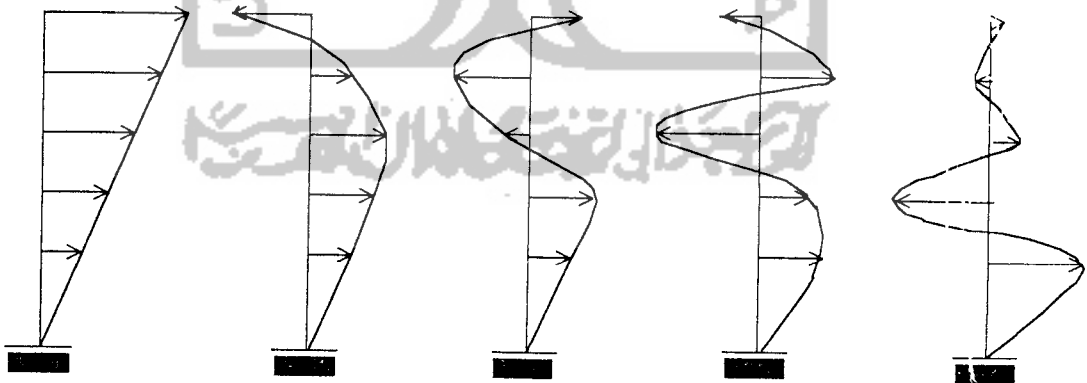
$$[M] = \begin{bmatrix} 140 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 120 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 120 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 120 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 100 \end{bmatrix} \quad (5.1b)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4+k_5 & -k_5 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 \end{bmatrix} \quad (5.2a)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400 & -200 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 300 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & -100 & 100 \end{bmatrix} \quad (5.2b)$$

Matrik massa dan kekakuan merupakan *input* persamaan *eigen problem*, dan penyelesain selanjutnya menggunakan aplikasi program Matlab. Matlab adalah suatu program yang banyak dipakai untuk menyelesaikan persoalan matematika yang mempunyai variabel yang kompleks, persamaan diferensial dan lainnya. Dari persamaan *eigen problem* diperoleh hasil yaitu nilai *mode shape*. Nilai *mode shape* yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 0,1153 \\ 0,2225 \\ 0,4095 \\ 0,5463 \\ 0,6863 \end{Bmatrix}, \phi_2 = \begin{Bmatrix} 0,2840 \\ 0,4492 \\ 0,4572 \\ 0,1371 \\ -0,6998 \end{Bmatrix}, \phi_3 = \begin{Bmatrix} 0,4616 \\ 0,5110 \\ -0,1725 \\ -0,5920 \\ 0,3815 \end{Bmatrix}, \phi_4 = \begin{Bmatrix} 0,3654 \\ 0,1079 \\ -0,7225 \\ 0,5586 \\ -0,1443 \end{Bmatrix}, \phi_5 = \begin{Bmatrix} 0,6671 \\ -0,7031 \\ -0,0649 \\ 0,0084 \end{Bmatrix} \quad (5.3)$$



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 :

$$[M^*] \{\ddot{q}\} + [K^*] \{q\} = \Gamma \ddot{y}_g(t) \quad (5.4a)$$

$$k_{ij} = [K^*] = \{\phi_i^T\} [K] \{\phi_j\} \quad (5.4b)$$

$$m_{ij} = [M^*] = \{\phi_i^T\} [M] \{\phi_j\} \quad (5.4c)$$

Elemen dari massa efektif dan kekakuan efektif adalah sebagai berikut :

$$[M^*] = \begin{bmatrix} 110,8388 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 111,8169 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 121,3505 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 122,2566 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 128,8918 \end{bmatrix} \quad (5.5a)$$

$$[K^*] = \begin{bmatrix} 22,6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 133,7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 309,6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 595,5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1124,6 \end{bmatrix} \quad (5.5b)$$

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

$$\sqrt{[M^*]^{-1}} [K] = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \omega_2^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_3^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega_4^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_5^2 \end{bmatrix} \quad (5.6a)$$

$$= \begin{bmatrix} 8,7254 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4,8708 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2,5514 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1,1959 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2039 \end{bmatrix} \text{sec}^{-2} \quad (5.6b)$$

Faktor partisipasi tiap mode dihitung dengan persamaan (3.44) :

$$\Gamma_n = \frac{\{\phi\}_n^T [M] \{1\}}{\{\phi\}_n^T [M] \{\phi\}_n} \quad (5.7)$$

Faktor partisipasi tiap mode dari perhitungan diatas adalah(Lampiran 2 hal L2-y) :

$$\Gamma_1 = 2,0405; \Gamma_2 = 0,8496; \Gamma_3 = 0,5963; \Gamma_4 = 0,2454; \Gamma_5 = 0,2370 \quad (5.8)$$

5.1.2 Efek Redaman

Persamaan gerakan dengan redaman adalah sebagai berikut :

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \Gamma \ddot{y}_g \quad (5.9)$$

Jika persamaan diatas diubah menjadi modal koordinat, maka akan menjadi :

$$\{\phi\}_n^T [M] \{\phi\}_n \ddot{q}_n + \{\phi\}_n^T [C] \{\phi\}_n \dot{q}_n + \{\phi\}_n^T [K] \{\phi\}_n q_n = \{\phi\}_n^T \ddot{y}_g \quad (5.10)$$

Elemen dari matrik redaman efektif adalah :

$$c_{ij}^* = \{\phi\}_i^T [C]_j \{\phi\}_i \quad (5.11)$$

Hasil dari matrik redaman adalah (Lampiran 2 hal L2-(h-n)) :

$$[C_1^*] = \begin{bmatrix} 0,1020 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,9473 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,8786 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3,1457 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3,4357 \end{bmatrix} \text{kips/(in/sec)} \quad (5.12a)$$

$$[C_2^*] = \begin{bmatrix} 0,3988 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,4197 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6,3922 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4,0055 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 13,3507 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12b)$$

$$[C_3^*] = \begin{bmatrix} 0,3448 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,8187 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,0732 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1,9892 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 56,3234 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12c)$$

$$[C_4^*] = \begin{bmatrix} 1,0491 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0019 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 14,0152 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 20,6869 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 26,5306 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12d)$$

$$[C_5^*] = \begin{bmatrix} 0,5614 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3,0739 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5,2794 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 49,2365 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,7397 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12e)$$

$$[C_6^*] = \begin{bmatrix} 0,5880 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 21,0120 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 28,4311 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 14,8221 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,1612 \end{bmatrix} \text{ kip/(in/sec)} \quad (5.12f)$$

$$[C_7^*] = \begin{bmatrix} 0,3853 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,0194 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4,8125 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3,5014 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 24,0939 \end{bmatrix} \text{ kip/(in/sec)} \quad (5.12g)$$

$$[C_8^*] = \begin{bmatrix} 0,5614 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,8152 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 8,2980 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 8,1759 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 16,6456 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12h)$$

$$[C_9^*] = \begin{bmatrix} 0,4395 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,5832 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6,1140 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 15,3133 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10,6979 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12i)$$

$$[C_{10}^*] = \begin{bmatrix} 3,2581 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6,3482 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10,2081 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6,1051 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10,0492 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12j)$$

$$[C_{11}^*] = \begin{bmatrix} 0,3583 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,2190 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,6530 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,4933 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 45,5802 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12k)$$

$$[C_{12}^*] = \begin{bmatrix} 0,5208 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6145 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3,5587 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6,6636 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 48,8752 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12l)$$

$$[C_{13}^*] = \begin{bmatrix} 0,3989 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,3825 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,3748 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 13,8010 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 42,9275 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12m)$$

$$[C_{14}^*] = \begin{bmatrix} 0,4056 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5,8671 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7,1627 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7,1627 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 42,2829 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12n)$$

$$[C_{15}^*] = \begin{bmatrix} 0,8865 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,6064 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 12,1094 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 16,5166 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 23,2356 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12o)$$

$$[C_{16}^*] = \begin{bmatrix} 0,8730 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,2061 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 10,5297 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 16,0125 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 33,9788 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12p)$$

$$[C_{17}^*] = \begin{bmatrix} 0,9272 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7699 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11,8312 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 27,8243 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 20,5829 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12q)$$

$$[C_{18}^*] = \begin{bmatrix} 0,9338 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5,2545 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 17,6191 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 19,2207 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 19,9382 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12r)$$

$$[C_{19}^*] = \begin{bmatrix} 0,5681 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7,5585 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11,0673 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 40,6329 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,0951 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12s)$$

$$[C_{20}^*] = \begin{bmatrix} 0,5208 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,9104 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5,5576 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 37,9288 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5,3925 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12t)$$

$$[C_{21}^*] = \begin{bmatrix} 0,5073 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,5101 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3,9779 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 37,4247 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 16,1357 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12u)$$

$$[C_{22}^*] = \begin{bmatrix} 0,6833 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,3059 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7,4633 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 42,0991 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 8,6875 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} \quad (5.12v)$$

$$[C_{23}^*] = \begin{bmatrix} 0,5407 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 16,3640 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 22,9214 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 12,1174 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3,4586 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} (5.12.v)$$

$$[C_{24}^*] = \begin{bmatrix} 0,5272 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15,9637 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 21,3416 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 11,6138 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 14,2018 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} (5.12x)$$

$$[C_{25}^*] = \begin{bmatrix} 0,7033 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15,7595 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 24,8271 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 16,2883 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6,7535 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} (5.12y)$$

$$[C_{26}^*] = \begin{bmatrix} 0,5814 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 16,5225 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 24,8271 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 23,4257 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,8058 \end{bmatrix} \text{ kips/(in/sec)} (5.12z)$$

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 ditemukan 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

Nilai ratio redaman pada setiap pengubahan posisi peredam dapat dicari dengan menganggap nilai ratio redaman pada keadaan struktur tanpa peredam tambahan untuk mode ke-1 adalah sebesar 2%. Selanjutnya untuk struktur dengan peredam tambahan didapat dari persamaan (3.42a) ditambah nilai ratio redaman mode pertama untuk struktur tanpa peredam. Nilai ratio redaman dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Nilai Ratio Redaman Pada Setiap Perubahan Posisi MR Damper

	ξ_1	ξ_2	ξ_3	ξ_4	ξ_5
Tanpa MR Damper	0.02	0.0761	0.0886	0.0952	0.1145
Variasi 1	0.0982	0.2219	0.2829	0.4191	0.4589
Variasi 2	0.0237	0.1419	0.1562	0.1676	1.5674
Variasi 3	0.0202	0.2819	0.7730	0.8053	0.8675
Variasi 4	0.0202	0.2819	0.773	0.8053	0.8675
Variasi 5	0.0907	0.1862	0.3355	0.3627	1.9067
Variasi 6	0.0242	0.1915	.6281	1.5358	1.8021

Tabel 5.11anjutan

Variasi 7	0.0956	0.6976	0.216	0.2574	0.3583
Variasi 8	0.1301	0.2219	0.3862	0.5157	0.5439
Variasi 9	0.1062	0.2836	0.3646	0.405	0.6719
Variasi 10	0.2422	0.3353	0.5985	0.6124	0.7537
Variasi 11	0.0903	0.1599	0.1794	0.1931	1.2902
Variasi 12	0.0694	0.1783	0.2689	0.3378	1.3752
Variasi 13	0.0897	0.1544	0.1996	0.5975	1.2218
Variasi 14	0.0996	0.2653	0.4515	0.5664	1.2053
Variasi 15	0.0687	0.25	0.688	0.6964	0.7281
Variasi 16	0.0366	0.2474	0.6221	0.6780	0.9910
Variasi 17	0.0818	0.2580	0.6195	0.6947	1.0073
Variasi 18	0.2032	0.4981	0.6029	0.7948	1.0073
Variasi 19	0.0740	0.1875	0.6494	0.7023	1.5935
Variasi 20	0.1222	0.2152	0.3224	0.3768	1.4951
Variasi 21	0.1195	0.2777	0.2902	0.5114	1.4767
Variasi 22	0.1541	0.2613	0.3127	0.4734	1.6469
Variasi 23	0.1092	0.1822	0.5297	1.1766	1.3937
Variasi 24	0.1234	0.4424	0.5113	1.1766	1.3967
Variasi 25	0.1580	0.2503	0.6815	1.3532	1.3808
Variasi 26	0.0408	0.1902	0.9413	1.3532	1.4419

Setelah nilai rasio redaman diketahui untuk setiap posisi redaman pada tiap-tiap mode, selanjutnya dicari nilai q menggunakan metode *Newmark's Acceleration*. Hasil perhitungan nilai q sebagaimana terlihat pada persamaan (3.45c) dan disajikan pada Lampiran- 4. Simpangan dihitung dengan menggunakan persamaan

$$y_n(t) = \Gamma_n \phi_n q_n(t) \quad (5.13)$$

Contoh perhitungan nilai simpangan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran-5

5.2 Pembahasan

Beban gempa yang terjadi pada suatu struktur akan menyebabkan struktur bergoyang. Jumlah tingkat suatu struktur akan menentukan banyaknya pola goyangan (*mode shape*) yang terjadi akibat beban gempa. Pola goyangan ini

diurutkan dari yang paling besar kontribusinya sampai yang paling kecil terhadap simpangan struktur.

Pada penelitian ini kami mencoba memvariasikan posisi redaman ganda dengan nilai kapasitas yang berbeda dari lantai pertama sampai lantai teratas. Mengenai variasi posisi redaman lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.1. Struktur dikenai beban gempa berupa riwayat waktu (*time history*) dari gempa El Centro untuk mendapatkan nilai simpangan relatif dan prosentase perubahan simpangan relatif.

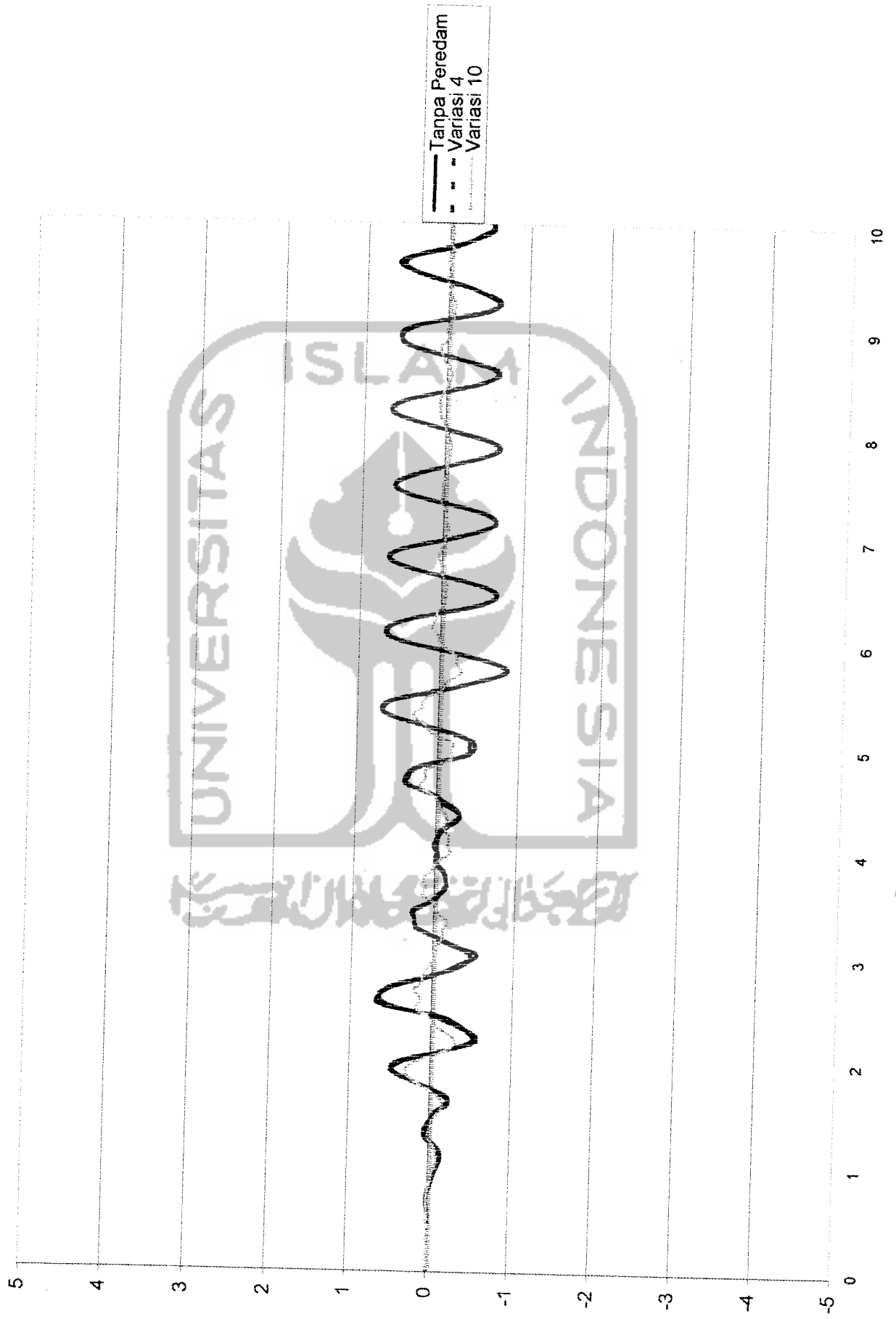
Pada penelitian kami, terdapat hubungan dengan penelitian sebelumnya, yaitu penelitian Elfira dan Juhartono(2000), yang akan kami bahas berikut ini. Pada hasil penelitian Elfira dan Juhartono mengenai penggunaan *MR Damper* ganda dengan nilai kapasitas kembar (15 kip/(in/sec) pada model struktur yang sama dengan penelitian kami, mendapatkan hasil bahwa perletakan efektif *MR Damper* terletak pada lantai 3 dan 5. Pada penelitian kami, dengan menggunakan *MR Damper* ganda dengan nilai kapasitas berbeda, mendapatkan hasil bahwa perletakan efektif terletak pada lantai 1 untuk kapasitas 22,5 kip/(in/sec) dan lantai 5 untuk kapasitas 7,5 kip/(in/sec). Perbedaan hasil tersebut dapat diartikan bahwa nilai kapasitas redaman mempunyai pengaruh terhadap perletakan efektif. Dalam perhitungan, kami mempunyai anggapan yang berbeda mengenai ratio redaman. Pada penelitian Elfira, ratio redaman dianggap 2 % untuk semua modal, sedangkan pada penelitian kami ratio redamannya adalah 2% untuk modal pertama. Selanjutnya, ratio redaman dihitung setelah mendapat nilai redaman dalam struktur (1,04 kip/ (in/sec)) yaitu dengan *trial and error*.

5.2.1 Simpangan Relatif

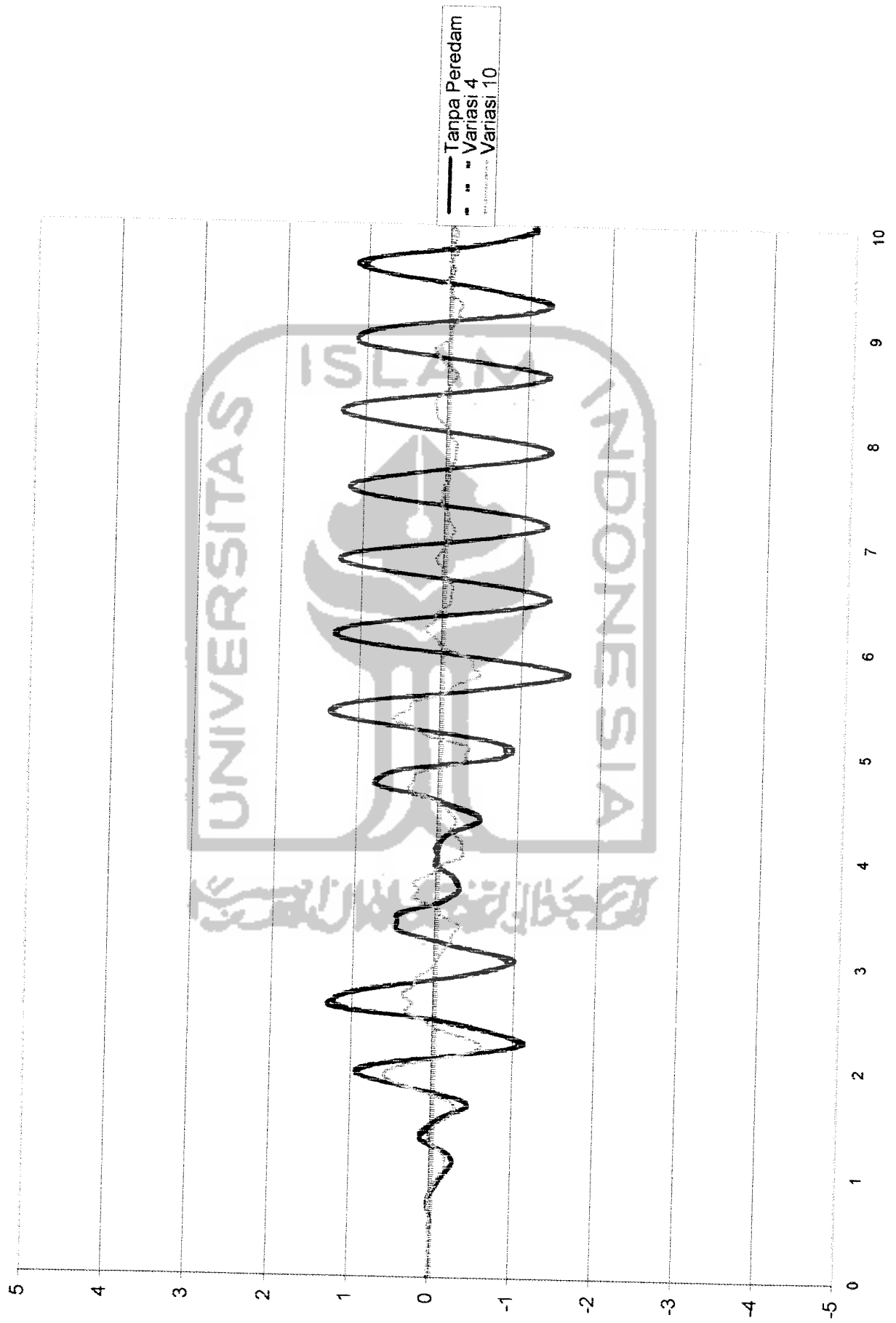
Suatu struktur akan bergetar jika mendapat pembebanan dari luar, baik berupa beban angin, getaran mesin atau gempa bumi. Getaran yang terjadi akibat pembebanan dari luar akan menyebabkan terjadinya simpangan pada struktur.

Peredaman digambarkan sebagai penyerapan kapasitas energi dari suatu *material damping*, yang dapat berbentuk gesekan antar join. Sedangkan external damping adalah penyerapan energi sistem dengan suatu alat yang menggunakan gas, cairan ataupun listrik (Hu dan kawan-kawan, 1996).

Simpangan relatif akan semakin membesar untuk lantai yang lebih tinggi, hal ini sesuai dengan pola goyangan pada mode pertama. Berikut ini ditunjukkan simpangan lantai 1 sampai 5 untuk variasi tanpa peredam tambahan, variasi 4, dan variasi 10. Pada variasi tersebut akan terlihat jelas perbedaannya, dimana variasi 10 adalah variasi yang paling efektif, dan variasi 4 adalah variasi yang paling tidak efektif (simpangannya hampir sama dengan simpangan tanpa peredam tambahan). Simpangan lantai 1 ditunjukkan pada persamaan (5.13) pada Gambar 5.2, simpangan lantai 2 pada Gambar 5.3, simpangan lantai 3 pada Gambar 5.4, simpangan lantai 4 pada Gambar 5.5, dan simpangan lantai 5 pada Gambar 5.6, dan simpangan relatif maksimum dapat dilihat pada Gambar 5.7.



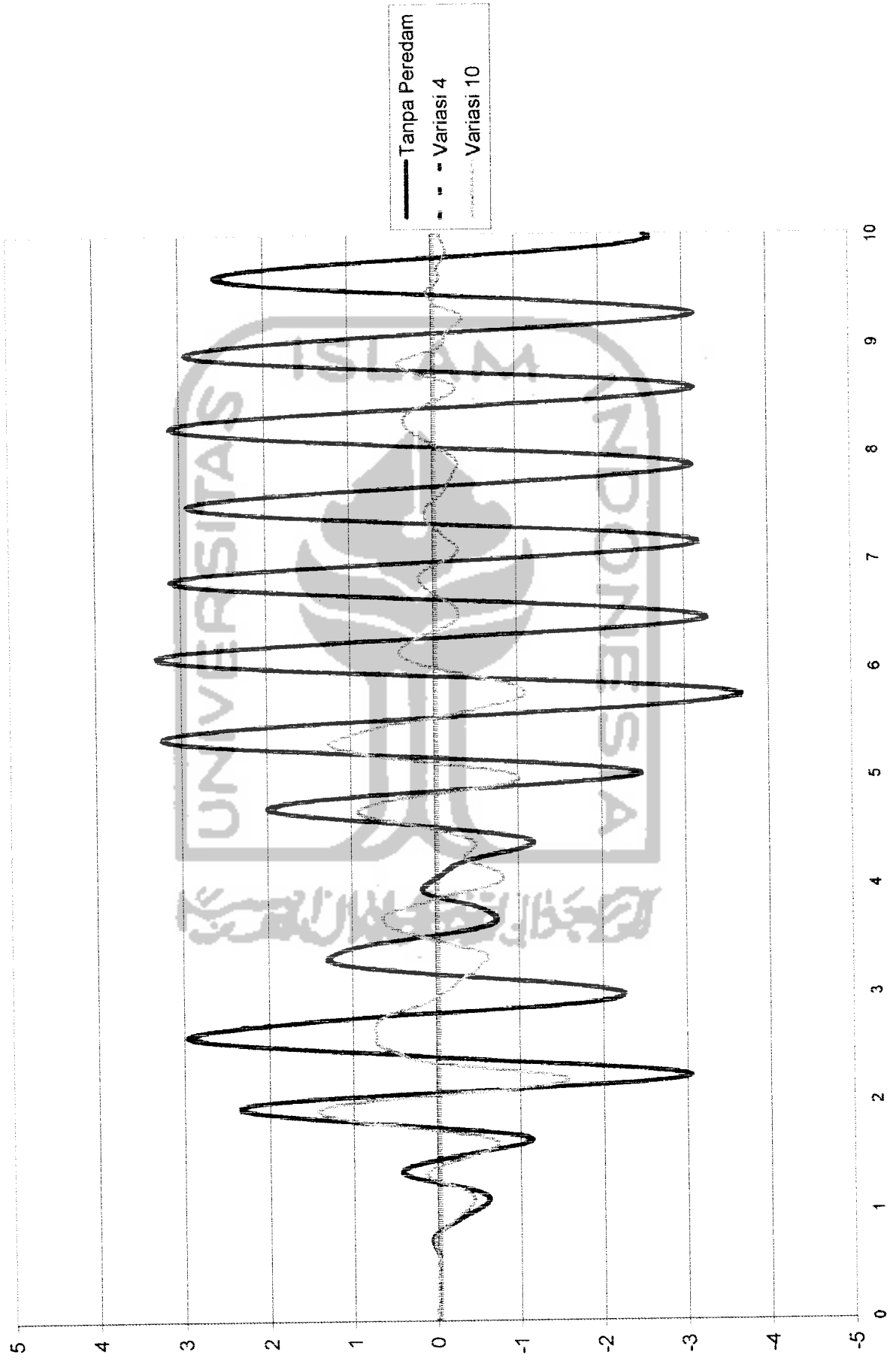
Gambar 5.2 Simpangan Lantai 1 variasi 1,4 dan 10



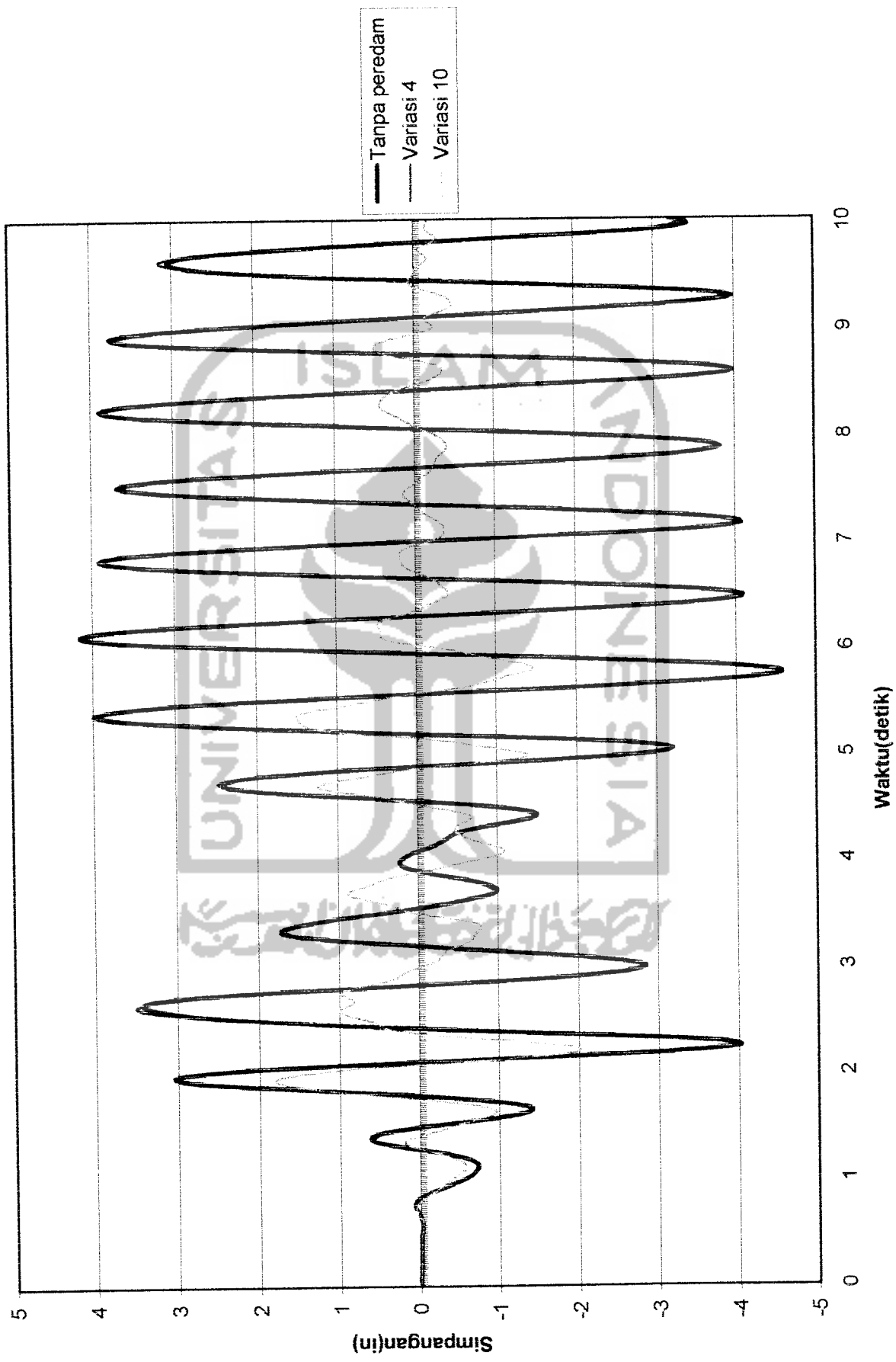
Gambar 5.3 Simpangan Lantai 2 variasi 1,4 dan 10



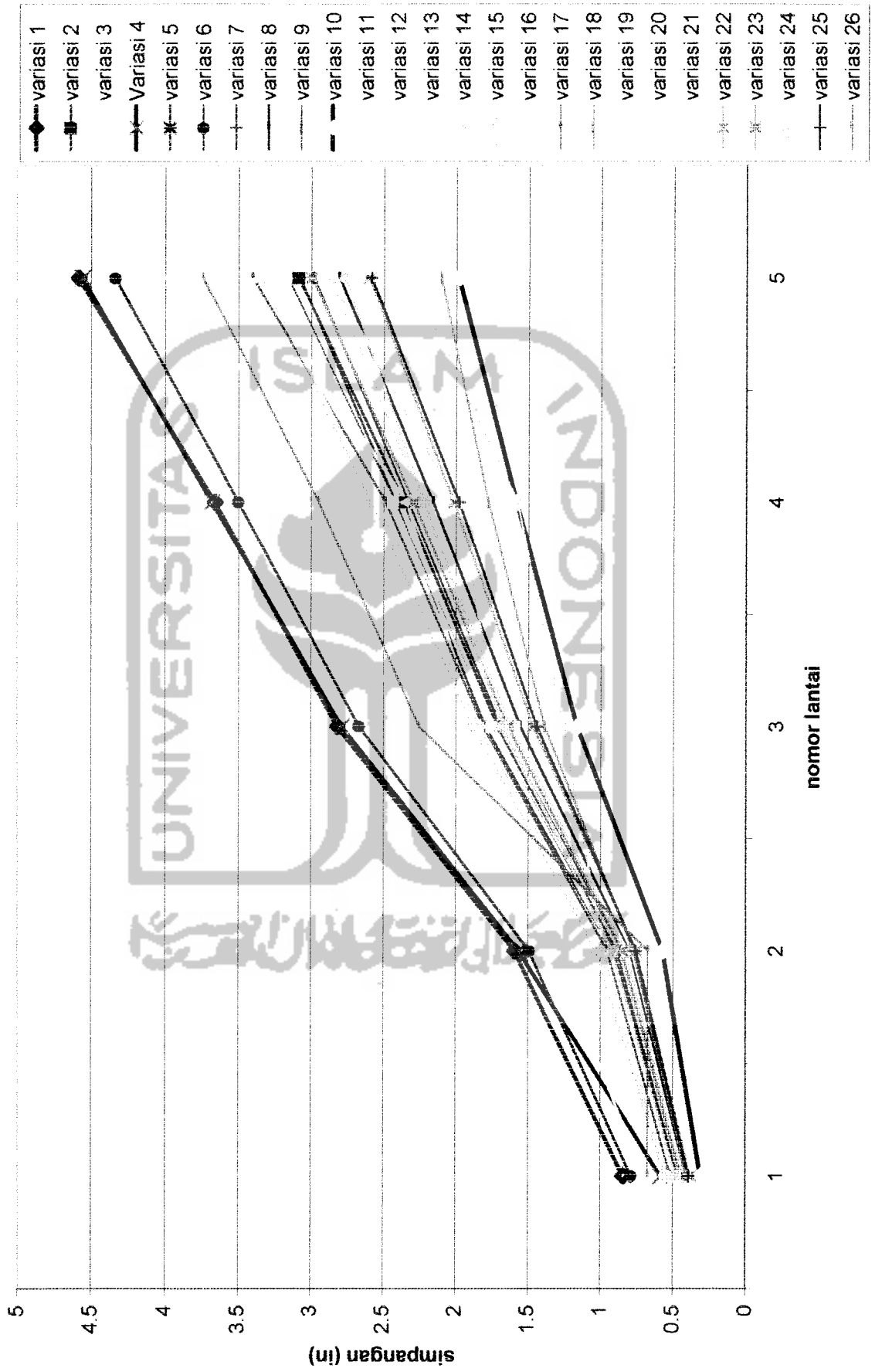
Gambar 5.4 Simpangan Lantai 3 variasi 1,4 dan 10



Gambar 5.5 Simpangan Lantai 4 variasi 1,4 dan 10



Gambar 5.6 Simpangan Lantai 5 variasi 1,4 dan 10



Gambar 5.7 Simpangan Relatif Maksimum

5.2.2. Prosentase Simpangan Relatif Maksimum

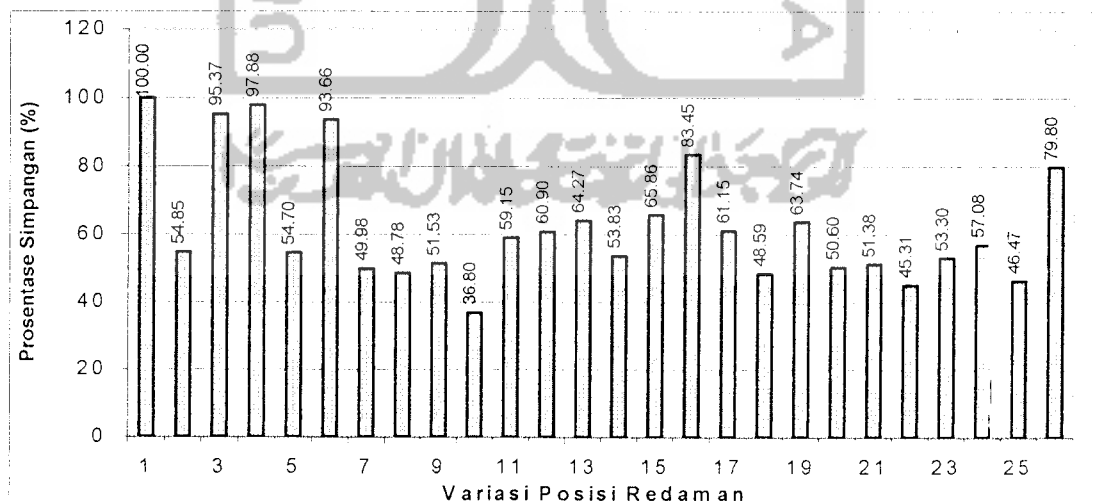
Berikut ini nilai simpangan relatif maksimum pada setiap lantai dengan masing – masing perubahan posisi peredam dan prosentase perubahan terhadap posisi tanpa peredam tambahan.

5.2.2.1. Prosentase Simpangan Relatif Maksimum Lantai 1

Nilai simpangan relatif maksimum lantai 1 dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 1 ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.8. Dari Tabel 5.2 dan Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 1 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih besar yaitu 22.5 kip/(in/sec) (75%) dan lantai 5 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih kecil yaitu 7.5 kip/(in/sec) (25%) dengan nilai simpangan relatif sebesar 0.3118 in (36.79%), hal ini karena penempatan ganda redaman dipisah. Penempatan redaman pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase simpangan relatif berturut-turut 95.36%, 97.88%, 93.66%. Hal tersebut cenderung disebabkan oleh 2 hal berikut ini. Pertama karena beban gempa yang merambat dari bawah bangunan. Kedua karena penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.

Tabel 5.2 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum Lantai 1

Variasi	Nilai Simpangan Max (in)	Prosentase Perubahan Terhadap Tanpa Peredam Tambahan(%)
1	0.8456	100
2	-0.46385	54.85
3	-0.80642	95.36
4	0.5870	97.88
5	0.46252	54.69
6	-0.79201	93.66
7	0.422655	49.98
8	0.41250	48.78
9	0.43574	51.53
10	0.31118	36.79
11	0.50014	59.14
12	0.51494	60.89
13	0.54347	64.27
14	0.455202	53.83
15	-0.55692	65.86
16	-0.70536	83.45
17	-0.51705	61.14
18	-0.41086	48.58
19	-0.53895	63.73
20	-0.42784	50.59
21	-0.43444	51.37
22	-0.38314	45.30
23	-0.45067	53.29
24	0.48266	57.07
25	-0.39298	46.47
26	-0.67479	79.80

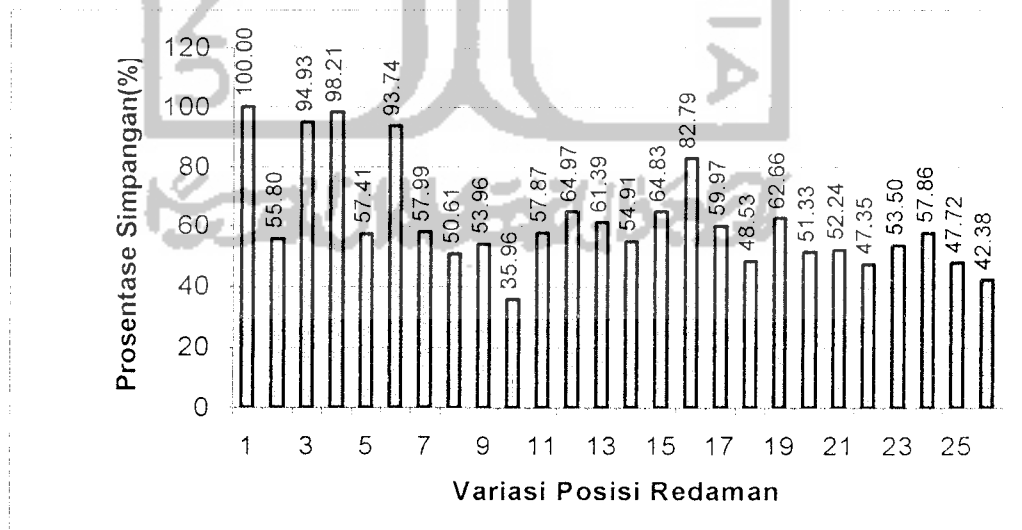
**Gambar 5.8** Prosentase Simpangan Maksimum Lantai 1 pada berbagai variasi posisi redaman terhadap struktur tanpa peredam

5.2.2.2 Prosentase Simpangan Relatif Maksimum Lantai 2

Nilai simpangan relatif maksimum lantai 2 dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 2 ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.9. Dari Tabel 5.3 dan Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 1 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih besar yaitu 22.5 kip/(in/sec) (75%) dan lantai 5 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih kecil yaitu 7.5 kip/(in/sec) (25%) dengan nilai simpangan relatif sebesar 0.57267 in (35.96%), hal ini karena penempatan ganda redaman dipisah. Penempatan redaman pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase simpangan relatif berturut-turut 94.93%, 98.21%, 93.74%. Hal tersebut cenderung disebabkan oleh 2 hal berikut ini. Pertama karena beban gempa yang merambat dari bawah bangunan. Kedua karena penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.

Tabel 5.2 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum Lantai 2

Variasi Redaman	Nilai Simpangan Max (in)	Prosentase Perubahan Terhadap Tanpa Peredam Tambahan(%)
1	1.59237	100
2	-0.88859	55.80
3	-1.51167	94.93
4	-1.56385	98.20
5	0.91416	57.40
6	-1.49261	93.73
7	-0.92346	57.99
8	0.80588	50.60
9	0.85928	53.96
10	0.57267	35.96
11	0.92151	57.87
12	-1.03463	64.97
13	0.97751	61.38
14	-0.87439	54.91
15	-1.03234	64.83
16	-1.31833	82.79
17	-0.95492	59.96
18	-0.77276	48.52
19	-0.99776	62.65
20	-0.81740	51.33
21	-0.83185	52.23
22	-0.75402	47.35
23	-0.85192	53.50
24	-0.92132	57.85
25	-0.75984	47.71
26	-0.67479	42.37



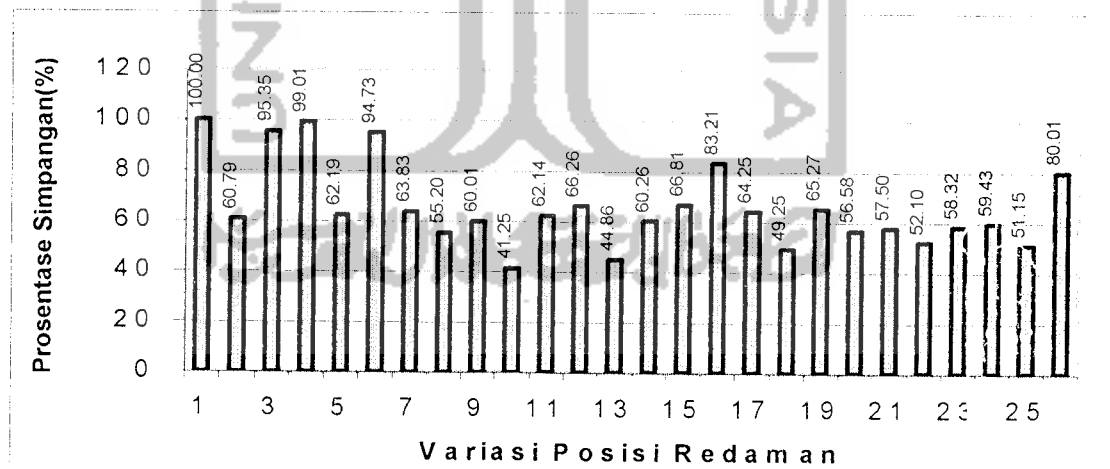
Gambar 5.9 Prosentase Simpangan Maksimum Lantai 2 pada berbagai variasi posisi redaman terhadap struktur tanpa peredam

5.2.2.3 Prosentase Simpangan Relatif Maksimum Lantai 3

Nilai simpangan relatif maksimum lantai 3 dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 3 ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.10. Dari Tabel 5.4 dan Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 1 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih besar yaitu 22.5 kip/(in/sec) (75%) dan lantai 5 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih kecil yaitu 7.5 kip/(in/sec) (25%) dengan nilai simpangan relatif sebesar 1.16222 in (41.25%), hal ini karena penempatan ganda redaman dipisah. Penempatan redaman pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase simpangan relatif berturut-turut 95.35%, 99.01%, 94.73%. Hal tersebut cenderung disebabkan oleh 2 hal berikut ini. Pertama karena beban gempa yang merambat dari bawah bangunan. Kedua karena penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.

Tabel 5.4 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum Lantai 3

Variasi Redaman	Nilai Simpangan Max (in)	Prosentase Perubahan Terhadap Tanpa Pweredam Tambahan(%)
1	2.81776	100
2	-1.71305	60.79
3	-2.68678	95.35
4	-2.78974	99.00
5	1.75236	62.18
6	-2.66940	94.73
7	-1.79853	63.82
8	-1.55529	55.19
9	1.69106	60.01
10	-1.16222	41.24
11	-1.75109	62.14
12	-1.86715	66.26
13	1.26392	44.85
14	1.69765	60.25
15	1.88255	66.81
16	-2.34458	83.20
17	-1.81041	64.24
18	-1.38789	49.25
19	-1.83919	65.27
20	-1.59430	56.58
21	-1.62022	57.50
22	-1.46796	52.09
23	1.64501	58.32
24	-1.67469	59.43
25	-1.44139	51.15
26	2.25459	80.01

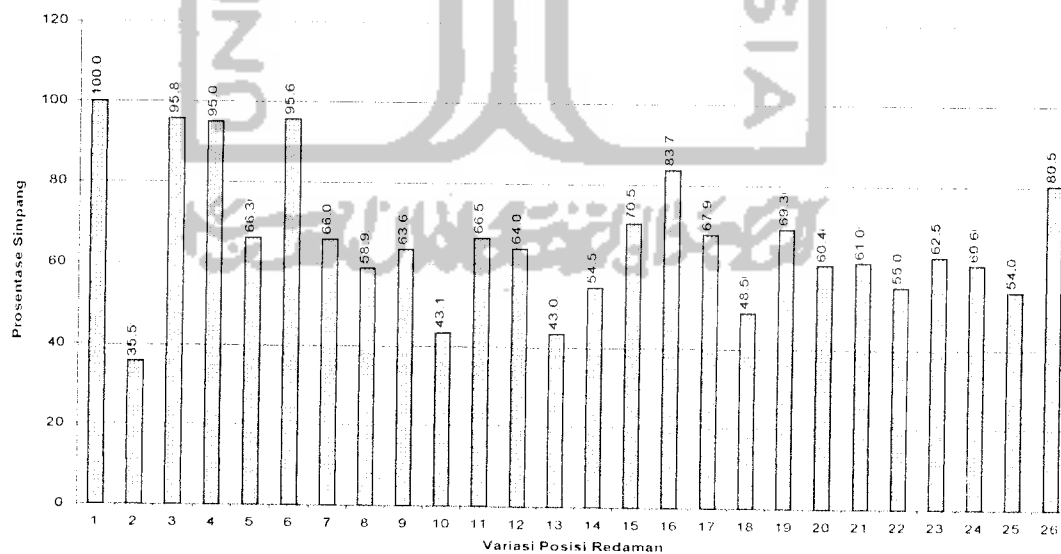
**Gambar 5.10** Prosentase Simpangan Maksimum Lantai 3 pada berbagai variasi posisi redaman terhadap struktur tanpa peredam

5.2.2.4 Prosentase Simpangan Relatif Maksimum Lantai 4

Nilai simpangan relatif maksimum lantai 4 dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 4 ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.11. Dari Tabel 5.5 dan Gambar 5.11 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Tetapi dengan penempatan redaman yang tidak tepat dapat mengakibatkan simpangan relatif maksimum lebih besar daripada simpangan relatif maksimum tanpa redaman. Contohnya pada penempatan kedua *MR damper* dilantai 3 dengan nilai prosentase simpangan relatif sebesar 3.68384 in (100.54%). Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 1 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih besar yaitu 22.5 kip/(in/sec) (75%) dan lantai 5 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih kecil yaitu 7.5 kip/(in/sec) (25%) dengan nilai simpangan relatif sebesar 1.58044 in (43.13%), hal ini karena penempatan ganda redaman dipisah.

Tabel 5.5 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum Lantai 4

Variasi Redaman	Nilai Simpangan Max (in)	Prosentase Perubahan Terhadap Tanpa Peredam Tambahar (%)
1	3.66404	100
2	-2.35998	64.40
3	-3.51124	95.82
4	-3.68384	100.54
5	2.42936	66.30
6	-3.50485	95.65
7	2.42081	66.06
8	2.15880	58.91
9	2.33034	63.67
10	1.58044	43.13
11	-2.43826	66.54
12	-2.34483	63.99
13	1.57638	43.02
14	1.99876	54.55
15	2.58452	70.53
16	3.06770	83.72
17	2.48811	67.90
18	-1.77693	48.49
19	-2.54128	69.35
20	-2.21292	60.39
21	-2.23682	61.04
22	-2.01527	55.00
23	-2.29250	62.56
24	-2.22259	60.65
25	-1.97871	54.00
26	2.95064	80.52

**Gambar 5.11.** Prosentase Simpangan Lantai 4 pada berbagai variasi posisi redaman terhadap struktur tanpa peredam

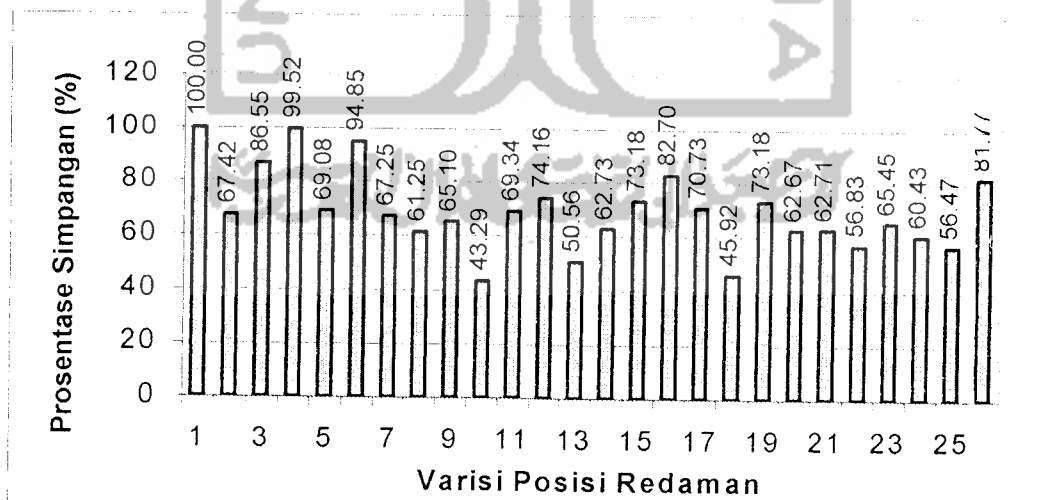
5.2.2.5 Prosentase Simpangan Relatif Maksimum Lantai 5

Nilai simpangan relatif maksimum lantai 5 dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan prosentase perubahan simpangan relatif maksimum lantai 5 ditunjukkan dengan grafik pada Gambar 5.12. Dari Tabel 5.5 dan Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa nilai simpangan relatif menjadi berkurang dengan pemakaian redaman, apabila dibandingkan dengan bangunan tanpa redaman. Redaman paling efektif ditempatkan pada lantai 1 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih besar yaitu 22.5 kip/(in/sec) (75%) dan lantai 5 untuk kapasitas *MR damper* yang lebih kecil yaitu 7.5 kip/(in/sec) (25%) dengan nilai simpangan relatif sebesar 1.98343 in (43.29%), hal ini karena penempatan ganda redaman dipisah. Penempatan redaman pada lantai 2, 3 dan 5 tidak efektif, dengan nilai prosentase simpangan relatif berturut-turut 86.55%, 99.51%, 94.85%. Hal tersebut cenderung disebabkan oleh 2 hal berikut ini. Pertama karena beban gempa yang merambat dari bawah bangunan. Kedua karena penempatan redaman digabungkan pada satu lantai.



Tabel 5.6 Prosentase Perubahan Simpangan Relatif Maksimum Lantai 5

Variasi	Nilai Simpangan Max (in)	Prosentase Perubahan Terhadap Tanpa Peredam Tambahan(%)
1	4.58129	100
2	3.08878	67.42
3	-3.96492	86.54
4	-4.55915	99.51
5	3.16494	69.08
6	-4.33642	94.85
7	-3.08108	67.25
8	-2.80582	61.24
9	-2.98238	65.09
10	-1.98343	43.29
11	-3.17653	69.33
12	-3.39749	74.16
13	2.31643	50.56
14	-2.87378	62.72
15	-3.35265	73.18
16	-3.78861	82.69
17	-3.4046	70.73
18	-2.10379	45.92
19	-3.35251	73.17
20	-2.87129	62.67
21	-2.87295	62.71
22	-2.60332	56.82
23	-2.99824	65.44
24	-2.76858	60.43
25	-2.58722	56.47
26	-3.74634	81.77

**Gambar 5.12** Prosentase Simpangan Lantai 5 pada berbagai variasi posisi redaman terhadap struktur tanpa peredam