

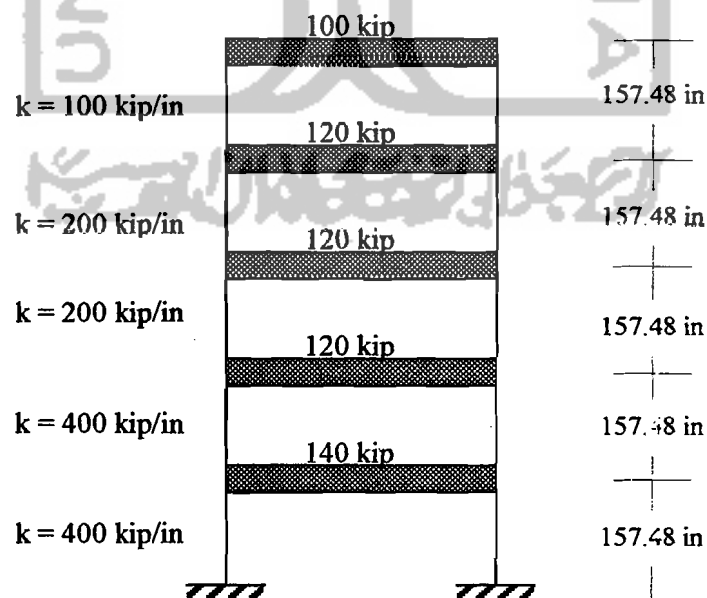
BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang perhitungan-perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan hasil, dan selanjutnya akan dikemukakan pembahasan dari hasil tersebut.

5.1 Analisis

Analisis menggunakan model struktur 5 lantai seperti yang dikemukakan oleh Berg (1988 : 145). Berat lantai dan kekakuan tiap tingkat seperti pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Model Struktur Tanpa Menggunakan Baliho

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

Baliho

Matrik massa dan kekakuan dari Gambar 5.1 adalah

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

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.3626 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2590 \end{bmatrix} \text{ kip.sec}^2 / \text{in}$$

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

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400 & -200 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 300 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & -100 & 100 \end{bmatrix} \text{ kip/in}$$

dengan : $m = \frac{w_n}{g}$, $g = \text{percepatan gravitasi}$ (5.3)

$$= 980,6 \text{ cm/sec}^2 = 386.063 \text{ in/sec}^2$$

Jika matrik massa dan kekakuan dimasukkan ke persamaan (3.24), maka

$$\begin{bmatrix} 800-0.3626\omega^2 & -400 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600-0.3108\omega^2 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400-0.3108\omega^2 & -200 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 300-0.3108\omega^2 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & -100 & 100-0.3108\omega^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{Bmatrix} = 0$$

Selanjutnya untuk memperoleh nilai *mode shape* dipakai program komputer dengan bahasa Matlab (Lampiran 1). Matlab adalah suatu program yang banyak dipakai untuk menyelesaikan persoalan matematika yang mempunyai variabel yang kompleks, persamaan differensial dan lainnya. Nilai *mode shape* yang diperoleh adalah sebagai berikut.

$$\phi_1 = \begin{Bmatrix} 0.1153 \\ 0.2225 \\ 0.4095 \\ 0.5463 \\ 0.6863 \end{Bmatrix}, \phi_2 = \begin{Bmatrix} 0.2840 \\ 0.4492 \\ 0.4572 \\ 0.1371 \\ -0.6998 \end{Bmatrix}, \phi_3 = \begin{Bmatrix} 0.4616 \\ 0.5110 \\ -0.1725 \\ -0.5920 \\ 0.3815 \end{Bmatrix}, \phi_4 = \begin{Bmatrix} 0.3654 \\ 0.1079 \\ -0.7225 \\ 0.5586 \\ -0.1443 \end{Bmatrix}, \phi_5 = \begin{Bmatrix} 0.6671 \\ -0.7031 \\ 0.2373 \\ -0.0647 \\ 0.0084 \end{Bmatrix}$$

Persamaan differensial modal gerakan pada sistem di atas tanpa memperhitungkan nilai redaman adalah sebagai berikut.

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

$$[M^*]_n = \{\phi\}_n^T [M] \{\phi\}_n \quad (5.4b)$$

$$[K^*]_n = \{\phi\}_n^T [K] \{\phi\}_n \quad (5.4c)$$

Elemen dari massa efektif dan kekakuan efektif adalah sebagai berikut.

$$[M^*] = \begin{bmatrix} 0.2871 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.2896 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3143 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3166 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3338 \end{bmatrix} \text{ kip} \cdot \text{sec}^2 / \text{in}$$

$$[K^*] = \begin{bmatrix} 22.6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 133.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 309.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 595.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1124.6 \end{bmatrix} \text{ kip/in}$$

Baik matrik massa maupun kekakuan adalah matrik diagonal, sehingga hasil perkalian dari $[M^*]^{-1}$ dengan $[K^*]$ adalah $\lambda = \omega^2$ juga merupakan matrik diagonal.

$$\sqrt{[M^*]^{-1}[K^*]} = \begin{bmatrix} \omega_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \omega_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \omega_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \omega_5 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

$$\sqrt{[M^*]^{-1}[K^*]} = \begin{bmatrix} 8.8769 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 21.4872 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 31.3863 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 43.3659 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 58.0422 \end{bmatrix} \text{ rad/sec}$$

Dari nilai frekuensi sudut tiap mode (ω_n) di atas, maka akan didapat periode getar struktur

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (5.6)$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{8.8769} = 0.7074 \text{ sec}$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{21.4872} = 0.2923 \text{ sec}$$

$$T_3 = \frac{2\pi}{31.3863} = 0.2001 \text{ sec}$$

$$T_4 = \frac{2\pi}{43.3663} = 0.1448 \text{ sec}$$

$$T_5 = \frac{2\pi}{58.0422} = 0.1082 \text{ sec}$$

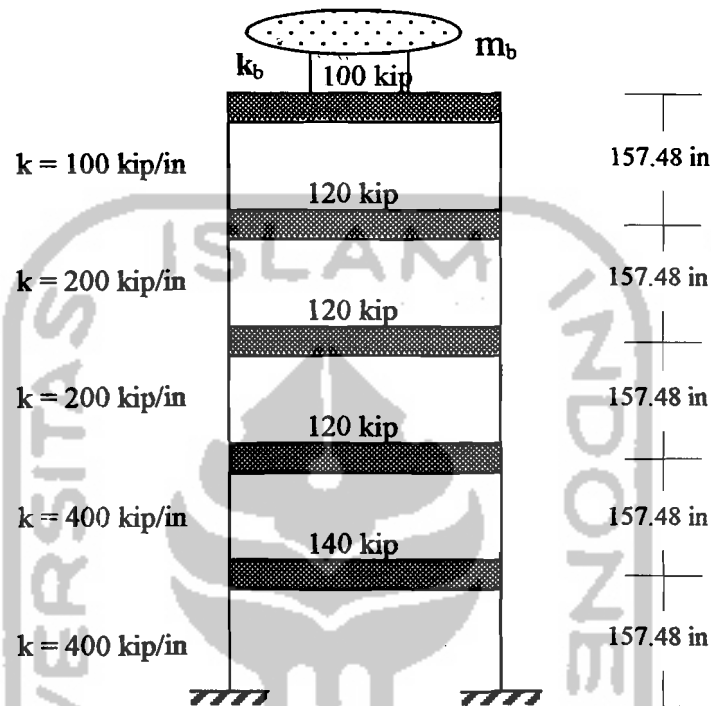
Faktor partisipasi tiap mode dihitung dengan persamaan (3.40)

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

Faktor partisipasi tiap mode dari perhitungan numerik di atas adalah

$$\Gamma_1 = 2.0405, \Gamma_2 = 0.8496, \Gamma_3 = 0.5963, \Gamma_4 = 0.2454, \Gamma_5 = 0.2372$$

5.1.2 Ragam Bentuk (*Mode Shape*) dan Frekuensi Natural Struktur Dengan Menggunakan *Baliho*



Gambar 5.2. Model Struktur Dengan Menggunakan *Baliho*

m_b = variasi massa *baliho* $0.0010wt - 0.0150wt$

k_b = kekakuan *baliho* sesuai dengan periode mode ke-1, 2, 3, 4 dan 5 dari model struktur tanpa *baliho*

Matrik massa dan kekakuan dari Gambar 5.2 adalah

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.3626 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2590 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_b \end{bmatrix} \text{ kip} \cdot \text{sec}^2 / \text{in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4+k_5 & -k_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5+k_6 & -k_6 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_6 & k_6 \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600 & -200 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 300 & -100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -100 & 100+k_b & -k_b \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_b & k_b \end{bmatrix} \text{ kip / in}$$

Selanjutnya untuk memperoleh nilai *mode shape* untuk masing-masing variasi massa *baliho* digunakan program komputer dengan bahasa Matlab. Kemudian untuk memperoleh nilai matrik massa efektif $[M^*]$, matrik kekakuan efektif $[K^*]$, frekuensi

sudut (ω) dan faktor partisipasi (Γ) dapat dihitung dengan persamaan-persamaan tipikal seperti di atas. Jadi untuk tiap nilai variasi massa *baliho* yang berbeda akan mempunyai nilai persamaan yang berbeda pula.

Setelah nilai-nilai dari persamaan di atas dapat dihasilkan, maka untuk setiap variasi massa *baliho* dapat dicari nilai q_n dengan menggunakan metode *central difference (conditionally stable procedures)* adalah

$$q_{n+1} = \frac{-\ddot{y}_i - aq_n - bq_{n-1}}{\hat{k}} \quad (5.10)$$

Simpangan lantai dihitung dengan menggunakan persamaan (3.49)

$$y_n(t) = \Gamma_n \phi_n q_n(t) \quad (5.11)$$

Gaya geser lantai dihitung dengan menggunakan persamaan (3.50)

$$F_n = [M]_n \Gamma_n \phi_n q_n(t) \quad (5.12)$$

Momen guling dihitung dengan menggunakan persamaan (3.52)

$$M = \sum_{n=1}^i (F_n h_n) \quad (5.13)$$

5.1.3 Contoh Hitungan Struktur Dengan Variasi Massa *Baliho*

Matrik massa dan kekakuan struktur tanpa *baliho*

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.3626 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2590 \end{bmatrix} \text{ kip} \cdot \text{sec}^2 / \text{in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400 & -200 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 300 & -100 \\ 0 & 0 & 0 & -100 & 100 \end{bmatrix} \text{ kip / in}$$

Dengan program komputer menggunakan bahasa Matlab (Lampiran 1) akan didapat frekuensi sudut

$$\omega_n = \begin{bmatrix} 8.87690 \\ 21.4872 \\ 31.3863 \\ 43.3659 \\ 58.0422 \end{bmatrix} \text{ rad/sec}$$

Dengan hubungan $\omega_n = \frac{2\pi}{T_n}$, maka diperoleh periode getar struktur

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{8.8769} = 0.7074 \text{ sec}$$

$$T_2 = \frac{2\pi}{21.4872} = 0.2923 \text{ sec}$$

$$T_3 = \frac{2\pi}{31.3863} = 0.2001 \text{ sec}$$

$$T_4 = \frac{2\pi}{43.3663} = 0.1448 \text{ sec}$$

$$T_5 = \frac{2\pi}{58.0422} = 0.1082 \text{ sec}$$

A. Dicoba *baliho* dengan variasi massa $0.0010wt$ dengan kekakuan sesuai periode $50\%T_1$.

$$T_b = 50\% * T_1 = 0.5 * 0.7074 = 0.3537 \text{ sec}$$

$$wt = 600 \text{ kip dan } g = 980.6 \text{ cm/sec}^2 = 386.0630 \text{ in/sec}^2$$

$$m_b = 0.0010 * \frac{600}{386.0630} = 0.00160 \text{ kip.sec}^2/\text{in}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow k = \frac{4\pi^2 \cdot m}{T^2}$$

$$\text{maka } k_b = \frac{4\pi^2 * m_b}{(T_b)^2} = \frac{4 * \pi^2 * 0.00160}{0.3537^2} = 0.5044 \text{ kip/in}$$

didapat matrik massa dan kekakuannya

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.3626 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2590 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0016 \end{bmatrix} \text{ kip.sec}^2/\text{in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600 & -200 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 300 & -100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -100 & 100.5044 & -0.5044 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.5044 & 0.5044 \end{bmatrix} \text{ kip/in}$$

Kemudian diolah dengan program komputer menggunakan bahasa Matlab

(Lampiran 5) akan didapat

$$\phi_1 = \begin{bmatrix} 0.0850 \\ 0.1640 \\ 0.3019 \\ 0.4030 \\ 0.5069 \\ 0.6749 \end{bmatrix}, \phi_2 = \begin{bmatrix} -0.0026 \\ -0.0044 \\ -0.0059 \\ -0.0045 \\ 0.0026 \\ 1.0000 \end{bmatrix}, \phi_3 = \begin{bmatrix} -0.1587 \\ -0.2505 \\ -0.2535 \\ -0.0735 \\ 0.3926 \\ -0.8296 \end{bmatrix}, \phi_4 = \begin{bmatrix} 0.4540 \\ 0.5025 \\ -0.1701 \\ -0.5822 \\ 0.3769 \\ -0.1773 \end{bmatrix}$$

$$\phi_5 = \begin{bmatrix} 0.3652 \\ 0.1078 \\ -0.7221 \\ 0.5584 \\ -0.1445 \\ 0.0291 \end{bmatrix}, \phi_6 = \begin{bmatrix} 0.6671 \\ -0.7031 \\ 0.2373 \\ -0.0647 \\ 0.0084 \\ -0.0009 \end{bmatrix}$$

$$\omega_n = \begin{bmatrix} 8.8594 \\ 17.7318 \\ 21.5503 \\ 31.3920 \\ 43.3667 \\ 58.0421 \end{bmatrix} \text{ rad/sec}, \quad \Gamma_n = \begin{bmatrix} 2.7584 \\ -2.0089 \\ -1.4968 \\ 0.6055 \\ 0.2455 \\ 0.2372 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya untuk mencari q_n dipakai metode *central difference* (Lampiran 6)

$$q_{n+1} = \frac{-\ddot{y}_t - aq_n - bq_{n-1}}{\hat{k}}$$

dengan,

$$a = \left[\omega_n^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right]; \quad b = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right]; \quad \hat{k} = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right]$$

dipakai rasio redaman $\xi = 2\%$ dan $\Delta t = 0.02$ sec, maka nilai a , b dan \hat{k} dihitung sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 5.1.3.1.

Tabel 5.1.3.1 Nilai a , b dan \hat{k} untuk struktur menggunakan *baliho* dengan $m_b = 0.0010wt$ & $T_b = 50\%T_I$

Mode	ω (rad / sec)	a	b	\hat{k}
Mode1	8.8594	-4921.5110	2491.1406	2508.8594
Mode 2	17.7318	-4685.5833	2482.2682	2517.7318
Mode 3	21.5503	-4535.5846	2478.4497	2521.5503
Mode 4	31.3920	-4014.5423	2468.6080	2531.3920
Mode 5	43.3667	-3119.3293	2456.6333	2543.3667
Mode 6	58.0421	-1631.1146	2441.9579	2558.0421

B. Dicoba *baliho* dengan variasi massa $0.0010wt$ dengan kekakuan sesuai periode $100\%T_1$.

$$T_b = 100\% * T_1 = 0.7074 \text{ sec}$$

$$wt = 600 \text{ kip dan } g = 980.6 \text{ cm/sec}^2 = 386.0630 \text{ in/sec}^2$$

$$m_b = 0.0010 * \frac{600}{386.0630} = 0.00160 \text{ kip.sec}^2/\text{in}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow k = \frac{4\pi^2 \cdot m}{T^2}$$

$$\text{maka } k_b = \frac{4\pi^2 * m_b}{T_b^2} = \frac{4 * \pi^2 * 0.00160}{0.7074^2} = 0.1261 \text{ kip/in}$$

didapat matrik massa dan kekakuannya

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.3626 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2590 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0016 \end{bmatrix} \text{ kip.sec}^2 / \text{in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600 & -200 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 300 & -100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -100 & 100.1261 & -0.1261 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1261 & 0.1261 \end{bmatrix} \text{ kip / in}$$

Kemudian diolah dengan program komputer menggunakan bahasa Matlab akan didapat

$$\phi_1 = \begin{bmatrix} 0.0082 \\ 0.0159 \\ 0.0294 \\ 0.0394 \\ 0.0504 \\ 0.9974 \end{bmatrix}, \phi_2 = \begin{bmatrix} 0.0090 \\ 0.0173 \\ 0.0317 \\ 0.0420 \\ 0.0518 \\ -0.9971 \end{bmatrix}, \phi_3 = \begin{bmatrix} 0.2812 \\ 0.4446 \\ 0.4522 \\ 0.1352 \\ -0.6930 \\ 0.1425 \end{bmatrix}, \phi_4 = \begin{bmatrix} 0.4613 \\ 0.5107 \\ -0.1725 \\ -0.5916 \\ 0.3816 \\ -0.0332 \end{bmatrix}$$

$$\phi_5 = \begin{bmatrix} 0.3654 \\ 0.1079 \\ -0.7224 \\ 0.5586 \\ -0.1444 \\ 0.0063 \end{bmatrix}, \phi_6 = \begin{bmatrix} 0.6671 \\ -0.7031 \\ 0.2373 \\ -0.0647 \\ 0.0084 \\ -0.0002 \end{bmatrix}$$

$$\omega_n = \begin{bmatrix} 8.8504 \\ 9.1052 \\ 21.4943 \\ 31.3875 \\ 43.3664 \\ 58.0421 \end{bmatrix} \text{ rad/sec}, \Gamma_n = \begin{bmatrix} 14.1599 \\ 13.2676 \\ 0.8579 \\ 0.5965 \\ 0.2455 \\ 0.2346 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya untuk mencari q_n dipakai metode *central difference*

$$q_{n+1} = \frac{-\ddot{y}_i - aq_n - bq_{n-1}}{\hat{k}}$$

dengan,

$$a = \left[\omega_n^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right]; b = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right]; \hat{k} = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right]$$



dipakai rasio redaman $\xi = 2\%$ dan $\Delta t = 0.02$ sec, maka nilai a , b dan \hat{k} dihitung sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 5.1.3.2.

Tabel 5.1.3.2 Nilai a , b dan \hat{k} untuk struktur menggunakan *baliho* dengan $m_b = 0.0010wt$ & $T_b = 100\%T_1$

Mode	ω (rad / sec)	a	b	\hat{k}
Mode 1	8.8504	-4921.6704	2491.1496	2508.8504
Mode 2	9.1052	-4917.0953	2490.8948	2509.1052
Mode 3	21.4943	-4537.9951	2478.5057	2521.4943
Mode 4	31.3875	-4014.8248	2468.6125	2531.3875
Mode 5	43.3664	-3119.3554	2456.6336	2543.3664
Mode 6	58.0421	-1631.1146	2441.9579	2558.0421

C. Dicoba *baliho* dengan variasi massa $0.0010wt$ dengan kekakuan sesuai periode $150\%T_1$.

$$T_b = 150\% * T_1 = 1.50 * 0.7074 = 1.0611 \text{ sec}$$

$$wt = 600 \text{ kip dan } g = 980.6 \text{ cm/sec}^2 = 386.0630 \text{ in/sec}^2$$

$$m_b = 0.0010 * \frac{600}{386.0630} = 0.00160 \text{ kip.sec}^2/\text{in}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}} \rightarrow k = \frac{4\pi^2 \cdot m}{T^2}$$

$$\text{maka } k_b = \frac{4\pi^2 * m_b}{T_b^2} = \frac{4 * \pi^2 * 0.00160}{1.0611^2} = 0.0560 \text{ kip/in}$$

didapat matrik massa dan kekakuannya

$$[M] = \begin{bmatrix} 0.3626 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.3108 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2590 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0016 \end{bmatrix} \text{ kip.sec}^2 / \text{in}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 800 & -400 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -400 & 600 & -200 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -200 & 400 & -200 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -200 & 300 & -100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -100 & 100.0560 & -0.0560 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.0560 & 0.0560 \end{bmatrix} \text{ kip/in}$$

Kemudian diolah dengan program komputer menggunakan bahasa Matlab

akan didapat

$$\phi_1 = \begin{bmatrix} 0.0003 \\ 0.0006 \\ 0.0011 \\ 0.0016 \\ 0.0023 \\ 1.0000 \end{bmatrix}, \phi_2 = \begin{bmatrix} 0.1013 \\ 0.1953 \\ 0.3595 \\ 0.4795 \\ 0.6020 \\ -0.4796 \end{bmatrix}, \phi_3 = \begin{bmatrix} 0.2836 \\ 0.4484 \\ 0.4563 \\ 0.1367 \\ -0.6988 \\ 0.0573 \end{bmatrix}, \phi_4 = \begin{bmatrix} 0.4616 \\ 0.5109 \\ -0.1725 \\ -0.5919 \\ 0.3816 \\ -0.0141 \end{bmatrix}$$

$$\phi_5 = \begin{bmatrix} 0.3654 \\ 0.1079 \\ -0.7225 \\ 0.5586 \\ -0.1443 \\ 0.0027 \end{bmatrix}, \phi_6 = \begin{bmatrix} 0.6671 \\ -0.7031 \\ 0.2373 \\ -0.0647 \\ 0.0084 \\ -0.0001 \end{bmatrix}$$

$$\omega_n = \begin{bmatrix} 5.9091 \\ 8.8842 \\ 21.4907 \\ 31.3870 \\ 43.3663 \\ 58.0421 \end{bmatrix} \text{ rad / sec} , \quad \Gamma_n = \begin{bmatrix} 2.0778 \\ 2.3183 \\ 0.8509 \\ 0.5964 \\ 0.2454 \\ 0.2372 \end{bmatrix}$$

Selanjutnya untuk mencari q_n dipakai metode *central difference*

$$q_{n+1} = \frac{-\ddot{y}_t - aq_n - bq_{n-1}}{\hat{k}}$$

dengan,

$$a = \left[\omega_n^2 - \frac{2}{(\Delta t)^2} \right] ; \quad b = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} - \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right] ; \quad \hat{k} = \left[\frac{1}{(\Delta t)^2} + \frac{2\xi\omega_n}{2\Delta t} \right]$$

dipakai rasio redaman $\xi = 2\%$ dan $\Delta t = 0.02$ sec, maka nilai a , b dan \hat{k} dihitung sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 5.1.3.3.

Tabel 5.1.3.3 Nilai a , b dan \hat{k} untuk struktur menggunakan *baliho* dengan $m_b = 0.0010wt$ & $T_b = 150\%T_1$

Mode	ω (rad / sec)	a	b	\hat{k}
Mode1	5.9091	-4965.0825	2494.0909	2505.9091
Mode 2	8.8842	-4921.0710	2491.1158	2508.8842
Mode 3	21.4907	-4538.1498	2478.5093	2521.4907
Mode 4	31.3870	-4014.8562	2468.6130	2531.3870
Mode 5	43.3663	-3119.3640	2456.6337	2543.3663
Mode 6	58.0421	-1631.1146	2441.9579	2558.0421

Data tersebut digunakan sebagai input pada metode *central difference* (*conditionally stable procedures*) yang diolah dengan iterasi-iterasi melalui program komputer dengan bahasa Excel untuk mencari simpangan, gaya geser dan momen guling (Lampiran 3, 4, 7 dan 8).

5.1.4 Tabulasi Contoh Hasil Perhitungan Simpangan, Gaya Geser dan Momen Guling

Setelah dilakukan perhitungan secara numeris dengan program komputer menggunakan bahasa Matlab dan Excel akan didapat nilai-nilai simpangan, gaya geser dan momen guling yang ditunjukkan pada contoh tabel-tabel berikut ini.

Tabel 5.1.4.1 Hasil perhitungan simpangan, gaya geser dan momen guling pada struktur tanpa menggunakan *baliho*

Tingkat	Simpangan Y (in)	Gaya geser F (kip)	Momen guling M_g (kip.in)
Tingkat 1	3.37001	1.22198	192.43741
Tingkat 2	4.07581	1.44133	261.52389
Tingkat 3	4.59689	1.60326	338.02610
Tingkat 4	4.76164	1.65447	370.28430
Tingkat 5	4.85464	1.67855	389.24489

Tabel 5.1.4.2 Hasil perhitungan simpangan, gaya geser dan momen guling pada struktur dengan variasi massa *baliho* dengan kekakuan sesuai periode $50\%T_1$

Variasi massa baliho	Simpangan lantai 5 Y_5 (in)	Gaya geser tingkat 5 F_5 (kip)	Momen guling total M_g (kip.in)
$m_b = 0.0010wt$	5.64098	1.79416	522.57376
$m_b = 0.0025wt$	6.17892	1.84792	526.35013
$m_b = 0.0050wt$	<i>imajiner</i>	<i>imajiner</i>	<i>imajiner</i>
$m_b = 0.0075wt$	<i>imajiner</i>	<i>imajiner</i>	<i>imajiner</i>
$m_b = 0.0100wt$	6.05032	1.81356	525.36273
$m_b = 0.0125wt$	6.00413	1.80000	524.80525
$m_b = 0.0150wt$	5.95468	1.78105	523.57376

Untuk variasi massa *baliho* dengan $m_b=0.0050wt$ & $m_b=0.0075wt$ dengan periode $50\%T_1$ didapat hasil yang *imajiner*, hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya :

- *ill conditioned* yang menghasilkan angka-angka yang sangat besar atau sangat kecil sehingga perlu dicoba dengan persoalan perhitungan yang lebih akurasi,
- penyebab lain dikarenakan metode *central difference* bersifat *conditionally stable*, maka perlu dicoba dengan metode yang *unconditionally stable* seperti *Beta Method*, *Newmark's Method* dan *Wilson Method*.

Tabel 5.1.4.3 Hasil perhitungan simpangan, gaya geser dan momen guling pada struktur dengan variasi massa *baliho* dengan kekakuan sesuai periode $100\%T_1$

Variasi massa baliho	Simpangan lantai 5 Y_5 (in)	Gaya geser tingkat 5 F_5 (kip)	Momen guling total M_g (kip.in)
$m_b = 0.0010wt$	8.07831	2.54071	756.59691
$m_b = 0.0025wt$	734782	2.20874	639.06045
$m_b = 0.0050wt$	8.90920	1.69645	798.32596
$m_b = 0.0075wt$	8.55928	2.63538	772.83467
$m_b = 0.0100wt$	8.16773	2.51461	744.94497
$m_b = 0.0125wt$	7.91155	2.43187	733.73712
$m_b = 0.0150wt$	7.79175	3.04382	927.94775

Tabel 5.1.4.4 Hasil perhitungan simpangan, gaya geser dan momen guling pada struktur dengan variasi massa *baliho* dengan kekakuan sesuai periode $150\%T_1$

Variasi massa baliho	Simpangan lantai 5 Y_5 (in)	Gaya geser tingkat 5 F_5 (kip)	Momen guling total M_g (kip.in)
$m_b = 0.0010wt$	9.87327	3.29678	881.75572
$m_b = 0.0025wt$	10.62685	3.29774	882.48010
$m_b = 0.0050wt$	10.65922	3.29063	881.96990
$m_b = 0.0075wt$	15.62248	5.11276	1363.14578
$m_b = 0.0100wt$	11.03441	3.44162	986.89566
$m_b = 0.0125wt$	7.39330	2.28586	570.09886
$m_b = 0.0150wt$	10.49761	3.92794	1089.01137

Selanjutnya untuk analisis perhitungan berbagai variasi massa *baliho* yang lainnya dipakai langkah-langkah dan metode yang sama seperti yang telah dijabarkan di atas.

5.2 Pembahasan

Pada sub bab pembahasan ini meliputi simpangan relatif, gaya geser tingkat, dan momen guling yang ditinjau dari simpangan maksimum yang didapat.

5.2.1 Simpangan Relatif

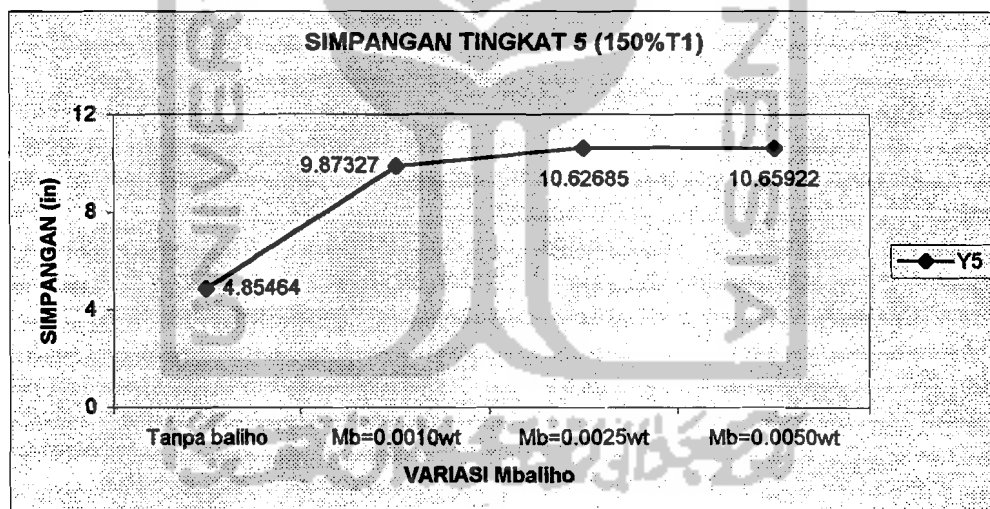
Suatu struktur akan bergetar jika mendapat pembebanan dari luar, baik berupa beban angin, getaran mesin atau gempa bumi. Getaran yang terjadi akibat pembebanan dari luar akan menyebabkan terjadinya simpangan pada struktur.

Peredaman digambarkan sebagai penyerapan kapasitas energi dari suatu material atau struktur. Dalam persoalan teknik gempa peredaman dapat dibagi menjadi dua klasifikasi yaitu peredam internal dan eksternal. Peredam internal disebut *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, Liu and Dong, 1996).

Berdasarkan data di atas, maka kami mengambil data yang rentang terhadap perubahan yang ditinjau pada lantai 5. Perubahan-perubahan yang dihasilkan secara umum ada 3 macam yaitu perubahan yang “merugikan”, perubahan yang “dapat diabaikan” dan perubahan yang “menguntungkan” terhadap struktur utamanya.

5.2.1.1 Perubahan yang merugikan

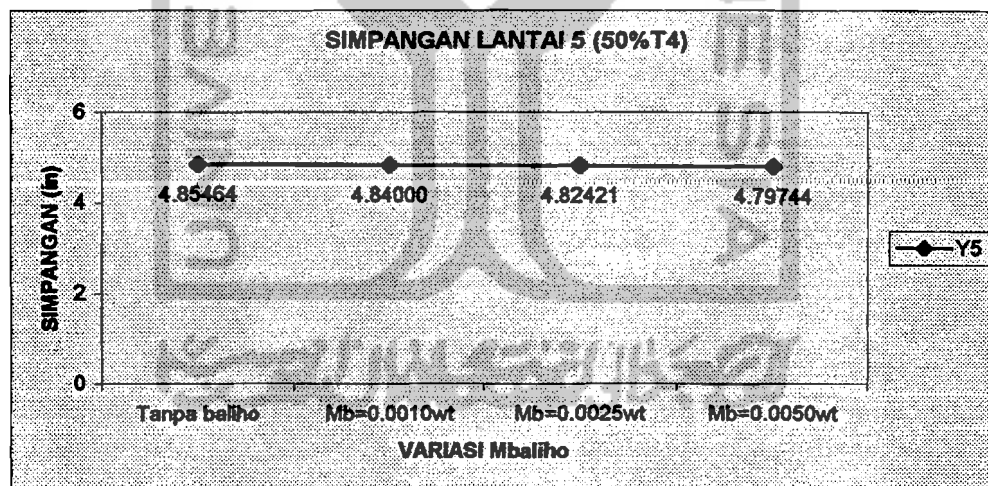
Gambar 5.3 secara garis besar menunjukkan kenaikan simpangan yang terjadi bila *baliho* dipasang dengan periode $150\%T_1$. Jika struktur tidak dipasang *baliho* maka akan dihasilkan simpangan lantai 5 sebesar 4.85464 in. Jika struktur dipasang *baliho* dengan massa 0.0010wt, maka simpangan yang terjadi sebesar 9.87327 in atau naik sebesar 103.378 %. Simpangan yang terjadi jika *baliho* dipasang dengan massa 0.0025wt sebesar 10.62685 in atau naik sebesar 118.901 %. Jika *baliho* dipasang dengan massa 0.0050wt, maka simpangan akan naik sebesar 119.568 % atau menjadi 10.65922 in.



Gambar 5.3. Prosentase Perubahan Simpangan Lantai 5

5.2.1.2 Perubahan yang dapat diabaikan

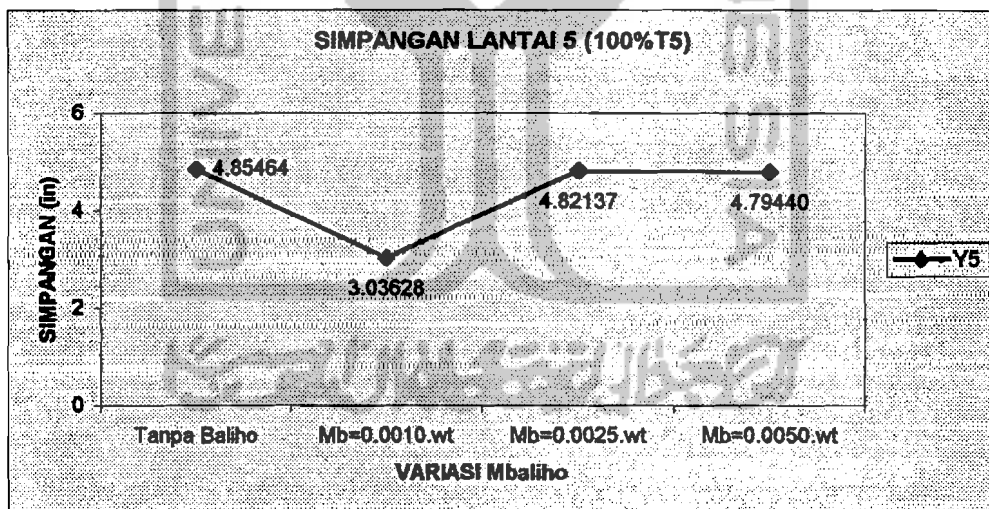
Gambar 5.4 memperlihatkan perubahan simpangan yang tidak berarti, dikarenakan prosentase perubahannya relatif kecil sehingga dapat diabaikan. Ini terjadi bila *baliho* dipasang dengan periode $50\%T_4$. Jika struktur tidak dipasang *baliho* maka akan dihasilkan simpangan lantai 5 sebesar 4.85464 in. Jika struktur dipasang *baliho* dengan massa 0.0010wt, maka akan dihasilkan simpangan sebesar 4.84000 in atau turun sebesar 0.297 %. Jika *baliho* dengan massa 0.0025wt dipasang akan menghasilkan simpangan sebesar 4.82421 in atau turun sebesar 0.623 %. Simpangan yang terjadi bila *baliho* dipasang dengan massa 0.0050wt sebesar 4.79744 in atau turun sebesar 1.178 %.



Gambar 5.4. Prosentase Perubahan Simpangan Lantai 5

5.2.1.3 Perubahan yang menguntungkan

Seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 5.5, penurunan simpangan terjadi bila *baliho* dipasang dengan periode $100\%T_5$ terutama pemasangan *baliho* dengan massa $0.0010wt$. Jika struktur tanpa menggunakan *baliho*, maka akan dihasilkan simpangan lantai 5 sebesar 4.85464 in. Jika *baliho* dipasang pada struktur dengan massa $0.0010wt$ akan dihasilkan simpangan sebesar 3.03628 in atau turun sebesar 37.456% . Jika struktur dipasang *baliho* dengan massa $0.0025wt$ didapat simpangan sebesar 4.82137 in atau turun sebesar 0.685% . Simpangan yang terjadi akan turun sebesar 1.241% atau menjadi 4.79440 in bila *baliho* dipasang dengan massa $0.0050wt$.



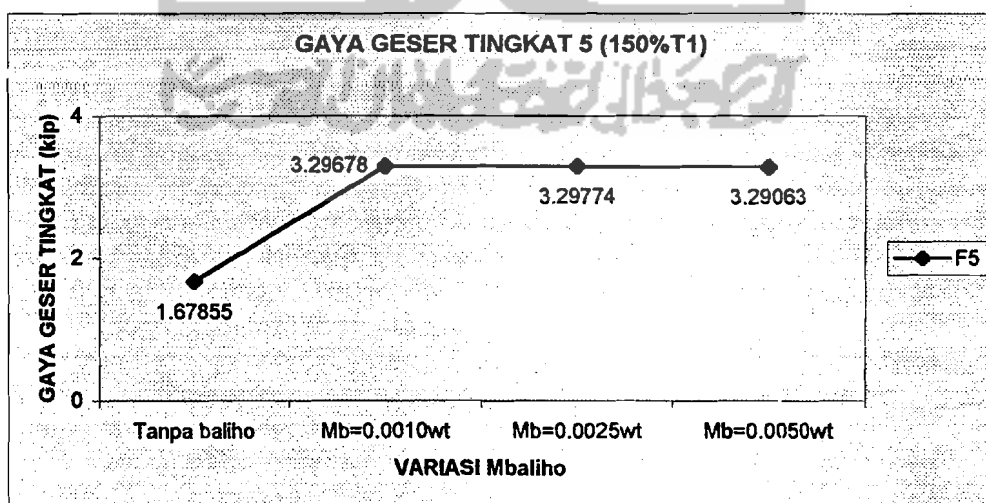
Gambar 5.5. Prosentase Perubahan Simpangan Lantai 5

5.2.2 Gaya Geser Tingkat

Gaya geser tingkat yang dihasilkan untuk ke-3 kondisi tersebut dapat meningkat, bertambah/berkurang sedikit dan menurun seperti yang akan ditunjukkan sebagai berikut ini.

5.2.2.1 Perubahan yang merugikan

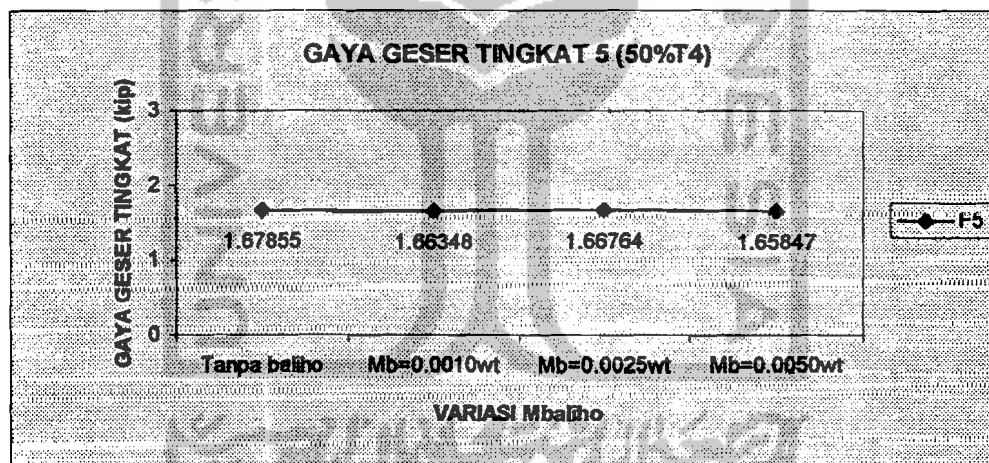
Gambar 5.6 secara umum menunjukkan kenaikan gaya geser tingkat bila *baliho* dipasang dengan periode $150\%T_1$. Gaya geser tingkat 5 yang dihasilkan bila *baliho* tidak dipasang adalah sebesar 1.67855 kip. Jika *baliho* dipasang dengan massa $0.0010wt$, maka gaya geser tingkat yang dihasilkan sebesar 3.29678 kip atau naik sebesar 96.406 %. Jika struktur dipasang *baliho* dengan massa $0.0025wt$ akan dihasilkan gaya geser tingkat sebesar 3.29774 kip atau naik sebesar 96.464 %. Gaya geser tingkat akan naik sebesar 96.040 % atau menjadi 3.29063 kip bila *baliho* dipasang dengan massa $0.0050wt$.



Gambar 5.6. Prosentase Perubahan Gaya Geser Tingkat 5

5.2.2.2 Perubahan yang dapat diabaikan

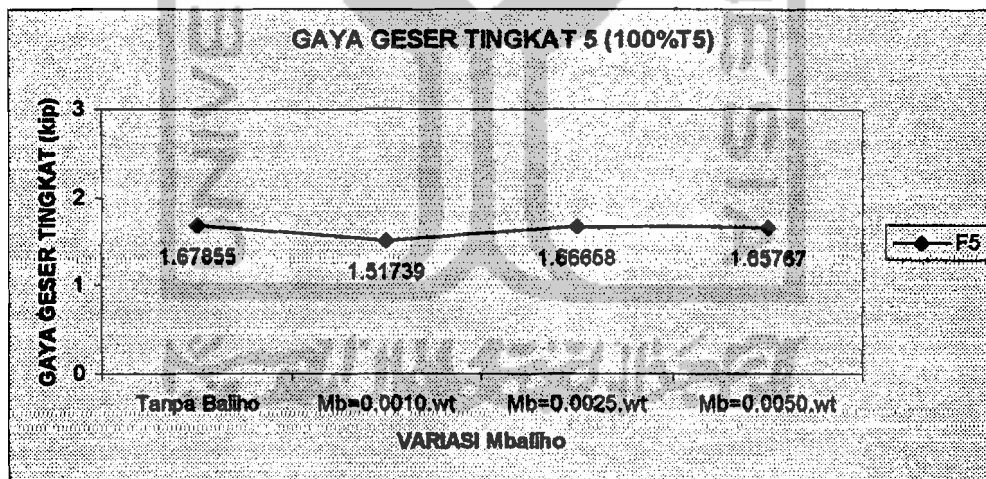
Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.7, perubahan gaya geser tingkat yang terjadi relatif kecil jika *baliho* dipasang dengan periode $50\%T_4$. Jika struktur tidak menggunakan *baliho* akan dihasilkan gaya geser tingkat 5 sebesar 1.67855 kip. Bila struktur dipasang *baliho* dengan massa $0.0010wt$, maka gaya geser tingkat sebesar 1.66348 kip atau turun sebesar 0.898 %. *Baliho* dipasang dengan massa $0.0025wt$ akan dihasilkan gaya geser tingkat sebesar 1.66784 kip atau turun sebesar 0.650 %. Gaya geser tingkat akan turun sebesar 1.196 % atau menjadi 1.65847 kip bila *baliho* dipasang dengan massa $0.0050wt$.



Gambar 5.7. Prosentase Perubahan Gaya Geser Tingkat 5

5.2.2.3 Perubahan yang menguntungkan

Gambar 5.8 menunjukkan penurunan yang cukup berarti terhadap gaya geser tingkat bila *baliho* dipasang dengan periode $100\%T_5$, terutama pada pemasangan *baliho* dengan massa $0.0010wt$. Pada struktur tanpa *baliho* dihasilkan gaya geser tingkat 5 sebesar 1.6785 kip. Jika *baliho* dipasang dengan massa $0.0010wt$, maka akan dihasilkan gaya geser tingkat sebesar 1.51739 kip atau turun sebesar 9.601% . Jika struktur dipasang *baliho* dengan massa $0.0025wt$ akan didapat gaya geser tingkat sebesar 1.66658 kip atau turun sebesar 0.713% . Bila struktur dipasang *baliho* dengan massa $0.0050wt$, maka gaya geser tingkat akan turun sebesar 1.244% atau menjadi 1.65767 kip.



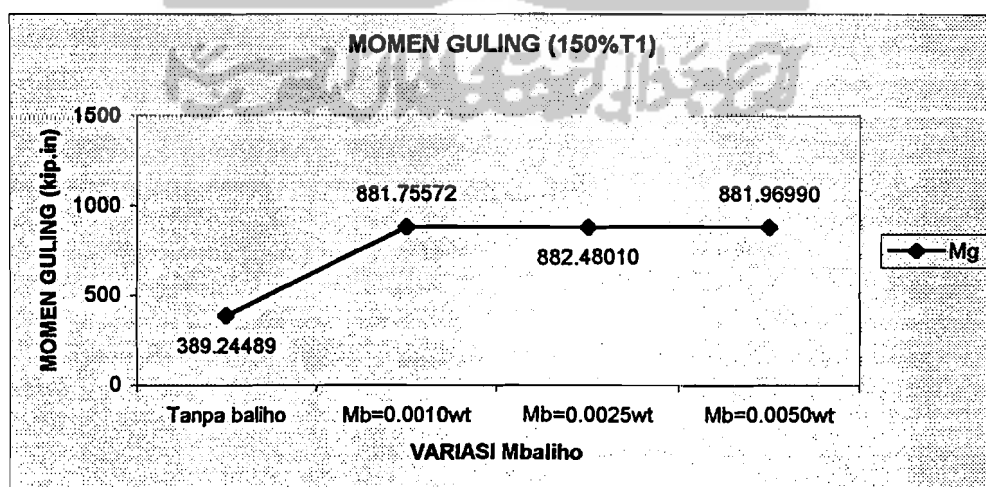
Gambar 5.8. Prosentase Perubahan Gaya Geser Tingkat 5

5.2.3 Momen Guling

Momen guling yang dihasilkan untuk ke-3 kondisi tersebut dapat meningkat, bertambah/berkurang sedikit dan menurun seperti yang akan ditunjukkan sebagai berikut ini.

5.2.3.1 Perubahan yang merugikan

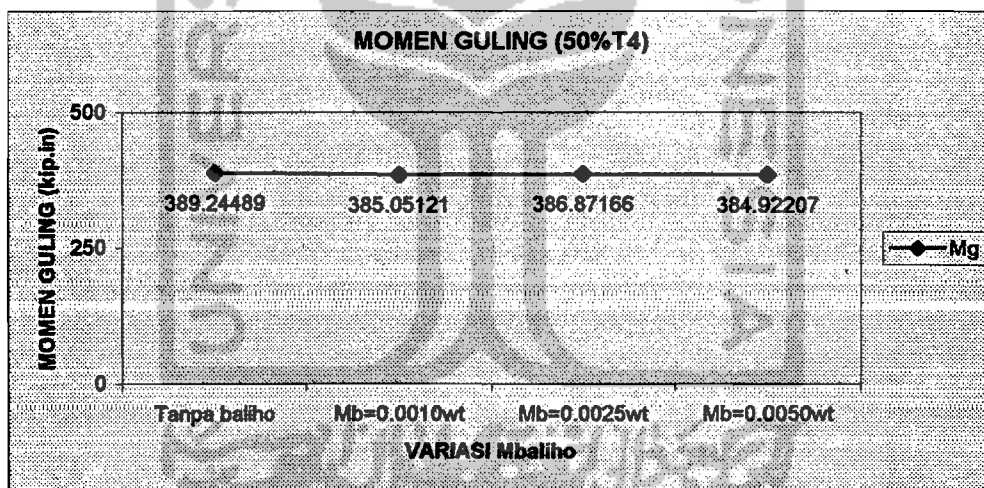
Gambar 5.9 secara umum menunjukkan kenaikan momen guling yang terjadi jika *baliho* dipasang dengan periode $150\%T_1$. Pada struktur tanpa menggunakan *baliho*, momen guling yang terjadi sebesar 389.24489 kip.in . Jika *baliho* dengan massa $0.0010wt$ dipasang akan dihasilkan momen guling sebesar 881.75572 kip.in atau naik sebesar 126.530 %. Bila struktur menggunakan *baliho* dengan massa $0.0025wt$, maka momen guling yang terjadi sebesar 882.48010 kip.in atau naik sebesar 126.716 %. Pemasangan *baliho* dengan massa $0.0050wt$ akan menyebabkan momen guling yang terjadi naik sebesar 126.585 % atau menjadi 881.96990 kip.in .



Gambar 5.9. Prosentase Perubahan Momen Guling

5.2.3.2 Perubahan yang dapat diabaikan

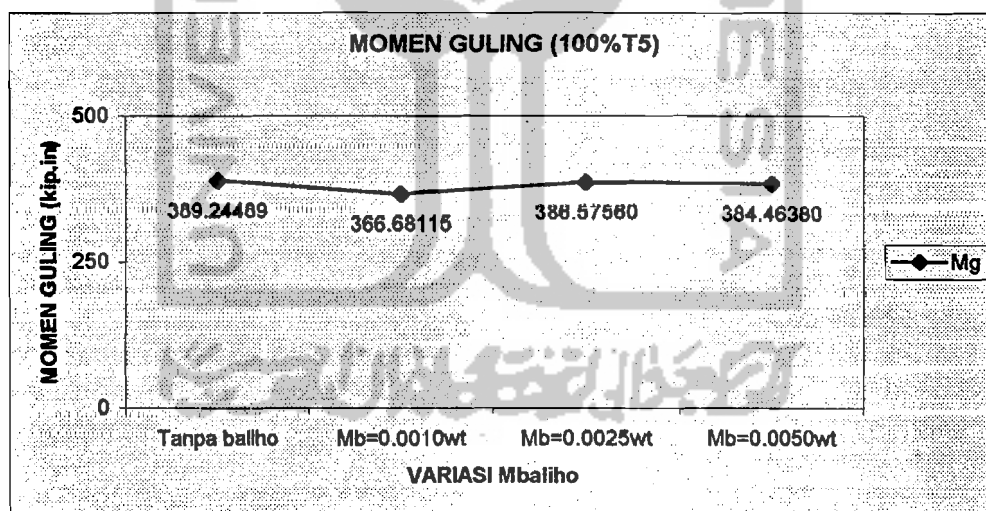
Gambar 5.10 memperlihatkan perubahan yang tidak berarti pada momen guling struktur, jika *baliho* dipasang dengan periode $50\%T_d$. Pada struktur tanpa menggunakan *baliho*, momen guling yang terjadi sebesar 389.24489 kip.in. Jika *baliho* dipasang dengan massa 0.0010wt dihasilkan momen guling sebesar 385.05121 kip.in atau turun 1.077%. Bila struktur menggunakan *baliho* dengan massa 0.0025wt akan dihasilkan momen guling sebesar 386.87166 kip.in atau turun sebesar 0.610%. Pemasangan *baliho* dengan massa 0.0050wt akan mengakibatkan momen guling turun sebesar 1.111% atau menjadi 384.92207 kip.in.



Gambar 5.10. Prosentase Perubahan Momen Guling

5.2.3.3 Perubahan yang menguntungkan

Gambar 5.11 secara umum menunjukkan penurunan momen guling yang cukup berarti jika *baliho* dipasang dengan periode $100\%T_s$, terutama pada pemasangan *baliho* dengan massa $0.0010wt$. Untuk struktur tanpa *baliho* dihasilkan momen guling sebesar 389.24489 kip.in . Bila *baliho* dipasang dengan massa $0.0010wt$, momen guling yang terjadi sebesar 366.68115 kip.in atau turun 5.797% . Jika dipasang *baliho* dengan massa $0.0025wt$ dihasilkan momen guling sebesar 386.57560 kip.in atau turun menjadi 0.686% . Sedangkan pemasangan *baliho* dengan massa $0.0050wt$ akan menurunkan momen guling sebesar 1.228% atau menjadi 384.46380 kip.in .



Gambar 5.11. Prosentase Perubahan Momen Guling

Prosentase perubahan-perubahan tersebut secara detail dapat disajikan dalam bentuk tabulasi sebagai berikut.

Tabel 5.2.1 Prosentase perubahan simpangan, gaya geser dan momen guling pada kondisi merugikan, dapat diabaikan dan menguntungkan

SIMPANGAN				
Variasi m_b / Variasi k_b	Tanpa <i>baliho</i>	$m_b = 0.0010wt$	$m_b = 0.0025wt$	$m_b = 0.0050wt$
150% T_1	100%	+ 103.378%	+ 118.901%	+ 119.568%
50% T_4	100%	- 0.297%	- 0.623%	- 1.178%
100% T_5	100%	- 37.456%	- 0.685%	- 1.241%
GAYA GESER				
Variasi m_b / Variasi k_b	Tanpa <i>baliho</i>	$m_b = 0.0010wt$	$m_b = 0.0025wt$	$m_b = 0.0050wt$
150% T_1	100%	+ 96.406%	+ 96.464%	+ 96.040%
50% T_4	100%	- 0.898%	- 0.650%	- 1.196%
100% T_5	100%	- 9.601%	- 0.713%	- 1.244%
MOMEN GULING				
Variasi m_b / Variasi k_b	Tanpa <i>baliho</i>	$m_b = 0.0010wt$	$m_b = 0.0025wt$	$m_b = 0.0050wt$
150% T_1	100%	+ 126.530%	+ 126.716%	+ 126.585%
50% T_4	100%	- 1.077%	- 0.610%	- 1.111%
100% T_5	100%	- 5.797%	- 0.686%	- 1.228%

Dari Tabel 5.2.1 dapat dilihat bahwa pemasangan *baliho* yang “paling menguntungkan” dilihat dari perubahan simpangan, gaya geser dan momen guling semuanya terdapat pada pemasangan *baliho* menggunakan variasi massa $m_b = 0.0010wt$ dengan kekakuan sesuai periode 100% T_5 . Prosentase penurunan nilai

simpangan, gaya geser dan momen guling secara berurutan sebesar 37.456%, 9.601% dan 5.797%, hal ini disebabkan karena adanya penambahan nilai kekakuan *baliho* yang cukup besar sehingga akan berpengaruh “menguntungkan” terhadap struktur utamanya.

