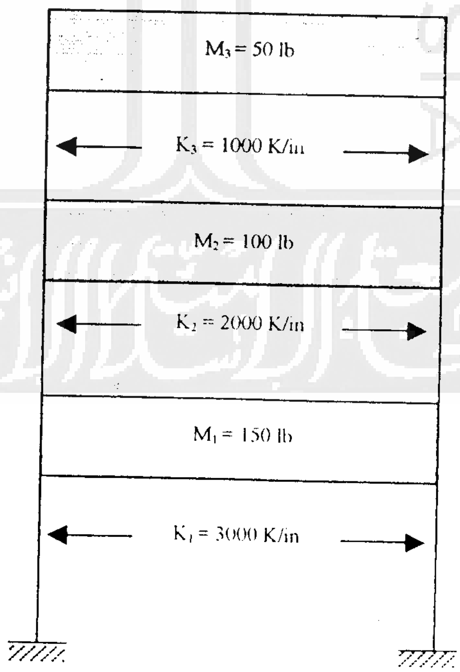
BAB V

HITUNGAN DAN HASIL

Dalam penelitian ini analisis dilakukan dengan memvariasikan perletakan Tuned Mass Damper (TMD) seperti pada Tabel 5.1 pada struktur dengan rasio redaman 5% dan 2%. Perhitungan dengan menggunakan program MATLAB (The Mathworks Inc, 1999). Hasil dari perhitungan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Dari hasil tersebut dilakukan pembahasan dengan membandingkan perubahan besar simpangan relatif dan simpangan tingkat dari setiap variasi perletakan TMD.



Gambar 5.1 Portal Model Struktur (Paz, 1987)

Untuk analisis dalam penelitian ini struktur diambil dari buku "Dinamika Stuktur Teori dan Perhitungan" karangan Paz (1987) seperti terlihat pada Gambar 5.1. Sedangkan variasi perletakan yang akan dianalisis dapat dilihat pada Tabel 5.1. Dalam analisis ini sebagai contoh perhitungan digunakan strukutur dengan damping ratio 2%, dengan pertimbangan bahwa struktur mempunyai redaman yang rendah terhadap beban gempa. Sedangkan untuk struktur dengan damping ratio 5%, hasil hitungan akan ditunjukkan dalam bentuk tabel dan grafik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5.1. Variasi-variasi perletakan TMD

Variasi	Letak TMD	Keterangan
1	Tanpa TMD	bentuk matrik k dan M adalah [3 x 3]
2	lantai 1	bentuk matrik k dan M adalah [4 x 4]
3	lantai 2	bentuk matrik k dan M adalah [4 x 4]
4	lantai 3	bentuk matrik k dan M adalah [4 x 4]
5	lantai 1 & 2	bentuk matrik k dan M adalah [5 x 5]
6	lantai 1 & 3	bentuk matrik k dan M adalah [5 x 5]
7	lantai 2 & 3	bentuk matrik k dan M adalah [5 x 5]
8	lantai 1, 2 & 3	bentuk matrik k dan M adalah [6 x 6]

Dalam analisis ini massa dan kekakuan TMD akan diambil sebesar 0,01 atau 1% dari massa dan kekakuan total stuktur (Simiu dan Scanlan, 1978).

Massa total struktur :

massa lantai 1	= 150 lb
massa lantai 2	= 100 lb
massa lantai 3	= 50 lb
massa total struktur	= 300 lb
massa TMD	= 0,01 x 300 = 3 lb.

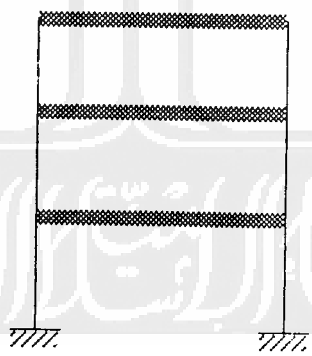
Kekakuan total stuktur :

Tingkat 1 (K_1)	= 30.000	lb/in
Tingkat 2 (K_2)	= 20.000	lb/in
Tingkat 3 (K_3)	= 10.000	lb/in
Kekakuan total struktur	= 60.000	lb/in
Kekakuan TMD	= 0,01 x 60.000 = 600 lb/in.	

Massa-massa tersebut diatas dalam analisis ini dianggap tergumpal pada satu titik (*lumped mass*).

Beban gempa yang dipergunakan dalam analisis ini adalah beban gempa Bucharest, ibukota Rumania pada tahun 1977, dapat dilihat berupa grafik pada Gambar 4.6 dengan percepatan tanah maksimum 225,40 cm/dt^2.

5.1. Stuktur Tanpa TMD (Variasi 1)



Gambar 5.2 Struktur tanpa TMD (Variasi 1)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.2 dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa [M], matrik kekakuan [K] dari sistem

$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \tag{5.1}$$

$$[M]=\begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 \\ 0 & 0 & 50 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2\text{/in}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 \end{bmatrix}, \text{ dan} \tag{5.2}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 30.000 & 0 & 0 \\ 0 & 20.000 & 0 \\ 0 & 0 & 10.000 \end{bmatrix} \text{ lb/in}$$

persamaan *eigen problem*,

$$\begin{bmatrix} 30.000-150\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 20.000-100\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 10.000-50\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{5.3}$$

dimana $\lambda = \omega^2$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi]=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2,0513 & 0,5437 & -1,3450 \\ 2,9268 & -1,7871 & 0,8603 \end{bmatrix} \tag{5.4}$$

dan frekuensi sudut,

$$\omega_1 = 7,7346 \quad \text{rad/det,} \tag{5.5}$$

$$\omega_2 = 16,1507 \quad \text{rad/det, dan} \tag{5.6}$$

$$\omega_3 = 22,641 \quad \text{rad/det,} \tag{5.7}$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$\lfloor \Gamma \rfloor = \lfloor 0{,}5019 \quad 0{,}339 \quad 0{,}1591 \rfloor. \tag{5.8}$$

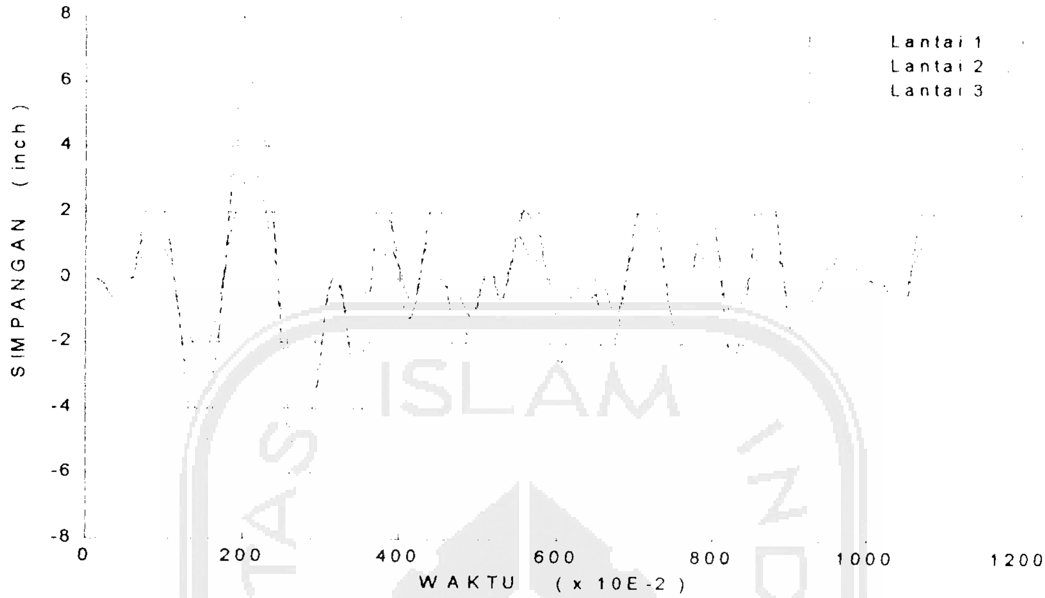
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a, b, dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1{,}994 \\ -1{,}9739 \\ -1{,}9487 \end{Bmatrix} \text{ x 1E+4,} \tag{5.9}$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9{,}9845 \\ 9{,}9677 \\ 9{,}9547 \end{Bmatrix} \text{ x 1E+3, dan} \tag{5.10}$$

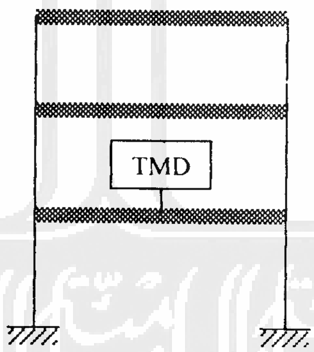
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1{,}0015 \\ 1{,}0032 \\ 1{,}0045 \end{Bmatrix} \text{ x 1E+4.} \tag{5.11}$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49). Kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik simpangan relatif struktur tanpa TMD

5.2. Struktur dengan TMD pada lantai 1 (Variasi 2)



Gambar 5.4 Struktur dengan TMD pada lantai 1
(Variasi 2)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.4, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa [*M*], matrik kekakuan [*K*] dari sistem

$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \tag{5.12}$$

$$[M]=\begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2\text{/in}$$

dimana m_4 adalah massa dari TMD.

$$[K]=\begin{bmatrix} k_1+k_2+k_4 & -k_2 & 0 & -k_4 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_3 & 0 \\ -k_4 & 0 & 0 & k_4 \end{bmatrix} \tag{5.13}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 30+20+0{,}6 & -20 & 0 & -0{,}6 \\ -20 & 20+10 & -10 & 0 \\ 0 & -20 & 10 & 0 \\ -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{x1E3} = \begin{bmatrix} 50{,}6 & -20 & 0 & -0{,}6 \\ -20 & 30 & -10 & 0 \\ 0 & -20 & 10 & 0 \\ -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{x1E3 lb/in}$$

persamaan *eigen problem*,

$$\begin{bmatrix} 50.{,}6-0{,}15\lambda & -20 & 0 & -0{,}6 \\ -20 & 30-0{,}1\lambda & -10 & 0 \\ 0 & -20 & 10-0{,}05\lambda & 0 \\ -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6-0{,}003\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{5.14}$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi]=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -0{,}0549 & 0{,}6106 & 2{,}0405 & -1{,}3162 \\ -2{,}0578 & -1{,}803 & 2{,}9061 & 0{,}8347 \\ 37{,}4962 & -2{,}9528 & 1{,}4242 & -0{,}6342 \end{bmatrix} \tag{5.15}$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7{,}718 \quad \text{rad/det}, \tag{5.16}$$

$$\omega_2 = 13{,}9523 \quad \text{rad/det}, \tag{5.17}$$

$$\omega_3 = 16{,}3625 \quad \text{rad/det}, \tag{5.18}$$

$$\omega_4 = 22{,}7017 \quad \text{rad/det}, \tag{5.19}$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$\lfloor \Gamma \rfloor = \lfloor 0{,}0336 \quad 0{,}298 \quad 0{,}5063 \quad 0{,}162 \rfloor. \tag{5.20}$$

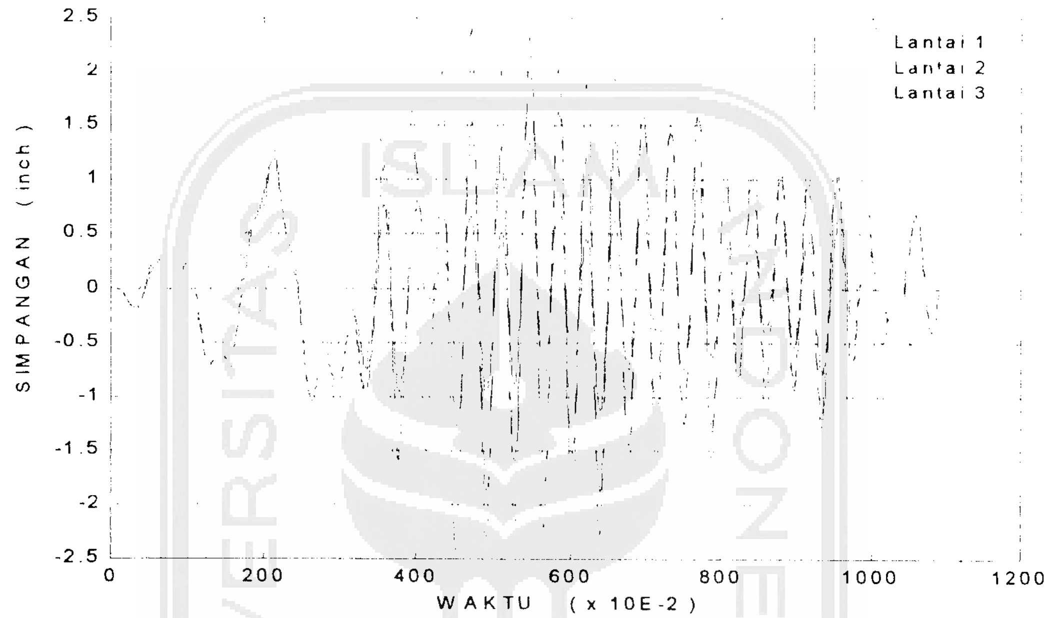
dari metoda *central difference* dihitung nilai a, b, dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1{,}994 \\ -1{,}9805 \\ -1{,}9732 \\ -1{,}9485 \end{Bmatrix} \text{x 1E4}, \tag{5.21}$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9{,}9846 \\ 9{,}9721 \\ 9{,}9673 \\ 9{,}9546 \end{Bmatrix} \text{x 1E3 ,dan} \tag{5.22}$$

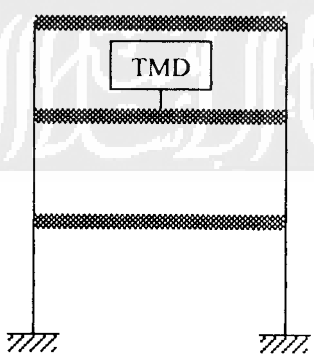
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1{,}0015 \\ 1{,}0028 \\ 1{,}0033 \\ 1{,}0045 \end{Bmatrix} \text{x 1E4}. \tag{5.23}$$

selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49). Contoh nilai g_i dari hasil perhitungan dengan *central difference method* dapat dilihat pada Lampiran 2 kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.5. Contoh hasil perhitungan simpangan dalam bentuk tabel dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 5.5 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 1

5.3. Struktur dengan TMD pada lantai 2 (Variasi 3)



Gambar 5.6 Struktur dengan TMD pada lantai 2
(Variasi 3)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.6, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa [M], matrik kekakuan [K] dari sistem

$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \tag{5.24}$$

$$[M]=\begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2\text{/in}$$

dimana m_4 adalah massa dari TMD.

$$[K]=\begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3+k_4 & -k_3 & -k_4 \\ 0 & -k_2 & k_3 & 0 \\ 0 & -k_4 & 0 & k_4 \end{bmatrix} \tag{5.25}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 30+20 & -20 & 0 & 0 \\ -20 & 20+10+0{,}6 & -10 & -0{,}6 \\ 0 & -10 & 10 & 0 \\ 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{x1E3}=\begin{bmatrix} 50 & -20 & 0 & 0 \\ -20 & 30{,}6 & -10 & -0{,}6 \\ 0 & -10 & 10 & 0 \\ 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{x1E3 lb/in}$$

Persamaan *eigen problem*,

$$\text{1E3 x}\begin{bmatrix} 50-0{,}15\lambda & -20 & -0{,}6 & 0 \\ -20 & 30{,}6-0{,}1\lambda & -10 & -0{,}6 \\ 0 & -10 & 10-0{,}05\lambda & 0 \\ 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6-0{,}003\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{5.26}$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi]=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0 \\ -0{,}0801 & 0 & -0 & 0 \\ 1{,}3352 & 0 & -0 & 0 \end{bmatrix} \text{ x 1E15} \qquad (5.27)$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7{,}6661 \quad \text{rad/det,} \qquad (5.28)$$

$$\omega_2 = 14{,}1421 \quad \text{rad/det,} \qquad (5.29)$$

$$\omega_3 = 16{,}2182 \quad \text{rad/det,} \qquad (5.30)$$

$$\omega_4 = 22{,}7494 \quad \text{rad/det,} \qquad (5.31)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$\lfloor \Gamma \rfloor = \lfloor 0{,}000 \quad 0{,}4982 \quad 0{,}3497 \quad 0{,}1522 \rfloor . \qquad (5.32)$$

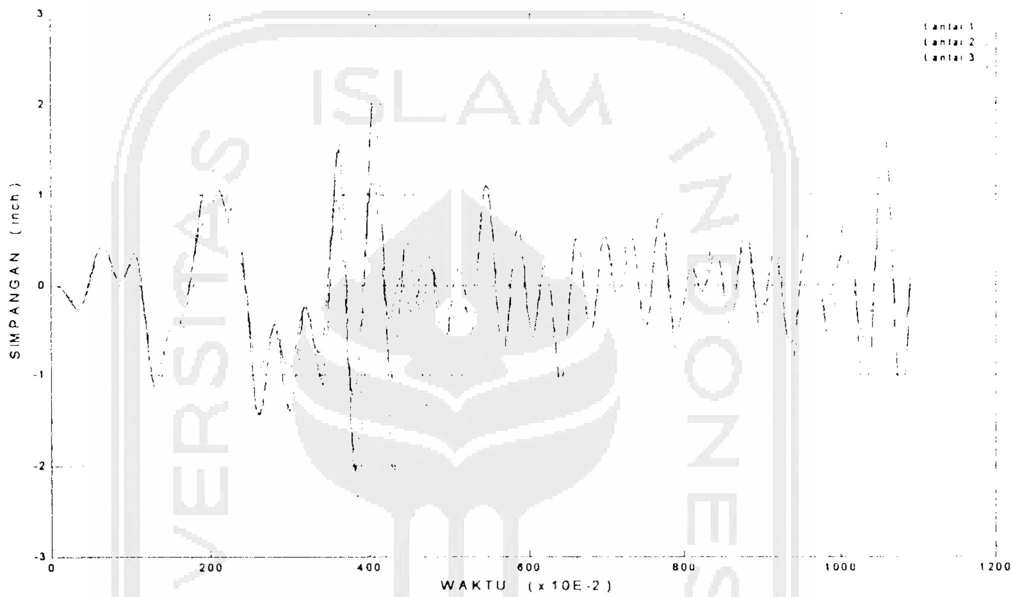
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a, b, dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1{,}9941 \\ -1{,}9800 \\ -1{,}9737 \\ -1{,}9482 \end{Bmatrix} \text{ x 1E4 ,} \qquad (5.33)$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9{,}9847 \\ 9{,}9717 \\ 9{,}9676 \\ 9{,}9545 \end{Bmatrix} \text{ x 1E3 , dan} \qquad (5.34)$$

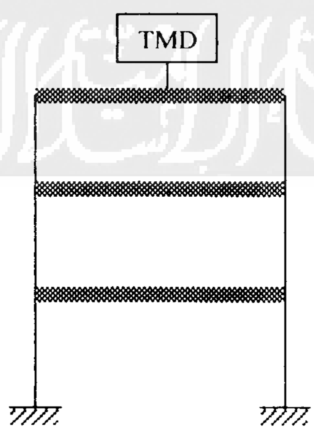
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1{,}0015 \\ 1{,}0028 \\ 1{,}0032 \\ 1{,}0045 \end{Bmatrix} \text{ x 1E4 .} \qquad (5.35)$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 2

5.4. Struktur dengan TMD pada lantai 3 (Variasi 4)



Gambar 5.8 Struktur dengan TMD pada lantai 3 (Variasi 4)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.8, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa [*M*], matrik kekakuan [*K*] dari sistem

$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \tag{5.36}$$

$$[M]=\begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2\text{/in}$$

dimana m_4 adalah massa dari TMD.

$$[K]=\begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_3+k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \tag{5.37}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 30+20 & -20 & 0 & 0 \\ -20 & 20+10 & -10 & 0 \\ 0 & -10 & 10+0{,}6 & -0{,}6 \\ 0 & 0 & -0{,}6 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{x1E3} = \begin{bmatrix} 50 & -20 & 0 & 0 \\ -20 & 30 & -10 & 0 \\ 0 & -10 & 10{,}6 & -0{,}6 \\ 0 & 0 & -0{,}6 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{x1E3 lb/in}$$

persamaan *eigen problem*,

$$\text{1E3 x}\begin{bmatrix} 50-0{,}15\lambda & -20 & -0{,}6 & 0 \\ -20 & 30-0{,}1\lambda & -10 & 0 \\ 0 & -10 & 10{,}6-0{,}05\lambda & -0{,}6 \\ 0 & 0 & -0{,}6 & 0{,}6-0{,}003\lambda \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{5.38}$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi]=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1,0657 & 0,3878 & 2,0672 & -1,3607 \\ -0,8411 & -1,9287 & 3,0085 & 0,9221 \\ -19,2155 & 4,7260 & 4,2287 & -0,5859 \end{bmatrix} \tag{5.39}$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7,5968 \quad \text{rad/det}, \tag{5.40}$$

$$\omega_2 = 13,8292 \quad \text{rad/det}, \tag{5.41}$$

$$\omega_3 = 16,7816 \quad \text{rad/det}, \tag{5.42}$$

$$\omega_4 = 22,6882 \quad \text{rad/det}, \tag{5.43}$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$\lfloor \Gamma \rfloor = \lfloor 0,1115 \quad 0,2548 \quad 0,4798 \quad 0,1539 \rfloor . \tag{5.44}$$

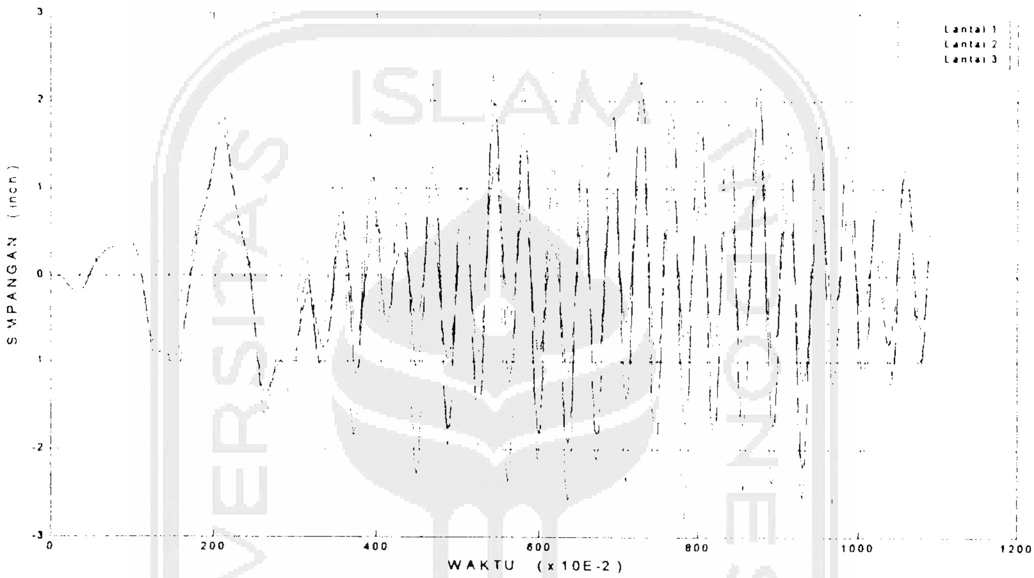
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a, b, dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1,9942 \\ -1,9809 \\ -1,9718 \\ -1,9485 \end{Bmatrix} \text{x 1E4}, \tag{5.45}$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9,9848 \\ 9,9723 \\ 9,9664 \\ 9,9546 \end{Bmatrix} \text{x 1E3, dan} \tag{5.46}$$

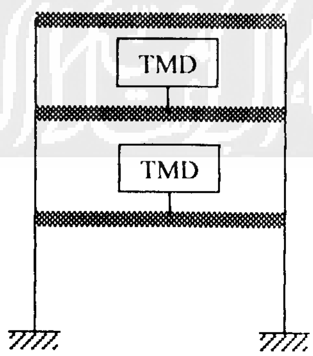
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1,0015 \\ 1,0028 \\ 1,0034 \\ 1,0045 \end{Bmatrix} \text{x 1E4}. \tag{5.47}$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 3

5.5. Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 2 (Variasi 5)



Gambar 5.10 Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 2
(Variasi 5)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.10, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa [M], matrik kekakuan [K] dari sistem

$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \tag{5.48}$$

$$[M]=\begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2\text{/in}$$

dimana m_4 dan m_5 adalah massa dari TMD.

$$[K]=\begin{bmatrix} k_1+k_2+k_4 & -k_2 & 0 & -k_4 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3+k_5 & -k_3 & 0 & -k_5 \\ 0 & -k_3 & k_3 & 0 & 0 \\ -k_4 & 0 & 0 & k_4 & 0 \\ 0 & -k_5 & 0 & 0 & k_5 \end{bmatrix} \tag{5.49}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 30+20+0{,}6 & -20 & 0 & -0{,}6 & 0 \\ -20 & 20+10+0{,}6 & -10 & 0 & -0{,}6 \\ 0 & -10 & 10 & 0 & 0 \\ -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6 & 0 \\ 0 & -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{ x 1E3 lb/in}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 50{,}6 & -20 & 0 & -0{,}6 & 0 \\ -20 & 30{,}6 & -10 & 0 & -0{,}6 \\ 0 & -10 & 10 & 0 & 0 \\ -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6 & 0 \\ 0 & -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{ x 1E3 lb/in}$$

persamaan *eigen problem*,

$$1E3\,x\begin{bmatrix} 50{,}6-1{,}5\lambda & -20 & 0 & -0{,}6 & 0 \\ -20 & 30{,}6-0{,}1\lambda & -10 & 0 & -0{,}6 \\ 0 & -10 & 10-0{,}05\lambda & 0 & 0 \\ -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6-0{,}003\lambda & 0 \\ 0 & -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \\ \Phi_5 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{5.50}$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0 & 0 & 0 & -0 \\ -0{,}3605 & -0 & -0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 6{,}0085 & -0 & -0 & 0 & 0 \end{bmatrix} x\ 1E15 \tag{5.51}$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7{,}6502 \quad \text{rad/det,} \tag{5.52}$$

$$\omega_2 = 13{,}9518 \quad \text{rad/det,} \tag{5.53}$$

$$\omega_3 = 14{,}1421 \quad \text{rad/det,} \tag{5.54}$$

$$\omega_4 = 16{,}4325 \quad \text{rad/det,} \tag{5.55}$$

$$\omega_5 = 22{,}8.63 \quad \text{rad/det,} \tag{5.56}$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$\lfloor \Gamma \rfloor = \lfloor 0{,}000 \quad 0{,}0339 \quad 0{,}3086 \quad 0{,}5024 \quad 0{,}1551 \rfloor . \tag{5.57}$$

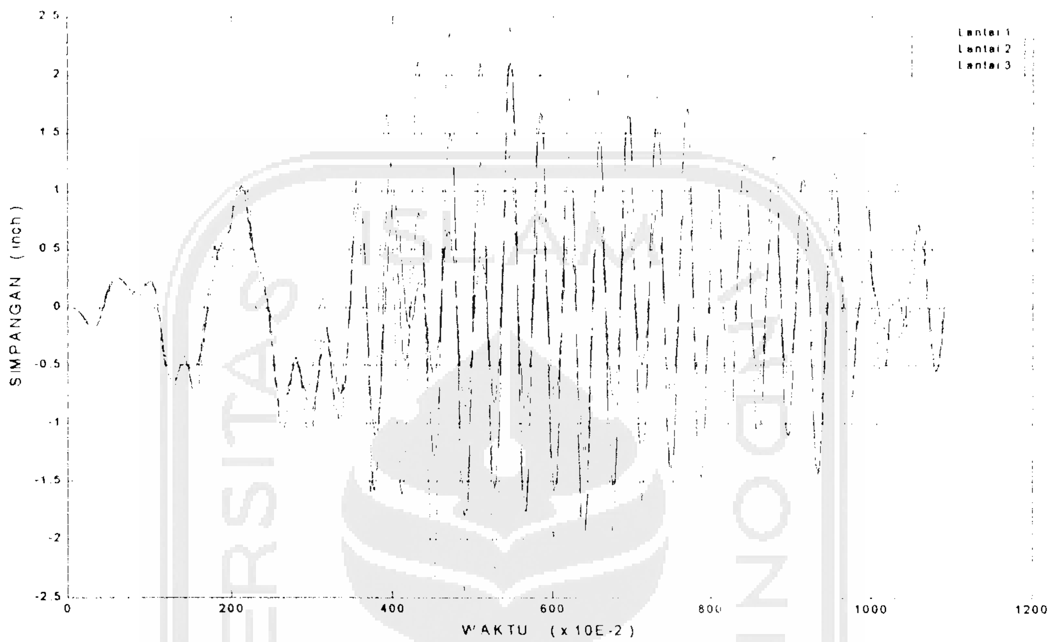
Dari metoda *central difference* dihitung nilai *a*, *b*, dan *k* yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\}=\begin{Bmatrix} -1{,}9941 \\ -1{,}9805 \\ -1{,}98 \\ -1{,}973 \\ 1{,}948 \end{Bmatrix} \times 1E4\,, \tag{5.58}$$

$$\{b\}=\begin{Bmatrix} 9{,}9847 \\ 9{,}9721 \\ 9{,}9717 \\ 9{,}9671 \\ 9{,}9544 \end{Bmatrix} \times 1E3\,,\ \text{dan} \tag{5.59}$$

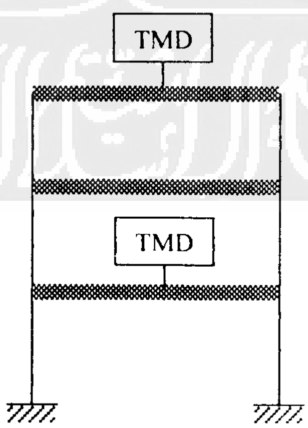
$$\{k\}=\begin{Bmatrix} 1{,}0015 \\ 1{,}0028 \\ 1{,}0028 \\ 1{,}0033 \\ 1{,}0046 \end{Bmatrix} \times 1E4\,. \tag{5.60}$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 1 dan 2

5.6. Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 3 (Variasi 6)



Gambar 5.12 Struktur dengan TMD pada lantai 1 dan 3
(Variasi 6)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.12, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa [*M*], matrik kekakuan [*K*] dari sistem

$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \tag{5.61}$$

$$[M]=\begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2\text{/in}$$

dimana m_4 dan m_5 adalah massa dari TMD.

$$[K]=\begin{bmatrix} k_1+k_2+k_4 & -k_2 & 0 & -k_4 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3+k_5 & 0 & -k_5 \\ -k_4 & 0 & 0 & k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_5 & 0 & k_5 \end{bmatrix} \tag{5.62}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 30+20+0,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 \\ -20 & 20+10 & -10 & 0 & 0 \\ 0 & -10 & 10+0,6 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \text{ x 1E3 lb/in}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 50,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 \\ -20 & 30 & -10 & 0 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \text{ x 1E3 lb/in}$$

Persamaan *eigen problem*,

$$1E3\,x\begin{bmatrix} 50{,}6-1{,}5\lambda & -20 & 0 & -0{,}6 & 0 \\ -20 & 30-0{,}1\lambda & -10 & 0 & 0 \\ 0 & -10 & 10{,}6-0{,}05\lambda & 0 & -0{,}6 \\ -0{,}6 & 0 & 0 & 0{,}6-0{,}003\lambda & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \\ \Phi_5 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{5.63}$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi]=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 3{,}065 & 0{,}9839 & 0{,}7505 & 2{,}4705 & -1{,}0799 \\ 0{,}9496 & -0{,}9164 & -2{,}0554 & 3{,}8133 & 0{,}6597 \\ -53{,}1089 & 19{,}7375 & -1{,}8625 & 1{,}4781 & -0{,}5775 \\ -50{,}4321 & -18{,}0881 & 3{,}8282 & 5{,}6364 & -0{,}3810 \end{bmatrix} \tag{5.64}$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 8{,}043 \quad \text{rad/det,} \tag{5.65}$$

$$\omega_2 = 13{,}7792 \quad \text{rad/det,} \tag{5.66}$$

$$\omega_3 = 14{,}2747 \quad \text{rad/det,} \tag{5.67}$$

$$\omega_4 = 17{,}5323 \quad \text{rad/det,} \tag{5.68}$$

$$\omega_5 = 23{,}373 \quad \text{rad/det,} \tag{5.69}$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$\lfloor \Gamma \rfloor = \lfloor 0{,}0112 \quad 0{,}0851 \quad 0{,}2716 \quad 0{,}3832 \quad 0{,}2489 \rfloor. \tag{5.70}$$

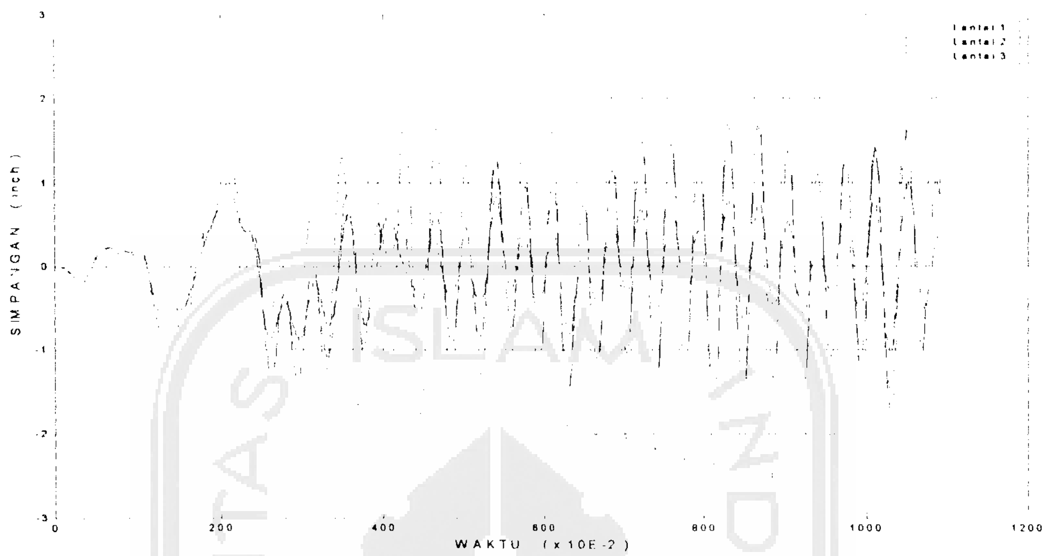
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a, b, dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1{,}9935 \\ -1{,}981 \\ -1{,}9796 \\ -1{,}9693 \\ 1{,}9454 \end{Bmatrix} \times 1E4\,, \tag{5.71}$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9{,}9839 \\ 9{,}9724 \\ 9{,}9715 \\ 9{,}9649 \\ 9{,}9533 \end{Bmatrix} \times 1E3\,, \text{ dan} \tag{5.72}$$

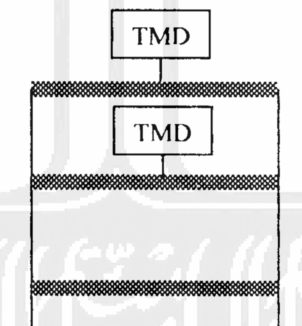
$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1{,}0016 \\ 1{,}0028 \\ 1{,}0029 \\ 1.0035 \\ 1{,}0047 \end{Bmatrix} \times 1E4\,. \tag{5.73}$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 1 dan 3

5.7. Struktur dengan TMD pada lantai 2 dan 3 (Variasi 7)



Gambar 5.14 Struktur dengan TMD pada lantai 2 dan 3 (Variasi 7)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.13, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa [M], matrik kekakuan [K] dari sistem

$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix} \tag{5.74}$$

$$[M]=\begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2\text{/in}$$

dimana m_4 dan m_5 adalah massa dari TMD.

$$[K]=\begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3+k_4 & -k_3 & -k_4 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3+k_5 & 0 & -k_5 \\ 0 & -k_4 & 0 & k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_5 & 0 & k_5 \end{bmatrix} \tag{5.75}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 30+20 & -20 & 0 & 0 & 0 \\ -20 & 20+10+0{,}6 & -10 & -0{,}6 & 0 \\ 0 & -10 & 10+0{,}6 & 0 & -0{,}6 \\ 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{ x 1E3 lb/in}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 50 & -20 & 0 & 0 & 0 \\ -20 & 30{,}6 & -10 & -0{,}6 & 0 \\ 0 & -10 & 10{,}6 & 0 & -0{,}6 \\ 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6 & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix} \text{ x 1E3 lb/in}$$

Persamaan *eigen problem*,

$$
1E3\,x\begin{bmatrix} 50-1{,}5\lambda & -20 & 0 & 0 & 0 \\ -20 & 30{,}6-0{,}1\lambda & -10 & -0{,}6 & 0 \\ 0 & -10 & 10{,}6-0{,}05\lambda & 0 & -0{,}6 \\ 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6-0{,}003\lambda & 0 \\ 0 & 0 & -0{,}6 & 0 & 0{,}6 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \\ \Phi_5 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \tag{5.76}
$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$
[\Phi]=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0{,}9724 & 1{,}2178 & 0{,}4123 & 2{,}0769 & -1{,}3958 \\ 2{,}1672 & -0{,}8585 & -1{,}8229 & 3{,}0101 & 0{,}9268 \\ -52{,}8703 & 8{,}3859 & -1{,}0523 & 2{,}8929 & 0{,}8739 \\ -14{,}7040 & -23{,}2338 & 3{,}2088 & 4{,}4123 & -0{,}4812 \end{bmatrix} \tag{5.77}
$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7{,}5109 \quad \text{rad/det,} \tag{5.78}$$

$$\omega_2 = 13{,}0750 \quad \text{rad/det,} \tag{5.79}$$

$$\omega_3 = 14{,}2716 \quad \text{rad/det,} \tag{5.80}$$

$$\omega_4 = 16{,}6841 \quad \text{rad/det,} \tag{5.81}$$

$$\omega_5 = 22{,}7913 \quad \text{rad/det,} \tag{5.82}$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$\lfloor \Gamma \rfloor = \lfloor 0{,}0153 \quad 0{,}0740 \quad 0{,}2903 \quad 0{,}4726 \quad 0{,}1478 \rfloor. \tag{5.83}$$

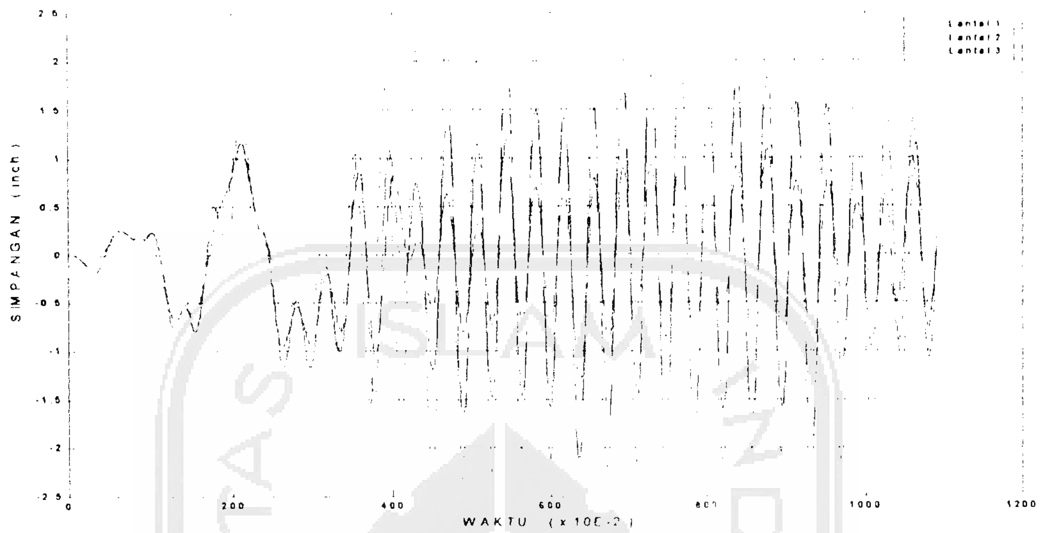
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a, b, dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\}=\begin{Bmatrix}-1{,}9944\\-1{,}9829\\-1{,}9796\\-1{,}9722\\1{,}9481\end{Bmatrix}\text{ x 1E4 ,}\tag{5.84}$$

$$\{b\}=\begin{Bmatrix}9{,}9850\\9{,}9739\\9{,}9715\\9{,}9666\\9{,}9544\end{Bmatrix}\text{ x 1E3, dan}\tag{5.85}$$

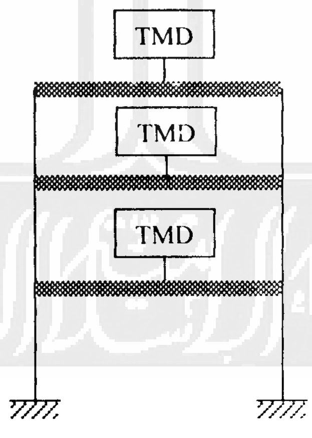
$$\{k\}=\begin{Bmatrix}1{,}0015\\1{,}0026\\1{,}0029\\1{,}0033\\1{,}0046\end{Bmatrix}\text{ x 1E4 .}\tag{5.86}$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada lantai 2 dan 3

5.8. Struktur dengan TMD pada semua lantai (Variasi 8)



Gambar 5.16 Struktur dengan TMD pada semua lantai
(Variasi 8)

Perhitungan untuk struktur tanpa TMD seperti terlihat pada Gambar 5.16, dapat dijelaskan dengan urutan sebagai berikut :

penyusunan matrik massa [*M*], matrik kekakuan [*K*] dari sistem

$$[M]=\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 \end{bmatrix} \quad (5.87)$$

$$[M]=\begin{bmatrix} 150 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 50 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ lb det}^2\text{/in}$$

dimana m_4, m_5 dan m_6 adalah massa dari TMD.

$$[K]=\begin{bmatrix} k_1+k_2+k_4 & -k_2 & 0 & -k_4 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3+k_5 & -k_3 & 0 & -k_5 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3+k_6 & 0 & 0 & -k_6 \\ -k_4 & 0 & 0 & k_4 & 0 & 0 \\ 0 & -k_5 & 0 & 0 & k_5 & 0 \\ 0 & 0 & -k_6 & 0 & 0 & k_6 \end{bmatrix} \quad (5.88)$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 30+20+0,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 & 0 \\ -20 & 20+10+0,6 & -10 & 0 & -0,6 & 0 \\ 0 & -10 & 10+0,6 & 0 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \text{ x 1E3 lb/in}$$

$$[K]=\begin{bmatrix} 50,6 & -20 & 0 & -0,6 & 0 & 0 \\ -20 & 30,6 & -10 & 0 & -0,6 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6 & 0 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6 \end{bmatrix} \text{x 1E3 lb/in}$$

Persamaan *eigen problem*,

$$1E3x\begin{bmatrix} 50,6-0,15\lambda & -20 & 0 & -0,6 & 0 & 0 \\ -20 & 30,6-0,1\lambda & -10 & 0 & -0,6 & 0 \\ 0 & -10 & 10,6-0,5\lambda & 0 & 0 & -0,6 \\ -0,6 & 0 & 0 & 0,6-0,003\lambda & 0 & 0 \\ 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6-0,003\lambda & 0 \\ 0 & 0 & -0,6 & 0 & 0 & 0,6-0,003\lambda \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \Phi_1 \\ \Phi_2 \\ \Phi_3 \\ \Phi_4 \\ \Phi_5 \\ \Phi_6 \end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad ...(5.89)$$

setelah dihitung diperoleh *mode shape*, yaitu :

$$[\Phi]=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -0,8309 & 1,5433 & 0,8219 & 0,4439 & 2,064 & -1,3671 \\ 0,225 & 1,2987 & -1,5433 & -1,8561 & 2,9759 & 0,9034 \\ 62,8262 & -19,6536 & 11,3446 & -2,2906 & 1,3943 & -0,6209 \\ -52,2029 & -30,3311 & 9,324 & -1,0167 & 2,8778 & 0,8489 \\ 14,1331 & -25,524 & -17,5087 & 4,2514 & 4,1492 & -0,5610 \end{bmatrix} \quad (5.90)$$

dan frekuensi sudut, yaitu :

$$\omega_1 = 7,5203 \quad \text{rad/det,} \quad (5.91)$$

$$\omega_2 = 13,5045 \quad \text{rad/det,} \quad (5.92)$$

$$\omega_3 = 14,0291 \quad \text{rad/det,} \quad (5.93)$$

$$\omega_4 = 14,4975 \quad \text{rad/det,} \quad (5.94)$$

$$\omega_5 = 16,9504 \quad \text{rad/det,} \quad (5.95)$$

$$\omega_6 = 22,8495 \quad \text{rad/det,} \quad (5.96)$$

serta partisipasi faktor, yaitu :

$$\lfloor \Gamma \rfloor = \lfloor 0{,}0153 \quad 0{,}0740 \quad 0{,}2903 \quad 0{,}4726 \quad 0{,}1478 \rfloor . \qquad (5.97)$$

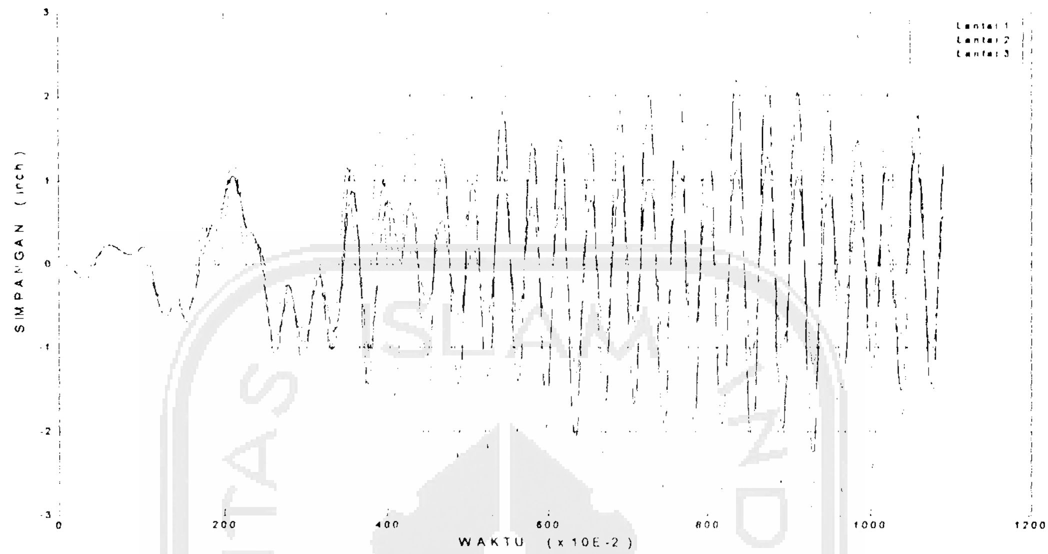
Dari metoda *central difference* dihitung nilai a, b, dan k yang hasilnya berupa matrik kolom, yaitu :

$$\{a\} = \begin{Bmatrix} -1{,}9944 \\ -1{,}9829 \\ -1{,}9796 \\ -1{,}9722 \\ 1{,}9481 \end{Bmatrix} \text{x 1E4}, \qquad (5.98)$$

$$\{b\} = \begin{Bmatrix} 9{,}9850 \\ 9{,}9739 \\ 9{,}9715 \\ 9{,}9666 \\ 9{,}9544 \end{Bmatrix} \text{x 1E3, dan} \qquad (5.99)$$

$$\{k\} = \begin{Bmatrix} 1{,}0015 \\ 1{,}0026 \\ 1{,}0029 \\ 1{,}0033 \\ 1{,}0046 \end{Bmatrix} \text{x 1E4}. \qquad (5.100)$$

Selanjutnya nilai g_i dihitung untuk tiap-tiap mode menggunakan persamaan (3.49), kemudian dari hasil hitungan tersebut simpangan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.51) dan hasil dari perhitungan simpangan tiap-tiap lantai berupa grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Grafik simpangan relatif dengan TMD pada semua lantai