

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis dan pembahasan pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

5.1 Pendahuluan

Perhitungan dinamik menggunakan fasilitas yang tersedia pada program Matlab, dengan cara mengaplikasikan tahapan perhitungan manual. *Input* dalam analisa adalah berupa matrik massa, matrik kekakuan yang dihitung berdasarkan data struktur dan data percepatan tanah. Perhitungan analisa dinamik meliputi perhitungan simpangan relatif tingkat, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan gaya geser dasar yang semuanya merupakan respon struktur akibat beban dinamik berupa percepatan tanah. Dari hasil respon struktur akan dianalisa terhadap kandungan frekuensi dari beban gempa yang digunakan, sehingga didapatkan hubungan antara frekuensi struktur dengan kandungan frekuensi beban gempa, dengan memperhitungkan respon yang terjadi.

5.2 Perhitungan Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur merupakan beban tetap yang meliputi beban hidup dan beban mati. Beban diperhitungkan bekerja secara merata, dan hanya ditinjau pada daerah yang didukung oleh portal E (lihat Gambar 4.1). Beban merata termasuk didalamnya beban akibat berat plat dan balok. Asumsi fungsi struktur adalah

untuk perkantoran, selengkapnya perhitungan pembebanan dijelaskan sebagai berikut :

1. Perhitungan berat beban hidup (W_l)

Asumsi fungsi struktur adalah untuk perkantoran, maka menurut PPIUG 1983 diperoleh data

- a. Baban hidup (q_l) pada atap gedung : 100 kg/m^2 .
- b. Beban hidup (q_l) pada lantai gedung : 250 kg/m^2 .

Sehingga beban hidup yang bekerja pada portal E (Gambar 4.1) dapat dihitung dengan rumus :

$$W_l = q_l \times b \times l$$

dimana W_l , q_l , b dan l adalah berat beban hidup, beban hidup merata, lebar daerah pembebanan dan panjang portal. Dengan rumus diatas diperoleh

- Plat atap = $100 \times 18.4 \times 4.6 = 8464 \text{ kg} = 8.464 \text{ Ton}$.
- Plat lantai = $250 \times 18.4 \times 4.6 = 21160 \text{ kg} = 21.16 \text{ Ton}$.

2. Perhitungan berat beban mati (W_d)

Dimensi balok telah ditentukan, seperti telah dijelaskan dimuka (lihat Tabel 4.2) Asumsi tebal plat atap dan plat lantai secara berurutan adalah sebesar 15 cm dan 20 cm. Perhitungan berat beban mati dapat dicari dengan rumus :

$$W_d = b \times h \times l \times \gamma$$

dengan W_d , b , h , l dan γ adalah berat beban mati, lebar tampang, tinggi tampang (tebal plat), panjang portal dan berat jenis bahan. Dengan rumus diatas dapat dihitung berat beban mati akibat plat dan balok.

a. Beban mati akibat plat

- plat atap = $0.15 \times 2.4 \times 18.4 \times 4.6 = 30.4704$ Ton.
- Plat lantai = $0.2 \times 2.4 \times 18.4 \times 4.6 = 40.6272$ Ton.

b. Beban mati akibat balok

- Dimensi balok 25/70 = $0.25 \times 0.7 \times 2.4 \times 18.4 = 7.728$ Ton.
- Dimensi balok 30/80 = $0.3 \times 0.8 \times 2.4 \times 18.4 = 10.5984$ Ton.
- Dimensi balok 35/85 = $0.35 \times 0.85 \times 2.4 \times 18.4 = 13.1376$ Ton.

Dari data beban mati dan beban hidup, maka dapat dihitung beban total yang bekerja pada tiap tingkat, dengan persamaan berikut :

$$W_{tot} = 1.2 W_d + 1.6 W_l$$

dengan W_{tot} , W_d dan W_l adalah berat total, berat beban mati dan berat beban hidup.

Dengan persamaan diatas diperoleh beban tiap tingkat, seperti disajikan pada Tabel 5.1, berikut :

Tabel. 5.1 Hasil perhitungan beban tiap lantai

No.	Lantai	Beban tiap lantai (Ton)
1	1,5,6,7,8,9	95.32672
2	2,3,4	98.37376
3	10,11	91.88224
4	12	73.83808

5.3 Perhitungan Massa dan Kekakuan

Anggapan yang dipakai dalam analisa ini adalah *lumped mass* dan prinsip *shear building*. Sehingga massa dihitung pada tiap tingkat dan mengumpul ditengah bentang, sedangkan kekakuan dihitung secara paralel dimana besarnya kekakuan tiap lantai merupakan jumlah dari kekakuan tiap kolomnya.

5.3.1 Perhitungan Massa Tingkat

Massa tingkat dihitung dengan rumus dibawah ini, dimana massa adalah berat dibagi percepatan gravitasi. Didalam perhitungan ini percepatan gravitasi diambil sebesar 980 cm/det^2 .

$$m = w/g$$

dimana m, w, g secara berurutan adalah massa, berat dan percepatan grafitasi. Dari rumus diatas maka massa untuk lantai satu dapat dihitung sebagai berikut :

$$m_1 = w_1/g, \text{ dimana } w_1 = 95326.72 \text{ kg, sehingga}$$

$$m_1 = 95326.72 / 980 = 97.27216 \text{ kg det}^2/\text{cm}$$

dengan cara yang sama, maka harga massa tiap tingkat dapat dicari, dan hasilnya seperti terlihat pada Tabel 5.2.

Tabel. 5.2 Hasil perhitungan massa

No.	Lantai	Massa (kg. Det ² /cm)
1	1,5,6,7,8,9	97.27216
2	2,3,4	100.38139
3	10,11	93.75739
4	12	75.34498

5.3.2 Perhitungan Kekakuan

Perhitungan kekakuan menggunakan prinsip *shear building* dimana kekakuan kolom tidak dipengaruhi oleh balok yang menghubungkan kolom-kolom yang ada. Kekakuan tiap kolom dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$k = 12 EI / H^3, \text{ dimana } I = bh^3/12, \text{ sehingga } k = E * bh^3/H^3$$

E adalah modulus elastisitas bahan, modulus elastisitas dari beton bertulang diambil 200000 kg/cm².

Dengan melihat data struktur maka kekakuan dihitung secara paralel yaitu kekakuan tiap lantai merupakan jumlah dari kekakuan kolom, secara matematis dapat dituliskan dengan rumus

$$k_t = \Sigma kK,$$

dengan k_t dan kK adalah kekakuan tingkat dan kekakuan kolom, sehingga kekakuan tingkat satu dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$k_{t1} = 2 * kKA_1 + kKB_1$$

$$kKA_1 = 200000 * 40 * 75^3 / 520^3 = 24002.90168 \text{ kg/cm}$$

$$kKB_1 = 200000 * 40 * 85^3 / 520^3 = 34941.11288 \text{ kg/cm}$$

$$k_{t1} = 2 * 24002.90168 + 34941.11288 = 82946.91624 \text{ kg/cm}$$

selanjutnya hasil perhitungan kekakuan tingkat disajikan dalam Tabel 5.3

Tabel. 5.3 Hasil perhitungan kekakuan

No.	Lantai	Kekakuan (kg/cm)
1	1	82946.91624
2	2,3,4	196614.9126
3	5,6,7,8, 9,10	130969.841
4	11,12	62846.64272

5.4 Frekuensi Struktur

Frekuensi struktur dihitung berdasarkan hasil dari persamaan eigen problem, dengan input massa dan kekakuan struktur serta output modal matrik struktur dan vektor frekuensi sudut (λ). Selanjutnya dihitung frekuensi struktur dengan hanya memperhitungkan vektor frekuensi sudut lantai pertama, karena lantai pertama akan memberikan partisipasi yang paling besar. Rumus yang dipakai adalah sebagai berikut

$$\lambda = \omega^2 / (k/m) \text{ sehingga}$$

$$\omega = \sqrt{(\lambda \times k/m)}$$

dengan ω, k, m secara berurutan adalah frekuensi sudut, unit kekakuan dan unit massa, dalam perhitungan ini unit massa dan unit kekakuan diambil sama dengan satu.

Rumus untuk menghitung periode getar dan frekuensi getar struktur adalah :

$$T = 2\pi / \omega,$$

$$f = 1 / T$$

dimana T, f adalah periode getar struktur dan frekuensi getar struktur

Dari persamaan eigen problem didapatkan vektor frekuensi sudut lantai satu (λ_1) sebesar 23.1178256, sehingga $\omega = \sqrt{(23.1178256 \times 1/1)} = 4.8081$ rad/det.

$T = 2\pi / 4.8081 = 1.306792$ det, dan $f = 1 / 1.306792 = 0.7652327$ Hz.

Dari perhitungan diatas diperoleh frekuensi getar struktur adalah 0.7652327 Hz.

5.5 Kandungan Frekuensi Beban Gempa

Tinjauan kandungan frekuensi gempa pada penelitian ini dilihat dari besarnya rasio percepatan maksimum dengan kecepatan maksimum, yang umumnya dikenal dengan A/V rasio.

Percepatan tanah maksimum langsung didapat dari data percepatan tanah akibat gempa, sedangkan kecepatan tanah maksimum sebagian didapat langsung dari data kecepatan tanah akibat gempa dan sebagian didapat dengan cara mengintegalkan data percepatan tanah. Harga A/V rasio merupakan harga pendekatan karena besarnya kemungkinan kesalahan dalam proses integrasi, sehingga hasil akhir dari penelitian ini tidak memberikan harga mutlak, tetapi merupakan kecenderungan dalam batas yang dapat diterima.

Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio) yang digunakan dalam penelitian ini secara keseluruhan disajikan pada Tabel 5.4. Dari tabel diketahui bahwa A/V rasio merupakan perbandingan antara percepatan maksimum (A_{mak}) dan kecepatan maksimum (V_{mak}) gerakan tanah akibat gempa, serta kelompok gempa dengan kandungan frekuensi rendah, sedang dan tinggi.

Tabel 5.4 Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio)

No.	Beban Gempa	A max (cm/det ²)	V max (cm/det)	A/V Rasio (g/m/det)	Ket
1	Tlahuac Bombas	130.4625	40.2011	0.33081	integrasi
2	Mexico	161.91	39.2741	0.41837	integrasi
3	Bucharest	225.4	35.776766	0.64222	integrasi
4	Ulcinj	258.5	34.071195	0.7734	integrasi
5	Miyagi	202.6549	26.559	0.8605	dari data
6	Bar Montenegro	371.1	42.93	0.86443	dari data
7	Coalinga	440.56	49.96	0.88182	dari data
8	Petrovac	441.7	40.402	1.09876	dari data
9	Parkfield	470.4	42.657299	1.1241	integrasi
10	Corint	281.4	25.107234	1.1425	integrasi
11	Coralitos	436.1	38.447255	1.15625	integrasi
12	Lolleo	666.4	55.951473	1.2141	integrasi
13	Gilroy	401.8	20.564445	1.9917	integrasi
14	St. Cruz	392	15.262681	2.6181	integrasi
15	Koyna India	548.79	16.132091	3.46774	integrasi

* A/V rasio (g/m/dt) < 0.8 0.8 < A/V < 1.2 A/V > 1.2
 Frekuensi Rendah Sedang Tinggi

5.6 Perhitungan Simpangan Relatif Tingkat

Matrik massa dan matrik kekakuan untuk struktur 12 lantai adalah:

$$[M] = \begin{bmatrix}
 m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_9 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{10} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{11} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{12}
 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5.1)$$

$$[K] = \begin{bmatrix}
 k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -k_4 & k_4+k_5 & -k_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5+k_6 & -k_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -k_6 & k_6+k_7 & -k_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_7 & k_7+k_8 & -k_8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_8 & k_8+k_9 & -k_9 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_9 & k_9+k_{10} & -k_{10} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_{10} & k_{10}+k_{11} & -k_{11} & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_{11} & k_{11}+k_{12} & -k_{12} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_{12} & k_{12}
 \end{bmatrix} \quad \dots(5.2)$$

Matrik massa dan kekakuan merupakan *input* persamaan *eigen problem*, dan penyelesaian selanjutnya menggunakan aplikasi program Matlab. Dari persamaan *eigen problem* diperoleh hasil yaitu nilai matrik modal struktur dan vektor frekuensi sudut, yang besarnya adalah sebagai berikut:

$\{\phi_1\}$,	$\{\phi_2\}$,	$\{\phi_3\}$,	$\{\phi_4\}$,	$\{\phi_5\}$,	$\{\phi_6\}$,	$\{\phi_7\}$,
-0.0841	0.2147	0.2581	0.3060	-0.3549	0.2933	-0.3488
-0.1187	0.2871	0.3140	0.3073	-0.2507	0.1394	-0.0799
-0.1518	0.3344	0.3032	0.1762	0.0386	-0.1506	0.2874
-0.1832	0.3525	0.2281	-0.0309	0.2994	-0.2936	0.3009
-0.2270	0.3333	0.0427	-0.3218	0.3590	-0.0776	-0.2349
-0.2669	0.2717	-0.1559	-0.4109	0.0330	0.2486	-0.3500
-0.3022	0.1755	-0.3063	-0.2424	-0.3285	0.2216	0.1617
-0.3323	0.0570	-0.3622	0.0781	-0.3371	-0.1203	0.3839
-0.3568	-0.0687	-0.3063	0.3496	0.0163	-0.2912	-0.0814
-0.3751	-0.1857	-0.1559	0.4020	0.3523	-0.0484	-0.4009
-0.4003	-0.3821	0.2543	0.0048	0.2923	0.5958	0.3753
-0.4117	-0.4808	0.5068	-0.3984	-0.3983	-0.4606	-0.1985

$$\begin{array}{r}
 \{\phi_8\}, \quad \{\phi_9\}, \quad \{\phi_{10}\}, \quad \{\phi_{11}\}, \quad \{\phi_{12}\}. \\
 0.2954 \quad 0.2878 \quad 0.3416 \quad 0.2466 \quad 0.2941 \\
 -0.0550 \quad -0.1837 \quad -0.3343 \quad -0.2873 \quad -0.5941 \\
 -0.3142 \quad -0.2646 \quad -0.1820 \quad -0.0542 \quad 0.6281 \\
 -0.0520 \quad 0.2170 \quad 0.4212 \quad 0.3236 \quad -0.3809 \\
 0.4711 \quad 0.2474 \quad -0.2397 \quad -0.4063 \quad 0.1354 \\
 -0.1431 \quad -0.4874 \quad -0.0368 \quad 0.4417 \quad -0.0482 \\
 -0.4119 \quad 0.2852 \quad 0.2987 \quad -0.4257 \quad 0.0171 \\
 0.3136 \quad 0.1757 \quad -0.4423 \quad 0.3602 \quad -0.0061 \\
 0.2820 \quad -0.4772 \quad 0.4106 \quad -0.2529 \quad 0.0021 \\
 -0.4304 \quad 0.3458 \quad -0.2163 \quad 0.1161 \quad -0.0006 \\
 0.1719 \quad -0.0873 \quad 0.0430 \quad -0.0207 \quad 0.0001 \\
 -0.0593 \quad 0.0219 \quad -0.0089 \quad 0.0039 \quad -0.0000 \dots\dots\dots(5.3)
 \end{array}$$

Matrik frekuensi sudut $\{\omega\}$,

$$\begin{array}{r}
 \{\omega\} = 4.8081 \\
 13.0878 \\
 20.3856 \\
 29.0546 \\
 38.0294 \\
 43.7400 \\
 49.1036 \\
 57.0117 \\
 64.5307 \\
 69.6583 \\
 72.3128 \\
 83.4125 \dots\dots\dots(5.4)
 \end{array}$$

Modal partisipasi faktor dihitung dengan dengan persamaan (3.34)

$$\Gamma_j = \frac{P_j}{M_j^*} = \frac{\{\phi\}_j^T [M] \{1\}}{\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j} \dots\dots\dots(5.5)$$

didapat hasil vektor modal partisipasi faktor dari persamaan diatas

$$\{f\} = \begin{bmatrix} 0.2740 \\ 0.2413 \\ 0.1444 \\ 0.0983 \\ 0.0772 \\ 0.0406 \\ 0.0436 \\ 0.0230 \\ 0.0170 \\ 0.0203 \\ 0.0099 \\ 0.0103 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(5.6)$$

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

$$g_{i+1} = \frac{-y_i - ag_i - bg_{i-1}}{k} \dots\dots\dots(5.7)$$

dengan nilai matrik [a], [b], [k] sebagai berikut:

$$[a] = \begin{bmatrix} -1.9977 \\ -1.9829 \\ -1.9584 \\ -1.9156 \\ -1.8554 \\ -1.8087 \\ -1.7589 \\ -1.6750 \\ -1.5836 \\ -1.5148 \\ -1.4771 \\ -1.3042 \end{bmatrix} *10^4 \dots\dots\dots(5.8a)$$

$$[b] = \begin{bmatrix} 9.9760 \\ 9.9346 \\ 9.8981 \\ 9.8547 \\ 9.8099 \\ 9.7813 \\ 9.7545 \\ 9.7149 \\ 9.6773 \\ 9.6517 \\ 9.6384 \\ 9.5829 \end{bmatrix} * 10^3 \dots\dots\dots (5.8b)$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 1.0024 \\ 1.0065 \\ 1.0102 \\ 1.0145 \\ 1.0190 \\ 1.0219 \\ 1.0246 \\ 1.0285 \\ 1.0323 \\ 1.0348 \\ 1.0362 \\ 1.0417 \end{bmatrix} * 10^4 \dots\dots\dots (5.8c)$$

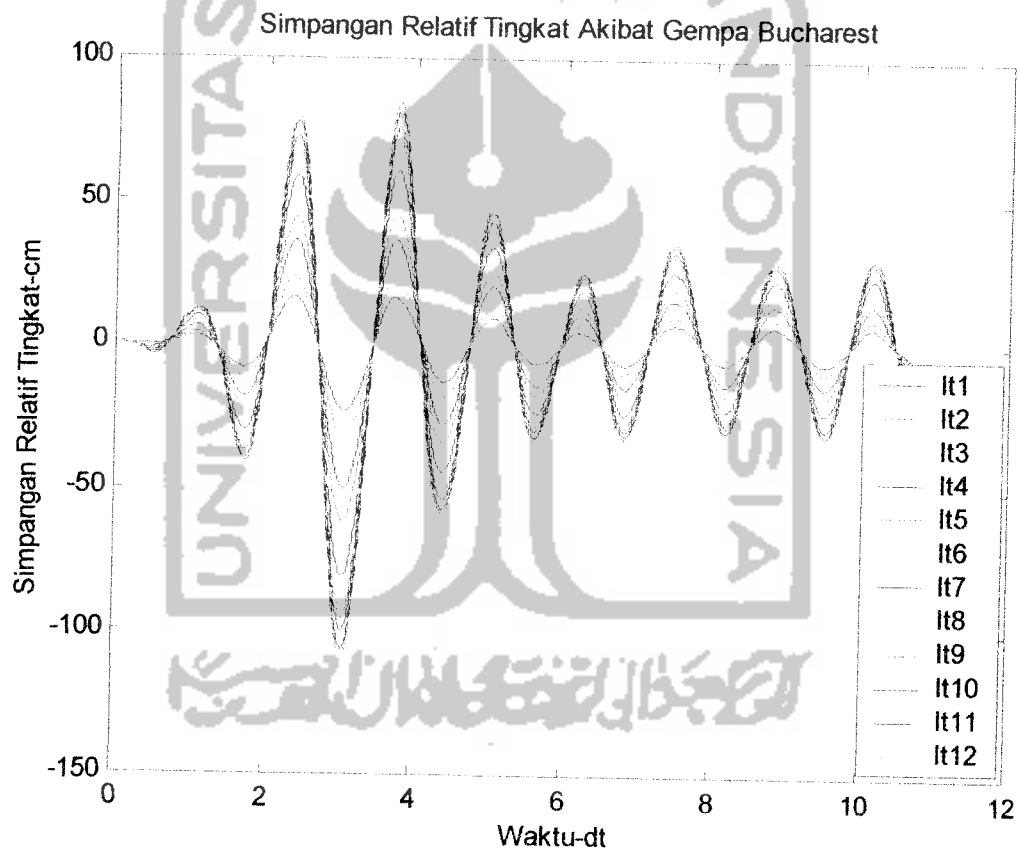
modal amplitudo merupakan perkalian matrik dengan vektor yaitu matrik $[g]_{ij}$ dikalikan dengan vektor $\{\Gamma\}$, maka akan menghasilkan

$$[z]_i = [g]_{ij} \{\Gamma\}_j \dots\dots\dots (5.9)$$

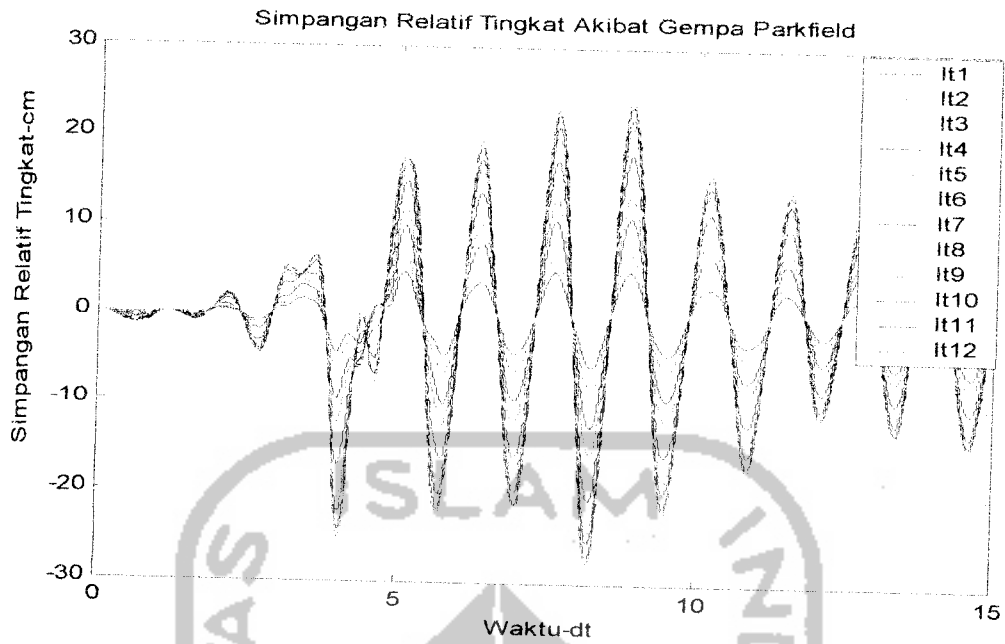
Simpangan dihitung dengan persamaan (3.43)

$$y_i(t) = \Gamma_i \phi_i g_i(t) \dots\dots\dots (5.10)$$

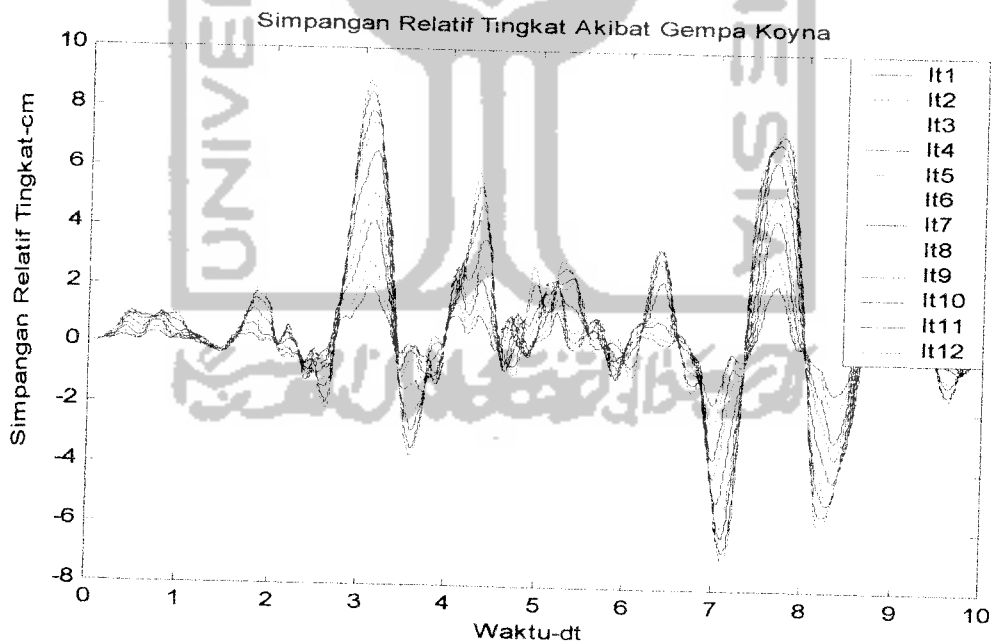
Hasil perhitungan simpangan relatif tingkat disajikan dalam grafik plot antara waktu lawan simpangan relatif tingkat. Contoh plot antara waktu dengan simpangan relatif akibat gempa Bucharest yang mewakili gempa frekuensi rendah dengan A/V rasio 0.64222 g/m/det, gempa Parkfield yang mewakili gempa frekuensi sedang dengan A/V rasio 1.1241 g/m/det dan gempa Koyna yang mewakili gempa frekuensi tinggi dengan A/V rasio 3.46774 g/m/det dapat dilihat pada Gambar 5.1, Gambar 5.2 dan Gambar 5.3.



Gambar 5.1 Contoh plot simpangan relatif tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest.



Gambar 5.2 Contoh plot simpangan relatif tingkat lawan waktu akibat gempa Parkfield.



Gambar 5.3 Contoh plot simpangan relatif tingkat lawan waktu akibat gempa Koyna.

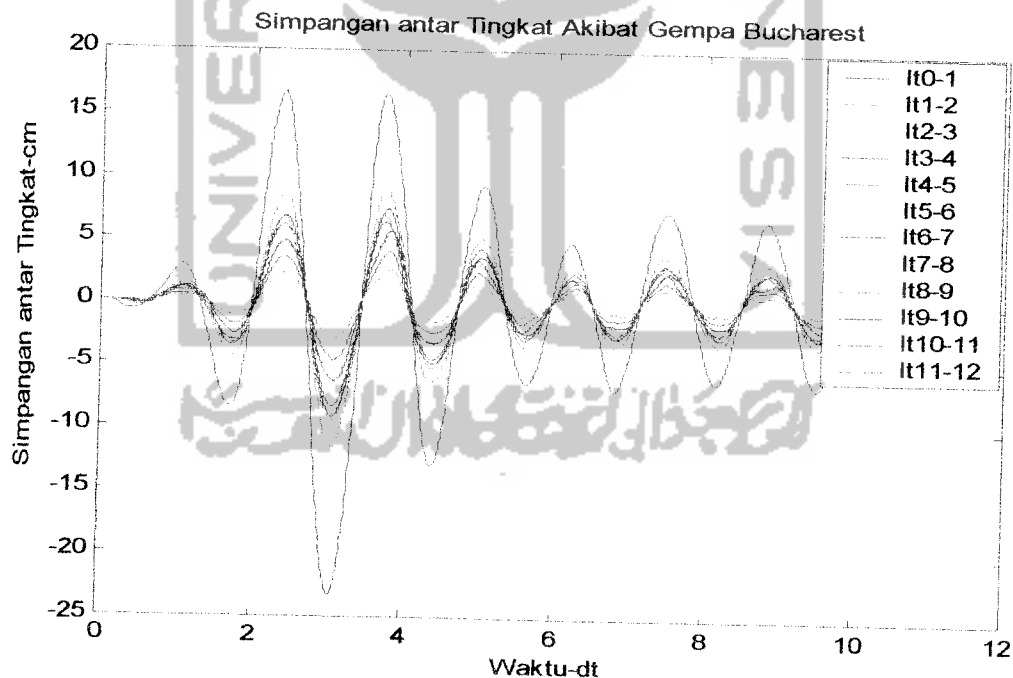
5.7. Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (*Inter Story Drift*)

Simpangan antar tingkat adalah selisih simpangan suatu tingkat dengan simpangan tingkat dibawahnya pada waktu yang bersamaan. Besarnya nilai simpangan antar tingkat dihitung dengan

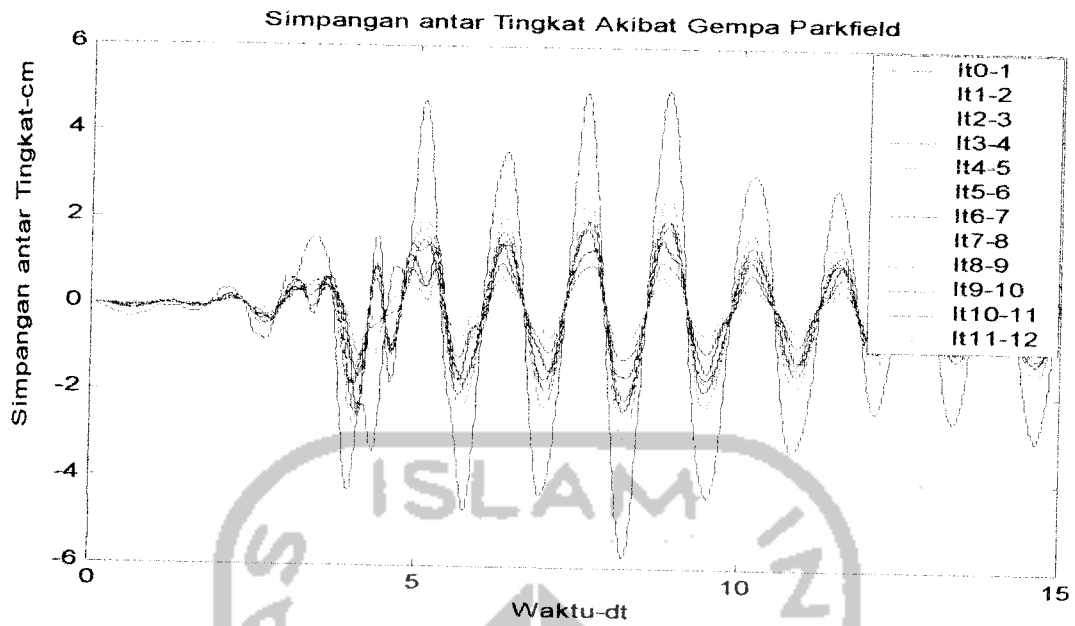
$$\Delta y_j(t) = y_j(t) - y_{j-1}(t) \dots\dots\dots(5.11)$$

dimana $\Delta y_j(t)$ dan $y_j(t)$ adalah simpangan antar tingkat dan simpangan tingkat relatif yang terjadi pada tingkat ke j yang merupakan fungsi dari waktu.

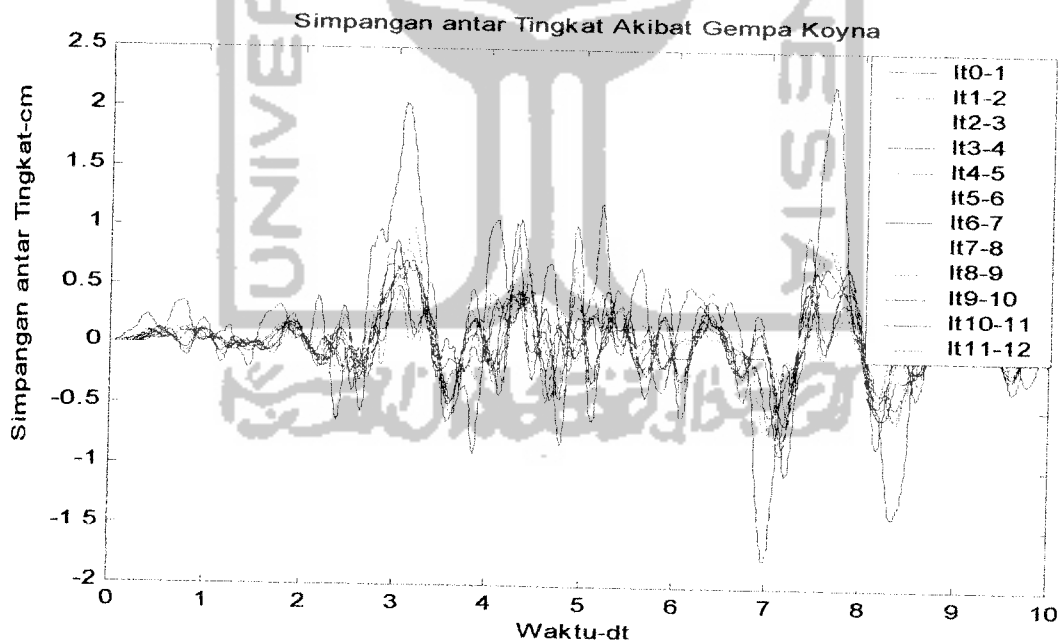
Hasil perhitungan simpangan antar tingkat disajikan dalam bentuk grafik plot antara waktu lawan simpangan antar tingkat. Contoh hasil plot simpangan antar tingkat akibat gempa Bucharest, Parkfield dan Koyna seperti pada Gambar 5.4, Gambar 5.5 dan Gambar 5.6.



Gambar 5.4 Contoh plot simpangan antar tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest.



Gambar 5.5 Contoh plot simpangan antar tingkat lawan waktu akibat gempa Parkfield.



Gambar 5.6 Contoh plot simpangan antar tingkat lawan waktu akibat gempa Koyna.

5.8 Perhitungan Gaya Geser Tingkat dan Gaya Geser Dasar

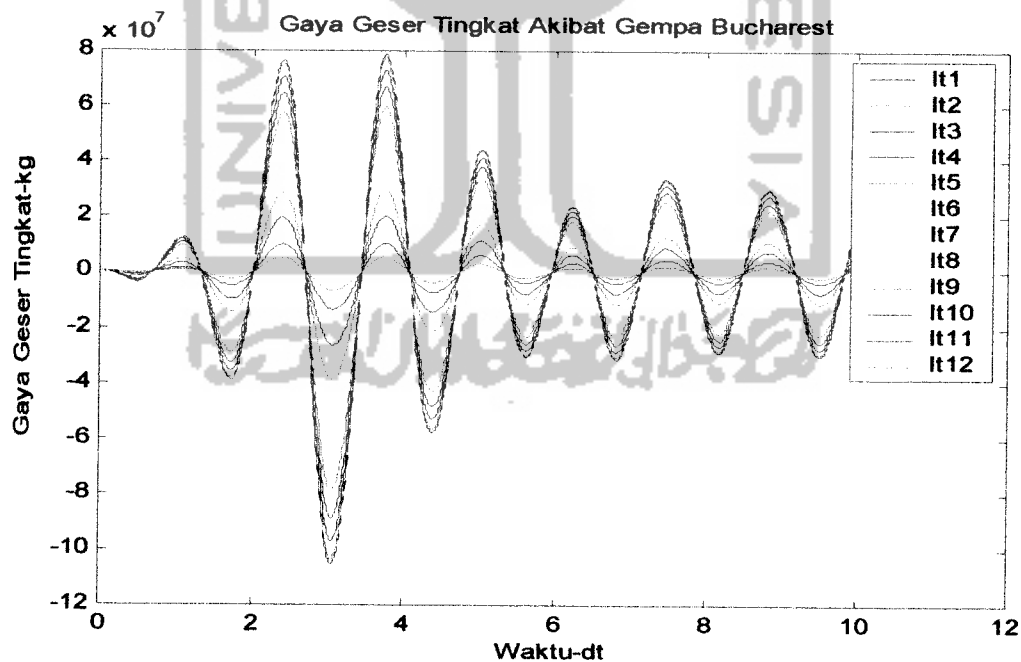
Gaya geser dasar dapat dihitung dengan menjumlahkan gaya geser tiap tingkat sedangkan gaya geser tingkat adalah komulatif dari gaya lantai dari atas kebawah. Gaya lantai (F) merupakan perkalian antara simpangan relatif tingkat (y) dengan kekakuan (k) tiap tingkatnya.

$$F_j(t) = y_j(t) * k_j \dots\dots\dots(5.12)$$

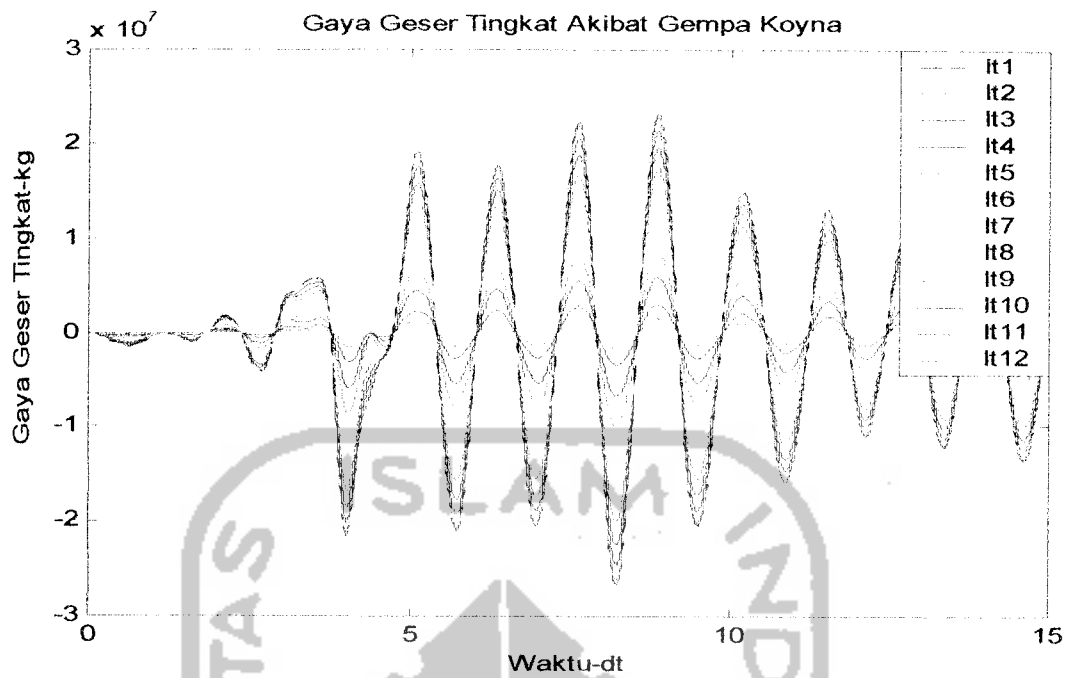
Sehingga gaya geser dasar (V)

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F_j(t) \dots\dots\dots(5.13)$$

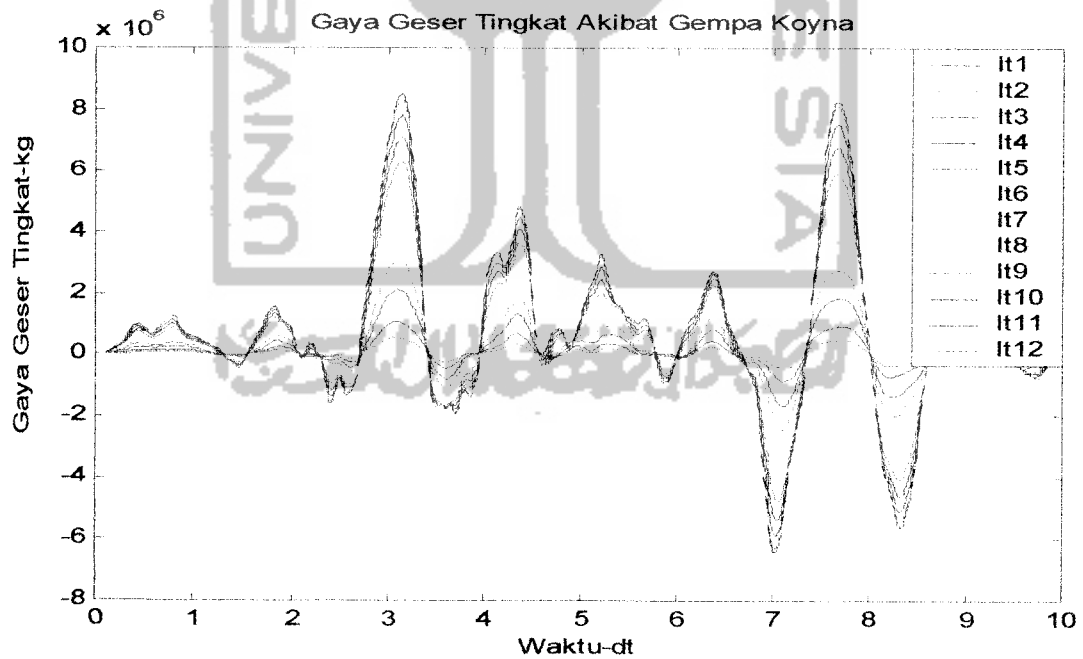
Contoh hasil gaya geser tingkat akibat beban gempa Bucharest, Parkfield dan Koyna dapat dilihat pada Gambar 5.7, Gambar 5.8 dan Gambar 5.9, terlihat bahwa gaya geser tingkat merupakan fungsi dari waktu.



Gambar 5.7. Contoh plot antara gaya geser tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest.

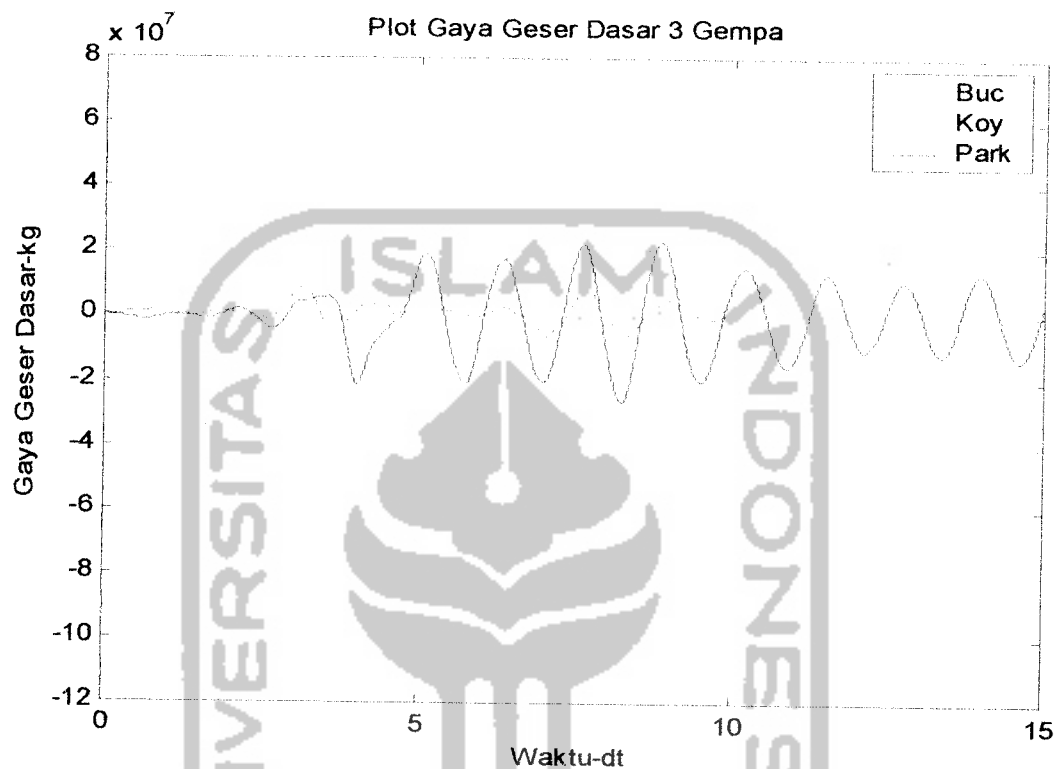


Gambar 5.8. Contoh plot antara gaya geser tingkat lawan waktu akibat gempa Parkfield.



Gambar 5.9. Contoh plot antara gaya geser tingkat lawan waktu akibat gempa Koyna.

Sedangkan hasil gaya geser dasar akibat beban gempa Bucharest, Parkfield dan Koyna dapat dilihat pada Gambar 5.10, terlihat bahwa gaya geser dasar merupakan fungsi dari waktu.



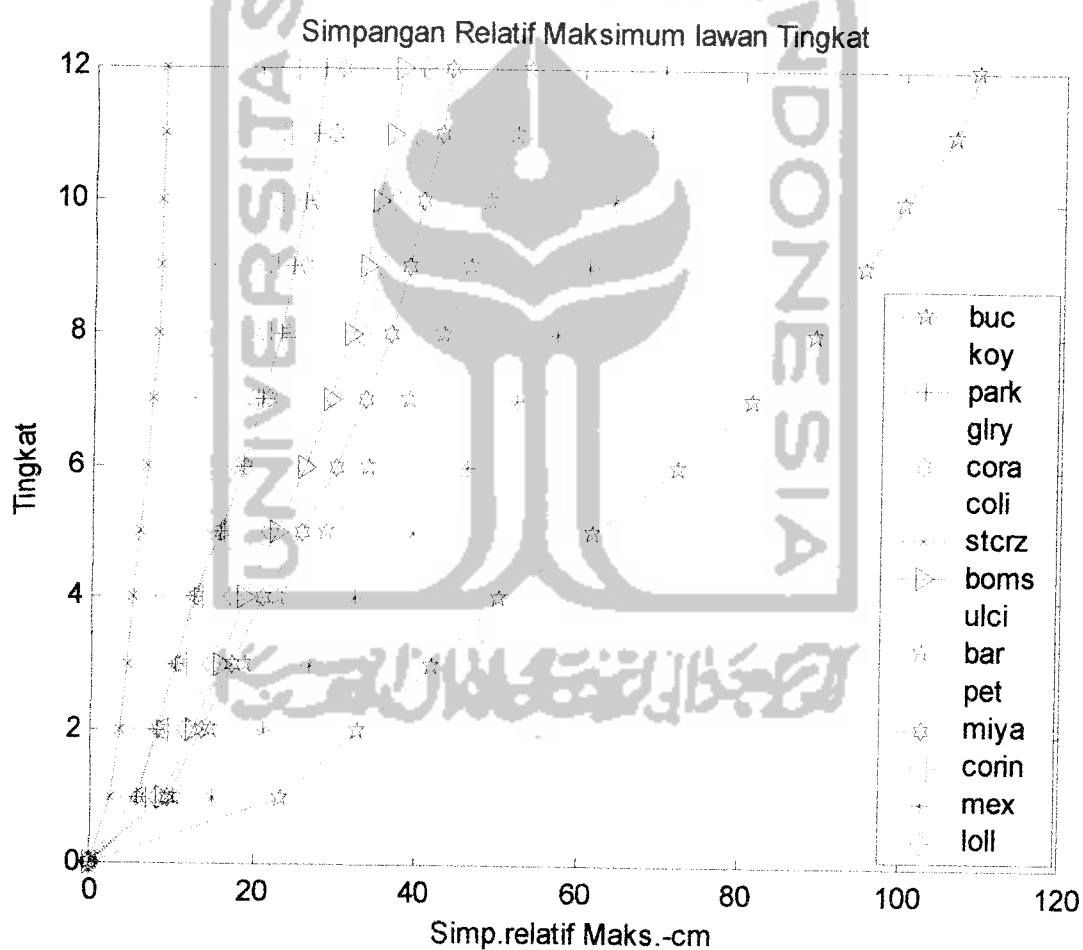
Gambar 5.10 Contoh plot antara gaya geser dasar lawan waktu 3 beban gempa.

5.9. Pembahasan

Pembahasan meliputi tinjauan hasil simpangan relatif maksimum tingkat, simpangan antar tingkat maksimum, gaya geser tingkat maksimum dan gaya geser dasar maksimum terhadap nilai A/V rasio atau kandungan frekuensi beban gempa yang diperoleh dari 15 beban gempa yang dipakai.

5.9.1. Simpangan Relatif Tingkat

Simpangan relatif tingkat maksimum akibat 15 beban gempa ditunjukkan pada Gambar 5.11, terlihat bahwa simpangan relatif maksimum tiap tingkat semakin besar untuk tingkat yang lebih tinggi, hal ini sesuai dengan pola goyangan pada mode pertama. Kenaikan nilai simpangan tiap tingkat tidak menunjukkan harga yang sama untuk semua beban gempa, hal ini disebabkan karena kekakuan dan massa tiap tingkat tidak sama.



Gambar 5.11. Simpangan relatif maksimum akibat 15 beban gempa.

Untuk tingkat-tingkat yang mempunyai kekakuan dan massa yang sama akan memberikan kenaikan simpangan yang kecil untuk tingkat yang semakin keatas, sedangkan untuk tingkat dengan perubahan kekakuan yang besar akan memberikan perubahan simpangan yang besar pula, sehingga pada tingkat-tingkat tersebut kelihatan patah. Hal ini seperti terlihat pada Gambar 5.11 yaitu pada tingkat I, 4, dan 10 untuk semua beban gempa. Simpangan relatif terbesar untuk semua tingkat adalah simpangan relatif akibat gempa Bucharest, dengan percepatan tanah maksimum 548.79 cm/det^2 dan kandungan frekuensi 0.64222 Hz , pada struktur dengan frekuensi getar 0.7652327 Hz .

Nilai simpangan relatif tingkat maksimum untuk beban-beban gempa yang digunakan seperti terlihat pada Tabel 5.5 sampai dengan Tabel 5.19.

Tabel 5.5 Simp. Relatif mak. akibat Gempa Bucharest **Tabel 5.6** Simp. Relatif mak akibat. Gempa Koyna

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	23.3114	306
2	32.7677	306
3	41.7403	306
4	50.1372	306
5	61.7502	306
6	72.2305	306
7	81.4263	306
8	89.2042	306
9	95.4531	306
10	100.0904	306
11	106.4066	306
12	109.2466	307

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	2.2274	769
2	3.0651	769
3	3.7936	768
4	4.431	768
5	5.2736	766
6	5.9399	766
7	6.5698	316
8	7.1398	316
9	7.5611	315
10	7.8798	312
11	8.5045	310
12	8.9289	308

Tabel 5.7 Simp. Relatif mak akibat
Gempa Park Field

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	5.7484	825
2	8.1109	825
3	10.3765	825
4	12.5149	824
5	15.5039	824
6	18.2166	824
7	20.6018	824
8	22.6165	824
9	24.228	823
10	25.4074	823
11	26.9797	824
12	27.6744	824

Tabel 5.8 Simp. Relatif mak akibat
Gempa Gilroy

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	3.7588	350
2	5.1973	350
3	6.5226	492
4	7.792	492
5	9.4743	493
6	10.9214	494
7	12.1855	496
8	13.3584	498
9	14.4325	499
10	15.3322	500
11	16.8097	502
12	17.5436	503

Tabel 5.9 Simp. Relatif mak akibat
Gempa Coralitos

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	5.7846	776
2	8.1921	776
3	10.5203	776
4	12.7313	777
5	15.8408	777
6	18.7	777
7	21.2866	777
8	23.5685	778
9	25.4902	778
10	26.9606	778
11	28.9963	778
12	29.9129	778

Tabel 5.10 Simp. Relatif mak akibat
Gempa Coalinga

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	6.5669	517
2	9.2272	517
3	11.6875	517
4	13.8868	518
5	16.7182	518
6	19.051	518
7	20.8775	518
8	22.2276	517
9	23.3489	630
10	25.5291	631
11	29.1658	632
12	31.0305	632

Tabel 5.11 Simp. Relatif akibat
Gempa Santa Cruz

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	2.5374	1153
2	3.5194	1153
3	4.3447	1153
4	4.9607	1153
5	5.9282	958
6	6.6919	959
7	7.2734	960
8	7.7298	961
9	8.0184	962
10	8.145	961
11	8.2581	960
12	8.2469	959

Tabel 5.12 Simp. Relatif akibat
Gempa Tlahuac Bombas

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	8.9784	2602
2	12.4791	2602
3	15.678	2602
4	18.5725	2601
5	22.4496	2600
6	25.8601	2600
7	28.7861	2600
8	31.215	2600
9	33.1365	2600
10	34.5437	2599
11	36.436	2599
12	37.2796	2599

Tabel 5.13 Simp. Relatif akibat
Gempa Ulcinj

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	11.1934	909
2	15.6829	909
3	19.8719	909
4	23.7128	909
5	28.8987	909
6	33.4542	909
7	37.3235	909
8	40.4834	908
9	42.9193	908
10	44.6384	908
11	46.8853	909
12	47.8897	909

Tabel 5.14 Simp. Relatif akibat
Gempa Bar Montenegro

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	10.3812	581
2	14.6627	581
3	18.7809	581
4	22.6731	581
5	28.4422	519
6	33.8547	520
7	38.6955	520
8	42.8321	520
9	46.1608	520
10	48.6154	520
11	51.9155	521
12	53.3878	521

Tabel 5.15 Simp. Relatif akibat
Gempa Petrovac

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	7.3652	366
2	10.443	367
3	13.4092	367
4	16.1687	367
5	19.9095	368
6	23.1708	368
7	25.8957	369
8	28.0701	370
9	29.7207	370
10	30.8271	371
11	32.0682	371
12	33.0476	824

Tabel 5.16 Simp. Relatif akibat
Gempa Miyagi

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	9.5072	642
2	13.4515	642
3	17.2326	643
4	20.7603	643
5	25.541	643
6	29.7447	644
7	33.3133	644
8	36.2291	644
9	38.5117	645
10	40.2019	645
11	42.4976	645
12	43.5718	646

Tabel 5.17 Simp. Relatif akibat
Gempa Corint

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	6.0993	585
2	8.5336	585
3	10.7618	585
4	12.7373	585
5	15.2836	585
6	17.3951	585
7	19.0886	585
8	20.3853	585
9	21.3138	585
10	21.93	585
11	22.6929	585
12	23.4818	256

Tabel 5.18 Simp. Relatif akibat
Gempa Mexico

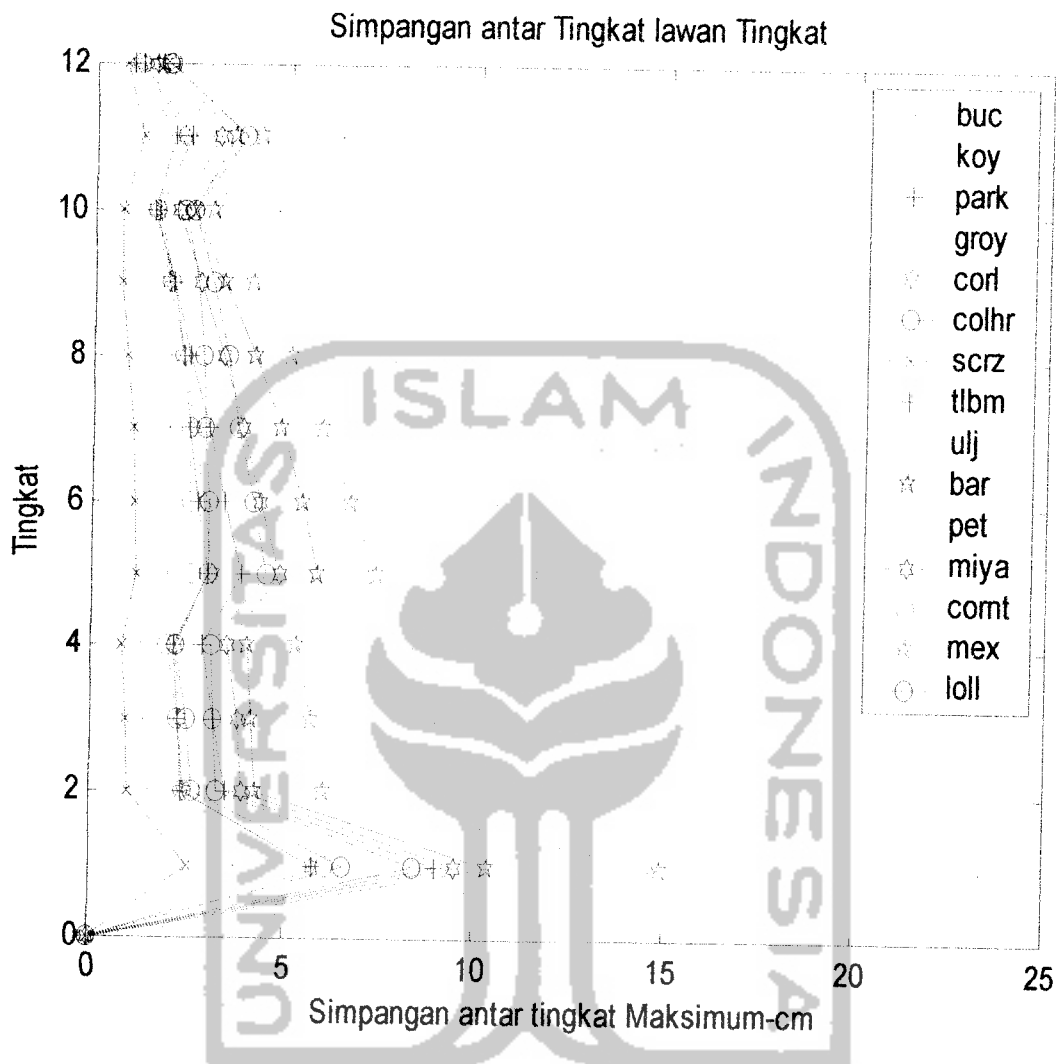
Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	14.9692	3818
2	21.0058	3818
3	26.7101	3818
4	32.037	3818
5	39.4207	3819
6	46.1043	3819
7	51.9959	3820
8	57.0266	3820
9	61.0958	3820
10	64.1329	3820
11	68.3167	3821
12	70.2067	3821

Tabel 5.19 Simp. Relatif akibat
Gempa Lolleco

Lt	Simp. Relatif Tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	8.4012	2394
2	11.6944	2395
3	14.6305	2395
4	17.1715	2396
5	21.5429	2280
6	25.7034	2280
7	29.4119	2280
8	32.5675	2279
9	35.0815	2279
10	36.9023	2279
11	39.2838	2279
12	40.3343	2278

5.9.2. Simpangan Antar Tingkat (*Inter Storey Drift*)

Simpangan antar tingkat maksimum akibat 15 beban gempa ditunjukkan pada Gambar 5.12, terlihat bahwa simpangan antar tingkat maksimum semakin keatas semakin mengecil pada tingkat yang mempunyai kekakuan yang sama. Bentuk grafik simpangan antar tingkat maksimum pada Gambar 5.12 terlihat patah-patah hal ini terjadi karena model struktur mempunyai kekakuan dan massa yang tidak seragam. Terlihat bahwa untuk lantai 2,3,4 yang mempunyai kekakuan sama, yaitu sebesar 196614.9126 kg/cm terlihat patah terhadap lantai 1 yang mempunyai kekakuan sebesar 82946.91624 kg/cm. Demikian pula untuk lantai 5 sampai 10 mempunyai kekakuan yang sama sebesar 130969.841 kg/cm terlihat patah terhadap lantai 2,3,4 serta patah terhadap lantai 11,12 dengan kekakuan sebesar 62846.64272 kg/cm.



Gambar 5.12. Simpangan antar tingkat akibat 15 beban gempa.

Perubahan kekakuan antara lantai 1 dan 2 sebesar 113667.9964 kg/cm akibat gempa Bucharest memberikan nilai simpangan antar tingkat sebesar 9.4563 cm, sedangkan simpangan antar tingkat lantai 2 - 3, dan 3 - 4 secara berurutan sebesar 8.9726 cm, 8.3969 cm. Akibat gempa yang sama simpangan antar tingkat lantai 4 dan 5 sebesar 11.613 cm dengan perubahan kekakuan sebesar 65645.0716

masing-masing sebesar 10.4803 cm, 9.1959 cm, 7.7828 cm, 6.2616 cm, dan 4.6606 cm. Pada lantai 10 - 11 terjadi perubahan kekakuan sebesar 68123.1983 kg/cm dan simpangan antar tingkat yang terjadi akibat gempa Bucharest sebesar 6.3754 cm, dan nilai simpangan antar tingkat antara lantai 11 dan 12 sebesar 2.8725 cm. Dari gambar tersebut juga dapat diketahui bahwa simpangan antar tingkat akan bertambah besar sesuai dengan penurunan kekakuan yang terjadi, serta pada kekakuan yang sama simpangan antar tingkat akan mengalami penurunan untuk tingkat yang lebih tinggi sesuai dengan pola goyangan mode pertama.

Nilai simpangan antar tingkat untuk 15 beban gempa yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.20 sampai dengan Tabel 5.34.

Tabel 5.20 Simp. Antar tingkat
Gempa Bucharest

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	23.3114	306
2	9.4563	306
3	8.9726	306
4	8.3969	306
5	11.613	306
6	10.4803	306
7	9.1959	306
8	7.7828	307
9	6.2616	307
10	4.6606	308
11	6.3754	309
12	2.8725	310

Tabel 5.21 Simp. Antar Tingkat
Gempa Koyna

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	2.2274	769
2	0.8377	769
3	0.775	762
4	0.7223	319
5	0.9951	320
6	0.8439	713
7	0.8774	715
8	0.8558	715
9	0.7629	716
10	0.6295	719
11	1.0538	721
12	0.678	495

Tabel 5.22 Simp. Antar Tingkat
Gempa Park Field

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	5.7484	825
2	2.3626	825
3	2.2672	824
4	2.1429	824
5	2.994	823
6	2.7229	822
7	2.5063	406
8	2.2937	407
9	2.0012	406
10	1.6205	409
11	2.4392	410
12	1.1665	410

Tabel 5.23 Simp. Antar Tingkat
Gempa Gilroy

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	3.7588	350
2	1.4857	492
3	1.4069	493
4	1.293	495
5	1.9566	439
6	2.0006	439
7	1.9388	367
8	1.9637	369
9	1.9241	371
10	1.7427	371
11	2.9196	371
12	1.5165	370

Tabel 5.24 Simp. Antar Tingkat
Gempa Coralitos

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	5.7846	776
2	2.4075	776
3	2.3304	777
4	2.2174	778
5	3.1239	779
6	2.8851	780
7	2.6044	780
8	2.2932	779
9	1.9249	779
10	1.4748	779
11	2.2283	426
12	1.1551	427

Tabel 5.25 Simp. Antar Tingkat
Gempa Coalinga

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	6.5669	517
2	2.6628	518
3	2.4698	518
4	2.2048	519
5	2.9806	631
6	2.9741	632
7	2.9058	631
8	2.813	631
9	2.6383	633
10	2.3282	634
11	3.8424	634
12	1.8924	633

Tabel 5.30 Simp. Antar Tingkat
Gempa Petrovac

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	7.3652	366
2	3.0851	367
3	2.9739	368
4	2.7859	369
5	3.8201	371
6	3.4237	373
7	3.1888	821
8	3.0025	822
9	2.6831	822
10	2.2198	823
11	3.4252	824
12	1.6849	891

Tabel 5.31 Simp. Antar Tingkat
Gempa Miyagi

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	9.5072	642
2	3.9503	643
3	3.7891	643
4	3.5411	644
5	4.8417	646
6	4.3557	586
7	3.8979	587
8	3.3371	588
9	2.7295	589
10	2.1164	1555
11	3.1746	1555
12	1.5841	531

Tabel 5.32 Simp. Antar Tingkat
Gempa Corint

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	6.0993	585
2	2.4343	585
3	2.2281	585
4	1.9756	585
5	2.5758	520
6	2.5532	251
7	2.4901	253
8	2.3022	254
9	1.9865	255
10	1.5632	256
11	2.2838	258
12	1.0686	260

Tabel 5.33 Simp. Antar Tingkat
Gempa Mexico

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	14.9692	3818
2	6.0367	3818
3	5.7084	3819
4	5.3384	3820
5	7.3978	3820
6	6.7083	3821
7	5.9255	3822
8	5.0568	3822
9	4.1058	3823
10	3.0444	3823
11	4.2696	3825
12	1.9395	3825

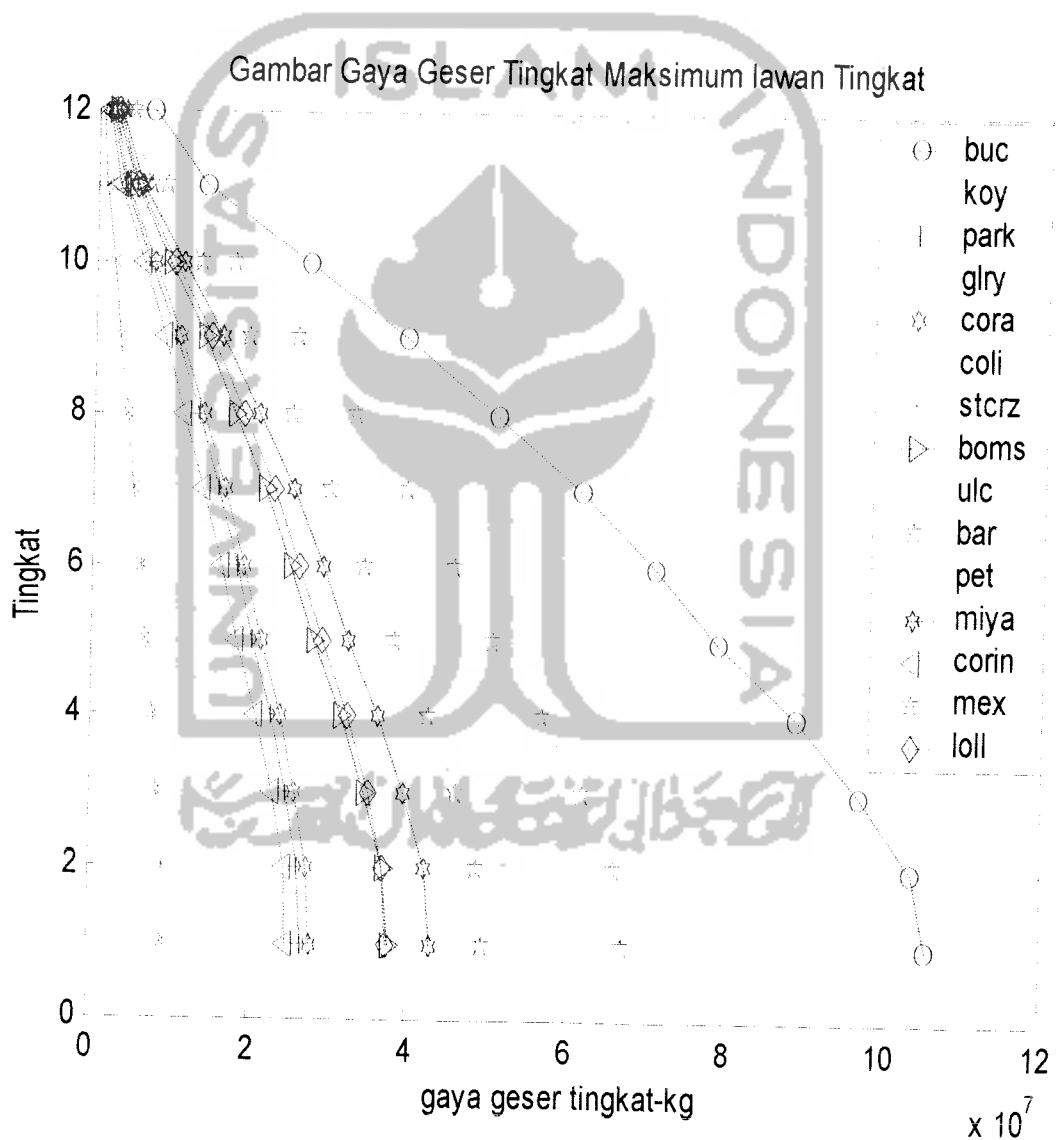
Tabel 5.34 Simp. Antar Tingkat
Gempa Lolleo

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	8.4012	2394
2	3.2975	2396
3	3.1839	2280
4	3.1115	2280
5	4.4814	2279
6	4.1701	2279
7	3.725	2278
8	3.4402	2515
9	3.0664	2515
10	2.528	2515
11	3.8596	2515
12	1.8592	2516

5.9.3. Gaya Geser Tingkat

Gaya geser tingkat maksimum untuk 15 beban gempa ditunjukkan pada Gambar 5.13, nilai gaya geser tingkat maksimum dipengaruhi oleh simpangan relatif dan kekakuan tingkat. Pola gaya geser tingkat untuk semua beban gempa relatif sama dimana gaya geser semakin besar pada lantai yang lebih rendah karena gaya geser tingkat akan ditahan oleh tingkat dibawahnya. Penambahan besarnya nilai gaya geser tingkat tidak linear, hal ini karena pengaruh kekakuan dan simpangan relatif pada tiap tingkatnya. Dengan melihat besarnya nilai kekakuan tingkat dan simpangan relatif tingkat dapat diketahui bahwa kontribusi kekakuan lebih dominan. Pada lantai yang mempunyai perbedaan kekakuan yang relatif besar dengan lantai yang lainnya akan mempunyai pola yang cenderung patah. Sehingga perbedaan kekakuan yang besar juga akan mengakibatkan perubahan gaya geser tingkat yang relatif besar. Pola gaya geser tingkat terlihat

perubahan gaya geser tingkat yang relatif besar. Pola gaya geser tingkat terlihat pada Gambar 5.13 terdapat patahan-patahan yang merupakan akibat dari perbedaan kekakuan pada model struktur. Besarnya gaya geser tingkat 1 merupakan komulatif dari gaya geser tingkat di atasnya dan akan menimbulkan reaksi yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan, gaya reaksi ini sering disebut sebagai gaya geser dasar.



Gambar 5.13 Gaya geser tingkat untuk 15 beban gempa.

Tabel 5.26 Simp. Antar Tingkat
Gempa Santa Cruz

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	2.5374	1153
2	0.982	1153
3	0.9179	959
4	0.8368	960
5	1.137	964
6	1.1111	967
7	1.019	968
8	0.8788	1170
9	0.7191	1171
10	0.6696	1107
11	1.232	1107
12	0.734	980

Tabel 5.27 Simp. Antar Tingkat
Gempa Tlahuac Bombas

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	8.9784	2602
2	3.5015	2601
3	3.2028	2600
4	2.8984	2599
5	3.8833	2598
6	3.4267	2111
7	2.977	2110
8	2.5013	2110
9	2.003	2110
10	1.4858	2109
11	2.0273	2109
12	0.9131	2109

Tabel 5.28 Simp. Antar Tingkat
Gempa Ulcinj

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	11.1934	909
2	4.4894	909
3	4.189	909
4	3.8422	908
5	5.1946	908
6	4.5851	417
7	4.3056	963
8	4.0266	961
9	3.6002	961
10	2.9645	962
11	4.5121	964
12	2.1663	965

Tabel 5.29 Simp. Antar Tingkat
Gempa Bar Montenegro

Lt	Simp. antar tingkat (cm)	Waktu 1/100 (dt)
1	10.3812	581
2	4.2814	581
3	4.1792	519
4	4.0634	520
5	5.8342	520
6	5.413	520
7	4.8437	521
8	4.1471	521
9	3.351	522
10	2.5422	589
11	3.6067	589
12	1.6809	589

Nilai gaya geser tingkat akibat 15 beban gempa disajikan pada Tabel 5.35 sampai Tabel 5.49.

Tabel 5.35 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Bucharest

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	105.5	306
2	103.56	306
3	97.122	306
4	88.916	306
5	79.058	306
6	70.97	306
7	61.51	306
8	50.846	306
9	39.163	306
10	26.662	306
11	13.553	306
12	6.8658	307

Tabel 5.36 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Koyana

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100(dt)
1	8.5278	315
2	8.3623	315
3	7.8142	315
4	7.1187	315
5	6.2908	315
6	5.6242	315
7	4.8597	314
8	4.0088	313
9	3.0944	311
10	2.1221	310
11	1.0953	309
12	0.56115	308

Tabel 5.37 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Parkfield

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	26.582	824
2	26.105	824
3	24.512	824
4	22.472	824
5	20.012	824
6	17.981	824
7	15.595	824
8	12.897	824
9	9.9351	824
10	6.7622	824
11	3.4348	824
12	1.7392	824

Tabel 5.38 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Gilroy

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	15.761	496
2	15.473	496
3	14.522	497
4	13.308	497
5	11.871	498
6	10.7	499
7	9.3256	500
8	7.7669	500
9	6.039	501
10	4.1586	502
11	2.1579	502
12	1.1026	503

Tabel 5.39 Gaya Gsr. Tingkat
Gempa Coralitos

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	27.619	777
2	27.139	777
3	25.53	777
4	23.463	777
5	20.962	778
6	18.892	778
7	16.445	778
8	13.658	778
9	10.572	778
10	7.2333	778
11	3.7022	778
12	1.8799	778

Tabel 5.40 Gaya Gsr. Tingkat
Gempa Coalinga

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	26.95	517
2	26.405	517
3	24.591	517
4	22.293	517
5	19.575	516
6	17.403	516
7	15.213	631
8	12.872	631
9	10.163	631
10	7.118	632
11	3.7831	632
12	1.9502	632

Tabel 5.41 Gaya Gsr. Tingkat
Gempa St. Cruz

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	9.2261	959
2	9.0469	959
3	8.4357	959
4	7.658	960
5	6.7274	960
6	5.9715	961
7	5.1123	961
8	4.1624	961
9	3.15	961
10	2.1011	961
11	1.0371	960
12	0.51829	959

Tabel 5.42 Gaya Gsr. Tingkat
Gempa Tla.Bombas

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	37.609	2600
2	36.866	2600
3	34.414	2600
4	31.333	2600
5	27.682	2600
6	24.741	2600
7	21.355	2600
8	17.585	2599
9	13.497	2599
10	9.157	2599
11	4.6328	2599
12	2.3429	2599

Tabel 5.43 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Ulcinj

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	48.358	909
2	47.429	909
3	44.346	909
4	40.438	909
5	35.776	909
6	31.991	909
7	27.61	909
8	22.722	909
9	17.421	909
10	11.802	909
11	5.9563	909
12	3.0097	909

Tabel 5.44 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Bar

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	49.621	520
2	48.781	520
3	45.957	520
4	42.31	520
5	37.866	520
6	34.141	520
7	29.707	520
8	24.639	520
9	19.029	520
10	12.983	520
11	6.618	521
12	3.3552	521

Tabel 5.45 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Petrovac

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	33.002	369
2	32.403	369
3	30.384	369
4	27.781	369
5	24.631	369
6	22.053	370
7	19.04	370
8	15.658	370
9	11.988	371
10	8.0981	371
11	4.0606	371
12	2.0769	824

Tabel 5.46 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Miyagi

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	42.904	644
2	42.12	644
3	39.49	644
4	36.114	644
5	32.043	644
6	28.699	644
7	24.814	645
8	20.458	645
9	15.716	645
10	10.672	645
11	5.409	646
12	2.7383	646

Tabel 5.47 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Corint

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	24.791	585
2	24.285	585
3	22.607	585
4	20.491	585
5	17.987	585
6	15.985	585
7	13.707	585
8	11.207	585
9	8.5368	585
10	5.7453	585
11	2.8873	256
12	1.4758	256

Tabel 5.48 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Mexico

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	67.457	3820
2	66.219	3820
3	62.102	3820
4	56.863	3820
5	50.574	3820
6	45.416	3820
7	39.38	3820
8	32.57	3820
9	25.102	3820
10	17.103	3820
11	8.7057	3821
12	4.4123	3821

Tabel 5.49 Gaya Gsr. Tingkat Gempa Lolleo

Lt	Gaya geser tk. (kg) x 10 ⁶	waktu 1/100 (dt)
1	37.55	2279
2	36.925	2279
3	34.812	2279
4	32.075	2279
5	28.727	2279
6	25.989	2279
7	22.546	2279
8	18.695	2279
9	14.429	2279
10	9.8347	2279
11	5.0037	2278
12	2.5349	2278

Dari tabel-tabel diatas yang menunjukkan harga-harga maksimum dari respon struktur yang berupa simpangan relatif, simpangan antar tingkat dan gaya geser tingkat, dapat diketahui besar dan waktu terjadinya respon maksimum pada tiap tingkatnya. Dari tabel-tabel tersebut juga dapat diketahui bahwa respon maksimum struktur tiap tingkatnya tidak terjadi pada waktu percepatan tanah maksimum. Sehingga percepatan maksimum belum tentu akan menyebabkan respon yang maksimum. Percepatan tanah maksimum dari beban-beban gempa yang digunakan dan waktu terjadinya percepatan maksimum dapat dilihat pada Tabel 5.50. Percepatan tanah maksimum telah dinormalisasi terhadap percepatan tanah maksimum gempa Koyna.

Tabel 5.50 Percepatan tanah maksimum dan waktunya setelah dinormalisasi

No	Nama Gempa	Perc.maks norm.thd.Koyna cm/dt ²	Waktu (det)
1	Bucharest	548.79	2.01
2	Koyna	548.79	3.96
3	Parkfield	548.79	3.75
4	Miyagi ken-oki	548.79	3.01
5	Gilroy	548.79	3.61
6	Coalinga hor	548.79	7.51
7	Corinth	548.79	2.26
8	Bar-Montenegro	548.79	4.16
9	Petrovac	548.79	4.01
10	Ulcinj	548.79	4.36
11	Coralitos	548.79	3.91
12	St.Cruz	548.79	9.41
13	Tlahuac-Bombas	548.79	26.01
14	Mexico	548.79	37.21
15	Lolleo	548.79	23.81

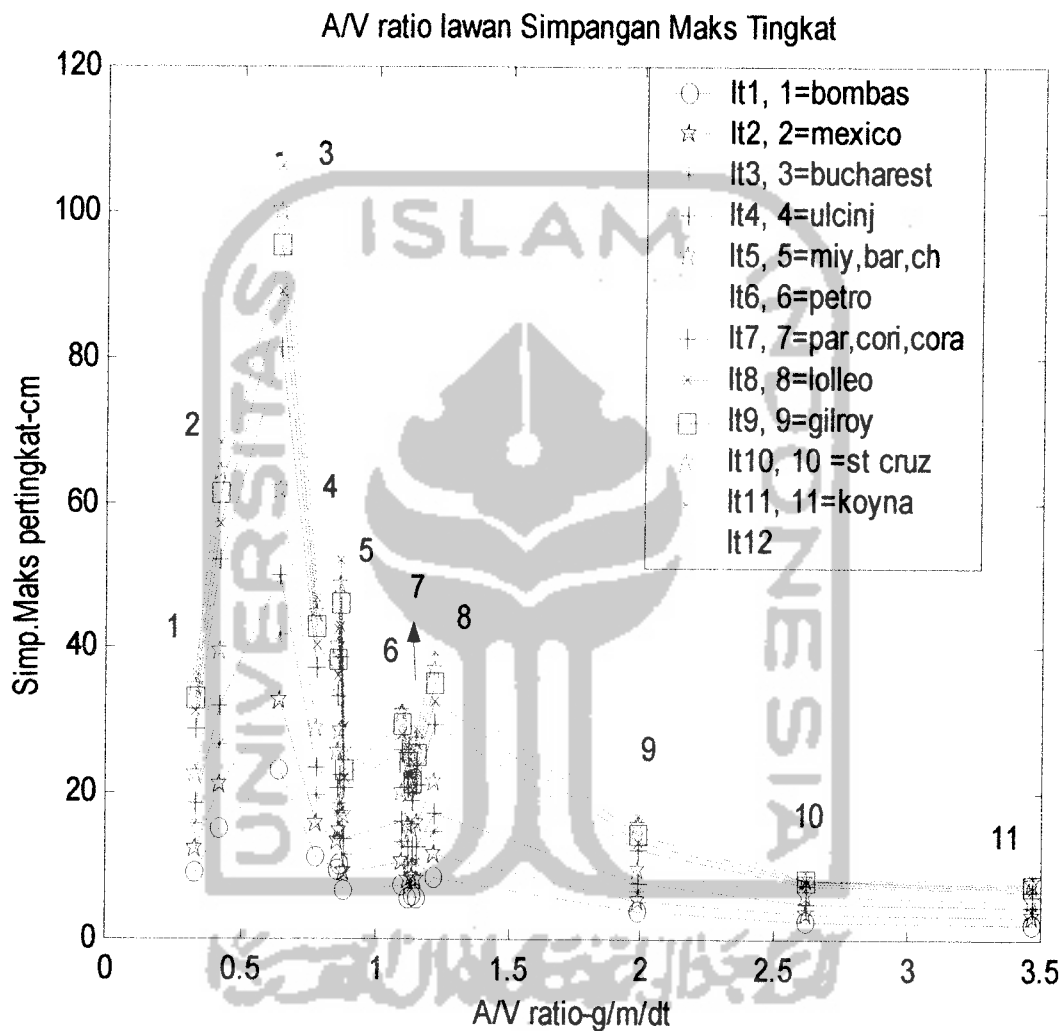
5.9.4 Tinjauan Respon Struktur terhadap A/V Rasio

Hubungan respon struktur dengan kandungan frekuensi beban gempa yang bekerja pada struktur yang ditinjau, akan disajikan dalam bentuk gambar plot antara A/V rasio beban gempa dengan respon struktur yang berupa simpangan relatif tingkat maksimum, simpangan antar tingkat maksimum, gaya geser tingkat maksimum, dan gaya geser dasar maksimum. Seperti telah dijelaskan dimuka bahwa struktur yang ditinjau mempunyai frekuensi getar sebesar 0.7652327 Hz, dan beban gempa yang digunakan sebanyak 15 beban gempa dengan kandungan frekuensi yang beragam, dari kelompok A/V rasio rendah, sedang, dan tinggi.

Tinjauan respon struktur akibat gempa dengan kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio) bertujuan untuk mengetahui hubungan antara kandungan frekuensi beban gempa dengan frekuensi getar struktur. Dimana penelitian (Widodo, 1995,1996) menjelaskan bahwa kedekatan frekuensi struktur dan frekuensi beban akan cenderung menyebabkan resonansi yang akan menyebabkan respon struktur menjadi besar. Penelitian tersebut menjelaskan hubungan antara frekuensi beban gempa dengan frekuensi struktur dengan melihat efek kerusakan struktur akibat beban gempa yang ditinjau.

Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai hubungan kedekatan frekuensi beban dan struktur dengan melihat respon yang terjadi pada struktur akibat beban gempa yang digunakan. Adapun plot antara A/V rasio dengan respon struktur disajikan secara terpisah untuk masing-masing tinjauan respon.

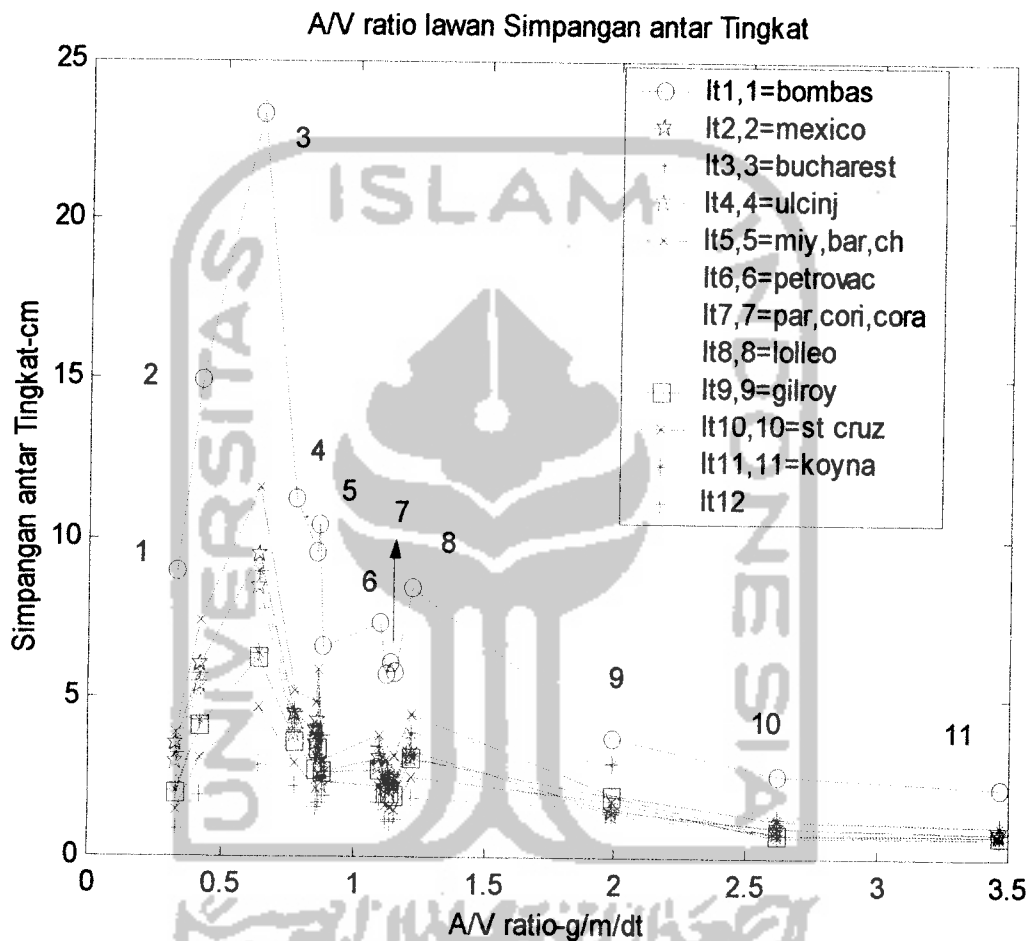
Tinjauan hubungan antara simpangan relatif maksimum dengan kandungan frekuensi beban gempa, ditunjukkan pada Gambar 5.14 yaitu plot antara A/V rasio lawan simpangan relatif maksimum akibat 15 beban gempa.



Gambar 5.14 Plot antara A/V rasio lawan simpangan relatif maksimum

Dari Gambar 5.14 dapat diketahui bahwa simpangan relatif tingkat maksimum terjadi pada A/V rasio 0.64222 g/m/det, yaitu akibat gempa Bucharest. Struktur yang ditinjau mempunyai frekuensi (f) sebesar 0.7652327 Hz dan gempa Bucharest merupakan beban gempa dengan kandungan frekuensi rendah.

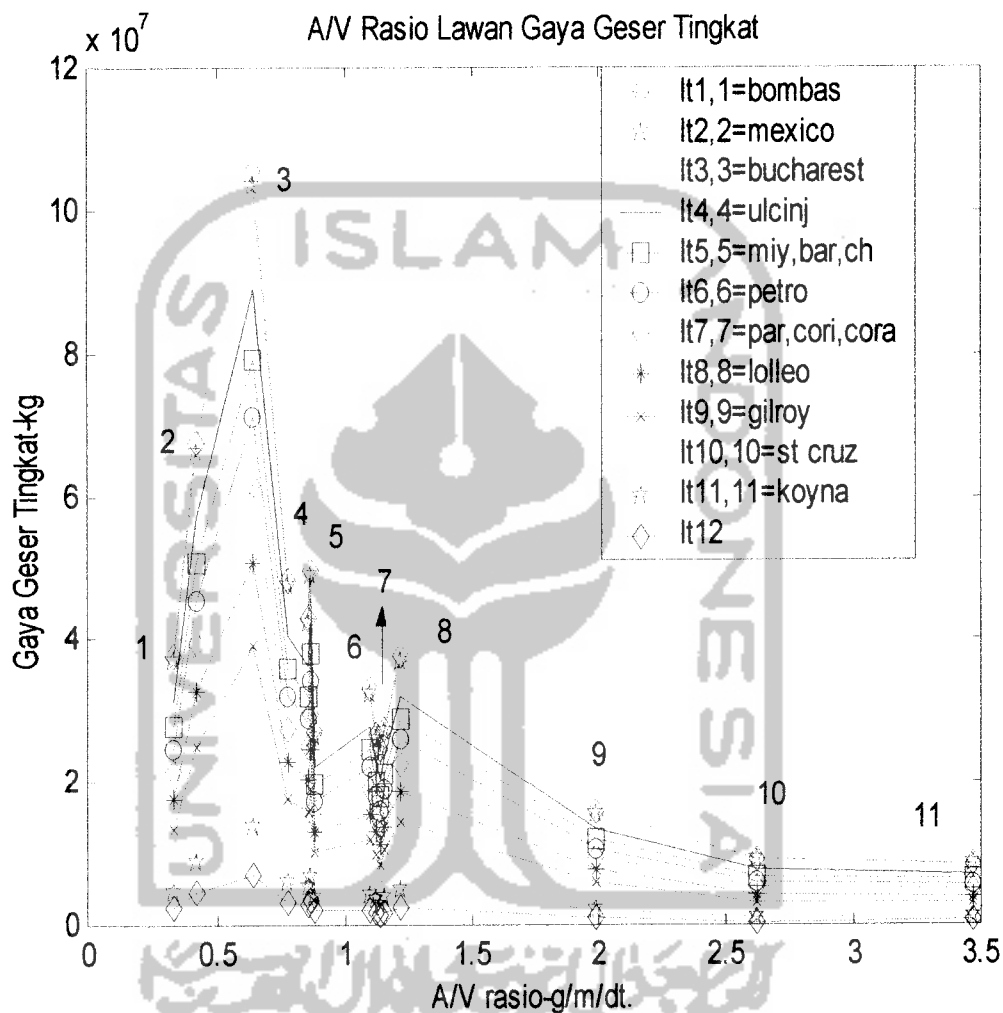
Tinjauan simpangan antar tingkat maksimum dan kandungan frekuensi beban gempa ditunjukkan pada Gambar 5.15. yang merupakan plot antara A/V rasio lawan simpangan antar tingkat.



Gambar 5.15 Plot antara A/V rasio lawan simpangan antar tingkat maksimum

Dari Gambar 5.15 dapat diketahui bahwa simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada A/V rasio 0.64222 g/m/det, yaitu akibat gempa Bucharest. Struktur yang dinjau mempunyai frekuensi (f) sebesar 0.7652327 Hz dan gempa Bucharest merupakan beban gempa dengan kandungan frekuensi rendah.

Tinjauan gaya geser tingkat hubungannya dengan kandungan frekuensi beban gempa ditunjukkan pada Gambar 5.16 yaitu plot antara A/V rasio lawan gaya geser tingkat pada struktur.

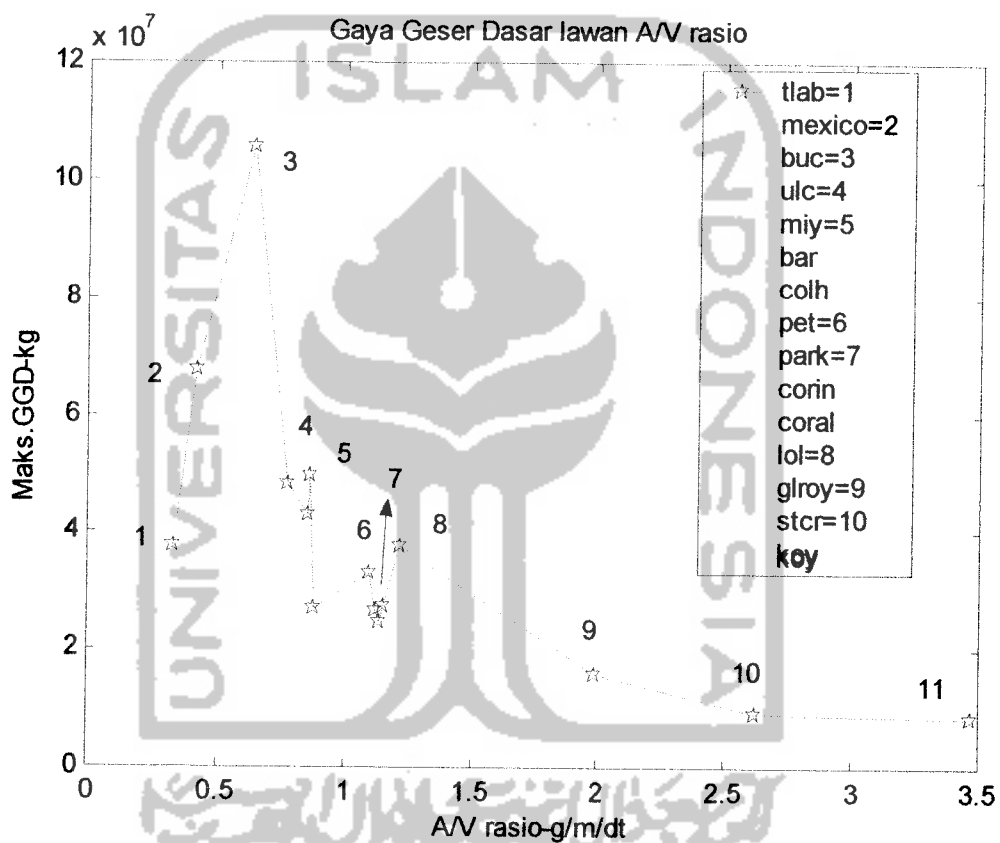


Gambar 5.16 Plot antara A/V rasio lawan gaya geser tingkat

Dari Gambar 5.16 dapat diketahui bahwa gaya geser tingkat maksimum terjadi pada A/V rasio 0.64222 g/m/det, yaitu akibat gempa Bucharest. Respon struktur ditinjau pada struktur dengan frekuensi (f) sebesar 0.7652327 Hz. Gempa Bucharest merupakan beban gempa dengan kandungan frekuensi rendah.

Gaya geser dasar yang terjadi pada struktur akibat beban gempa merupakan reaksi akibat gaya geser tingkat yang besarnya sama dengan jumlah gaya geser tingkat struktur, dan dihitung pada interval waktu yang sama.

Gaya geser dasar akibat 15 beban gempa ditunjukkan pada Gambar 5.17 yang merupakan plot antara A/V rasio lawan gaya geser dasar yang terjadi pada struktur.



Gambar 5.17 Plot antara A/V rasio lawan gaya geser dasar akibat beban gempa

Dari Gambar 5.17 dapat diketahui bahwa gaya geser dasar maksimum terjadi pada A/V rasio 0.64222 g/m/det, yaitu akibat gempa Bucharest pada struktur dengan frekuensi (f) sebesar 0.7652327 Hz. Gempa Bucharest merupakan beban gempa dengan kandungan frekuensi rendah.

Dari Gambar 5.14, Gambar 5.15, Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 menunjukkan bahwa pola respon struktur yang berupa simpangan relatif tingkat, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan gaya geser dasar akibat beban gempa dengan A/V rasio yang beragam mempunyai pola yang sama. Pada gambar-gambar tersebut juga menunjukkan bahwa pada beban gempa dengan A/V rasio 0.64222 menyebabkan respon struktur yang relatif lebih besar pada semua tingkat dibanding nilai A/V rasio yang lain. Sedangkan pada interval A/V rasio lebih besar dari 0.64222 dan lebih kecil dari 1.2141 memberikan nilai respon struktur yang fluktuatif dan respon menurun pada interval A/V rasio lebih besar dari 1.2141 dan lebih kecil dari 0.64222. Hal ini menunjukkan bahwa respon struktur akan cenderung semakin besar apabila kandungan frekuensi beban gempa semakin dekat dengan frekuensi getar struktur. Kedekatan frekuensi antara frekuensi beban dan frekuensi struktur cenderung mempunyai efek yang besar terhadap respon struktur, dan memberikan efek kerusakan yang besar pula. Sesuai dengan hasil penelitian ini, efek kedekatan frekuensi cenderung akan memberikan respon yang besar, tetapi hal ini tidak terjadi untuk semua harga A/V rasio. Ini terbukti pada beban gempa dengan A/V rasio 0.64222 dan 0.41837 mempunyai respon yang relatif lebih besar dari pada beban gempa dengan A/V rasio 0.7736 dan 0.8605 pada struktur dengan frekuensi getar 0.7652327. Pada hal beban gempa dengan A/V rasio 0.7736 dan 0.8605 mempunyai harga frekuensi yang lebih dekat dengan frekuensi struktur, dibanding dengan beban gempa dengan A/V rasio 0.64222 dan 0.41837.

Untuk beban gempa dengan A/V rasio 0.8605, 0.86443, 0.88182 yang berarti beban gempa tersebut mempunyai karakteristik yang hampir sama, tetapi respon struktur yang terjadi mempunyai perbedaan nilai yang besar dilihat dari simpangan relatif tingkat, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan gaya geser dasar. Sedangkan untuk beban gempa dengan A/V rasio 1.1241, 1.1425, 1.15625 memberikan respon yang hampir sama, hal ini berlawanan dengan hasil pada A/V rasio 0.8605, 0.86443, 0.88182, walaupun mempunyai interval yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat faktor lain yang mempengaruhi besarnya respon struktur akibat gempa selain percepatan tanah maksimum, kecepatan maksimum, dan kandungan frekuensi.

5.10. Contoh Perhitungan Respon Struktur dengan 3 Metode

- a. Dengan menggunakan persamaan Independen (*Uncoupling*)

Simpangan horisontal tiap-tiap massa akan dipengaruhi oleh masing-masing mode. Simpangan massa diberikan,

$$Y_n = \phi_{n1} Z_1 + \phi_{n2} Z_2 + \phi_{n3} Z_3 + \dots + \phi_{nn} Z_n \dots\dots\dots(5.11)$$

- b. Simpangan Maksimum (*Upperbound Response*)

Simpangan suatu massa dapat diperoleh dengan menjumlahkan nilai absolut atas kntribusi setiap mode, yaitu

$$Y_i = \sum_{j=1}^n | \phi_{ij} \Gamma_j \mathcal{G}_{j,max} | = \sum_{j=1}^n | \phi_{ij} Z_j | \dots\dots\dots(5.12)$$

Nilai $g_{j,maks}$ tersebut adalah nilai absolut (baik positif maupun negatif) yang diperoleh dari sorting/ seleksi menurut hasil integrasi secara numerik.

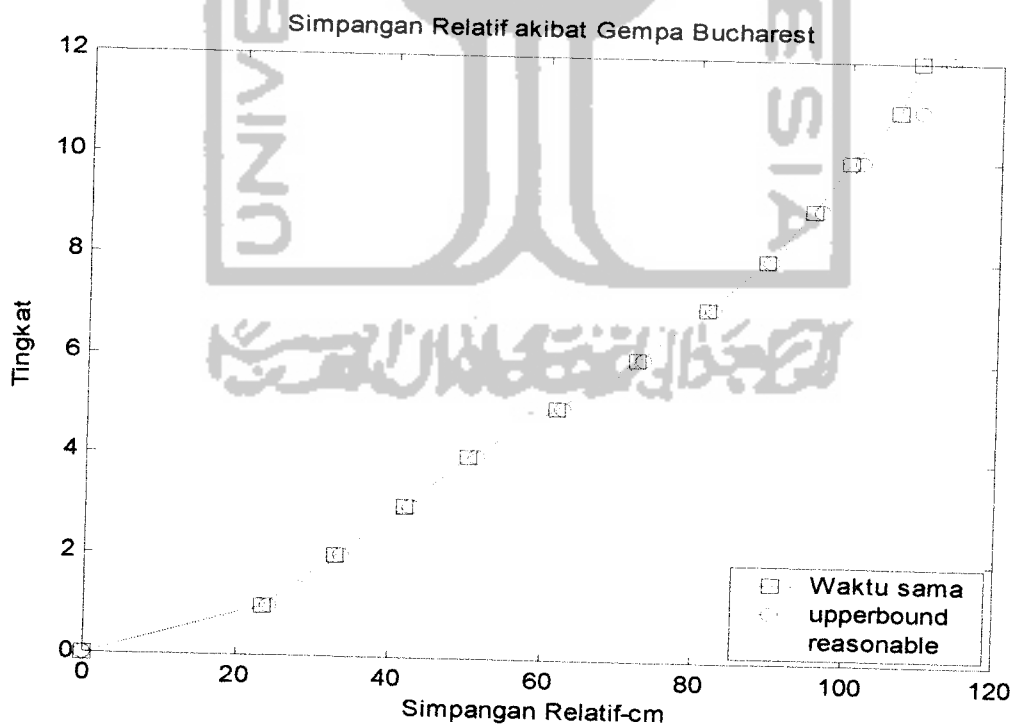
c. *Reasonable Response*

Respon struktur adalah akar dari jumlah kuadrat setiap mode, yaitu

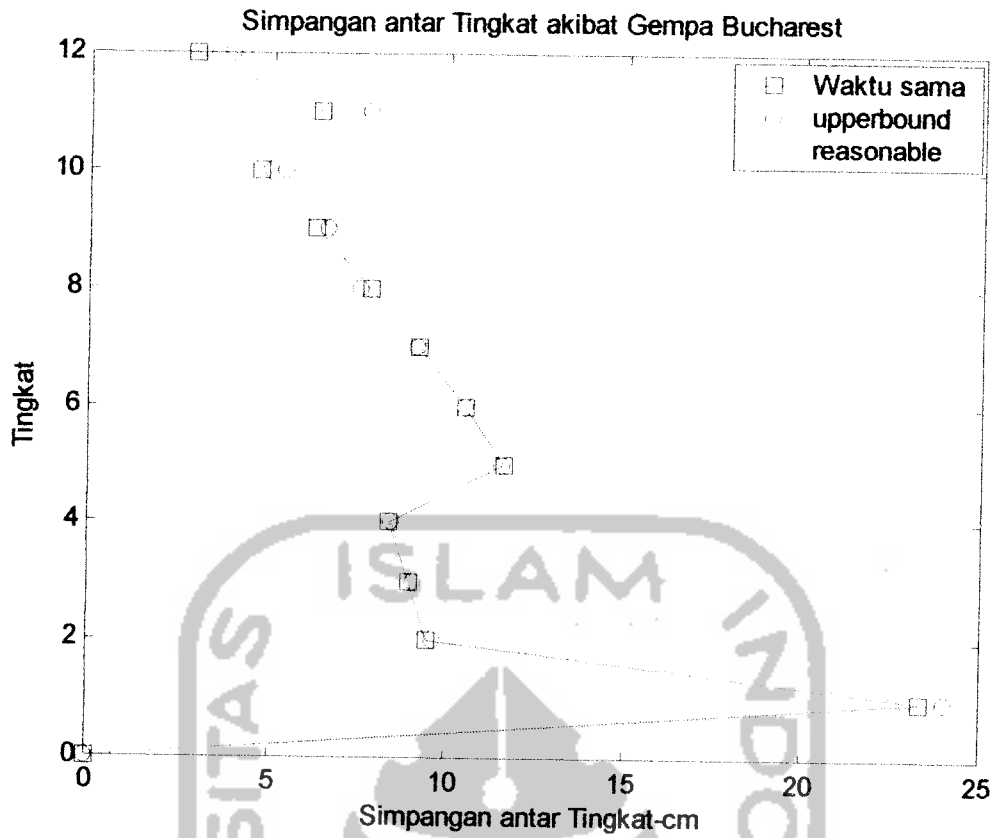
$$Y_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \{\Phi_{ij} \Gamma_j g_{j,maks}\}^2} \dots \dots \dots (5.13)$$

Prinsip diatas juga disebut *the square of roots of the sum of the square of the mode contribusion* atau *SRSS method*.

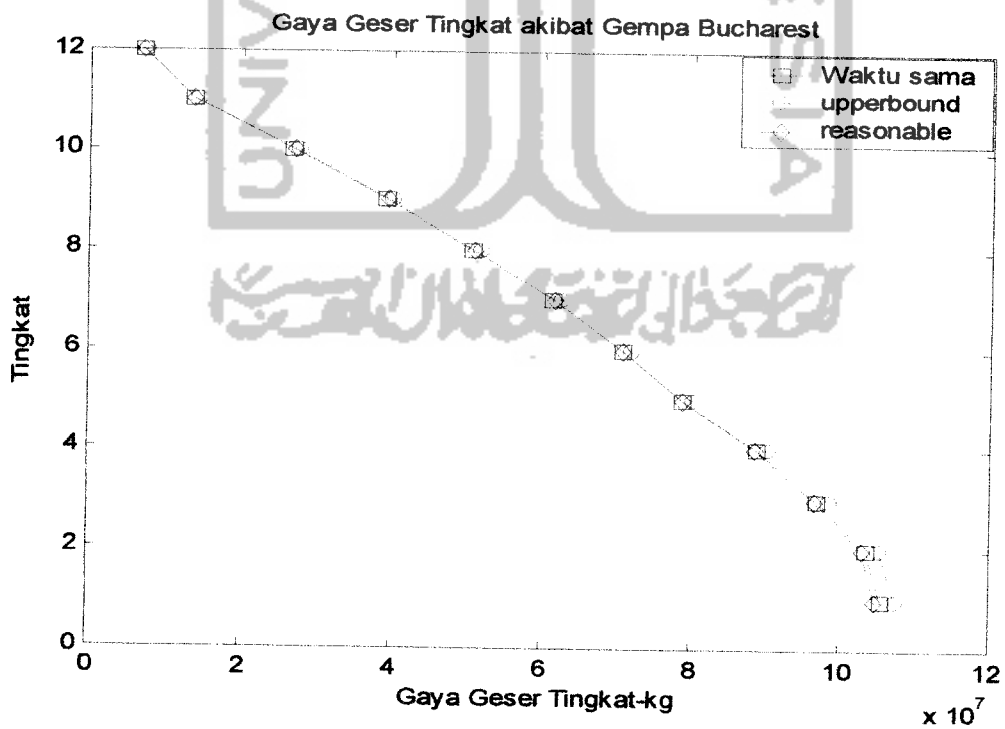
Diberikan satu contoh pengerjaan untuk satu macam beban gempa dengan ketiga cara diatas untuk struktur 12 lantai dengan rasio redaman sebesar 5 %, yang hasilnya seperti tersaji pada Gambar 5.18, Gambar 5.19 dan Gambar 5.20.



Gambar 5.18 Simpangan Relatif Akibat Gempa Bucharest dengan 3 Metode.



Gambar 5.19 Simpangan antar Tingkat akibat Gempa Bucharest dengan 3 Metode.



Gambar 5.20 Gaya Geser Tingkat akibat Gempa Bucharest dengan 3 Metode.

Dari hasil contoh perhitungan respon struktur dengan tiga metode yang disajikan pada gambar plot antara simpangan relatif maksimum, simpangan antar tingkat maksimum dan gaya geser tingkat maksimum lawan tingkat, dapat diketahui bahwa hasil dari ketiga metode tersebut hampir sama. Hasil perhitungan dengan metode *Upperbound Response* relatif memberikan nilai yang lebih besar dibanding dengan metode yang lain. Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan *Independent/Uncoupling* memberikan nilai yang lebih rasional karena dihitung pada interval waktu yang sama sesuai dengan sifat analisa dinamik. Sedangkan dengan metode *Reasonable Response* memberikan nilai relatif diantara metode yang lain.

5.11 Tinjauan Pengaruh Kandungan Frekuensi Dengan Rumus Housner

Menurut Housner hubungan antara rasio frekuensi beban gempa dengan simpangan maksimum dapat dinyatakan dengan persamaan (3.49). Analisa dilakukan dengan tiga tinjauan kelompok gempa yaitu kelompok gempa dengan variabel tetap beban gempa frekuensi rendah (Bucharest, Mexico, Tlahuac Bombas, Ulcinj), kelompok gempa dengan variabel tetap beban gempa frekuensi sedang (Miyagi, Bar Montenegro, Coalinga, Petrovac, Parkfield, Corint, Coralitos) dan kelompok gempa dengan variabel tetap beban gempa frekuensi tinggi (Lolleo, Gilroy, Santa Cruz, Koyna). Langkah pertama adalah menghitung jumlah perpotongan rekaman gempa dengan sumbu waktu (k) dalam rentang waktu yang telah ditentukan. Dalam tinjauan ini rentang waktu yang digunakan adalah 4 detik pada daerah percepatan maksimum. Selanjutnya menghitung rasio jumlah perpotongan garis accelerogram terhadap sumbu waktu suatu gempa

dengan variable gempa yang telah ditetapkan, sesuai dengan persamaan (3.49). Untuk memperjelas akan disajikan hasil perhitungan jumlah perpotongan rekaman gempa dengan sumbu waktu pada accelerogram yaitu pada Tabel 5.51 kolom 3 dan contoh hasil perhitungan rasio jumlah perpotongan dengan variabel tetap gempa Bucharest yaitu pada Tabel 5.51, kolom 4. Selengkapnya Tabel 5.51 disajikan sebagai berikut ini.

Tabel 5.51 Hasil perhitungan rasio perpotongan rekaman gempa dengan sumbu waktu

No.	Gempa	Jumlah Perpotongan Dgn. Sb. X	Tinjauan Gempa Bucharest	
			(k)	(1/k ²)
1	Tlabom	4	2	0.25
2	Mexico	6	1.5	0.4444444
3	Bucharest	8	1	1
4	Miyagi	16	2	0.25
5	Lolleo	18	2.25	0.1975309
6	Parkfield	18	2.25	0.1975309
7	Petrovac	18	2.25	0.1975309
8	Bar	19	2.375	0.1772853
9	Coalinga	20	2.5	0.16
10	Ulcinj	21	2.625	0.1451247
11	Coralto	23	2.875	0.120983
12	Gilroy	28	3.5	0.0816327
13	Corint	31	3.875	0.0665973
14	Santa Cruz	50	6.25	0.0256
15	Koyna	62	7.75	0.0166493

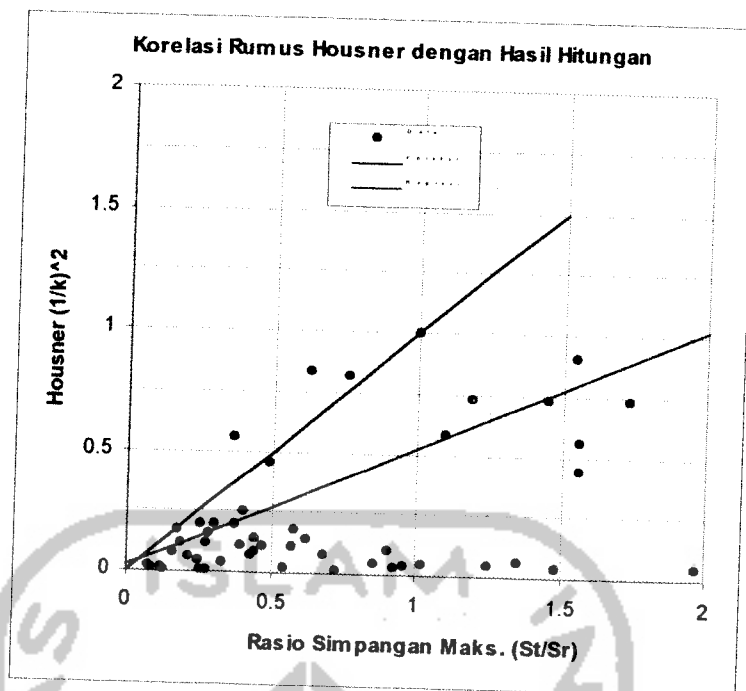
Sesuai dengan Persamaan (3.49), maka besarnya nilai $(1/k)^2$ merupakan rasio antara simpangan maksimum akibat gempa frekuensi lebih tinggi terhadap gempa dengan frekuensi lebih rendah. Dalam penelitian ini simpangan maksimum

yang ditinjau adalah simpangan maksimum yang terjadi pada struktur beton bertingkat 12, dengan rasio redaman sebesar 5 %. Dari hasil perhitungan respon struktur yang berupa simpangan relatif didapatkan hasil bahwa lantai 12 memberikan simpangan yang paling besar, sehingga dalam analisa dengan tinjauan rumus Housner diambil simpangan maksimum pada lantai 12. Contoh hasil perhitungan rasio simpangan maksimum dengan variabel tetap gempa Bucharest diberikan pada Tabel 5.52.

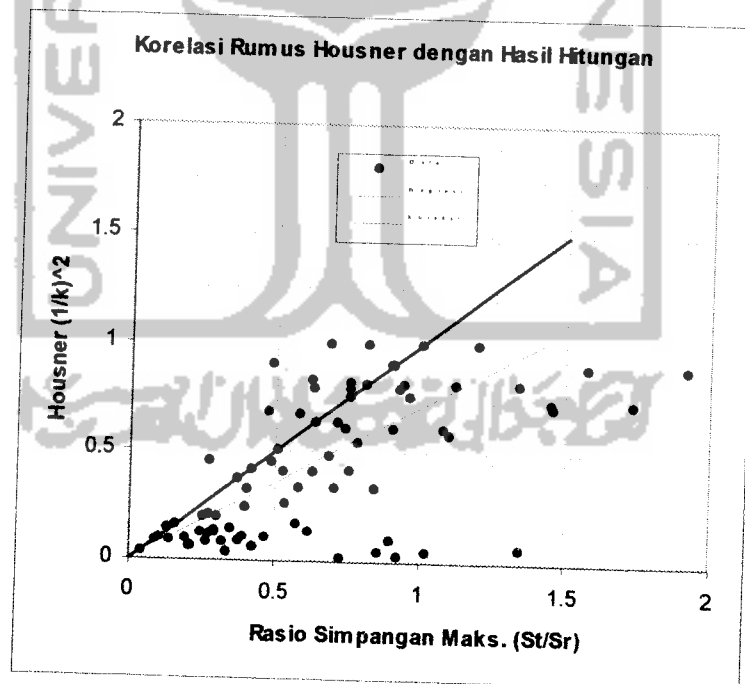
Tabel 5.52 Hasil perhitungan rasio simpangan maksimum

No.	Gempa	Simp. Relatif Maksimum Lt 12	Rasio Simp. ($1/k^2$)
1	Tlabom	32.2796	3.384385184
2	Mexico	70.2067	1.556070859
3	Bucharest	109.2466	1
4	Miyagi	43.5718	0.398838957
5	Lolleo	40.3343	0.369204167
6	Parkfield	27.6744	0.253320469
7	Petrovac	33.0476	0.302504609
8	Bar	63.3878	0.580226753
9	Coalinga	31.0305	0.284040876
10	Ulcinj	47.8897	0.438363299
11	Coraltos	29.9129	0.27381081
12	Gilroy	17.5436	0.160587149
13	Corint	23.4818	0.214943074
14	Santa Cruz	8.2469	0.075488848
15	Koyna	8.9289	0.081731605

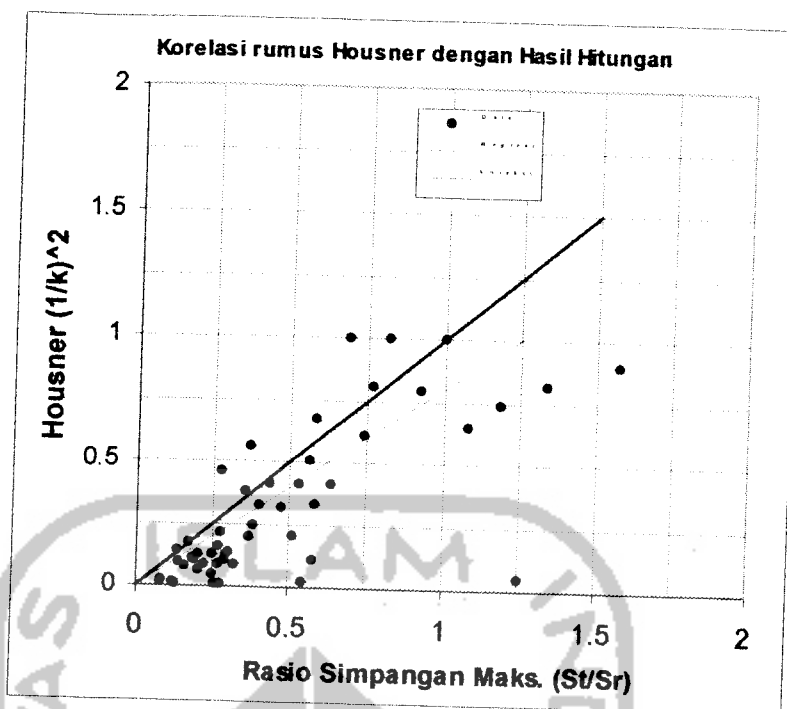
Sesuai dengan hasil perhitungan rasio simpangan maksimum, dan hasil perhitungan rasio jumlah perpotongan sesuai dengan persamaan Housner, dibuat suatu perbandingan kedua nilai rasio ($1/k^2$), yang akan ditampilkan dalam bentuk plot antara data yang didapat dari teori Housner dan data hasil hitungan.



Gambar 5.21 Plot antara rasio hasil hitungan dan rasio Housner dengan variabel tetap gempa frekuensi rendah.



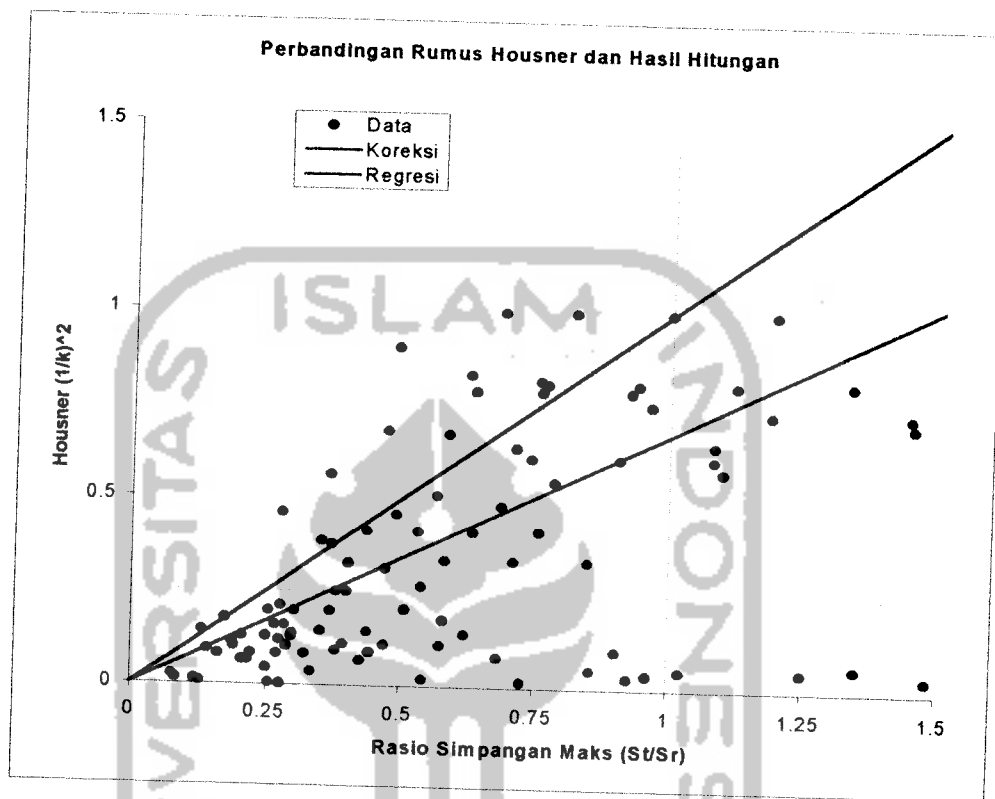
Gambar 5.22 Plot antara rasio hasil hitungan dan rasio Housner dengan variabel tetap gempa sedang.



Gambar 5.23 Plot antara rasio hasil hitungan dan rasio Housner dengan variabel tetap gempa frekuensi tinggi.

Dari Gambar 5.21, Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 menunjukkan bahwa rasio jumlah perpotongan rekaman gempa dengan sumbu waktu dan rasio simpangan maksimum struktur tidak memberikan korelasi yang baik. Dari ketiga gambar diatas terlihat bahwa korelasi antara rasio simpangan dan rasio jumlah potongan dengan variabel tetap gempa frekuensi tinggi memberikan hubungan yang relatif lebih baik dibanding dengan variabel tetap gempa frekuensi menengah dan frekuensi rendah. Demikian juga korelasi antara rasio simpangan dan rasio jumlah potongan dengan variabel tetap gempa frekuensi sedang memberikan hubungan yang relatif lebih baik dibanding dengan variabel tetap gempa frekuensi rendah. Tetapi secara global tidak memberikan korelasi yang baik, hal ini disebabkan karena pada tinjauan diatas hanya dipakai lima belas

gempa dengan satu variabel tetap. Selanjutnya dicoba dengan lima belas data gempa, yang masing-masing menjadi variabel tetap, hasil seperti pada Gambar 5.24.



Gambar 5.24 Plot antara hasil hitungan dan rasio Housner

Dari Gambar 5.24 dapat disimpulkan bahwa rasio simpangan hasil perhitungan dengan rasio jumlah perpotongan, sesuai rumus Housner mempunyai korelasi yang kurang baik pada kelompok gempa dengan kandungan frekuensi rendah, dan cukup baik pada gempa dengan kandungan frekuensi menengah dan tinggi. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat perlu dilakukan penelitian lanjut dengan data yang lebih banyak dan dengan tinjauan struktur yang bervariasi.