

BAB V

HITUNGAN DAN HASIL

Dalam penelitian ini dilakukan dengan cara bervariasi jenis/bentuk *bracing*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan kalkulator dan program bantu MATLAB (The Mathwork Inc, 1998). Hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Dari hasil tersebut dilakukan pembahasan dengan membandingkan simpangan antar tingkat, gaya geser dasar dan momen guling dari setiap variasi *bracing*.

5.1 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 d (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 ini.

1. Perhitungan berat beban hidup (W_l)

Asumsi fungsi struktur adalah untuk perkantoran. maka menurut PPIUG 1983 diperoleh data sebagai berikut ini.

- a. Beban 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 d (lihat 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 = $100 \times 8 \times 24 = 19200$ kg
- Plat lantai = $250 \times 8 \times 24 = 48000$ kg

2. Perhitungan berat beban mati (W_d)

Profil 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. Sedangkan berat beban mati akibat balok dapat dihitung dengan rumus :

$$W_d = w_b \times l$$

dengan W_d , w_b dan l adalah berat beban mati, berat balok persatuan panjang dan panjang portal.

a. Beban mati akibat plat

- plat atap = $8 \times 0.15 \times 24 \times 2400 = 69120$ kg
- plat lantai = $8 \times 0.20 \times 24 \times 2400 = 92160$ kg

b. Beban mati akibat balok

- Balok atap (profil WF 18x71) = 2538.1 kg
- Balok lantai (profil WF 18x119) = 4254 kg

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 (kg)
1	1,2,3,4,5,6	192412.848
2	7	116659.632

5.2 Perhitungan Massa dan Kekakuan

Anggapan yang dipakai dalam analisa ini adalah *lumped mass* dan prinsip *shear building*. Sehingga massa dihitung pada tiap tingkat dan menggumpal ditengah bentang, yang mana massa dari *bracing* diabaikan. Sedangkan kekakuan dihitung secara paralel dimana besarnya kekakuan tiap lantai merupakan jumlah dari kekakuan tiap kolomnya ditambah dengan kekakuan *bracing* (pada portal yang memakai *bracing*).

5.2.1 Perhitungan Massa Lantai

Massa lantai 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 dan g secara berurutan adalah massa, berat dan percepatan gravitasi.

Dari rumus diatas maka massa untuk lantai satu dapat dihitung sebagai berikut :

$$m_1 = w_1 / g, \text{ dimana } w_1 = 192412.848 \text{ kg, sehingga}$$

$$m_1 = 192412.848 / 980 = 196.3396408 \text{ kg det}^2/\text{cm}$$

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

Tabel 5.2 Hasil perhitungan massa

No.	Lantai	Massa (kg det ² /cm)
1	1,2,3,4,5,6	196.3396408
2	7	119.0404408

5.2.2 Perhitungan Kekakuan Tingkat

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 :

$$k = 12 EI / h^3$$

dimana k , E , I dan h adalah kekakuan kolom, modulus elastisitas bahan, inersia tampang dan tinggi tingkat. E diambil sebesar $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$.

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

$$k_l = \sum kK,$$

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

$$k_{l1} = 2(kKA_1 + kKB_1)$$

$$kKA_1 = 12 \times 2.1 \times 10^6 \times 110717.5592 / 350^3 = 65074.8103 \text{ kg/cm}$$

$$kKB_1 = 12 \times 2.1 \times 10^6 \times 159832.8674 / 350^3 = 93942.5833 \text{ kg/cm}$$

$$k_{l1} = 2 \times 65074.8103 + 93942.5833 = 318034.7872 \text{ kg/cm}$$

karena pada portal yang ditinjau dimensi dari kolomnya sama pada setiap tingkat, maka nilai kekakuannya akan sama pada setiap tingkatnya.

5.2.3 Perhitungan Kekakuan *Bracing*

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

$$k_{brace} = AE L \cos^2 \theta$$

dimana k_{brace} , A , E , L dan θ secara berurutan adalah kekakuan *bracing*, luas tampang, elastisitas bahan, panjang *bracing* dan sudut yang dibentuk *bracing* terhadap balok. Dari rumus diatas maka kekakuan *bracing* dari berbagai variasi



akan dapat dihitung. Untuk kekakuan *bracing* pada variasi 2 dapat dihitung sebagai berikut :

$$k_{brace} = AE/L \cos^2 \theta$$

$$k_{brace} = 2 \times [(170.9674 \times 2.1 \times 10^6 / 531.5) \times \cos^2 41.2] = 764846.2003 \text{ kg/cm}$$

dengan cara yang sama, nilai kekakuan tiap variasi bentuk *bracing* dapat dicari, dan hasilnya seperti terlihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil perhitungan kekakuan *bracing*

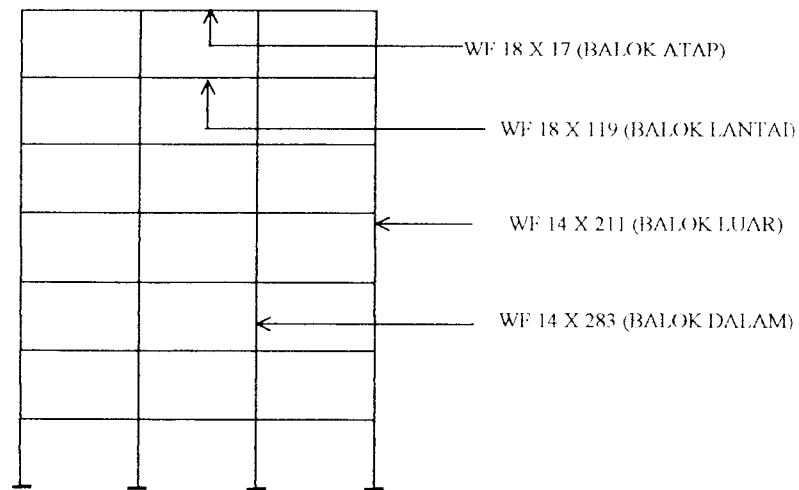
No.	Variasi	Kekakuan (kg/cm)
1	2, 7	764846.2003
2	3, 8	345265.9172
3	4, 9	690531.8344
4	5, 10	386101.5326
5	6, 11	725354.4242

Nilai kekakuan secara keseluruhan merupakan nilai kekakuan kolom ditambah dengan kekakuan *bracing* yang dihitung secara paralel, sebagaimana yang terlihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil perhitungan kekakuan

No.	Variasi	Tingkat	Kekakuan (kg/cm)
1	1	1,2,3,4,5,6,7	318034.7872
2	2	1,2,3,4,5,6,7	1082880.9875
3	3	1,2,3,4,5,6,7	663300.7044
4	4	1,2,3,4,5,6,7	1008566.622
5	5	1,2,3,4,5,6,7	704136.3198
6	6	1,2,3,4,5,6,7	1043389.211
7	7	2,4,6	318034.7872
		1,3,5,7	1082880.9875
8	8	2,4,6	318034.7872
		1,3,5,7	663300.7044
9	9	2,4,6	318034.7872
		1,3,5,7	1008566.622
10	10	2,4,6	318034.7872
		1,3,5,7	704136.3198
11	11	2,4,6	318034.7872
		1,3,5,7	1043389.211

5.3. Perhitungan Variasi 1



Gambar 5.2. Portal baja rangka penahan momen

5.3.1 Perhitungan *Mode shape*

Massa lantai dan kekakuan tingkat yang dipergunakan dalam perhitungan ini seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Massa lantai dan kekakuan tingkat

Massa lantai (M_i)	Kekakuan tingkat (K_i)
$M_1 = 196.33964408 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$	$K_1 = 318034.7874 \text{ kg /cm}$
$M_2 = 196.33964408 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$	$K_2 = 318034.7874 \text{ kg /cm}$
$M_3 = 196.33964408 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$	$K_3 = 318034.7874 \text{ kg /cm}$
$M_4 = 196.33964408 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$	$K_4 = 318034.7874 \text{ kg /cm}$
$M_5 = 196.33964408 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$	$K_5 = 318034.7874 \text{ kg /cm}$
$M_6 = 196.33964408 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$	$K_6 = 318034.7874 \text{ kg /cm}$
$M_7 = 119.0404408 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$	$K_7 = 318034.7874 \text{ kg /cm}$

Untuk mempermudah perhitungan maka dibuat unit satuan sebagai berikut :

unit massa : 1.000 kg dt²/cm

unit kekakuan : 1.000.000 kg/cm.

Matrik massa dan kekakuan

Matrik massa :

$$M = \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Matrik kekakuan:

$$K = \begin{bmatrix} 0.636 & -0.318 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.318 & 0.636 & -0.318 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.318 & 0.636 & -0.318 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.318 & 0.636 & -0.318 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.318 & 0.636 & -0.318 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.318 & 0.636 & -0.318 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.318 & 0.318 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Persamaan Eigenproblem

$$\begin{bmatrix}
 0.636k - 0.196\omega^2 m & -0.318k & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -0.318k & 0.636k - 0.196\omega^2 m & -0.318k & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -0.318k & 0.636k - 0.196\omega^2 m & -0.318k & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -0.318k & 0.636k - 0.196\omega^2 m & -0.318k & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -0.318k & 0.636k - 0.196\omega^2 m & -0.318k & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -0.318k & 0.636k - 0.196\omega^2 m & -0.318k \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.318k & 0.636k - 0.119\omega^2 m
 \end{bmatrix}
 \begin{Bmatrix}
 \phi_1 \\
 \phi_2 \\
 \phi_3 \\
 \phi_4 \\
 \phi_5 \\
 \phi_6 \\
 \phi_7
 \end{Bmatrix}
 =
 \begin{Bmatrix}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{Bmatrix}
 \quad (3)$$

atau dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix}
 0,636 - 0,196 \frac{\omega^2}{k m} & -0,318 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -0,318 & 0,636 - 0,196 \frac{\omega^2}{k m} & -0,318 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -0,318 k & 0,636 - 0,196 \frac{\omega^2}{k m} & -0,318 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -0,318 & 0,636 - 0,196 \frac{\omega^2}{k m} & -0,318 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -0,318 & 0,636 - 0,196 \frac{\omega^2}{k m} & -0,318 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -0,318 & 0,636 - 0,196 \frac{\omega^2}{k m} & -0,318 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,318 & 0,636 k - 0,119 \frac{\omega^2}{k m}
 \end{bmatrix}
 \begin{Bmatrix}
 \phi_1 \\
 \phi_2 \\
 \phi_3 \\
 \phi_4 \\
 \phi_5 \\
 \phi_6 \\
 \phi_7
 \end{Bmatrix}
 =
 \begin{Bmatrix}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{Bmatrix}
 \quad (4)$$

Dengan $\lambda = \frac{\omega^2}{k m}$, maka matrik diatas dapat ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix}
 0.636 - 0.196\lambda & -0.318 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -0.318 & 0.636 - 0.196\lambda & -0.318 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -0.318k & 0.636 - 0.196\lambda & -0.318 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -0.318 & 0.636 - 0.196\lambda & -0.318 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -0.318 & 0.636 - 0.196\lambda & -0.318 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -0.318 & 0.636 - 0.196\lambda & -0.318 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.318 & 0.636k - 0.119\lambda
 \end{bmatrix}
 \cdot
 \begin{Bmatrix}
 \phi_1 \\
 \phi_2 \\
 \phi_3 \\
 \phi_4 \\
 \phi_5 \\
 \phi_6 \\
 \phi_7
 \end{Bmatrix}
 =
 \begin{Bmatrix}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{Bmatrix}
 \quad (5)$$

Fungsi ϕ persamaanya dinormalisasi menjadi :

$$\phi_1 = 1$$

$$\phi_2 = 2 - 0.616 \lambda$$

$$\phi_3 = -0.380 \lambda^2 - 2.47 \lambda + 3$$

$$\phi_4 = -0.234 \lambda^3 + 2.282 \lambda^2 - 6.17 \lambda + 4$$

$$\phi_5 = 0.144 \lambda^4 - 0.1878 \lambda^3 + 7.984 \lambda^2 - 12.34 \lambda + 5$$

$$\phi_6 = -0.188 \lambda^5 + 1.438 \lambda^4 - 8.442 \lambda^3 + 21.288 \lambda^2 - 21.59 \lambda + 6$$

$$\phi_7 = 0.054 \lambda^6 - 1.062 \lambda^5 + 7.932 \lambda^4 - 28.126 \lambda^3 + 47.886 \lambda^2 - 34.538 \lambda + 7$$

Persamaan akhir yang diperoleh adalah :

$$-0.011 \lambda^7 + 0.242 \lambda^6 - 2.201 \lambda^5 + 10.095 \lambda^4 - 24.581 \lambda^3 + 30.455 \lambda^2 - 16.473 \lambda + 2.542 = 0$$

di dapat nilai-nilai akarnya :

$$\lambda_1 = 0.0789 \quad \lambda_2 = 0.6868 \quad \lambda_3 = 1.7825 \quad \lambda_4 = 3.1498$$

$$\lambda_5 = 4.5203 \quad \lambda_6 = 5.6305 \quad \lambda_7 = 6.2928$$

Dari nilai λ tersebut, maka diperoleh frekuensi sudut :

$$\omega_1 = \sqrt{\lambda_1 \frac{k}{m}} = \sqrt{0.0789 \cdot \frac{1000000}{1000}} = 8.88 \quad \text{rad/dt, maka } T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.707 \text{ dt}$$

$$\omega_2 = \sqrt{\lambda_2 \frac{k}{m}} = \sqrt{0.6868 \cdot \frac{1000000}{1000}} = 26.18 \quad \text{rad/dt, maka } T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.239 \text{ dt}$$

$$\omega_3 = \sqrt{\lambda_3 \frac{k}{m}} = \sqrt{1.7825 \cdot \frac{1000000}{1000}} = 42.19 \quad \text{rad/dt, maka } T_3 = \frac{2\pi}{\omega_3} = 0.148 \text{ dt}$$

$$\omega_4 = \sqrt{\lambda_4 \frac{k}{m}} = \sqrt{3.1498 \cdot \frac{1000000}{1000}} = 56.08 \quad \text{rad/dt, maka } T_4 = \frac{2\pi}{\omega_4} = 0.112 \text{ dt}$$

$$\omega_5 = \sqrt{\lambda_5 \frac{k}{m}} = \sqrt{4.5203 \cdot \frac{1000000}{1000}} = 67.18 \quad \text{rad/dt, maka } T_5 = \frac{2\pi}{\omega_5} = 0.093 \text{ dt}$$

$$\omega_6 = \sqrt{\lambda_6 \frac{k}{m}} = \sqrt{5.6305 \cdot \frac{1000000}{1000}} = 74.98 \quad \text{rad/dt, maka } T_6 = \frac{2\pi}{\omega_6} = 0.084 \text{ dt}$$

$$\omega_7 = \sqrt{\lambda_7 \frac{k}{m}} = \sqrt{6.2928 \cdot \frac{1000000}{1000}} = 79.26 \quad \text{rad/dt, maka } T_7 = \frac{2\pi}{\omega_7} = 0.079 \text{ dt}$$

Nilai Koefisien gempa dasar (C) didapat dari grafik antara periode (T) vs koefisien gempa (C) seperti yang diusulkan oleh Wangsadinata (2000), dengan wilayah gempa III dan tanah keras.

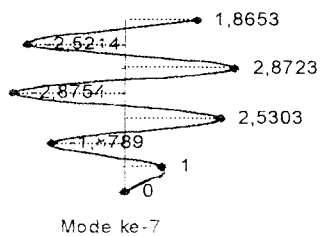
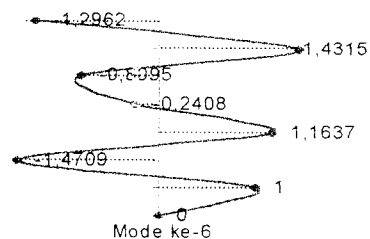
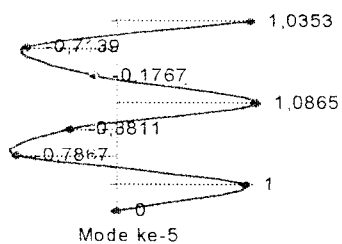
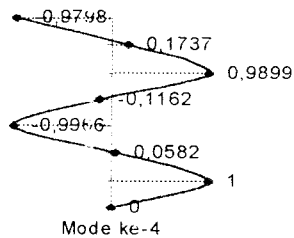
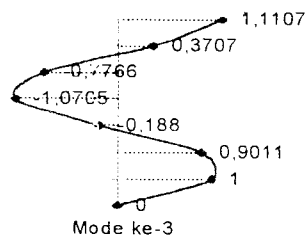
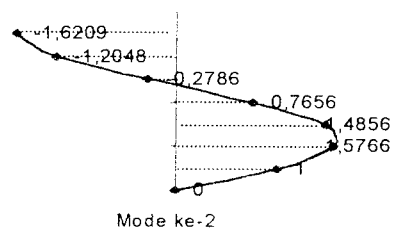
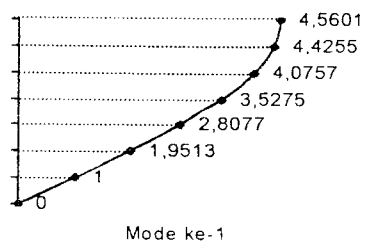
Tabel 5.6 Periode dan koefisien gempa dasar

Nilai periode, T (detik)	Nilai koefisien gempa dasar (C)
$T_1 = 0.707$	$C_1 = 0.0370$
$T_2 = 0.239$	$C_2 = 0.0648$
$T_3 = 0.148$	$C_3 = 0.0548$
$T_4 = 0.112$	$C_4 = 0.0477$
$T_5 = 0.093$	$C_5 = 0.0441$
$T_6 = 0.084$	$C_6 = 0.0422$
$T_7 = 0.079$	$C_7 = 0.0413$

Mode shape didapatkan dengan mensubstitusikan akar-akar tersebut ke fungsi ϕ

$$\begin{aligned}
 [\phi_1] &= \begin{Bmatrix} 1.0000 \\ 1.9513 \\ 2.8077 \\ 3.5275 \\ 4.0757 \\ 4.4255 \\ 4.5601 \end{Bmatrix} &
 [\phi_2] &= \begin{Bmatrix} 1.0000 \\ 1.5766 \\ 1.4856 \\ 0.7656 \\ -0.2786 \\ -1.2048 \\ -1.6209 \end{Bmatrix} &
 [\phi_3] &= \begin{Bmatrix} 1.0000 \\ 0.9011 \\ -0.1880 \\ -1.0705 \\ -0.7766 \\ 0.3707 \\ 1.1107 \end{Bmatrix} &
 [\phi_4] &= \begin{Bmatrix} 1.0000 \\ 0.0528 \\ -0.9966 \\ -0.1162 \\ 0.9899 \\ 0.1737 \\ -0.9798 \end{Bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\phi_5] &= \begin{Bmatrix} 1.0000 \\ -0.7867 \\ -0.3811 \\ 1.0865 \\ -0.4767 \\ -0.7139 \\ 1.0353 \end{Bmatrix} &
 [\phi_6] &= \begin{Bmatrix} 1.0000 \\ -1.4709 \\ 1.1637 \\ -0.2408 \\ -0.8095 \\ 1.4315 \\ -1.2962 \end{Bmatrix} &
 [\phi_7] &= \begin{Bmatrix} 1.0000 \\ -1.8789 \\ 2.5303 \\ -2.8754 \\ 2.8723 \\ -2.5214 \\ 1.8653 \end{Bmatrix}
 \end{aligned}$$



Gambar 5.3. Pola / ragam goyangan atau mode shape

5.3.2 Perhitungan simpangan lantai relatif kontribusi tiap mode

1. Kontribusi mode ke-1

$$\begin{aligned}
 P_1^* &= \{\phi\}_1^T [M] \{1\} \\
 &= \{1.00 \ 1.95 \ 2.81 \ 3.53 \ 4.08 \ 4.43 \ 4.56\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \\
 &= 4.0353 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_1^* &= \{\phi\}_1^T [M] \{\phi\}_1 \\
 &= \{1.00 \ 1.95 \ 2.81 \ 3.53 \ 4.08 \ 4.43 \ 4.56\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 1.95 \\ 2.81 \\ 3.53 \\ 4.08 \\ 4.43 \\ 4.56 \end{Bmatrix} \\
 &= 1.4517 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\Gamma_1 = \frac{P_1^*}{M_1^*} = \frac{4035.3}{14517} = 0.2780$$

$$\{y\}_1 = \{\phi\}_1 \frac{P_1^* C_1 g}{M_1^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 1.95 \\ 2.81 \\ 3.53 \\ 4.08 \\ 4.43 \\ 4.56 \end{Bmatrix} \cdot \frac{0.2780 \cdot 0.0370 \cdot 980}{8.8777^2} = \begin{Bmatrix} 0.1279 \\ 0.2495 \\ 0.3591 \\ 0.4511 \\ 0.5212 \\ 0.5660 \\ 0.5832 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

2. Kontribusi mode ke-2

$$P_2^* = \{\phi\}_2^T [M] \{1\}$$

$$= \{1.00 \ 1.58 \ 1.49 \ 0.77 \ -0.28 \ -1.20 \ -1.62\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$= 463.6856 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}$$

$$M_2^* = \{\phi\}_2^T [M] \{\phi\}_2$$

$$= \{1.00 \ 1.58 \ 1.49 \ 0.77 \ -0.28 \ -1.20 \ -1.62\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 1.58 \\ 1.49 \\ 0.77 \\ -0.25 \\ -1.20 \\ -1.62 \end{Bmatrix}$$

$$= 1845.8 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}$$

$$\Gamma_2 = \frac{P_2^*}{M_2^*} = \frac{463.6856}{1845.8} = 0.2512$$

$$\{y\}_2 = \{\phi\}_2 \frac{P_2^* C g}{M_2^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 1.58 \\ 1.49 \\ 0.77 \\ -0.28 \\ -1.20 \\ -1.62 \end{Bmatrix} \frac{0.2512 \cdot 0.0648 \cdot 980}{26.1888^2} = \begin{Bmatrix} 0.0233 \\ 0.0367 \\ 0.0346 \\ 0.0178 \\ -0.0065 \\ -0.0280 \\ -0.0377 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

3. Kontribusi mode ke-3

$$\begin{aligned}
 P_3^* &= \{\phi\}_3^T [M] \{1\} \\
 &= \{1.00 \ 0.90 \ -0.19 \ -1.07 \ -0.77 \ 0.37 \ 1.11\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \\
 &= 178.6918 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_3^* &= \{\phi\}_3^T [M] \{\phi\}_3 \\
 &= \{1.00 \ 0.90 \ -0.19 \ -1.07 \ -0.77 \ 0.37 \ 1.11\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 0.90 \\ -0.19 \\ -1.07 \\ -0.77 \\ 0.37 \\ 1.11 \end{Bmatrix} \\
 &= 879.9519 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\Gamma_3 = \frac{P_3^*}{M_3^*} = \frac{178.6918}{879.9519} = 0.2031$$

$$\{y\}_3 = \{\phi\}_3 \frac{P_3^* C g}{M_3^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 0.90 \\ -0.19 \\ -1.07 \\ -0.77 \\ 0.37 \\ 1.11 \end{Bmatrix} \frac{0.2031 \cdot 0.0548 \cdot 980}{42.1901^2} = \begin{Bmatrix} 0.0061 \\ 0.0055 \\ -0.0012 \\ -0.0066 \\ -0.0048 \\ 0.0023 \\ 0.0068 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

4. Kontribusi mode ke-4

$$\begin{aligned}
 P_4^* &= \{\phi\}_4^T [M] \{1\} \\
 &= \{1.00 \ 0.06 \ -0.99 \ -0.12 \ 0.99 \ 0.17 \ -0.98\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \\
 &= 101.1048 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_4^* &= \{\phi\}_4^T [M] \{\phi\}_4 \\
 &= \{1.00 \ 0.06 \ -0.99 \ -0.12 \ 0.99 \ 0.17 \ -0.98\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 0.06 \\ -0.99 \\ -0.12 \\ 0.99 \\ 0.17 \\ -0.98 \end{Bmatrix} \\
 &= 707.2598 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\Gamma_4 = \frac{P_4^*}{M_4^*} = \frac{101.1048}{707.2598} = 0.1430$$

$$\{y\}_4 = \{\phi\}_4 \frac{P_4^* C g}{M_4^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 0.06 \\ -0.99 \\ -0.12 \\ 0.99 \\ 0.17 \\ -0.98 \end{Bmatrix} \frac{0.1430 \cdot 0.0477 \cdot 980}{56.0839^2} = \begin{Bmatrix} 0.0021 \\ 0.0001 \\ -0.0021 \\ -0.0002 \\ 0.0021 \\ 0.0004 \\ -0.0021 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

5. Kontribusi mode ke-5

$$\begin{aligned}
 P_5^* &= \{\phi\}_5^T [M] \{1\} \\
 &= \{1.00 \ -0.79 \ -0.38 \ 1.09 \ -0.47 \ -0.71 \ 1.04\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \\
 &= 70.4468 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_5^* &= \{\phi\}_5^T [M] \{\phi\}_5 \\
 &= \{1.00 \ -0.79 \ -0.38 \ 1.09 \ -0.47 \ -0.71 \ 1.04\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -0.79 \\ -0.38 \\ 1.09 \\ -0.47 \\ -0.71 \\ 1.04 \end{Bmatrix} \\
 &= 849.8601 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\Gamma_5 = \frac{P_5^*}{M_5^*} = \frac{70.4468}{849.8601} = 0.0829$$

$$\{v\}_5 = \{\phi\}_5 \frac{P_5^* C g}{M_5^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -0.79 \\ -0.38 \\ 1.09 \\ -0.47 \\ -0.71 \\ 1.04 \end{Bmatrix} \frac{0.0829 \cdot 0.0441 \cdot 980}{67.1859^2} = 0.001 \cdot \begin{Bmatrix} 0.7936 \\ -0.6244 \\ -0.3025 \\ 0.8623 \\ -0.3759 \\ -0.5666 \\ 0.8217 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

6. Kontribusi mode ke-6

$$\begin{aligned}
 P_6^* &= \{\phi\}_6^T [M] \{1\} \\
 &= \{1.00 \ -0.15 \ 1.16 \ -0.24 \ -0.81 \ 1.43 \ -1.30\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \\
 &= 56.5686 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_6^* &= \{\phi\}_6^T \cdot [M] \cdot \{\phi\}_6 \\
 &= \{1.00 \ -0.15 \ 1.16 \ -0.24 \ -0.81 \ 1.43 \ -1.30\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -0.15 \\ 1.16 \\ -0.24 \\ -0.81 \\ 1.43 \\ -1.30 \end{Bmatrix} \\
 &= 1629.4 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\Gamma_6 = \frac{P_6^*}{M_6^*} = \frac{56.5686}{1629.4} = 0.0347$$

$$\{y\}_6 = \{\phi\}_6 \frac{P_6^* C g}{M_6^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -0.15 \\ 1.16 \\ -0.24 \\ -0.81 \\ 1.43 \\ -1.30 \end{Bmatrix} \frac{0.0347 \cdot 0.0422 \cdot 980}{78.9820^2} = 0.001 \cdot \begin{Bmatrix} 0.2554 \\ -0.3756 \\ 0.2972 \\ -0.0615 \\ -0.2067 \\ 0.3656 \\ -0.3310 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

7. Kontribusi mode ke-7

$$\begin{aligned}
 P_7^* &= \{\phi\}_7^T [M] \{1\} \\
 &= \{1.00 \quad -1.88 \quad 2.53 \quad -2.88 \quad 2.87 \quad -2.52 \quad 1.87\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \\
 &= 50.6220 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_7^* &= \{\phi\}_7^T [M] \{\phi\}_7 \\
 &= \{1.00 \quad -1.88 \quad 2.53 \quad -2.88 \quad 2.87 \quad -2.52 \quad 1.87\} \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -1.88 \\ 2.53 \\ -2.88 \\ 2.87 \\ -2.52 \\ 1.87 \end{Bmatrix} \\
 &= 7052.1 \text{ kg dt}^2 / \text{cm}
 \end{aligned}$$

$$\Gamma_7 = \frac{P_7^*}{M_7^*} = \frac{50.6220}{7052.1} = 0.0072$$

$$\{y\}_7 = \{\phi\}_7 \frac{P_7^* C_g}{M_7^* \omega^2} = \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -1.88 \\ 2.53 \\ -2.88 \\ 2.87 \\ -2.52 \\ 1.87 \end{Bmatrix} \frac{0.0072 \cdot 0.0413 \cdot 980}{79.2663^2} = 0.0001 \cdot \begin{Bmatrix} 0.4638 \\ -0.8719 \\ 1.1734 \\ -1.3357 \\ 1.3311 \\ -1.1687 \\ 0.8673 \end{Bmatrix} \text{ cm}$$

Simpangan lintai relatif, menurut konsep *upper bound / absolute response*

1. Tingkat ke-1, $y_1 = 0.1279 + 0.0233 + 0.0061 + 0.0021 + 0.00079 + 0.00025 +$
 0.000046
 $= 0.1605 \text{ cm}$
2. Tingkat ke-2, $y_2 = 0.2495 + 0.0367 + 0.0055 + 0.0001 + 0.00062 - 0.00037 -$
 0.000087
 $= 0.2908 \text{ cm}$
3. Tingkat ke-3, $y_3 = 0.3591 + 0.0346 - 0.0012 - 0.0021 - 0.00030 + 0.00029 +$
 0.00012
 $= 0.3905 \text{ cm}$
4. Tingkat ke-4, $y_4 = 0.4511 + 0.0178 - 0.0066 - 0.0002 + 0.00086 - 0.00006 -$
 0.00013
 $= 0.4628 \text{ cm}$
5. Tingkat ke-5, $y_5 = 0.5212 - 0.0065 - 0.0048 + 0.0021 - 0.00037 - 0.00020 +$
 0.00013
 $= 0.5116 \text{ cm}$
6. Tingkat ke-6, $y_6 = 0.5660 - 0.0280 + 0.0023 + 0.0004 - 0.00056 + 0.00036 -$
 0.00012
 $= 0.5403 \text{ cm}$
7. Tingkat ke-7, $y_7 = 0.5832 - 0.0377 + 0.0068 - 0.0021 + 0.00082 - 0.00033 +$
 0.000086
 $= 0.5508 \text{ cm}$

Simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat diperoleh dengan cara mengurangkan simpangan lantai atas dengan lantai dibawahnya pada simpangan lantai relatif.

$$1. \text{ Tingkat 1 } (\Delta_1) = 0.1605 \text{ cm}$$

$$2. \text{ Tingkat 2 } (\Delta_2) = 0.2908 - 0.1605 \\ = 0.1303 \text{ cm}$$

$$3. \text{ Tingkat 3 } (\Delta_3) = 0.3905 - 0.2908 \\ = 0.0997 \text{ cm}$$

$$4. \text{ Tingkat 4 } (\Delta_4) = 0.4628 - 0.3905 \\ = 0.0723 \text{ cm}$$

$$5. \text{ Tingkat 5 } (\Delta_5) = 0.5116 - 0.4628 \\ = 0.0488 \text{ cm}$$

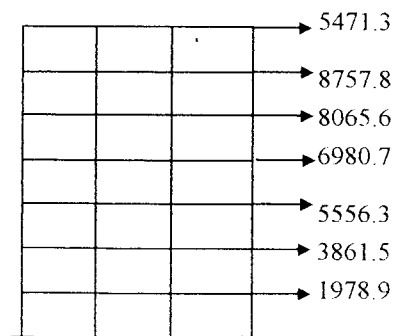
$$6. \text{ Tingkat 6 } (\Delta_6) = 0.5403 - 0.5116 \\ = 0.0287 \text{ cm}$$

$$7. \text{ Tingkat 7 } (\Delta_7) = 0.5508 - 0.5403 \\ = 0.0105 \text{ cm}$$

5.3.3. Perhitungan gaya horisontal kontribusi tiap mode

1. Mode ke-1

$$\begin{aligned}
 P_1 &= [M] \{\phi\}_1 \frac{P_1^*}{M_1^*} Cg \\
 &= \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 1.95 \\ 2.81 \\ 3.53 \\ 4.08 \\ 4.43 \\ 4.56 \end{Bmatrix} \cdot 0.2780 \cdot 0.0370 \cdot 980 \\
 &= 1000 \cdot \begin{Bmatrix} 1.9789 \\ 3.8615 \\ 5.5563 \\ 6.9807 \\ 8.0656 \\ 8.7578 \\ 5.4713 \end{Bmatrix} \text{ kg}
 \end{aligned}$$



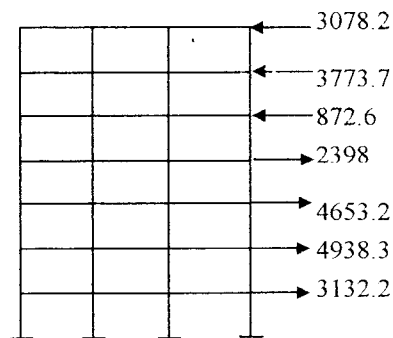
Gambar 5.4. Gaya geser tingkat mode ke-1

2. Mode ke-2

$$F_2 = [M] \{\phi\}_2 \frac{P_2^*}{M_2^*} \cdot C \cdot g$$

$$= \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 1.58 \\ 1.49 \\ 0.77 \\ -0.25 \\ -1.20 \\ -1.62 \end{Bmatrix} \cdot 0.2512 \cdot 0.0648 \cdot 980$$

$$= 1000 \cdot \begin{Bmatrix} 3.1322 \\ 4.9383 \\ 4.6532 \\ 2.3980 \\ -0.8726 \\ -3.7737 \\ -3.0782 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$



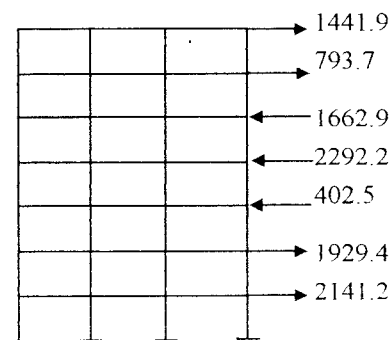
Gambar 5.5. Gaya geser tingkat mode ke-2

3. Mode ke-3

$$F_3 = [M] \{\phi\}_3 \frac{P_3^*}{M_3^*} \cdot C \cdot g$$

$$= \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 0.90 \\ -0.19 \\ -1.07 \\ -0.77 \\ 0.37 \\ 1.11 \end{Bmatrix} \cdot 0.2031 \cdot 0.0548 \cdot 980$$

$$= 1000 \cdot \begin{Bmatrix} 2.1412 \\ 1.9294 \\ -0.4025 \\ -2.2922 \\ -1.6629 \\ 0.7937 \\ 1.4419 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$



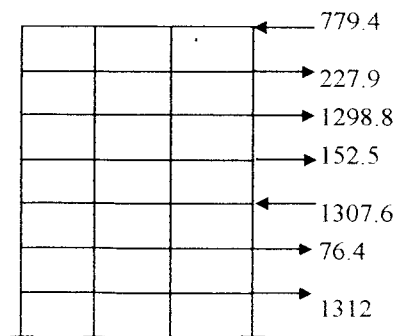
Gambar 5.6. Gaya geser tingkat mode ke-3

4. Mode ke-4

$$F_4 = [M] \{\phi\}_4 \frac{P_4^*}{M_4^*} \cdot C \cdot g$$

$$= \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ 0.06 \\ -0.99 \\ -0.12 \\ 0.99 \\ 0.17 \\ -0.98 \end{Bmatrix} \cdot 0.1430 \cdot 0.0477 \cdot 980$$

$$= 1000 \cdot \begin{Bmatrix} 1.3120 \\ 0.0764 \\ -1.3076 \\ 0.1525 \\ 1.2988 \\ 0.2279 \\ -0.7794 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$



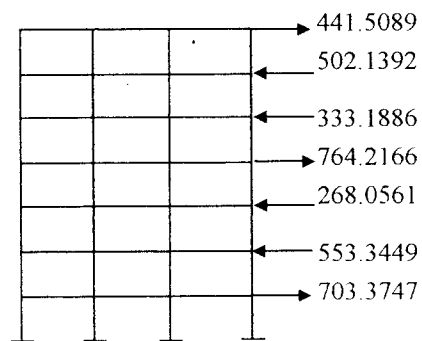
Gambar 5.7. Gaya geser tingkat mode ke-4

5. Mode ke-5

$$F_5 = [M] \{\phi\}_5 \frac{P_5^*}{M_5^*} \cdot C \cdot g$$

$$= \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -0.79 \\ -0.38 \\ 1.09 \\ -0.47 \\ -0.71 \\ 1.04 \end{Bmatrix} \cdot 0.0829 \cdot 0.0441 \cdot 980$$

$$= \begin{Bmatrix} 703.3747 \\ -553.3449 \\ -268.0561 \\ 764.2166 \\ -333.1886 \\ -502.1392 \\ 441.5089 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$



Gambar 5.8. Gaya geser tingkat mode ke-5

de ke-7

6. Mode ke-6

$$M \{\phi\}_7 \frac{P}{M}$$

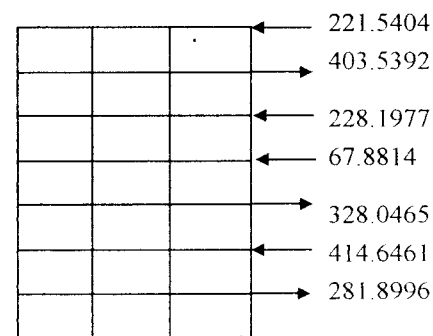
$$F_6 = [M \{\phi\}_6 \frac{P_6^*}{M_6^*} \cdot C \cdot g$$

$$\begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1.00 \\ -0.15 \\ 1.16 \\ -0.24 \\ -0.81 \\ 1.43 \\ -1.30 \end{bmatrix} \cdot 0.0347 \cdot 0.0422 \cdot 980$$

$$\begin{bmatrix} 57.0436 \\ -107.1792 \\ 144.3374 \\ -164.0232 \\ 163.8463 \\ -143.8297 \\ 64.5122 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 281.8996 \\ -414.6461 \\ 328.1465 \\ -67.8814 \\ -228.1977 \\ 403.5392 \\ -221.5404 \end{bmatrix} \text{ kg}$$



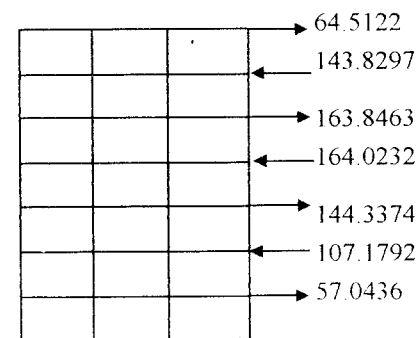
Gambar 5.9. Gaya geser tingkat mode ke-6

7. Mode ke-7

$$F_7 = [M] \{\phi\}_7 \frac{P_7^*}{M_7} \cdot C \cdot g$$

$$= \begin{bmatrix} 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.196 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.119 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1.00 \\ -1.88 \\ 2.53 \\ -2.88 \\ 2.87 \\ -2.52 \\ 1.87 \end{Bmatrix} \cdot 0.0072 \cdot 0.0413 \cdot 980$$

$$= \begin{Bmatrix} 57.0436 \\ -107.1792 \\ 144.3374 \\ -164.0232 \\ 163.8463 \\ -143.8297 \\ 64.5122 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$



Gambar 5.10. Gaya geser tingkat mode ke-7

Berdasarkan perhitungan diatas, maka gaya horisontal lantai :

$$F' = \left. \begin{array}{l} 9606.7 \\ 9730.4 \\ 8703.7 \\ 7466.4 \\ 6431.3 \\ 5763.3 \\ 3340.1 \end{array} \right\} \text{ kg}$$

Maka gaya geser dasar (V_b) adalah :

$$\begin{aligned} V_b &= 9606.7 + 9730.4 + 8703.7 + 7466.4 + 6431.3 + 5763.6 + 3340.1 \\ &= 51041.9 \text{ kg} \end{aligned}$$

Momen guling dasar

$$M_b = \sum_{i=1}^N F_i \cdot h_i$$

$$\begin{aligned} M_b &= 9606.7 \cdot 3.5 + 9730.4 \cdot 7.0 + 8703.7 \cdot 10.5 + 7466.4 \cdot 14 + 6431.3 \cdot 17.5 \\ &\quad + 5763.6 \cdot 21 + 3340.1 \cdot 24.5 \\ &= 61306420 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$