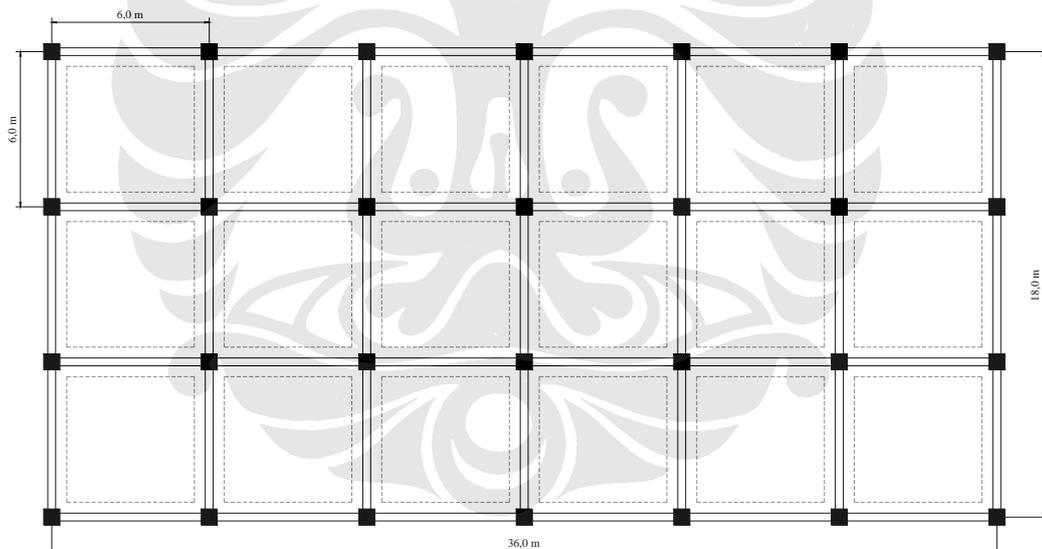


BAB IV

SIMULASI PARAMETRIK

4.1. INPUT DATA

Untuk data input pada simulasi ini akan digunakan contoh modelisasi bangunan Kantor delapan lantai dengan denah seperti pada Gambar 4.1. Bangunan Kantor dengan denah setiap lantai berukuran $18\text{ m} \times 36\text{ m}$ mempunyai tebal struktur ekivalen sebesar 35 cm dengan tinggi setiap lantai 4 m . Luas denah bangunan kantor, $A = 648\text{ m}^2$.



Gambar 4.1 Denah Umum Bangunan

➤ Pembebanan

Beban yang diberikan pada bangunan kantor tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

Untuk pembebanan setiap lantai,

- Beban Mati (*DL*)

$$\begin{aligned} \text{Berat Sendiri} &= 0,35\text{ m} \times 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 8,4\text{ kPa} \\ &(\text{tebal struktur ekivalen setiap lantai} = 35\text{ cm}) \end{aligned}$$

Screed	= 1,2 kPa
Ceramic, Mechanical, Electrical, Plumbing	= 0,35 kPa
Partisi	= 1 kPa
Total Beban Mati (DL)	= 10,95 kPa
• Beban Hidup (LL)	= 2,5 kPa

Untuk beban hidup kantor, akan direduksi sebesar 0,3 LL. Sehingga beban yang bekerja di setiap lantai sebesar

$$q_{ti} = DL + 0,3LL = 10,95 \text{ kPa} + (0,3 \times 2,5 \text{ kPa}) = 11,7 \text{ kPa}$$

➤ Massa bangunan

Total beban setiap lantai,

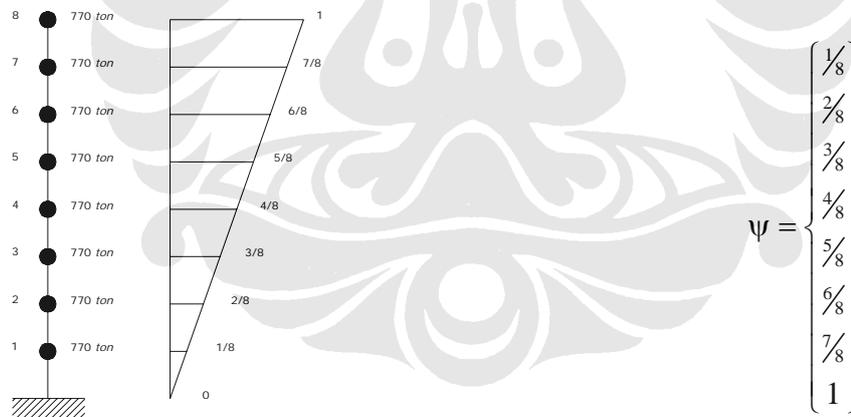
$$w_{ii} = q_{ti} \times A = 11,7 \text{ kN/m}^2 \times 648 \text{ m}^2 = 7581,6 \text{ kN}$$

Massa untuk setiap lantai,

$$M_{ii} = 7581,6 \text{ kN} \div 9,81 \text{ m/s}^2 = 772,844 \text{ ton} \approx 770 \text{ ton}$$

$$M_{/Lantai} = 770 \text{ ton/lantai}$$

Pola getar struktur yang digunakan pada simulasi ini adalah pola getar segitiga.



Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya, bahwa simulasi dilakukan dalam bentuk satu derajat kebebasan (*SDoF*). Sehingga contoh bangunan diatas harus disederhanakan. Untuk menyederhanakan *Multi Degree of Freedom (MdoF)* menjadi *Single Degree of Freedom (SDoF)* digunakan metode *Reyleigh-Ritz*.

Dari persamaan (2.28),

$$\tilde{m} = \psi^T m \psi$$

$$\tilde{m} = \begin{bmatrix} 1/8 & 2/8 & 3/8 & 4/8 & 5/8 & 6/8 & 7/8 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 770 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 770 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 770 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 770 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 770 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 770 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 770 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 770 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1/8 \\ 2/8 \\ 3/8 \\ 4/8 \\ 5/8 \\ 6/8 \\ 7/8 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

$$\tilde{m} = 2454 \frac{3}{8} \text{ ton}$$

Maka massa total bangunan, $M_{TotalBangunan} = 2454 \frac{3}{8} \approx 2455 \text{ ton}$

➤ Periode Natural Bangunan

Bangunan gedung ini dirancang dengan *Periode Natural Bangunan* (T_n),

$$T_n = 0,14 N = 0,14(8) = 1,12 \text{ s}$$

Dimana N adalah jumlah lantai.

➤ Kekakuan total struktur

Dari persamaan (3.4) nilai *Kekakuan* (K) total bangunan didapat,

$$K = \frac{4\pi^2 (2455)}{(1,12)^2}$$

$$K = 77263,644 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \approx 77300 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

➤ Gaya Sinusoidal

Gaya efektif gempa yang bekerja

$$P = -M \ddot{u}_g = (2455) \ddot{u}_{g0} \sin\left(\frac{2\pi}{T_g} t\right)$$

dimana \ddot{u}_{g0} adalah percepatan gempa bumi.

Variasi nilai *Periode Getar Natural Gedung* (T_n)/ *Periode Getar Gempa* (T_g) yang dilakukan pada simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.1 **Variasi T_n/T_g umum.**

Tabel 4.1 Variasi T_n/T_g umum

Variasi	1	2	3
T_n/T_g	1	0,5	2

➤ **Variasi Nilai R**

Setiap simulasi akan melakukan variasi nilai Koefisien Reduksi Gempa R . Nilai Koefisien Reduksi R diambil dari SNI. Variasi nilai yang dilakukan dapat dilihat seperti pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Variasi Nilai Koef. Reduksi R

Variasi	1	2	3	4
R_{Fr}	5,5	8,5	8,5	Berbobot
R_{Sw}	5,5	5,5	8,5	Berbobot

Nilai R berbobot menggunakan persamaan dari SNI (*Persamaan 2.13*).

$$R = \frac{\sum V_s}{\sum V_s / R_s}$$

➤ **Redaman**

Redaman (ζ) yang dipakai pada setiap simulasi sebesar 5%.

4.2. VARIASI DATA INPUT

Secara garis besar variasi data yang akan dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.3. Pada setiap simulasi parametrik yang dilakukan, variasi nilai R akan dimasukkan kedalam simulasi tersebut.

Tabel 4.3 Variasi Data Input

Simulasi	Variabel						
	Beban Dinamik	T_n/T_g	M_{total} bangunan	K_{Fr}	K_{Sw}	K_{total}	\ddot{u}_{g0}
1	Sinusoidal	Variasi	2455 ton	Variasi	Variasi	77300 kN/m	0,3g
2	Sinusoidal	Variasi	2455 ton	30% K_{total}	70% K_{total}	77300 kN/m	0,3g
3	Sinusoidal	Variasi	2455 ton	30% K_{total}	70% K_{total}	77300 kN/m	Variasi
4	Sinusoidal	1	Variasi	30% K_{total}	70% K_{total}	Variasi	0,3g
5	El-Centro	Variasi	2455 ton	30% K_{total}	70% K_{total}	Variasi	0,3g
Variasi nilai R pada setiap variasi							

Keterangan:

- T_n / T_g = Periode getar alami struktur/ Periode getar gempa sinusoidal.
 M_{total} bangunan = Massa total bangunan (Ton).
 K_{Fr} = Persen Kekakuan *frame* dari kekakuan total bangunan.
 K_{Sw} = Persen Kekakuan *shear wall* dari kekakuan total bangunan.
 K_{total} = Kekakuan total bangunan, $K_{total} = K_{Fr} + K_{Sw}$
 \ddot{u}_{g0} = Percepatan gempa yang terjadi.

Nilai variasi yang dilakukan dalam simulasi ini dapat dilihat sebagai berikut:

1. Simulasi 1

Pada simulasi ini, variasi yang dilakukan adalah penggantian nilai kombinasi kekakuan *Frame* dan *Shearwall* dengan nilai kekakuan total bangunan tetap.

$$K_{Fr} + K_{Sw} = K_{total}$$

Untuk nilai variasi kekakuan *frame* dan *shearwall* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai Variasi Kekakuan Frame Dan Shearwall

K_{Fr}		K_{Sw}		K_{total}
% K_{Total}	K_{Fr} (kN/m)	% K_{Total}	K_{Sw} (kN/m)	(kN/m)
10%	7730	90%	69570	77300
15%	11595	85%	65705	77300
20%	15460	80%	61840	77300
25%	19325	75%	57975	77300
30%	23190	70%	54110	77300
35%	27055	65%	50245	77300
40%	30920	60%	46380	77300
45%	34785	55%	42515	77300
50%	38650	50%	38650	77300

Variasi T_n/T_g disini menggunakan variasi pada Tabel 4.1.

2. Simulasi 2

Simulasi 2 akan memvariasikan Periode Gempa (T_g) dari gaya sinusoidal yang akan berkerja. Dengan memvariasikan T_g , maka dapat dilihat bagaimana hubungan R^* dan R_{Disain} jika gempa terjadi lebih kecil maupun lebih besar daripada periode natural bangunan. Perlu diingat, bahwa Periode natural bangunan dalam keadaan konstan.

T_g divariasikan dari 0,1 s sampai 2,0 s dengan $\Delta t = 0,1$ s.

$$T_g = 0,1 s, 0,2 s, \dots, 2,0 s$$

3. Simulasi 3

Pada Simulasi 3 dilakukan variasi terhadap percepatan (\ddot{u}_{g0}) sinusoidal yang terjadi. Percepatan (\ddot{u}_{g0}) mengindikasikan besarnya gaya maksimum yang akan terjadi (amplitudo). Makin besar percepatan yang terjadi, makin besar juga gaya yang maksimum yang akan diterima, begitu juga sebaliknya. Pada variasi ini akan diberikan percepatan gempa (\ddot{u}_{g0} atau a) mulai dari 0,2g sampai dengan 0,4g.

Nilai \ddot{u}_{g0} yang akan digunakan pada simulasi ini:

$$\ddot{u}_{g0} = 0,2 g ; 0,25 g ; 0,3 g ; 0,35 g ; 0,4 g$$

Nilai variasi T_n/T_g dapat dilihat pada Tabel 4.1.

4. Simulasi 4

Simulasi 4 menvariasikan jumlah lantai pada contoh bangunan. Dengan menvariasikan jumlah lantai, tentu saja akan mengubah massa dan kekakuan total dari bangunan tersebut. Lantai yang ditambahkan pada simulasi ini merupakan lantai identik. Dengan demikian, makin banyak jumlah lantai maka massa total bangunan akan semakin besar, kekakuan total dari bangunan tersebut akan semakin besar juga. Hal ini membuat periode natural dari bangunan itu sendiri semakin besar.

Jumlah Lantai Gedung (N) = 6, 8, 10, 12, 14 Lantai.

Untuk lebih jelasnya nilai variasi yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Variasi Jumlah Lantai (N)

Jumlah Lantai	T_n (s)	Massa (ton)	K (kN/m)
6	0,84	1946,4	108900,7
8	1,12	2455	77300
10	1,4	2964,5	59711,1
12	1,68	3475,7	48616,4
14	1,96	3987,5	40977,8

Nilai T_n/T_g yang dilakukan pada simulasi ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

5. Simulasi 5

Pada simulasi ini digunakan percepatan gempa *El Centro* dan nilai Kekakuan total (K_{total}) yg diberikan mulai dari $0,5K$ sampai $2K$ (K adalah nilai kekakuan total pada modelisasi bangunan awal, kantor 8 lantai). Dengan mengubah nilai K_{total} tentu saja akan mengubah periode natural bangunan (T_n).

Nilai variasi yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Variasi K_{total}

$n \times K$	T_n (s)	Kt (kN/m)
0,5 K	1,58	38650
0,6 K	1,45	46380
0,7 K	1,34	54110
0,8 K	1,25	61840
0,9 K	1,18	69570
1,0 K	1,12	77243,97
1,2 K	1,02	92760
1,4 K	0,95	108220
1,6 K	0,89	123680
1,8 K	0,83	139140
2,0 K	0,79	154600

BAB V

HASIL DAN DISKUSI

5.1. ANALISA HASIL BERDASARKAN SIMULASI MATLAB

5.1.1. Simulasi 1

Simulasi 1 dilakukan dengan menggunakan variasi persen kekakuan dari masing-masing subsistem. Variasi persen kekakuan dari masing-masing subsistem ini juga dilakukan pada 3 kondisi T_n/T_g .

a. Kondisi $T_n/T_g = 1$

Variasi dengan $T_n/T_g = 1$, atau dalam situasi resonansi, dapat dilihat pada Gambar 5.1. Dengan berbagai kombinasi kekakuan (K) yang dilakukan, tidak terdapat perbedaan nilai R_{Perlu} (R^*) yang sangat mencolok. Nilai R^* berada dibawah nilai R_{Disain} (R). Nilai R^* dan R secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran Simulasi 1.

Pada khusus dimana nilai R_{FR} dan R_{SW} yang diberikan sama besar, dapat dilihat bahwa hampir tidak terjadi perubahan nilai R^* pada setiap kombinasi K . Pada khusus R_{FR} sebesar 8,5 dan R_{SW} sebesar 5,5 dapat dilihat terjadi penurunan R^* . R^* kombinasi $K_{FR} = 10\%$ K_{total} dan $K_{SW} = 90\%$ K_{total} lebih besar daripada R^* kombinasi $K_{FR} = 50\%$ K_{total} dan $K_{SW} = 50\%$ K_{total} . Dimana pada kombinasi $K_{FR} = 10\%$ K_{total} dan $K_{SW} = 90\%$, nilai R^*_{FR} sebesar 2,75 dan R^*_{SW} sebesar 1,80. Pada kombinasi $K_{FR} = 50\%$ K_{total} dan $K_{SW} = 50\%$ K_{total} , nilai R^*_{FR} sebesar 2,61 dan R^*_{SW} sebesar 1,69. Penurunan R^* yang terjadi sangat kecil.

b. Kondisi $T_n/T_g = 2$

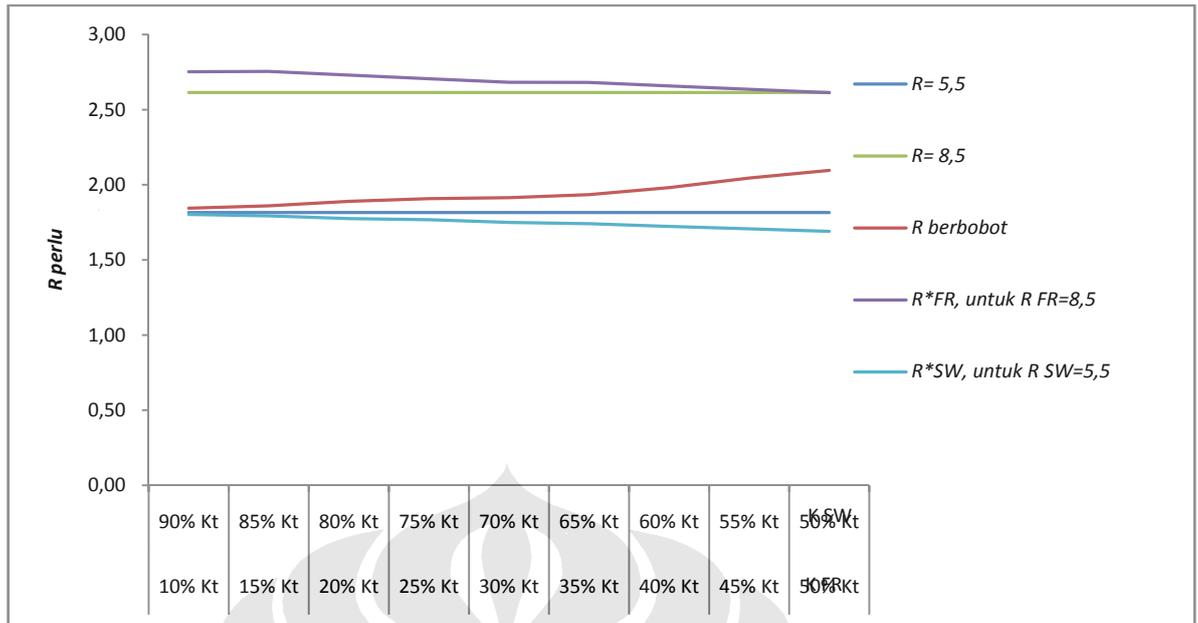
Pada variasi dengan $T_n/T_g = 2$, juga terjadi hal yang sama, dimana kombinasi kekakuan dengan nilai R_{FR} dan R_{SW} sama besar, maka kombinasi Kekakuan tidak berpengaruh pada nilai R^* . Sedangkan pada

husus R_{FR} sebesar 8,5 dan R_{SW} sebesar 5,5 dapat dilihat terjadi kenaikan R^* . R^* kombinasi $K_{FR} = 10\% K_{total}$ dan $K_{SW} = 90\% K_{total}$ lebih kecil daripada R^* kombinasi $K_{FR} = 50\% K_{total}$ dan $K_{SW} = 50\% K_{total}$. Dimana pada kombinasi $K_{FR} = 10\% K_{total}$ dan $K_{SW} = 90\%$, nilai R_{FR}^* sebesar 11,60 dan R_{SW}^* sebesar 7,45. Pada kombinasi $K_{FR} = 50\% K_{total}$ dan $K_{SW} = 50\% K_{total}$, nilai R_{FR}^* sebesar 11,91 dan R_{SW}^* sebesar 7,65. kenaikan R^* yang terjadi sangat kecil.

c. Kondisi $T_n/T_g = 0,5$

Pada variasi dengan $T_n/T_g = 0,5$, hal yang terjadi sama dengan pada variasi $T_n/T_g = 2$. Hanya saja besarnya nilai R^* berbeda. Hal ini disebabkan karena gaya geser dasar yang diterima pada kedua variasi ini berbeda. Untuk khusus dengan $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 5,5$ dapat dilihat terjadi kenaikan R^* . Pada kombinasi $K_{FR} = 10\% K_{total}$ dan $K_{SW} = 90\%$, nilai R_{FR}^* sebesar 30,83 dan R_{SW}^* sebesar 19,86. Pada kombinasi $K_{FR} = 50\% K_{total}$ dan $K_{SW} = 50\% K_{total}$, nilai R_{FR}^* sebesar 33,25 dan R_{SW}^* sebesar 21,40. Pada kondisi ini perbedaan R^* dan R cukup besar.

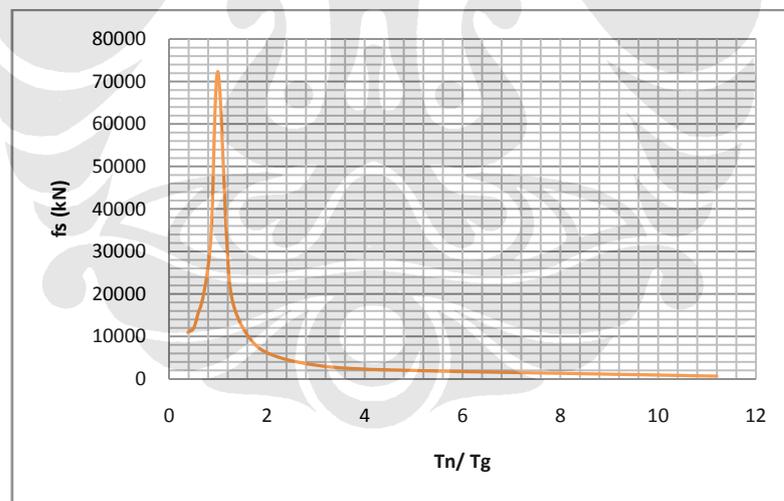
Sehingga pada khusus variasi kombinasi Kekakuan (K_{FR} dan K_{SW}) - Kekakuan total (K_{total}) konstan – persen kontribusi kekakuan antara *frame* dan *shearwall* tidak mempengaruhi nilai daktilitas struktur. Tetapi pada khusus dimana nilai R_{Disain} yang digunakan berbeda terjadi ketidak konstanan. Sehingga diperlukan suatu nilai R_{Disain} yang sama antara R_{FR} dan R_{SW} , baik itu nilai R terbesar ataupun nilai $R_{Berbobot}$.



Gambar 5.1 Variasi Kombinasi Kekakuan

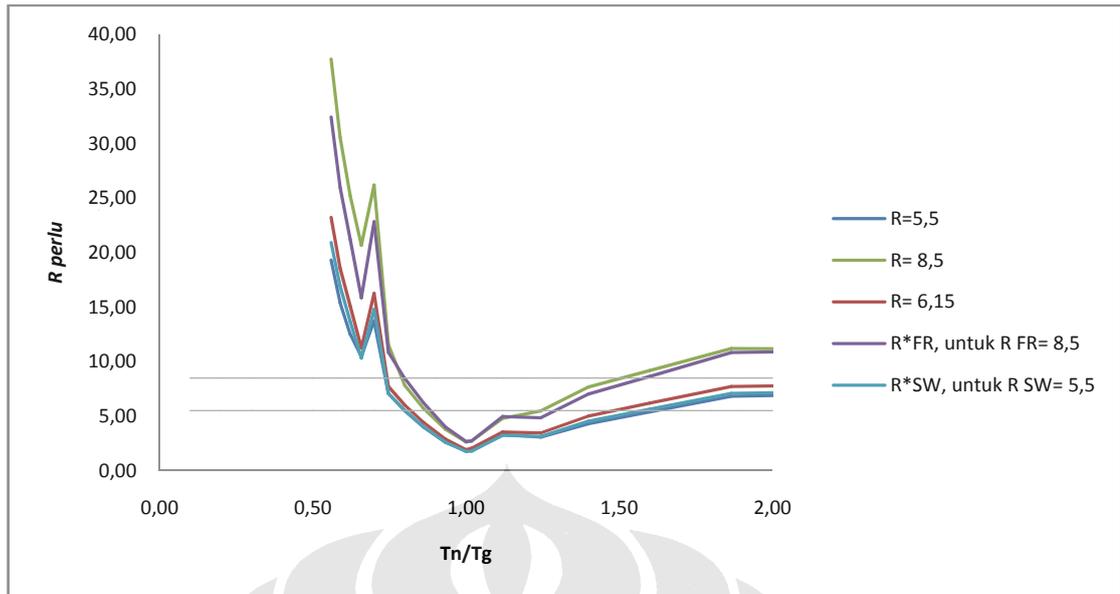
5.1.2. Simulasi 2

Simulasi 2 dilakukan dengan menggunakan variasi T_n/T_g . Hubungan T_n/T_g dengan gaya geser yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.2



Gambar 5.2 Hubungan T_n/T_g dan f_s

Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa gaya geser terbesar terjadi pada saat resonansi ($T_n/T_g = 1$).



Gambar 5.3 Nilai R perlu Dari Variasi T_n/T_g

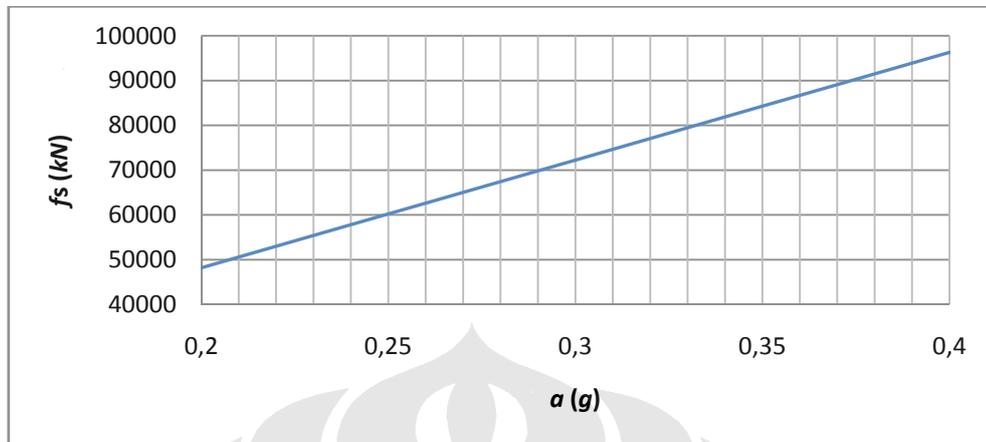
Dari hasil yang didapat (Gambar 5.3), dengan menggunakan R_{FR} dan R_{SW} yang berbeda-beda, nilai R^* memiliki bentuk yang hampir sama pada setiap variasi nilai R . Nilai R^* terendah ada pada saat resonansi, sedangkan nilai gaya geser terbesar terletak pada gaya resonansi. Pada $T_n/T_g < 1$, R^* akan terus naik sampai $T_n/T_g = 0,7$, kemudian akan turun, dan akan naik lagi pada $T_n/T_g = 0,66$ sampai $T_n/T_g = 0,56$. Sedangkan pada $T_n/T_g > 1$, R^* akan naik, tetapi grafiknya lebih landai dan nilainya lebih kecil dari grafik dan nilai pada $T_n/T_g < 1$.

Pada variasi $R_{FR} = 5,5$ dan $R_{SW} = 5,5$, nilai R^* berada dibawah R hanya pada range $0,8 \leq T_n/T_g \leq 1,6$. Pada variasi $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 5,5$, nilai R^* berada dibawah R hanya pada range $0,8 \leq T_n/T_g \leq 1,4$. Pada variasi $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 8,5$, nilai R^* berada dibawah R hanya pada range $0,8 \leq T_n/T_g \leq 1,4$. Pada variasi $R_{FR} = 6,15$ dan $R_{SW} = 6,15$, nilai R^* berada dibawah R hanya pada range $0,8 \leq T_n/T_g \leq 1,4$. Untuk nilai dari masing-masing R^* pada setiap variasi dapat dilihat di Lampiran Simulasi 2.

5.1.3. Simulasi 3

Simulasi 3 dilakukan dengan menggunakan variasi percepatan gempa yang terjadi dalam tiga kondisi T_n/T_g . Gambar 5.4 menunjukkan

hubungan antara percepatan gempa dengan gaya yang diterima. Semakin besar percepatan gempa, semakin besar gaya maksimum yang bekerja.



Gambar 5.4 Gaya f_s Terhadap Percepatan Gempa

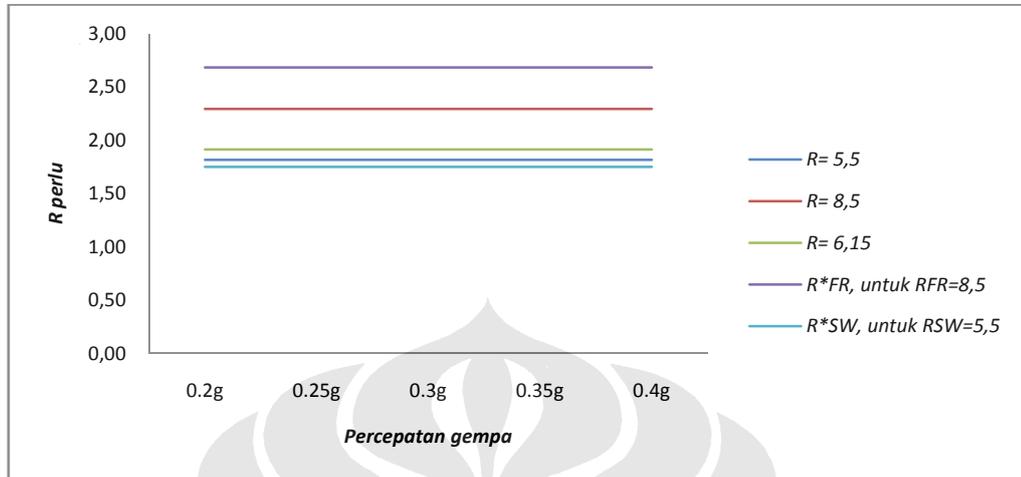
Dari hasil yang didapat, terlihat bahwa nilai R^* pada setiap variasi percepatan besarnya sama. Dalam hal ini percepatan gempa tidak mempengaruhi nilai R^* , walaupun besar f_s terus bertambah besar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.5, pada kondisi resonansi. Pada variasi nilai $T_n/T_g = 2$ dan $T_n/T_g = 0,5$ terlihat bahwa nilai R^* jauh lebih besar dari pada nilai R^* pada saat resonansi. Nilai R^* pada saat $T_n/T_g = 2$ dan $T_n/T_g = 0,5$ lebih besar dari nilai R .

Pada kondisi $T_n/T_g = 1$ dengan variasi $R_{FR} = 5,5$ dan $R_{SW} = 5,5$, R_{FR}^* bernilai sama dengan R_{SW}^* yaitu 1,82. Variasi $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 5,5$, R_{FR}^* sebesar 2,68 dan R_{SW}^* sebesar 1,75. Variasi $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 8,5$, R_{FR}^* bernilai sama dengan R_{SW}^* yaitu 2,29. Variasi $R_{FR} = 6,15$ dan $R_{SW} = 6,15$, R_{FR}^* bernilai sama dengan R_{SW}^* yaitu 1,91.

Pada kondisi $T_n/T_g = 2$ dengan variasi $R_{FR} = 5,5$ dan $R_{SW} = 5,5$, R_{FR}^* bernilai sama dengan R_{SW}^* yaitu 7,27. Variasi $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 5,5$, R_{FR}^* sebesar 11,76 dan R_{SW}^* sebesar 7,55. Variasi $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 8,5$, R_{FR}^* bernilai sama dengan R_{SW}^* yaitu 12,05. Variasi $R_{FR} = 6,15$ dan $R_{SW} = 6,15$, R_{FR}^* bernilai sama dengan R_{SW}^* yaitu 8,28.

Pada kondisi $T_n/T_g = 0,5$ dengan variasi $R_{FR} = 5,5$ dan $R_{SW} = 5,5$, R_{FR}^* bernilai sama dengan R_{SW}^* yaitu 19,30. Variasi $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 5,5$, R_{FR}^* sebesar 32,03 dan R_{SW}^* sebesar 20,62. Variasi $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} =$

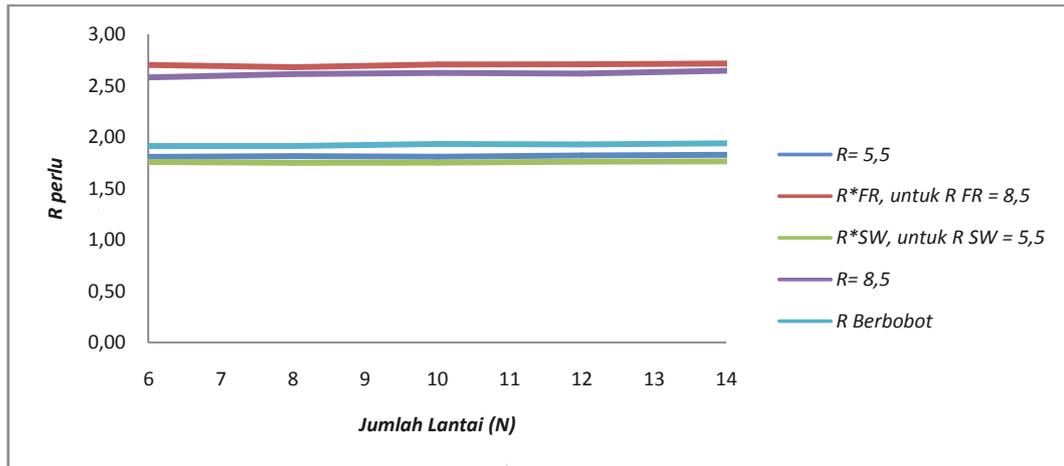
8,5, R_{FR}^* bernilai sama dengan R_{SW}^* yaitu 36,02. Variasi $R_{FR} = 6,15$ dan $R_{SW} = 6,15$, R_{FR}^* bernilai sama dengan R_{SW}^* yaitu 22,81.



Gambar 5.5 Nilai R perlu Variasi Percepatan Gempa Pada Kondisi $T_n/T_g=1$

5.1.4. Simulasi 4

Simulasi 4 dilakukan dengan menggunakan variasi massa dan kekakuan secara bersamaan dan diberikan gaya gempa sinusoidal pada kondisi $T_n/T_g = 1$. Secara garis besar grafik yang didapat seperti pada Gambar 5.6. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tidak terjadi perubahan R^* yang sangat besar. Nilai R^* berada jauh dibawah nilai R . Dengan demikian diketahui bahwa perubahan massa dan kekakuan tidak mempengaruhi nilai R^* selama periode gempa yang terjadi sama besarnya dengan periode natural bangunan.



Gambar 5.6 Nilai R perlu Variasi Jumlah Lantai

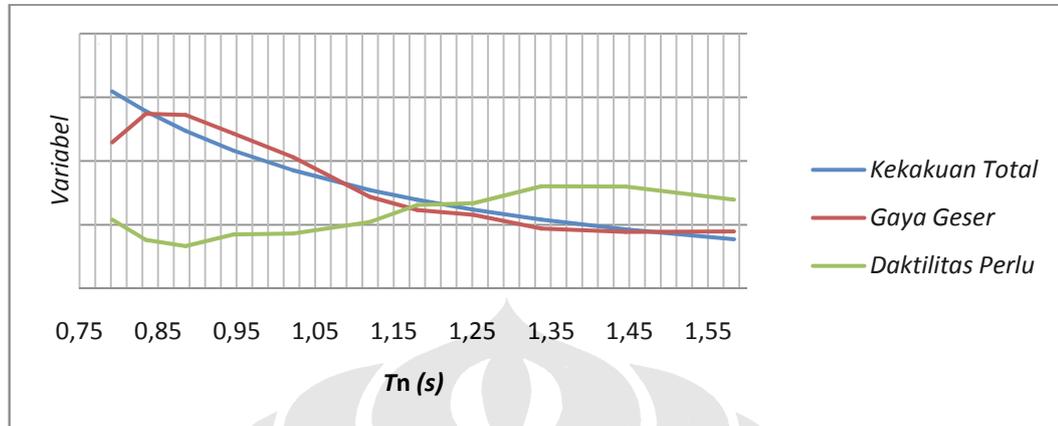
5.1.5. Simulasi 5

Simulasi 5 dilakukan dengan menggunakan gaya gempa El Centro dan dengan variasi kekakuan total K . Seperti pada Gambar 5.7 nilai K akan terus menurun seiring dengan penambahan nilai T_n/T_g , penurunan nilai K sesuai dengan variasi yang dilakukan. Nilai f_s mencapai nilai maksimum pada saat $T_n = 0,85$ s, kemudian nilai f_s akan turun. Grafik R^* berlawanan dengan grafik f_s , dimana R^* berada pada nilai terendah ketika f_s mencapai nilai maksimum. Nilai R^* untuk $R_{FR} = 5,5$ dan $R_{SW} = 5,5$ berada dibawah nilai R pada $0,79 \leq T_n/T_g \leq 1,25$. Nilai R^* untuk $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 5,5$ berada dibawah nilai R pada $0,79 \leq T_n/T_g \leq 1,12$. Nilai R^* untuk $R_{FR} = 8,5$ dan $R_{SW} = 8,5$ berada dibawah nilai R pada $0,79 \leq T_n/T_g \leq 1,02$. Nilai R^* untuk $R_{FR} = 6,15$ dan $R_{SW} = 6,15$ berada dibawah nilai R pada $0,79 \leq T_n/T_g \leq 1,12$. Untuk nilai yang lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran Simulasi 5.

Jika dilihat secara keseluruhan, nilai f_s akan naik kembali dan mencapai maksimum pada $T_n=0,5$ s, kemudian akan turun kembali. Hal ini dimungkinkan karena El Centro mempunyai T_g beberapa T_g . Nilai f_s akan mencapai maksimum pada saat resonansi.

Dari variasi ini dilihat bahwa nilai K yang berubah-ubah dengan Massa konstan mempengaruhi nilai R^* , hal ini terjadi karena T_n juga ikut

berubah, tetapi jika nilai T_n tidak berubah, maka nilai R^* juga tidak berubah. Hal ini menunjukkan bahwa nilai T_n/T_g mempengaruhi nilai R^* .



Gambar 5.7 Gambaran Umum Hubungan Kekakuan (K), Gaya Geser (f_s), dan Daktilitas Perlu Terhadap T_n (Tanpa Skala)

5.1.6. Variasi Nilai R

Variasi R dilakukan pada setiap simulasi di atas dapat dilihat pada Tabel 4.2. Nilai variasi R_{disain} diambil berdasarkan SNI, dengan besaran 5,5 sampai 8,5. Sesuai dengan SNI, jika ada dua nilai R yang berbeda, dapat digunakan nilai R berbobot. Nilai berbobot ini dipengaruhi oleh persen gaya yang diterima struktur. Persen gaya yang diterima struktur akan diwakili oleh persen kekakuan yang dimiliki oleh *frame* dan *shearwall*. Pada variasi ini nilai R berbobot akan digunakan juga.

Dari hasil setiap simulasi yang telah dilakukan, nilai R^* dibandingkan dengan R dan dilihat berapa besar perbandingannya. Perbandingan yang mendekati nilai 1 dianggap sebagai yang paling efisien. Pemaparan nilai R^*/R berdasarkan nilai T_n/T_g untuk gaya gempa sinusoidal, dan T_n untuk gaya gempa El Centro. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Nilai R^*/R Dengan Gaya Gempa Sinusoidal

T_n/T_g	$R_{FR} = 5.5, R_{SW} = 5.5$		$R_{FR} = 8.5, R_{SW} = 5.5$		$R_{FR} = 8.5, R_{SW} = 8.5$		$R = \text{Berbobot}$	
	R^*_{FR}/R_{FR}	R^*_{SW}/R_{SW}	R^*_{FR}/R_{FR}	R^*_{SW}/R_{SW}	R^*_{FR}/R_{FR}	R^*_{SW}/R_{SW}	R^*_{FR}/R_{FR}	R^*_{SW}/R_{SW}
0.56	3.511	3.511	3.816	3.805	4.442	4.442	3.777	3.777
0.59	2.802	2.802	3.056	3.076	3.598	3.598	3.018	3.018
0.62	2.272	2.272	2.493	2.483	2.963	2.963	2.452	2.452
0.66	1.900	1.900	1.865	1.876	2.432	2.432	1.829	1.829
0.70	2.497	2.497	2.686	2.689	3.082	3.082	2.641	2.641
0.75	1.287	1.287	1.278	1.286	1.360	1.360	1.255	1.255
0.80	1.002	1.002	0.997	1.002	0.922	0.922	0.979	0.979
0.86	0.728	0.728	0.732	0.733	0.671	0.671	0.719	0.719
0.93	0.471	0.471	0.471	0.473	0.445	0.445	0.468	0.468
1.00	0.330	0.330	0.316	0.318	0.308	0.308	0.311	0.311
1.02	0.335	0.335	0.321	0.324	0.321	0.321	0.332	0.332
1.12	0.601	0.601	0.584	0.589	0.564	0.564	0.575	0.575
1.24	0.558	0.558	0.570	0.570	0.644	0.644	0.562	0.562
1.40	0.783	0.783	0.826	0.825	0.902	0.902	0.813	0.813
1.60	0.980	0.980	1.017	1.025	1.080	1.080	1.006	1.006
1.87	1.240	1.240	1.274	1.290	1.318	1.318	1.254	1.254
2.24	1.271	1.271	1.291	1.319	1.312	1.312	1.277	1.277
2.80	1.173	1.173	1.223	1.216	1.224	1.224	1.167	1.167
3.73	1.095	1.095	1.127	1.137	1.108	1.108	1.079	1.079
5.60	0.911	0.911	0.918	0.953	0.883	0.883	0.887	0.887
11.20	0.483	0.483	0.511	0.790	0.479	0.479	0.482	0.482

Tabel 5.2 Nilai R^*/R Dengan Gaya Gempa El Centro

T_n	$R_{FR} = 5.5, R_{SW} = 5.5$		$R_{FR} = 8.5, R_{SW} = 5.5$		$R_{FR} = 8.5, R_{SW} = 8.5$		$R = \text{Berbobot}$	
	R^*_{FR}/R_{FR}	R^*_{SW}/R_{SW}	R^*_{FR}/R_{FR}	R^*_{SW}/R_{SW}	R^*_{FR}/R_{FR}	R^*_{SW}/R_{SW}	R^*_{FR}/R_{FR}	R^*_{SW}/R_{SW}
15.83	0.86	0.86	0.57	1.38	0.89	0.89	0.87	0.87
1.58	0.73	0.73	1.13	1.14	1.18	1.18	1.13	1.13
1.45	1.17	1.17	1.34	1.34	1.50	1.50	1.30	1.30
1.34	1.24	1.24	1.27	1.26	1.47	1.47	1.30	1.30
1.25	0.97	0.97	1.07	1.09	1.28	1.28	1.09	1.09
1.18	0.97	0.97	1.10	1.08	1.28	1.28	1.07	1.07
1.12	0.78	0.78	0.90	0.90	1.12	1.12	0.85	0.85
1.02	0.72	0.72	0.68	0.71	0.72	0.72	0.70	0.70
0.95	0.57	0.57	0.72	0.72	0.68	0.68	0.69	0.69
0.89	0.54	0.54	0.63	0.62	0.66	0.66	0.54	0.54
0.83	0.57	0.57	0.60	0.60	0.73	0.73	0.62	0.62
0.79	0.83	0.83	0.89	0.91	1.00	1.00	0.88	0.88
0.11	4.46	4.46	6.04	6.62	7.98	7.98	5.49	5.49

Dengan menggunakan metode statistik, dicari nilai R^*/R yang mendekati 1. Simulasi yang menggunakan gempa sinusoidal, struktur yang mempunyai T_n/T_g lebih besar dari 1,4 s dianggap sebagai bangunan tinggi. Struktur yang mempunyai T_n/T_g lebih besar dari 0,7 s dianggap sebagai bangunan rendah. Sedangkan struktur yang mempunyai T_n/T_g diantara 0,7s sampai 1,4 s dianggap sebagai bangunan tinggi menengah. Dari hasil yang didapat, pada bangunan tinggi, nilai R yang paling mendekati R^* adalah nilai R sebesar 5,5, tetapi besar simpangan yang terjadi tidak jauh dari nilai R berbobot. Pada bangunan rendah, nilai R yang paling mendekati R^* adalah nilai R sebesar 5,5. Pada bangunan tinggi menengah, nilai R yang paling mendekati R^* adalah nilai R sebesar 5,5, tetapi perbedaan antara nilai $R = 5,5$, $R = 8,5$, $R = 6,15$ (berbobot) tidak terlalu jauh, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada bangunan tingkat menengah nilai R dapat dipilih dari 5,5 sampai 8,5. Jika dilihat secara keseluruhan, nilai R yang mendekati R^* adalah nilai $R = 5,5$. Hal ini menunjukkan bahwa pengambilan nilai R pada struktur yang mempunyai 2 subsistem yang mempunyai R yang berbeda akan lebih mendekati nilai R^* dengan menggunakan metode pada IBC. Secara lebih jelas, nilai deviasi standar dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Deviasi Standar Setiap Variasi R

Beban Gempa Sinusoidal			
Bangunan	$R = 5,5$	$R = 8,5$	R berbobot
Seluruh	0,88	1,22	0,96
Tinggi ($T_n \gg T_g$)	0,25	0,28	0,26
Rendah ($T_n \ll T_g$)	1,69	2,40	1,86
Menengah ($T_n \approx T_g$)	0,44	0,45	0,44

Beban Gempa El Centro			
Bangunan	$R = 5,5$	$R = 8,5$	R berbobot
Seluruh	1,00	1,96	1,7

Pada simulasi dengan menggunakan beban gempa El Centro (Tabel 5.3), hasil yang diperoleh sama dengan hasil pada simulasi dengan beban gempa sinusoidal. Secara umum nilai R yang paling mendekati R^* adalah nilai $R = 5,5$.

Jika dilihat dari nilai deviasi standar di atas, nilai deviasi standar yang paling kecil terdapat pada bangunan tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai variasi R yang digunakan mendekati nilai R^* pada rentang T_n/T_g besar (*long period*).

5.1.7. Sistem Ganda Untuk Variasi K (Simulasi 1)

Pada simulasi 1, variasi nilai K dengan kombinasi $K_{FR} = 10\% K_{total}$ dan $K_{SW}=90\% K_{total}$, sampai kombinasi $K_{FR} = 10\% K_{total}$ dan $K_{SW}=90\% K_{total}$, dapat dianggap sebagai sistem ganda jika frame menerima 25% dari gaya geser total struktur. Sehingga pada variasi ini dapat diubah dengan membuat frame menerima 25% dari gaya geser total struktur.

Tabel 5.4 Nilai R perlu pada sistem ganda dan sistem tunggal

Kekakuan		R perlu (sistem ganda)		R perlu (sistem tunggal)	
K_{FR}	K_{SW}	R^*_{FR}	R^*_{SW}	R^*_{FR}	R^*_{SW}
10% K_{total}	90% K_{total}	1.01	3.01	2.61	2.61
15% K_{total}	85% K_{total}	1.54	2.90	2.61	2.61
20% K_{total}	80% K_{total}	2.11	2.80	2.61	2.61
25% K_{total}	75% K_{total}	2.61	2.61	2.61	2.61

Dari Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa nilai R^* frame akan menurun jika kekuatannya diperbesar. Demikian juga pada shearwall, karena shearwall diperlemah, maka nilai R^* shearwall akan meningkat. Peningkatan nilai R^* shearwall tetap tidak melampaui nilai R_{disain} yaitu 8,5.

5.2. DISKUSI

Dari hasil-hasil simulasi parametrik yang telah dilakukan, didapat nilai-nilai penting yang dapat ditinjau.

1. Kekakuan Struktur (K)

Pada Simulasi 1 dapat dilihat bahwa persen kekakuan dari masing-masing subsistem mempunyai pengaruh yang sangat kecil dalam nilai R^* . Selama nilai

total dari Kekakuan *frame* dan *shearwall* tetap, maka R^* tidak akan berubah jauh.

2. Periode Getar Struktur/ Periode Getar Gempa (T_n/T_g)

Hubungan antara Periode getar struktur dengan Periode getar gempa sangat mempengaruhi gaya geser yang diterima oleh struktur. Makin dekat T_n dengan T_g , maka makin besar juga gaya geser yang akan diterima struktur. Gempa El Centro adalah gabungan dari beberapa gaya sinusoidal, sehingga nilai T_g dari gempa El Centro berada pada jangka waktu tertentu.

Nilai T_n pada struktur akan dipengaruhi oleh massa dan kekakuan total dari struktur tersebut. Hal ini lah yang menjadi salah satu faktor mengapa pada Simulasi 4 tidak terjadi perubahan R^* walaupun massa dan kekakuannya bertambah. Simulasi 4 dilakukan dengan nilai $T_n/T_g=1$. Penambahan massa dan kekakuan pada struktur akan meningkatkan gaya geser yang perlu ditahan oleh struktur.

Pada Simulasi 2, variasi T_n/T_g dilakukan dengan variasi yang cukup banyak. Pada bagian ini dapat dilihat bahwa R^* paling rendah terjadi pada saat struktur dan gempa beresonansi. Pada saat bersamaan, kekuatan struktur perlu menjadi lebih besar. Ketika kekuatan struktur mulai menurun, R^* akan membesar kembali. Sehingga, jika dilihat grafiknya, grafik f_s akan berkebalikan dengan grafik R^* . Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa hubungan f_s dan R adalah saling berkebalikan.

Besarnya amplitudo gaya gempa yang terjadi tidak mempengaruhi nilai R^* . Hal ini terbukti pada Simulasi 3. Percepatan gaya yang diperbesar tidak mempengaruhi nilai R^* . Pada Simulasi 3, kondisi T_n/T_g yang diberikan sama seperti simulasi lainnya. Dapat dilihat bahwa pada saat resonansi nilai R^* sama seperti nilai R^* pada setiap variasi percepatan gempa. Hal ini makin membuktikan bahwa yang mempengaruhi R^* bukanlah amplitudo dari gempa, tetapi T_n/T_g . Amplitudo gempa sangat mempengaruhi kekuatan perlu struktur f_s . Ketika amplitudo bertambah besar, maka f_s juga akan semakin besar. Dalam perencanaan struktur, besar f_s harus juga direncanakan terhadap amplitudo gempa yg mungkin terjadi.

Seperti yang sudah disebutkan di atas, gempa El Centro mempunyai T_g yang bervariasi. Sehingga untuk melihat hubungan T_n/T_g , hal yang harus dilakukan adalah mengubah nilai T_n . Pada gempa El Centro dapat dilihat bahwa pada struktur yang mempunyai T_n yang panjang, R^* memiliki nilai yang lebih kecil dari pada struktur yang mempunyai T_n yang pendek. Pada struktur yang mempunyai T_n menengah, R^* sangat bervariasi, tetapi masih berada pada jangka tertentu. Hal ini dapat membuktikan bahwa bangunan tinggi, yang mempunyai T_n yang panjang, dapat tidak terlalu memperhatikan nilai R . Tetapi pada pada bangunan yang rendah, yang mempunyai T_n yang pendek, nilai R harus sangat diperhatikan.

3. Kombinasi Faktor Reduksi Gempa (R)

Nilai R pada perencanaan struktur harus diperhatikan. Seperti dari hasil diskusi di atas, bahwa nilai R^* akan dipengaruhi oleh T_n/T_g . Jika struktur mempunyai dua subsistem dalam sistem strukturnya, maka nilai R yang akan digunakan juga harus direncanakan supaya nilai R yang digunakan menjadi optimum. Dari hasil simulasi yang dilakukan, dapat dilihat, kombinasi mana yang dapat mewakili nilai R yang optimum. Dari hasil analisa di atas, diketahui bahwa pengambil nilai R yang paling kecil dari dua subsistem yang berbeda sudah dapat mewakili nilai R^* pada bangunan tingkat rendah, bangunan tingkat tinggi, bangunan tingkat menengah. Nilai R yang digunakan sangat mendekati nilai R^* pada bangunan tingkat tinggi. Pada bangunan tingkat menengah penggunaan nilai R terkecil, nilai R terbesar dan nilai R berbobot mempunyai deviasi standar yang tidak berbeda jauh. Sehingga pada bangunan tingkat menengah dapat digunakan nilai R yang terkecil maupun nilai R berbobot. Pada bangunan tingkat tinggi, nilai R yang mempunyai deviasi standar yang terkecil adalah nilai R 5,5, tetapi antara R terkecil dan R berbobot simpangan deviasi yang terjadi tidak begitu jauh. Sehingga pada bangunan tingkat tinggi, dapat digunakan R terkecil ataupun R berbobot. Pada bangunan tingkat rendah, R yang paling mendekati R^* adalah R dengan nilai 5,5.