

PENYEDERHANAAN CARA PERHITUNGAN STRUKTUR UNTUK BANGUNAN TAHAN GEMPA TERTENTU

Ratna K. Gunawan, Anwar S, SP. Limasalle

1. Pendahuluan

Dalam kenyataannya, peraturan gempa modern makin lama makin kompleks dan makin sukar dimengerti maupun diimplementasikan. Hal ini tentunya tidak lepas dari kompleksnya masalah bangunan tahan gempa dan “misteri” dari peristiwa gempa itu sendiri. Banyak hal dan teori yang telah dapat dipelajari tentang peristiwa gempa, sehingga pengetahuan kita tentang kegempaan telah mengalami banyak kemajuan, namun ternyata masih banyak pula hal-hal mengenai gempa, termasuk pengaruh gempa terhadap bangunan yang masih kita belum mengerti sepenuhnya. Keinginan kita untuk mengadopsi pengetahuan baru yang kita pelajari dari setiap peristiwa baru akibat gempa, menjadikan peraturan gempa menjadi semakin kompleks.

Oleh karena itu timbul pemikiran, apakah untuk bangunan gedung yang sederhana dan tidak tinggi, tidak dapat diterapkan peraturan yang lebih sederhana? Kita sadar bahwa bukan cara analisis yang canggih saja yang dapat menjamin keandalan bangunan tahan gempa. Justru pendetailan rencana dan pelaksanaannya kurang lebih yang sering lebih menyebabkan kegagalan bangunan tahan gempa. Menyadur ketentuan analitis yang disederhanakan dari peraturan gempa mulai dari ASCE 7-02 dan ASCE 7-05, penulis mencoba mencari solusi yang sama untuk mengadopsi ketentuan tersebut di Indonesia. Cara analitis bangunan tahan gempa yang sederhana mungkin saja sedikit menyebabkan biaya konstruksi relatif lebih mahal. Namun keuntungan kecepatan perencanaan dan lebih fokusnya perencana pada rencana pendetailan dan pelaksanaan, dapat memberikan manfaat melebihi tambahan biaya yang harus dikeluarkan.

Agar menjadi sederhana dan mudah, cara perencanaan yang disederhanakan (lihat Commentary Chapter 4, NEHRP 2003) seyogianya tidak memerlukan perhitungan sebagai berikut :

- a. Penggunaan faktor “redundancy”
- b. Waktu getar alami bangunan (T)
- c. Pengecekan deformasi bangunan
- d. Perkiraan pengaruh $P-\Delta$
- e. Pengaruh torsi

Untuk memastikan hal-hal tersebut serta mengetahui batas-batas bangunan macam apa yang dapat direncanakan dengan cara yang disederhanakan, maka dicoba menganalisis berbagai kasus struktur bangunan dengan berbagai konfigurasi. Dari studi kasus-kasus tersebut, kiranya dapat secara garis besar ditentukan hal-hal yang dapat diabaikan peninjauannya

Dalam waktu yang relatif singkat tidak mungkin dikaji seluruh kasus berbagai konfigurasi sistim bangunan gedung rendah. Studi ini merupakan studi permulaan (preliminary), sehingga tentunya dibutuhkan studi lebih mendalam agar cara tersebut dapat secara resmi ditentukan dalam peraturan.

Sebagai dasar batasan bangunan dalam lingkup bahasan tulisan ini, sementara dibatasi bangunan gedung beton tulang beraturan (regular) dengan ketinggian sampai 4 tingkat sehingga tulisan ini tidak mencakup bangunan gedung konstruksi baja. Mungkin dalam praktek sukar sekali hanya merencanakan bangunan gedung yang benar-benar beraturan, maka dalam studi kasus akan ditinjau beberapa konfigurasi sistim struktur yang mungkin menyebabkan sedikit torsi maupun melebihi batas bangunan gedung beraturan.

Pembahasan tentang hal model yang akan dipakai sebagai peraturan yang disederhanakan adalah model "simplified design" dari ASCE 7-02 / 05, tetapi diterapkan sesuai SNI 1726-2002. Alasannya terutama adalah karena ketentuan yang disederhanakan tersebut sudah merupakan ketentuan resmi, sehingga clause-clause yang berlaku tentunya juga sudah melewati pengkajian dan penelitian yang cukup mendalam. Selanjutnya karena ingin diterapkan di Indonesia, maka kerangka peraturan gempa dan peraturan bangunan lain yang terkait dan berlaku di Indonesia tetap diikuti.

2. Batasan dan Isu Penyederhanaan

Seperti telah disebutkan dalam pendahuluan, penyederhanaan cara perhitungan berarti mengurangi sebanyak mungkin hal-hal yang perlu ditinjau. Agar cara perhitungan yang disederhanakan masih menghasilkan perencanaan yang aman, maka bentuk, konfigurasi struktur dan sistim konstruksinya, maupun cara perhitungannya dll harus berada dalam koridor yang dapat menghasilkan struktur bangunan yang aman. Hal ini tentunya menyebabkan kemungkinan biaya bangunannya lebih mahal dibanding cara perhitungan yang sangat teliti dan menjelimit. Untuk jenis bangunan tertentu, penambahan biaya bangunan dapat relatif kecil.

Mengacu pada ketentuan ASCE 7-02 /05, cara perhitungan sederhana ini hanya diperuntukkan bangunan gedung dengan syarat :

Konstruksi beton bertulang dari 1 s/d 4 tingkat dengan bentuk atau konfigurasi yang termasuk bangunan reguler (beraturan). Dalam studi kasus ini, penulis hanya meninjau sistim struktur rangka kaku beton bertulang yang pertemuan balok kolomnya dapat menahan momen.

Konstruksi baja tidak termasuk dalam kategori bangunan yang dapat dihitung dengan cara yang disederhanakan karena perencanaan konstruksi baja umumnya termasuk "controlled by consideration of drift". (lihat Commentary NEHRP 2003 hal 59).

Agar sistim rangka kaku mempunyai "redundancy" tertentu, maka pada tiap arah sumbu utama bangunan; struktur memiliki minimum 3 buah kolom dan tributari garis beban untuk per-kolom $\leq 4m$. Dengan demikian, tersedianya "redundancy" tidak perlu ditinjau. Oleh karena ketinggian dibatasi 4 tingkat dan pada tiap arah sumbu utama bangunan mempunyai minimum 3 kolom, diperkirakan waktu getar alami (T) dari sistim struktur dengan kekakuan tersebut, berada dibawah 0,6 detik ($T \leq 0.6$ detik). Sehingga sesuai SNI 1726 – 2002, gaya geser dasar dapat dihitung dengan :

$$V_b = \frac{2.5A_0W_t}{R} \text{ dimana } A_0 = \text{percepatan tanah max. akibat gempa}$$

Selanjutnya dibatasi bahwa bangunan yang dihitung dengan cara disederhanakan tidak dibangun di atas tanah lunak. Mengingat keterbatasan ukuran elemen konstruksi, agar

pendetailan tulangnya umumnya tidak terlalu sulit dalam pelaksanaan, maka nilai R yang dipilih adalah $R = 5$.

Kategori struktur yang dihitung dengan cara disederhanakan adalah struktur yang cukup kaku dan umumnya tidak dikontrol oleh deformasi antar tingkat. Untuk struktur kategori tersebut, kita tidak perlu melakukan perkiraan deformasi maupun peninjauan pengaruh $P-\Delta$ dalam cara perhitungan yang disederhanakan ini. Terakhir karena cara pembangunan bangunan struktur konstruksi beton bertulang di Indonesia umumnya menggunakan lantai pelat beton monolit, maka lantai bangunan akan merupakan diafragma yang kaku. Bangunan gedung dengan diafragma kaku yang tidak simetris pada kedua sumbu utamanya, umumnya akan mengalami torsi pada waktu terjadi gempa. Hal ini mungkin tidak praktis untuk dicegah sama sekali, sehingga dalam studi kasus akan ditinjau sistem struktur yang bagaimana akibat torsi tidak terlalu signifikan dalam penentuan dimensi maupun penulangan kolomnya. Hal-hal yang disebut di atas ini akan dibahas lebih lanjut pada bagian belakang tulisan ini.

Penulis juga mencermati isu yang berkaitan dengan cara perencanaan yang disederhanakan yang ada pada Peraturan Bangunan Indonesia yang berlaku. Isu pertama yang dilihat adalah kombinasi pembebanan akibat beban mati, beban hidup dan beban gempa. Ada 2 kombinasi beban yang ditentukan dalam struktur beton yang masih berlaku di Indonesia yaitu :

$$1,05 (D + L \pm E_x \pm 0.3E_y) \quad (1) \text{ dan}$$

$$0,9 D \pm E \quad (2)$$

Cara kombinasi (1) agak berbeda dengan kombinasi beban negara-negara lain. Peraturan Amerika (ASCE 7-05) menggunakan rumus kombinasi beban untuk hal itu sbb :

$$1,2 D \pm 1,0 E + L + 0,2 S \quad (1a) \text{ dan}$$

$$0,9 D \pm 1,0 E + 1,6 H \quad (2a)$$

Oleh karena beban salju (S) tidak ada di Indonesia, dan dalam hal yang ditinjau $H = 0$ maka paduan rumus kombinasi tersebut menjadi :

$$1,2 D \pm 1,0 E + L \quad (1b) \text{ dan}$$

$$0,9 D \pm 1,0 E \quad (2b)$$

$$\text{atau} \quad 1,2 D \pm 1,0 E + 1,2 L \quad \text{jika dianggap besaran } L = S$$

Peraturan negara-negara maju lain seperti Inggris, Canada dll lebih mendekati rumus 1 Amerika Serikat. Apa makna ketentuan kombinasi (1) peraturan Indonesia tersebut? Rumus kombinasi beban (1) Indonesia bermakna relatif memberi perhatian yang lebih besar / berat dari akibat gempa. Meskipun pada dasarnya beban gempa E adalah beban maksimum yang diperhitungkan pada struktur, namun masih diberi faktor beban 1,05 atau tambahan 5%. Hal ini dipakai sebagai salah satu pertimbangan dari cara perhitungan sederhana yang akan disarankan.

Isu kedua adalah tentang distribusi gaya gempa sepanjang ketinggian bangunan. Seperti dibahas oleh Ishiyama [11] , pembagian distribusi gaya gempa yang benar dalam perhitungan dapat mencegah kerusakan pada tingkat-tingkat tertentu bangunan. Dalam studi pemodelan kasus-kasus yang dilakukan penulis, jelas bahwa distribusi cara Statik Ekuivalen SNI 1726-02 yang merupakan "inverted triangular distribution" (distribusi berupa segitiga terbalik) untuk bangunan rendah menyebabkan beda gaya gempa dibagian atas jauh lebih besar daripada dibagian bawahnya. Pada cara penyederhanaan menurut ASCE 7-05, koefisien pembagian distribusi gaya gempa tiap tingkat sama

sehingga besarnya gaya gempa tiap tingkat hanya tergantung dari Wt_i . Besarnya gaya

gempa dasar adalah $\sum F_i$, dimana $F_i = F \frac{2.5A_o}{R} Wt_i$

Pembagian distribusi yang oleh para ahli dianggap paling mendekati kenyataan adalah yang didapat dari analisis dinamik. Pembagian distribusi gaya gempa sesuai analisis dinamis merupakan distribusi diantara distribusi cara statik ekuivalen SNI 1726-02 dan distribusi cara penyederhaan cara ASCE 7-02 / 05.

Isu selanjutnya yang penting adalah pemilihan nilai R. Pada peristiwa gempa, dianggap detail penulangan beton yang dapat menyebabkan sistim struktur dapat berlaku "inelastis" sangat penting, namun sebaliknya detail penulangan agar hubungan elemen struktur berperilaku inelastis penuh akan sangat sukar pada dimensi elemen struktur beton yang ukurannya relatif kecil. Oleh karena itu, yang akan disarankan adalah R tengah, yaitu R = 5 untuk rangka kaku penahan momen yang dijadikan model dalam analisis. Syarat pendetailannya harus diusahakan dapat memenuhi model yang dipakai dalam perhitungan.

3. Dasar Penyederhanaan Perhitungan dan Studi Kasus

Berbeda dengan ASCE 7-05 dimana yang dicari koefisien gaya gempa pertingkat (F) untuk menentukan besar gaya gempa pada tiap tingkat (F_i), dengan metode yang disederhanakan ini, dicari koefisien gaya geser pertingkat (k_i) untuk menghitung gaya geser pertingkat (V_i) dan kemudian baru ditentukan besar gaya gempa yang terjadi (F_i) pada masing-masing tingkat.

Besar gaya geser pada tingkat i ditentukan dengan rumus:

$$V_i = k_i \frac{2.5A_o}{R} \sum Wt_i \quad \text{Dimana} \quad V_i = \text{gaya geser pada tingkat } i$$

k_i = koefisien gaya geser pada tingkat i

R = faktor modifikasi diambil = 5

$\sum Wt_i$ = jumlah kumulatif berat bangunan sampai tingkat

ke i

dihitung mulai dari tingkat paling atas.

$$\text{Jika } R = 5 \rightarrow V_i = k_i \frac{A_o}{2} \sum Wt_i = k_i (0,5A_o) \sum Wt_i$$

Sesuai Tabel 11 ditentukan k_i :- Untuk lantai tingkat 1, $k_i = 1.0$

- Untuk lantai tingkat 2, $k_i = 1.2$

- Untuk lantai tingkat 3, $k_i = 1.3$

- Untuk lantai tingkat 4, $k_i = 1.4$

Kemudian dengan program struktur 3 dimensi, dihitung gaya-gaya dalam yang bekerja pada elemen-elemen struktur serta perhitungan pusat massa dan pusat kekakuan tiap lantai. Selama dalam arah sumbu utama besarnya jarak antara kedua pusat tersebut kurang dari 15% B (B = lebar minimum denah bangunan / lantai), maka perhitungan gaya-gaya dalam tidak perlu dikoreksi dan gaya-gaya dalam dari elemen struktur dapat dipakai untuk desain penampang dan tulangnya. Alasan pengambilan besaran k_i ini

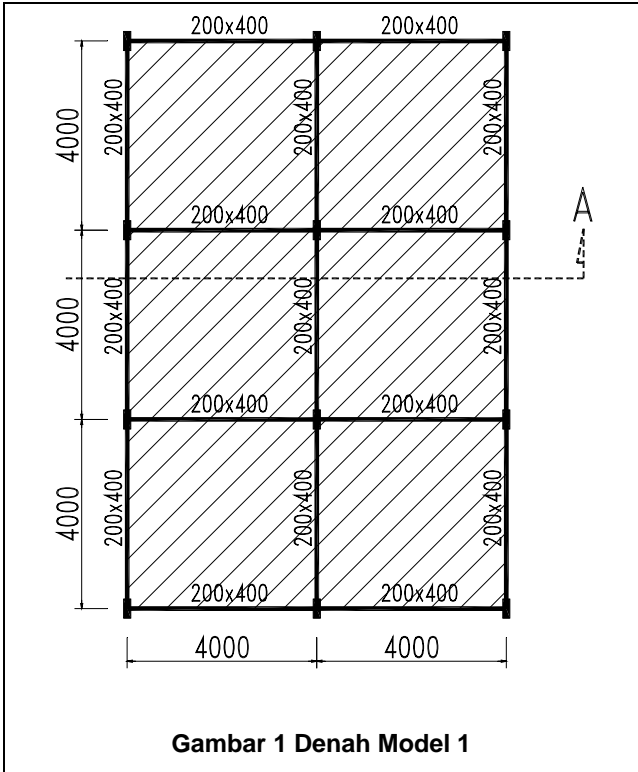
adalah hasil perbandingan antara analisis dinamis yang diskalakan, analisis yang disederhanakan (simplified) dan analisis statik ekuivalen seperti terlihat pada gambar 1 sampai 7. Syaratnya adalah agar cara perhitungan yang disederhanakan masih aman dibanding cara perhitungan statik ekuivalen atau cara dinamis dengan respons spektrum yang diskalakan dengan gaya gempa dasar ($0,8 V_1=V_d$). Berlainan dengan ASCE 7-02 / 05, dimana koefisien F hanya dibandingkan dengan besar gaya geser dasar, penulis juga memeriksa story shear pada masing-masing tingkat dari ketiga cara analisis tersebut. Seperti dibahas dalam Ishiyama pada referensi No.11., distribusi gaya gempa sepanjang ketinggian gedung.

Untuk mengkalibrasi apakah rumus sederhana dalam kenyataannya cukup aman, dilakukan studi hasil perhitungan pada beberapa sistim struktur. Semua sistim struktur dicoba mendekati sistim struktur yang dipakai dalam praktek dengan batasan-batasan yang telah dibahas sebelumnya. Perhitungan tidak sampai pada pengecekan kebutuhan penulangan, karena hal itu dengan sendirinya pasti akan dilakukan pada setiap perhitungan. Jadi jika tulangnya tidak cukup untuk ditampung dalam dimensi, maka dimensi struktur akan diperbesar

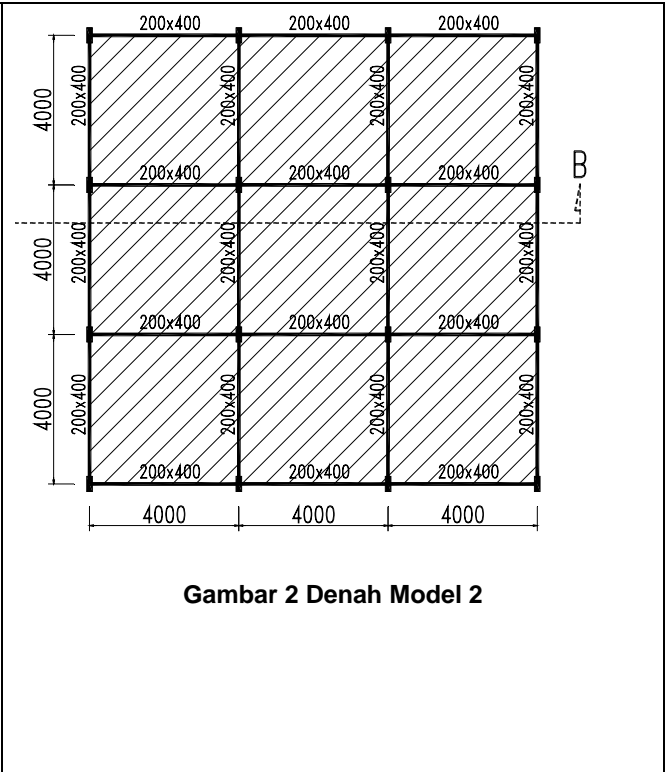
4. Metode Analisis dan Model yang Digunakan

Dalam melakukan analisis, penulis mencoba membandingkan berbagai macam model, dengan berbagai variabel yang digunakan, variabel yang digunakan dalam analisis adalah jumlah tingkat (dari 1 tingkat hingga 4 tingkat), tinggi antar tingkat (3 meter, 3.5 meter, dan 4 meter), dan 7 macam model bangunan, seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini.

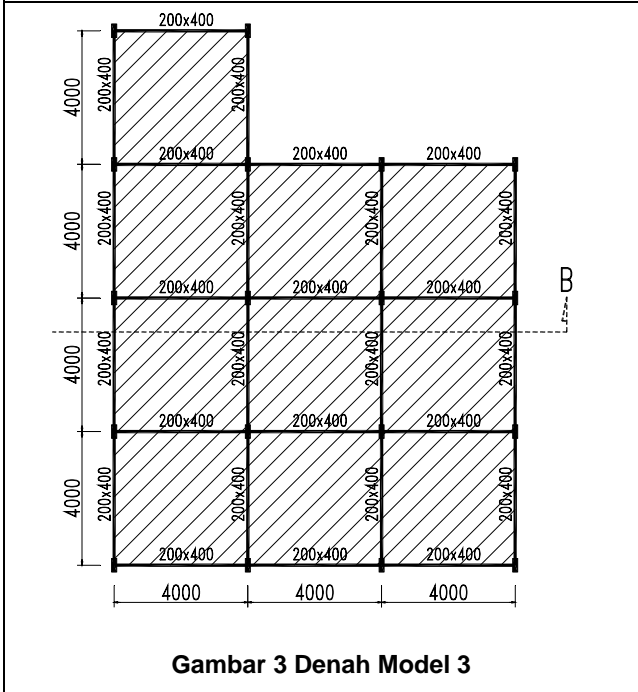
Model-model yang digunakan adalah sebagai berikut :



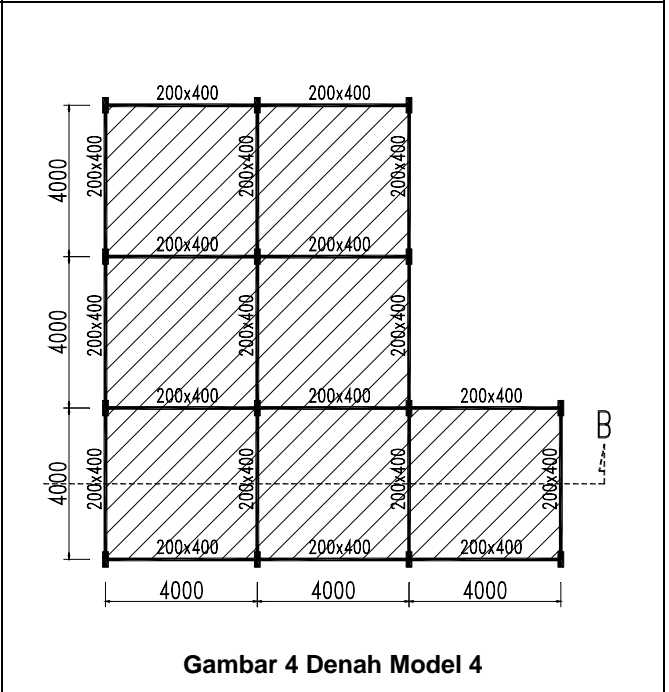
Gambar 1 Denah Model 1



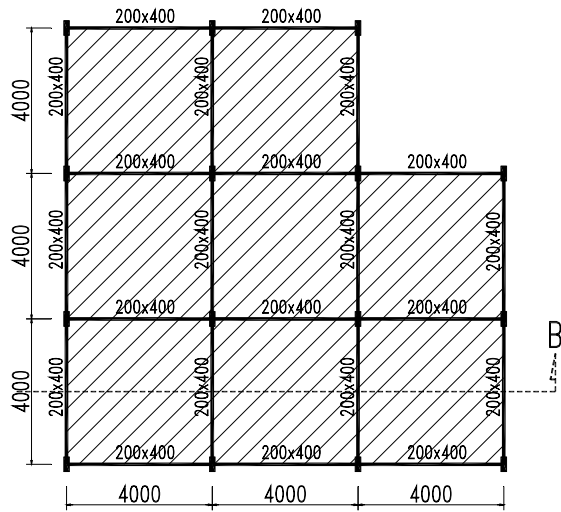
Gambar 2 Denah Model 2



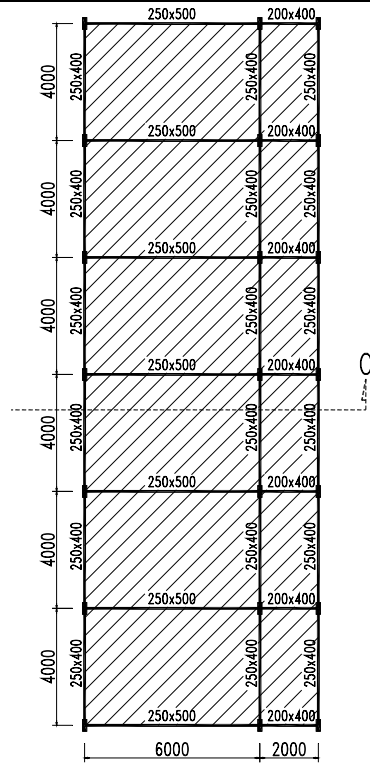
Gambar 3 Denah Model 3



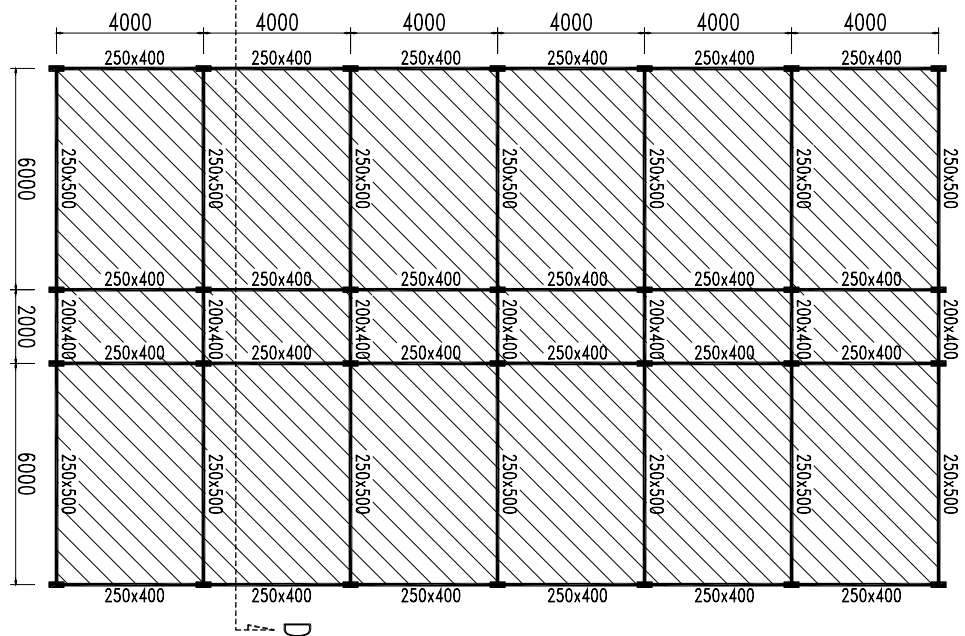
Gambar 4 Denah Model 4



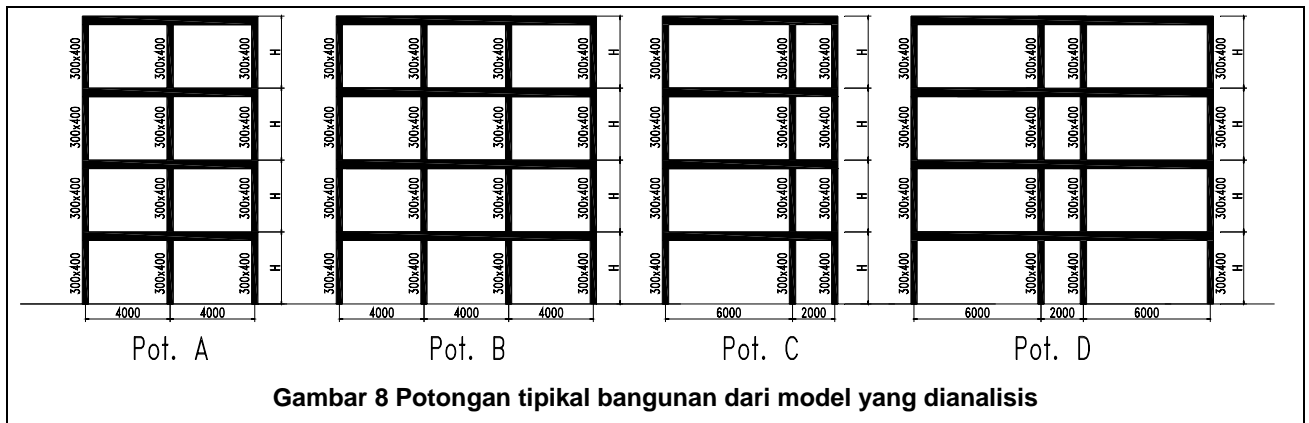
Gambar 5 Denah Model 5



Gambar 6 Denah Model 6



Gambar 7 Denah Model 7



Tabel 1 Pemodelan yang ditinjau dalam studi kasus

JUMLAH TINGKAT	TINGGI ANTAR TINGKAT	MODEL BANGUNAN
		1
1		2
2	3	3
3	3.5	4
4	4	5
		6
		7

Pada setiap model dilakukan tiga analisis, yakni analisis statik ekuivalen, analisis modal respon spektrum yang diskalakan dan analisis yang disederhanakan (simplified). Analisis dilakukan sampai menghasilkan gaya geser tingkat yang akan diterapkan pada struktur, kemudian nilai dari gaya geser akibat modal respon spektrum yang diskalakan akan dibandingkan dengan gaya geser yang didapatkan dari $\frac{2.5A_o}{R} Wt_i$, sehingga didapatkan suatu konstanta k_i

Dalam pemodelan ini, komponen struktur seperti tangga tidak dimodelkan dalam analisis yang dilakukan penulis.

Sebagai contoh, studi kasus diambil pada bangunan model ke 2 yang terletak pada tanah sedang diwilayah gempa 3, maka dicari besarnya beban Gaya Gempa per tingkat berdasarkan statik ekuivalen dan respon spektrum, didapatkan hasil analisis sebagai berikut :

Tabel 2 Tabel analisis statik ekivalen

Nama Lantai	Floor to Floor	hi	Wi	Wi.hi	Fi	Story Shear
	(m)	(m)	(kgf)		(kgf)	
	(1)	(2)	(3)	(4) = (3) x (2)	(5)	(6)
4	3.5	14	66,405.52	929,677.33	11,885.94	11,885.94
3	3.5	10.5	74,475.64	781,994.21	9,997.81	21,883.76
2	3.5	7	74,475.64	521,329.48	6,665.21	28,548.96
1	3.5	3.5	74,475.64	260,664.74	3,332.60	31,881.57
TOTAL			289,832.44	2,493,665.75	31,881.57	

Tabel 3 Tabel analisis respon spektrum yang diskalakan

Nama Lantai	Fi	Story Shear	0.8 Story Shear	MRS S.Shear	Scaled MRS	Fi
	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)
	(5)	(6)	(7) = 0.8 x (6)	(8)	(9)= FS x (8)	(10)
Metode static ekivalen			Metode dinamis			
4	11,885.94	11,885.94	9,508.76	8,169.94	8,855.53	8,855.53
3	9,997.81	21,883.76	17,507.01	15,405.54	16,698.32	7,842.79
2	6,665.21	28,548.96	22,839.17	20,630.96	22,362.24	5,663.92
1	3,332.60	31,881.57	25,505.25	23,530.64	25,505.25	3,143.01
Base shear = 31,881.57			FS =faktor skala dari gaya geser = (7)/ (8) = 1.08			

Tabel 4 Tabel analisis mencari faktor ki

Nama Lantai	MRS S.Shear	Scaled MRS	Fi	Story Shear	Faktor ki
	(kgf)	(kgf)	(kgf)	(kgf)	
	(8)	(9)	(10) = 2.5 Ao/R * Wt	(11)	(12) = (9)/(11)
Metode dinamis		Metode Simplified			
4	8,169.94	8,855.53	7,636.64	7,636.64	1.160
3	15,405.54	16,698.32	8,564.70	16,201.33	1.031
2	20,630.96	22,362.24	8,564.70	24,766.03	0.903
1	23,530.64	25,505.25	8,564.70	33,330.73	0.765

Dan dengan langkah yang sama, dicari untuk keseluruhan model, didapatkan hasil sebagai berikut

Tabel 5 Faktor nilai k_i pada bangunan 1 tingkat

FTF* (m)	Lantai	Model							MAXIMUM
		1	2	3	4	5	6	7	
3	1	0.878	0.885	0.886	0.869	0.878	0.956	0.957	0.957
3.5	1	0.957	0.957	0.956	0.955	0.957	0.956	0.957	0.957
4	1	0.957	0.957	0.956	0.956	0.957	0.956	0.957	0.957

Tabel 6 Faktor nilai k_i pada bangunan 2 tingkat

FTF* (m)	Lantai	Model							MAXIMUM
		1	2	3	4	5	6	7	
3	2	1.155	1.153	1.153	1.152	1.153	1.120	1.138	1.155
	1	0.891	0.892	0.891	0.890	0.891	0.916	0.902	0.916
3.5	2	1.157	1.155	1.155	1.155	1.156	1.121	1.140	1.157
	1	0.892	0.893	0.893	0.892	0.893	0.916	0.903	0.916
4	2	1.160	1.157	1.157	1.157	1.158	1.123	1.142	1.160
	1	0.894	0.895	0.894	0.893	0.895	0.917	0.904	0.917

Tabel 7 Faktor nilai k_i untuk bangunan 3 tingkat

FTF* (m)	Lantai	Model							MAXIMUM
		1	2	3	4	5	6	7	
3	3	1.219	1.217	1.218	1.215	1.217	1.187	1.205	1.219
	2	1.055	1.055	1.055	1.053	1.056	1.054	1.054	1.056
	1	0.860	0.861	0.860	0.858	0.860	0.889	0.872	0.889
3.5	3	1.226	1.224	1.224	1.222	1.224	1.192	1.183	1.226
	2	1.057	1.057	1.057	1.055	1.057	1.055	1.029	1.057
	1	0.862	0.863	0.862	0.861	0.862	0.889	0.851	0.889
4	3	1.142	1.131	1.125	1.158	1.143	1.068	1.074	1.158
	2	0.976	0.968	0.962	0.992	0.979	0.938	0.924	0.992
	1	0.796	0.791	0.786	0.810	0.800	0.791	0.765	0.810

*FTF = Floor to Floor (Tinggi antar tingkat)

Tabel 8 Faktor nilai k_f untuk bangunan 4 tingkat

FTF* (m)	Lantai	Model							MAXIMUM
		1	2	3	4	5	6	7	
3	4	1.259	1.256	1.257	1.253	1.256	1.200	1.153	1.259
	3	1.134	1.134	1.134	1.131	1.134	1.094	1.040	1.134
	2	0.997	0.998	0.998	0.995	0.998	0.975	0.919	0.998
	1	0.842	0.843	0.843	0.841	0.843	0.843	0.784	0.843
3.5	4	1.164	1.160	1.162	1.159	1.159	1.103	1.147	1.164
	3	1.033	1.031	1.031	1.031	1.031	0.996	1.018	1.033
	2	0.904	0.903	0.903	0.904	0.903	0.884	0.894	0.904
	1	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765
4	4	1.189	1.185	1.188	1.184	1.184	1.127	1.176	1.189
	3	1.035	1.033	1.034	1.034	1.034	1.000	1.022	1.035
	2	0.901	0.900	0.900	0.901	0.900	0.882	0.891	0.901
	1	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765	0.765

*FTF = Floor to Floor (Tinggi antar tingkat)

Tabel 9 Maksimum dari seluruh faktor nilai k_f

TINGKAT	1 TINGKAT			2 TINGKAT			3 TINGKAT			4 TINGKAT		
	FTF 3m	FTF 3.5m	FTF 4m	FTF 3m	FTF 3.5m	FTF 4m	FTF 3m	FTF 3.5m	FTF 4m	FTF 3m	FTF 3.5m	FTF 4m
4										1.259	1.164	1.189
3							1.219	1.226	1.158	1.134	1.033	1.035
2				1.155	1.157	1.160	1.056	1.057	0.992	0.998	0.904	0.901
1	0.957	0.957	0.957	0.916	0.916	0.917	0.889	0.889	0.810	0.843	0.765	0.765

*FTF = Floor to Floor (Tinggi antar tingkat)

Tabel 10 Ringkasan dari seluruh nilai k_f

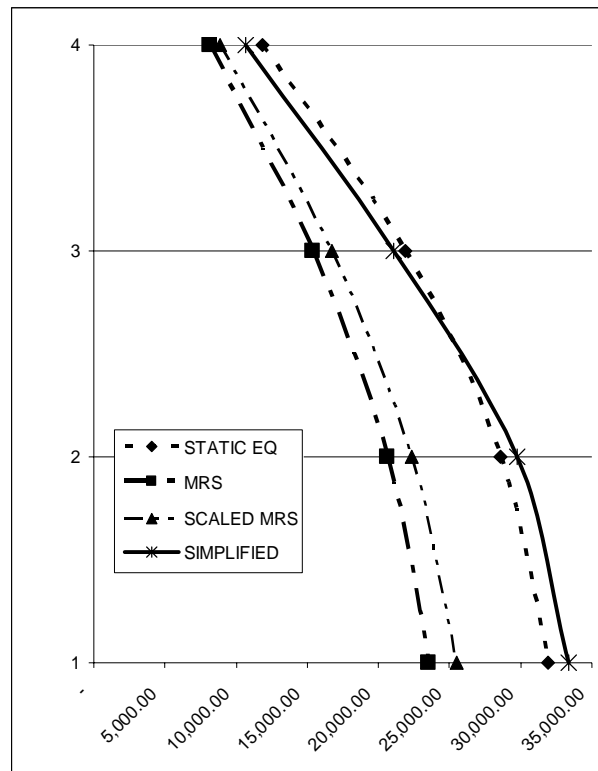
TINGKAT	Jumlah Tingkat				MAX
	1	2	3	4	
4				1.259	1.26
3			1.226	1.134	1.23
2		1.160	1.057	0.998	1.16
1	0.956	0.917	0.889	0.843	0.96

Dari hasil analisis diatas, dapat disimpulkan besarnya nilai k_i yang akan digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut :

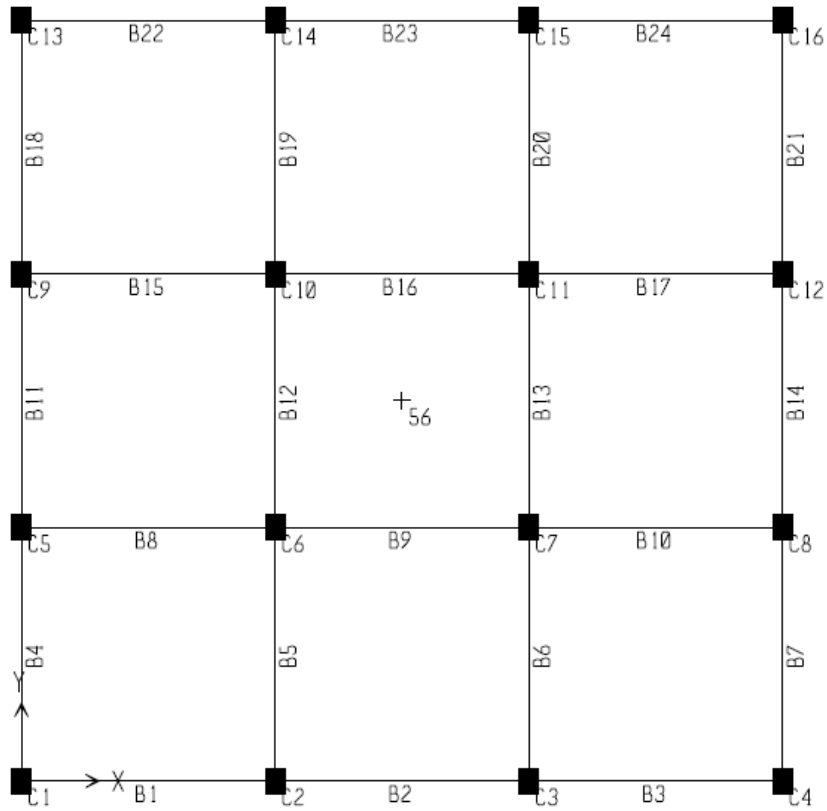
Tabel 11 Ringkasan besaran nilai k_i

TINGKAT	NILAI k_i
4	1.4
3	1.3
2	1.2
1	1

Sebagai pembuktian / verifikasi ulang, maka dicoba diterapkan didalam model 2, sehingga didapatkan gaya geser tingkat sebagai berikut :



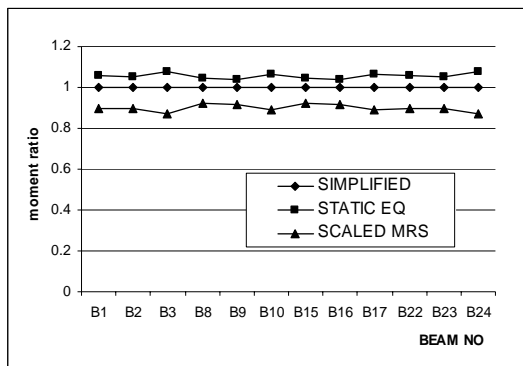
Gambar 9 Grafik perbandingan gaya geser tingkat antara statik ekuivalen, modal respon spektrum dan metode yang disederhanakan pada model 2



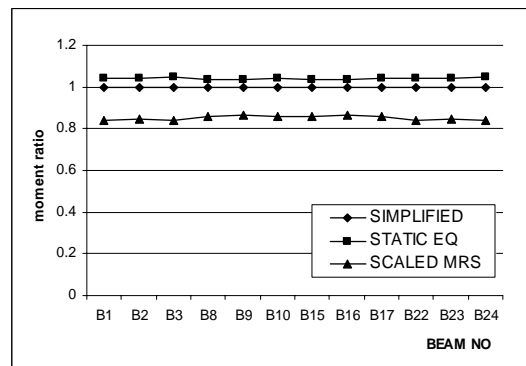
Gambar 10 Denah nama balok dan kolom dari model 2

Kemudian, setelah diaplikasikan pada struktur didapatkan gaya-dalam (momen) yang terjadi pada balok dan kolom pada model 2, dan hasilnya dapat dilihat pada grafik dibawah ini

Momen-momen yang terjadi pada balok:

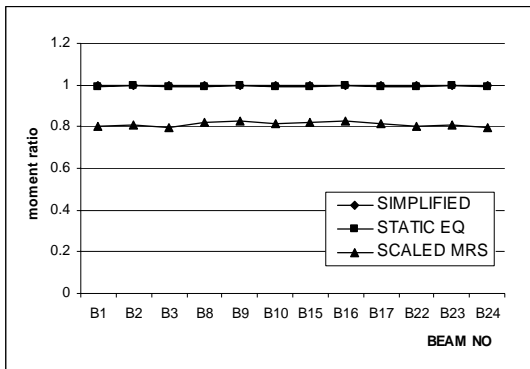


a. Rasio momen balok pada tingkat 4

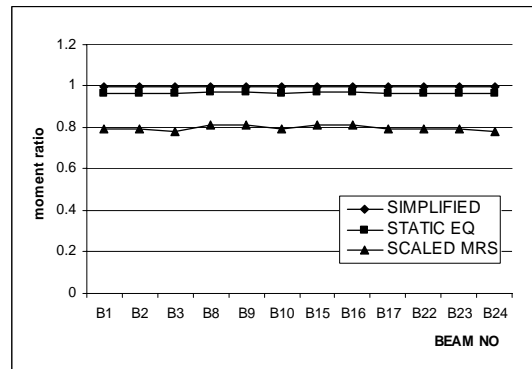


b. Rasio momen balok pada tingkat 3

Gambar 11 Grafik Rasio momen balok dibandingkan dengan momen yang terjadi pada metode yang disederhanakan (simplified)



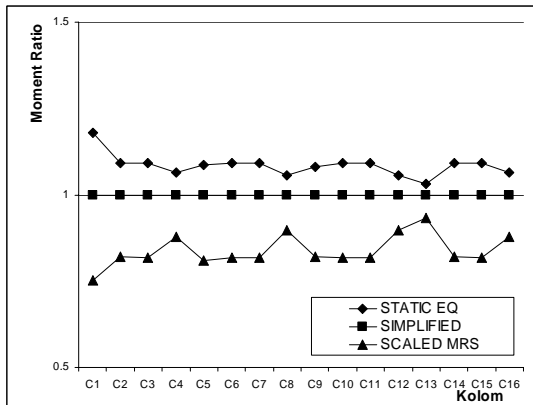
a. Rasio Momen balok pada tingkat 2



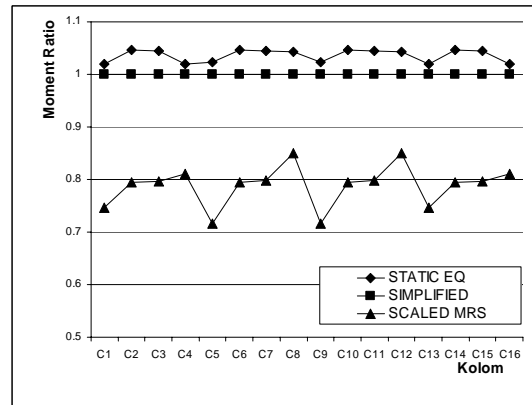
b. Rasio momen balok pada tingkat 1

Gambar 12 Grafik Rasio momen balok dibandingkan dengan momen yang terjadi pada metode yang disederhanakan (simplified)

Momen-momen yang terjadi pada kolom:

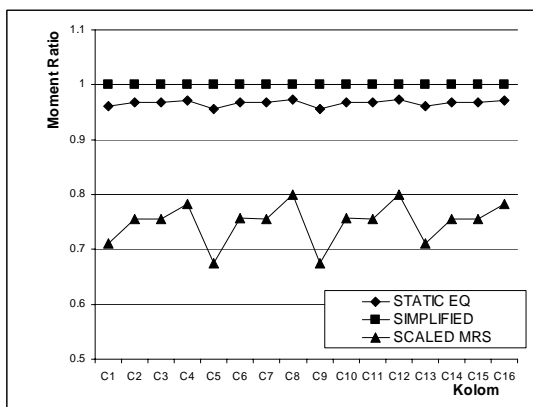


a. Rasio momen kolom pada tingkat 4

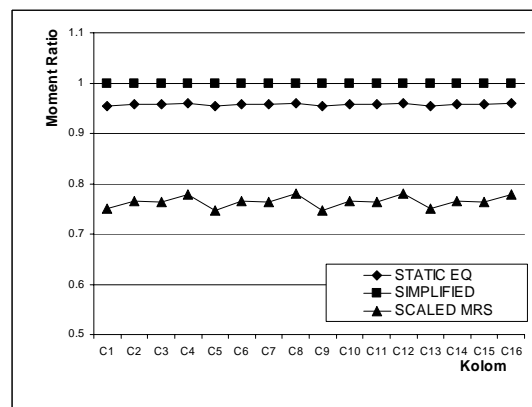


b. Rasio momen kolom pada tingkat 3

Gambar 13 Grafik Rasio momen kolom dibandingkan dengan momen yang terjadi pada metode yang disederhanakan (simplified)



a. Rasio Momen kolom pada tingkat 2



b. Rasio momen kolom pada tingkat 1

Gambar 14 Grafik Rasio momen kolom dibandingkan dengan momen yang terjadi pada metode yang disederhanakan (simplified)

Dari hasil dengan model 2 tersebut, didapatkan bahwa koefisien-koefisien yang ditetapkan dapat digunakan, dan mendapatkan hasil yang cukup konservatif ; pada model-model lain ,hasilnya akan menyerupai.

Selain itu, juga dilakukan pengecekan terhadap perpindahan antar tingkat yang terjadi akibat beban gempa yang disederhanakan

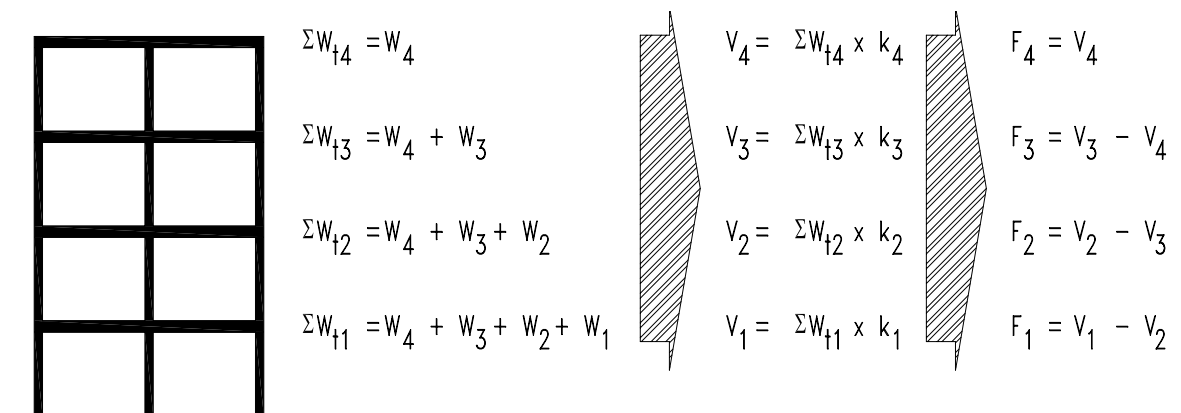
Tabel 12 Perbandingan perpindahan antar tingkat terhadap ijin

Tingkat	Perpindahan antar tingkat (Δe)	$\Delta = 0.7 R / FS \times \Delta e$	$0.02 \times (h)$	Cek
	(m)	(m)	(m)	
	(1)	(2)= $0.7 \times R / FS \times (1)$		
Tingkat 4	0.00081	0.00263	0.07	ok
Tingkat 3	0.00150	0.00485	0.07	ok
Tingkat 2	0.00204	0.00661	0.07	ok
Tingkat 1	0.00201	0.00650	0.07	ok

FS = faktor skala seperti pada Tabel 3

Dari studi kasus yang didapatkan, penulis mengusulkan perencanaan dengan menggunakan metode yang disederhanakan dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tentukan model dari bangunan yang akan dianalisis, cek apakah sudah memenuhi bangunan teratur /regular dan batasan-batasan lain.
2. Cari berat bangunan per lantai (W_{ti})
3. Cari gaya geser tingkat (V_i) dengan persamaan $V_i = k_i \frac{A_o}{2} \sum W_{t_i}$
4. Setelah didapatkan, kemudian cek perpindahan antar tingkat, harus memenuhi persyaratan yang disyaratkan dalam standar SNI 03-1726-2002.
5. Kemudian desain sesuai dengan persyaratan yang ada di SNI 03-1726-2002.



Gambar 15 Langkah-langkah penentuan gaya gempa per-tingkat (metode yang disederhanakan)

5. Kesimpulan dan saran.

Setelah analisa yang dilakukan pada berbagai macam model pada bangunan rendah, dapat disimpulkan bahwa metode yang disederhanakan seperti yang diusulkan oleh penulis cukup konservatif untuk merencanakan bangunan sederhana ,teratur dan kurang dari empat tingkat. Namun untuk bisa dijadikan sebagai suatu standar perencanaan, perlu dilakukan riset dan analisa dengan model-model bangunan yang lebih banyak lagi, sehingga verifikasi dari metode ini bisa *valid* untuk keseluruhan model yang ada.

Penulis menyarankan agar dilakukan studi yang lebih lanjut agar pengembangan metode disederhanakan ini bisa digunakan secara luas sebagai suatu standar perencanaan minimum yang dapat digunakan oleh para perencana di Indonesia, sehingga dapat membantu para perencana dalam merencanakan bangunan sederhana kurang dari 4 tingkat.

6. Daftar Referensi

1. ASCE Standard ASCE/SEI 7-02 (2002). Minimum Design Loads for Buildings and other Structures”, American Society of Civil Engineers
2. ASCE Standard ASCE/SEI 7-05 (2005). Minimum Design Loads for Buildings and other Structures, American Society of Civil Engineers.
3. Anwar Susanto (2007). Perencanaan Bangunan Rendah dengan metode Disederhanakan. Proyeksi Edisi 32 Tahun III , 16 April – 15 Mei 2007.
4. FEMA 368 (2000). NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures Part 1 : Provisions and Part 2 : Commentary. Building Seismic Safety Council. Washington D.C.
5. FEMA 450 (2003). NEHRP Recommended Provisions For Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures Part 1 : Provisions and Part 2 : Commentary. Building Seismic Safety Council. Washington D.C.
6. International Building Code 2000 (2000). Structural Engineering Design Provisions. International Conference of Building Officials.
7. International Building Code 2003 (2003). Structural Engineering Design Provisions. International Conference of Building Officials
8. Limasalle, S.P. & Ratna, K.G. (2005). Beban Gempa Rencana Minimum Untuk Bangunan dengan Periode Getar Alami Tinggi. Jurnal HAKI Vol. 6 No.1. Jakarta.
9. Limasalle, S.P, Anwar Susanto dan Ratna K. Gunawan (2006). Ketentuan-ketentuan SNI 03-1726-2002 yang perlu diubah. Seminar HAKI Konstruksi Indonesia di Millenium ke 3 pada tanggal 22-23 Agustus 2006, Jakarta
10. SNI 03-1726-2002 (2002). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
11. Yuji Ishiyama (1986). Distribution of Lateral Seismic Forces along the height of a Building, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan