

**GAYA GESER DASAR SEISMIK BERDASARKAN
SNI-03-1726-2002 DAN SNI-03-1726-2012
PADA STRUKTUR GEDUNG GRAND EDGE, SEMARANG**

SEISMIC BASE SHEAR BASED ON SNI-03-1726-2002 AND SNI-03-1726-2012 OF GRAND EDGE BUILDING STRUCTURE

Agustinus Agus Setiawan

**Universitas Pembangunan Jaya, Tangerang-Banten
agustinus@upj.ac.id**

Abstrak

Struktur bangunan gedung Grand Edge Hotel dan *Mall* yang berlokasi di kota Semarang direncanakan sebagai suatu struktur gedung beton bertulang yang terdiri atas 13 lapis lantai. Struktur pemikul beban terdiri dari Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus. Pada tahap awal desain, struktur direncanakan terhadap beban gempa sesuai dengan SNI 03-1726-2002 (Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung), yang didasarkan pada gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun. Seiring dengan ditetapkannya SNI 03-1726-2012 (Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung) yang didasarkan pada gempa rencana periode ulang 2.500 tahun, maka perhitungan gaya gempa harus didesain ulang. Studi ini bertujuan untuk melakukan perbandingan antara kedua tata cara tersebut ditinjau dari perubahan gaya geser dasar seismik serta pemeriksaan terhadap kinerja struktur gedung ditinjau dari simpangan antarlantai yang terjadi. Hasil analisis dinamis yang diperoleh menggunakan program ETABS v.9.0.0 menunjukkan terjadi peningkatan gaya geser dasar seismik sebesar 107 %, dalam arah X maupun dalam arah Y. Hasil analisis statik ekuivalen SNI 2012 menghasilkan kenaikan gaya geser dasar seismik sebesar 148,31% dan 172,84% di kedua arah, dibandingkan hasil SNI 2002. Ditinjau dari syarat simpangan antarlantai, struktur gedung tersebut tidak melebihi ketentuan, baik menurut SNI 2002 maupun SNI 2012. Pengaruh beban gempa pada kombinasi pembebanan dalam SNI 2012 mengalami kenaikan 30%

Kata Kunci: beban gempa, gaya dalam, gaya geser dasar seismik, periode ulang

Abstract

Grand Edge Hotel and Mall building located in Semarang was originally designed as a 13 story reinforced concrete building. This load resisting structure consists of a Special Moment Resisting Frames. In the early stages of design, the structure was aimed to resist earthquake based on SNI 03-1726-2002 (Earthquake Resilience Standard Planning for Building Structure), which is based on the earthquake with return period of 500 years. Along with the adoption of SNI 03-1726-2012 (Earthquake Resilience Standard Planning for Building Structure and Non-Building Structure), which is based on earthquake with return period of 2500 years, the calculation of earthquake force must be redesigned. This study purpose was to make a comparison between the two codes, in terms of seismic base shear changes and examination of the structural building performance related to the drift ratio occurred. The dynamic analysis results using ETASB program v.9.0.0 showed that the seismic base shear increased 107% in the X and Y direction. While the results of SNI 2012 equivalent static analysis demonstrated that seismic base shear force increased about 148,31% and 172,84% for both direction in comparison to the results of SNI 2002. In view of the drift ratio, the the building structure did not exceed the requirements, according to both SNI 2002 and SNI 2012. The effect of earthquake loading in SNI 2012 loading combination increased by 30%

Keywords: *earthquake loading, internal forces, seismic base shear, return period*

Tanggal Terima Naskah : 10 September 2014

Tanggal Persetujuan Naskah : 03 Oktober 2014

1. PENDAHULUAN

Indonesia yang terletak dalam pengaruh tiga buah lempeng besar, yaitu Lempeng Samudra Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Samudra Pasifik termasuk dalam daerah rawan gempa [1]. Untuk menghindari kerugian, baik materiil maupun non materiil, yang timbul pada saat gempa bumi terjadi maka struktur bangunan harus dirancang tahan gempa. Menurut Imran [2] gedung yang direncanakan tahan gempa akan mampu mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang dan bolak-balik akibat beban gempa dan struktur tetap dapat berdiri meskipun sudah berada dalam ambang keruntuhan. Di Indonesia sendiri terdapat peraturan yang mengatur tentang tata cara perencanaan ketahanan terhadap gempa, yaitu yang termuat dalam SNI 03-1726-2002 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung [3]. Namun setelah 10 tahun berjalan, tata cara ini diubah seiring dengan keluarnya peraturan baru yang termuat dalam SNI 03-1726-2012 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Peraturan gempa tahun 2002 didasarkan pada gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun (probabilitas kejadian 10% dalam kurun waktu 50 tahun), sedangkan peraturan gempa 2012 dibuat berdasarkan gempa rencana dengan periode ulang 2.500 tahun (probabilitas kejadian 2% dalam kurun waktu 50 tahun), sehingga nampak terjadi perubahan yang cukup signifikan, ditinjau dari beban gempa rencana yang harus diberikan pada struktur. Meskipun demikian, tidak selalu lokasi dengan tingkat resiko gempa tinggi menurut SNI 2002 mengalami kenaikan respon spektranya pula pada SNI 2012 [4].

Struktur gedung Grand Edge Hotel dan *Mall* yang terletak di kota Semarang merupakan struktur gedung yang direncanakan sebagai struktur beton bertulang, yang berupa Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus. Pada tahap awal desain, struktur ini direncanakan terhadap beban gempa yang ditentukan dalam SNI 03-1726-2002 [5]. Namun seiring dengan perjalanan proses desain, terbitlah peraturan gempa baru SNI 03-1726-2012. Untuk mengakomodasi perubahan-perubahan terhadap beban gempa rencana, maka struktur tersebut harus didesain ulang untuk mematuhi kaidah yang berlaku sesuai etika keprofesionalan.

Studi ini bertujuan untuk melakukan perbandingan antara kedua tata cara tersebut ditinjau dari perubahan gaya geser dasar seismik secara statik ekuivalen dan secara analisis dinamik metode ragam spektrum respon.

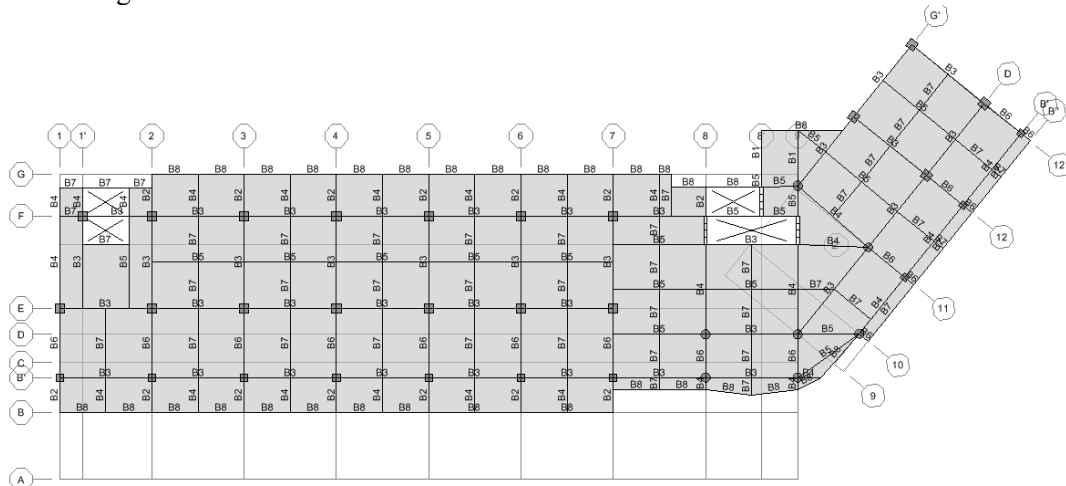
2. METODE PENELITIAN

Struktur gedung Grand Edge Hotel dan *Mall* yang terdiri atas 13 lapis lantai, berlokasi di kota Semarang dan berdiri pada lapisan tanah keras, akan dianalisis secara dinamik (menggunakan metode ragam spektrum respon) dan secara statis ekuivalen menggunakan dua macam beban gempa yang merujuk pada SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012. Tipe struktur yang dipilih adalah Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus [2]. Tinggi total struktur adalah 37,00 m dihitung dari taraf penjepitan lateral. Sebagai alat bantu dalam melakukan analisis struktur digunakan program ETABS v9.0.0 [6]. Mutu beton yang digunakan adalah $f'_c = 25$ MPa, dan mutu baja tulangan digunakan $f_y = 400$ MPa. Nilai Modulus Elastisitas, $E_c = 4.700\sqrt{f'_c} = 23.500$ MPa. Beban yang bekerja terdiri dari:

Beban mati (DL): berupa berat sendiri struktur, yang sudah dihitung oleh program
 Beban mati tambahan (SDL): berupa beban *finishing*, lantai, *plafond*, serta *ducting/ME*, yang dihitung sebesar 109 kgf/m^2

Beban hidup (LL): sebagai bangunan *mall/hotel*, sebesar 250 kgf/m^2 .

Gambar 1 menunjukkan salah satu denah lantai tipikal dari struktur gedung Grand Edge Hotel dan Mall.

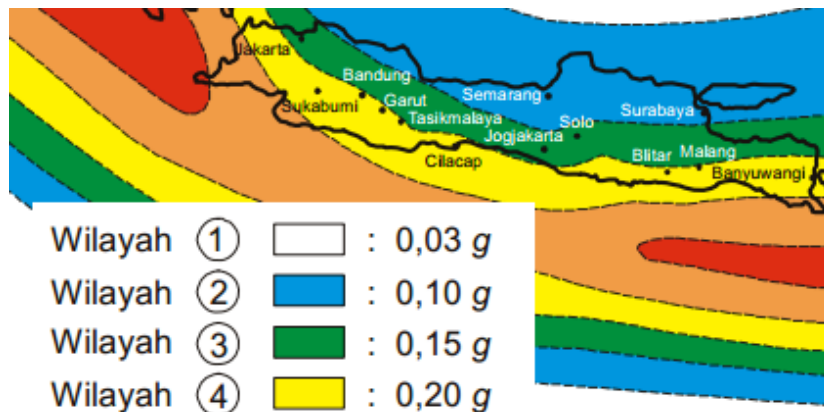


Gambar 1. Denah balok-kolom lantai tipikal elevasi +14.00

3. HASIL DAN ANALISIS

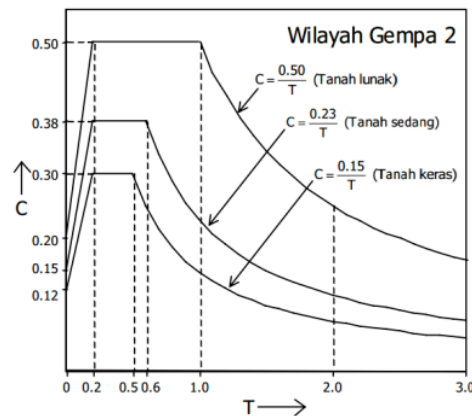
3.1. Spektrum Respon Desain

Spektrum Respon Desain Menurut SNI 03-1726-2002. Kota Semarang berdasarkan peta zonasi gempa pada SNI 03-1726-2002 digolongkan ke dalam Wilayah Gempa 2, dengan percepatan puncak batuan dasar sebesar $0,10g$, dan berdasarkan hasil penyelidikan tanah, bangunan berada pada lapisan tanah keras.



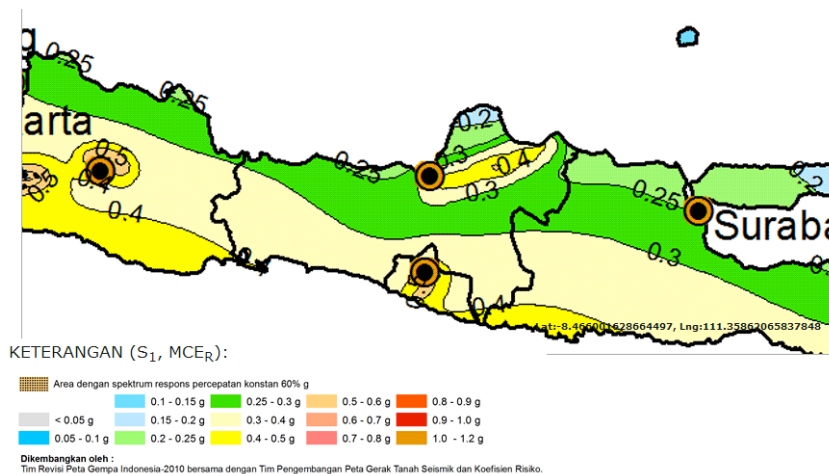
Gambar 2. Wilayah gempa Kota Semarang berdasarkan SNI 03-1726-2002

Berdasarkan zonasi gempa dan lapisan tanah keras tersebut, maka spektrum respon desain sudah disediakan dalam SNI 03-1726-2002, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 berikut ini.

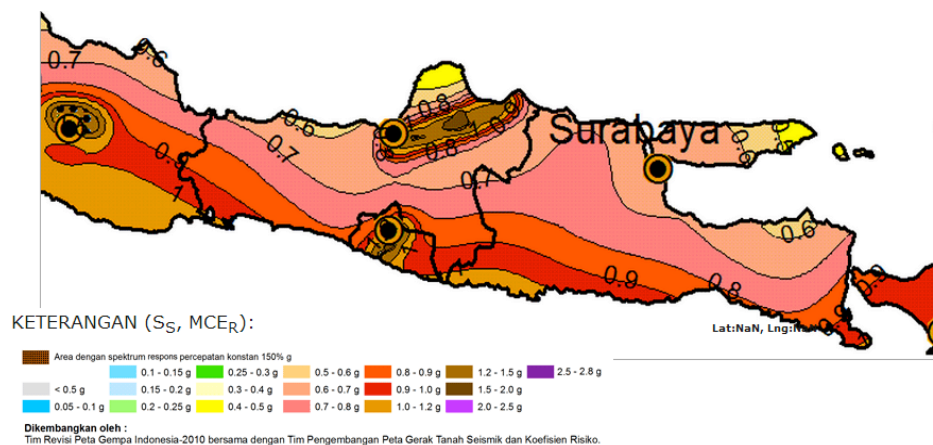


Gambar 3. Spektrum respon desain wilayah gempa II berdasarkan SNI 03-1726-2002

Spektrum Respon Desain Menurut SNI 03-1726-2012. Berbeda dengan SNI 03-1726-2002, maka pada SNI 03-1726-2012 spektrum respon desain tidak disediakan langsung dalam peraturan, namun dibuat berdasarkan nilai S_s (spektrum respon percepatan 0,2 detik di batuan dasar) serta S_1 (spektrum respon percepatan 1 detik di batuan dasar). Kedua nilai ini dapat diperoleh dari peta gempa Indonesia pada Gambar 3 dan 4, untuk kota Semarang kedua nilai tersebut adalah $S_s = 0,83g$ dan $S_1 = 0,29g$.



Gambar 4. Peta percepatan batuan dasar periode 1 detik (s_1) 2% dalam 50 tahun Kota Semarang



Gambar 5. Peta percepatan batuan dasar periode pendek (S_s) 2% dalam 50 tahun Kota Semarang

Dari nilai S_s dan S_1 , serta kelas situs C (untuk lapisan tanah keras) dapat ditentukan nilai koefisien situs F_a dan F_v , berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, yaitu $F_a = 1,068$ dan $F_v = 1,51$ (setelah dilakukan interpolasi linier). Parameter percepatan spektral desain, S_{DS} dan S_{D1} selanjutnya dapat dihitung sebagai berikut:

- $S_{DS} = 2/3(F_a)(S_s) = 2/3(1,068)(0,83g) = 0,591g$
- $S_{D1} = 2/3(F_v)(S_1) = 2/3(1,51)(0,29g) = 0,2919g$

Dengan nilai S_{DS} dan S_{D1} tersebut, maka struktur termasuk ke dalam Kategori Desain Seismik (KDS) D. Struktur rangka pemikul momen khusus diperbolehkan digunakan untuk tiap struktur dengan KDS D.

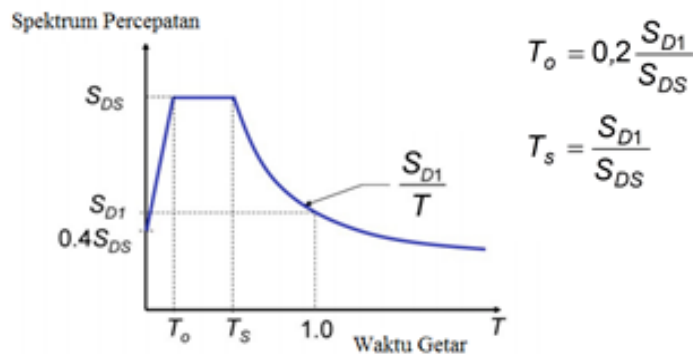
Tabel 1. Koefisien situs, F_a (Sumber: SNI 03-1726-2012)

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Tabel 2. Koefisien situs, F_v (Sumber : SNI 03-1726-2012)

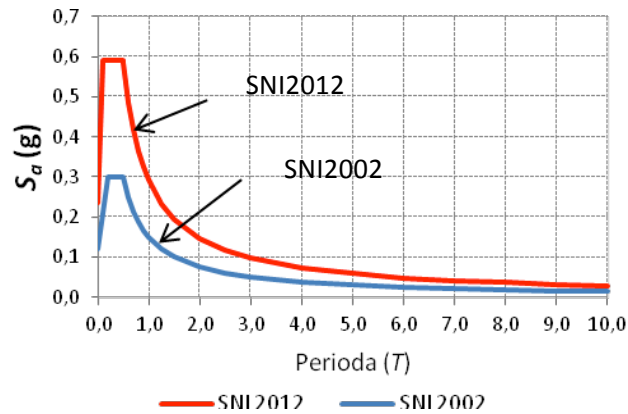
Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa MCE_R Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 1$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Selanjutnya kurva spektrum respon dibuat sesuai prosedur dalam pasal 6.4 SNI 03-1726-2012 yang diringkaskan dalam Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum respon desain menurut SNI 03-1726-2012

Gambar 6 menunjukkan perbandingan kurva spektrum respon yang dihasilkan dari SNI 03-1726-2002 dan 2012. Dari gambar tersebut nampak jelas bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada kurva spektrum respon dari kedua peraturan tersebut, khusus untuk lokasi bangunan yang berada pada lapisan tanah keras pada kota Semarang.



Gambar 7. Spektrum respon gempa rencana

3.2. Waktu Getar Alami

Nilai waktu getar alami struktur diperoleh melalui analisis dinamis dengan bantuan program ETABS, waktu getar diperoleh dari dua kondisi, yaitu kondisi penampang utuh (*uncrack*), dan kondisi penampang retak (*crack*) yang diperoleh melalui reduksi momen inersia penampang. Selain itu, waktu getar alami juga dibandingkan terhadap batasan rumus empiris yang ditetapkan dalam peraturan. SNI 03-1726-2002 mensyaratkan bahwa waktu getar alami fundamental, T_1 , tidak boleh diambil lebih besar daripada:

$$T_1 < \zeta n \dots\dots\dots (1)$$

Dengan koefisien ζ diambil berdasarkan wilayah gempa, dan n adalah jumlah lantai tingkat. Untuk wilayah Gempa 2 sesuai SNI 03-1726-2002, maka nilai ζ diambil sebesar 0,19, dan jumlah lantai tingkat adalah sebanyak 13 sehingga $T_1 = 0,19(13) = 2,47$ detik. SNI 03-1726-2012 memberikan rumus empiris untuk perhitungan waktu getar untuk suatu struktur rangka pemikul momen, yang menyebutkan bahwa waktu getar alami tidak perlu diambil lebih besar daripada:

$$T_1 < C_u(C_t h_n^x) \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

C_u adalah koefisien batas atas waktu getar, yang diambil sebesar 1,4 untuk nilai $S_{D1} = 0,29$. C_t dan x adalah parameter yang ditetapkan berdasarkan tipe struktur, untuk tipe struktur rangka beton pemikul momen, maka nilai $C_t = 0,0466$, dan $x = 0,9$

h_n adalah tinggi struktur bangunan dari taraf penjepitan, yaitu = 37 m

Waktu getar empiris menurut SNI 03-1726-2012 adalah sebesar 1,4 ($C_t \cdot h_n^x$) = $1,4 \times 0,0466(37)^{0,90} = 1,68$ detik. Selain dilakukan perhitungan waktu getar secara empiris, juga dilakukan perhitungan waktu getar dengan mempergunakan *software* ETABS untuk kondisi penampang utuh (belum retak) dan kondisi penampang retak. Hasil analisis waktu getar harus menunjukkan bahwa respon struktur paling tidak harus dominan dalam translasi untuk gerak ragam pertama. Tabel 3 menunjukkan *output* rasio partisipasi ragam untuk lima ragam pertama. Dari tabel tersebut terlihat bahwa ragam pertama dan kedua

didominasi oleh translasi dalam arah y dan x , sedangkan ragam ketiga merupakan gerak rotasi.

Tabel 3. Rasio partisipasi ragam untuk lima ragam pertama

Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	1,85	0,01	31,31	0,00	0,01	31,31	0,00	57,01	0,01	20,00	57,01	0,01	20,00
2	1,69	48,23	2,20	0,00	48,24	33,52	0,00	3,90	27,99	4,63	60,91	28,01	24,63
3	1,54	5,53	20,14	0,00	53,77	53,66	0,00	36,20	3,73	28,56	97,11	31,74	53,19
4	0,53	0,01	3,15	0,00	53,78	56,81	0,00	0,09	0,02	2,49	97,21	31,76	55,68
5	0,52	5,90	0,05	0,00	59,68	56,86	0,00	0,00	9,66	0,08	97,21	41,42	55,76

Tabel 4 merangkum hasil perhitungan waktu getar alami struktur, yang dihitung menurut cara empiris sesuai SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012, serta hasil perhitungan dari *software* yang mempertimbangkan kondisi penampang utuh (belum retak) dan kondisi penampang retak.

Tabel 4. Waktu getar alami struktur

Waktu Getar	Empiris (detik)		Hasil Output Etabs (detik)	
	SNI 2002	SNI 2012	Penampang retak	Penampang utuh
T_{1x}	2,47	1,68	2,02	1,69
T_{1y}	2,47	1,68	2,18	1,85

Menurut Tumilar, waktu getar maksimum yang diambil adalah berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus empiris (SNI 2002 dan 2012), namun tidak perlu lebih kecil dari hasil *output* ETABS pada kondisi utuh. Oleh karena itu, dari hasil dalam Tabel 4 maka waktu getar alami untuk arah x , T_{1x} diambil sebesar 1,69 detik, sedangkan dalam arah y , T_{1y} diambil sebesar 1,85 detik [7].

3.3. Gaya Geser Dasar Seismik Statik Ekvivalen

Gaya Geser Dasar Menurut SNI 03-1726-2002. Gaya geser dasar dihitung berdasarkan persamaan:

$$V = \frac{C \cdot I}{R} W_t \dots\dots\dots (3)$$

dengan C adalah faktor respon gempa yang didapat dari spektrum respon desain menurut Gambar 7 dengan mempertimbangkan waktu getar alami di kedua arah, maka untuk arah x , $C_x = 0,089$ dan untuk arah y , $C_y = 0,081$, I adalah faktor keutamaan yang diambil sebesar 1,00 untuk gedung hunian, R adalah faktor modifikasi respon, yang diambil sebesar 8,50 untuk struktur rangka pemikul momen khusus dan berat bangunan $W_t = 14.342.890$ kgf.

maka $V_x = 0,089(1,0)(14.342.890)/8,50 = 150.178,49$ kgf

$V_y = 0,081(1,0)(14.342.890)/8,50 = 136.679,30$ kgf

Gaya Geser Dasar Menurut SNI 03-1726-2012. Gaya geser dasar dihitung dengan persamaan

$$V = C_s W \dots\dots\dots (4)$$

Koefisien C_s ditentukan dari persamaan $C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} = \frac{0,591}{8,0/1,0} = 0,074$, dengan S_{DS} adalah

Parameter percepatan spektral desain periode pendek yang besarnya 0,591, R adalah faktor modifikasi respon, yang diambil sebesar 8,0 untuk struktur rangka pemikul momen khusus, I_e adalah faktor keutamaan hunian yang diambil sebesar 1,0, sehingga $C_s = 0,591/(8,0/1,0) = 0,074$, nilai ini tidak perlu lebih besar daripada:

$$C_{Sx \text{ maks}} = \frac{S_{D1}}{T_x(R/I_e)} = \frac{0,2919}{1,69(8)} = 0,0216, \text{ untuk arah } x, \text{ dan}$$

$$C_{Sy \text{ maks}} = \frac{S_{D1}}{T_y(R/I_e)} = \frac{0,2919}{1,85(8)} = 0,0197 \text{ untuk arah } y.$$

Namun, untuk kedua arah nilai C_s tidak kurang dari $C_{s \text{ min}} = 0,044S_{DS}I_e = 0,044(0,591)(1,0) = 0,026 > 0,01$. Jadi digunakan $C_{sx} = C_{sy} = C_{s \text{ min}} = 0,026$ sedangkan berat bangunan W adalah sebesar 14.342.890 kgf yang diambil dari unsur beban mati struktur. Oleh karena itu, $V_x = V_y = 0,026(14.342.890) = 372.915,14$ kgf. Tabel 5 merangkum hasil perhitungan waktu getar alami serta gaya geser dasar seismik yang dihitung berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012.

Tabel 5. Waktu getar alami dan gaya geser dasar seismik

Waktu Getar Alami	Gaya Geser Dasar Seismik (SNI 03-1726-2002)	Gaya Geser Dasar Seismik (SNI 03-1726-2012)
$T_{1x} = 1,85$ detik	$V_x = 150.178,49$ kgf	$V_x = 372.915,14$ kgf
$T_{1y} = 1,69$ detik	$V_y = 136.679,30$ kgf	$V_y = 372.915,14$ kgf

Dari hasil perhitungan ini, nampak bahwa gaya geser dasar seismik yang dihasilkan menurut peraturan SNI 03-1726-2012 mengalami kenaikan 148,31% dalam arah x , dan naik 172,84% dalam arah y . Nilai faktor respon gempa pada hasil perhitungan dengan SNI 03-1726-2012 untuk kedua arah lebih ditentukan oleh syarat batas minimum, dimana syarat ini tidak terdapat pada SNI 03-1726-2002. Selain itu, kurva spektrum respon dari kedua peraturan ini memang menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan (yang dipengaruhi oleh perbedaan gempa rencana dengan periode ulang yang berbeda). Nilai faktor modifikasi respon, R juga berbeda. Untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus pada peraturan SNI 03-1726-2002, nilai R boleh diambil sebesar 8,50 sedangkan pada peraturan SNI 03-1726-2012 nilai R hanya dibatasi sebesar 8,0 untuk jenis sistem struktur yang sama.

3.4. Distribusi Vertikal Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik selanjutnya didistribusikan vertikal ke lantai di atasnya, dengan menggunakan persamaan dalam SNI 03-1726-2002:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{i=1}^n W_i z_i} V \dots\dots\dots (5)$$

dengan:

V adalah gaya geser dasar seismik

W_i adalah berat lantai tingkat ke- i

z_i adalah ketinggian lantai tingkat ke- i diukur dari taraf penjepitan

Menurut SNI 03-1726-2012 distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$F_x = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} V \dots\dots\dots (6)$$

dengan:

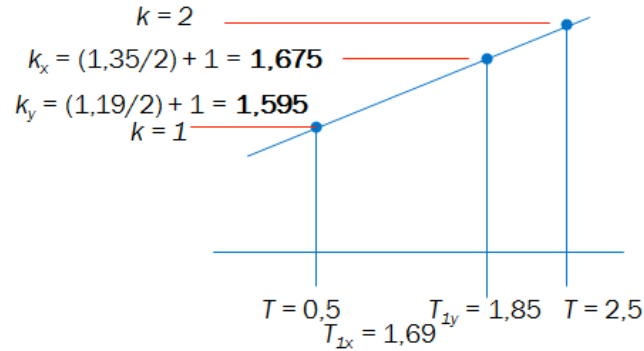
C_{vx} adalah faktor distribusi vertikal

V adalah gaya geser dasar seismik

w_i, w_x adalah bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang dikenakan pada tingkat i atau x

h_i, h_x adalah tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x
 k adalah eksponen yang terkait dengan periode struktur, ditentukan sebagai berikut:
 = 1, untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik
 = 2, untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik
 = 2, atau dilakukan interpolasi linier antara 1 dan 2, untuk $0,5 < T < 2,5$

Perhitungan interpolasi linier nilai k untuk $T_{ix} = 1,69$ detik dan $T_{iy} = 1,85$ detik dilakukan seperti dalam Gambar 3.



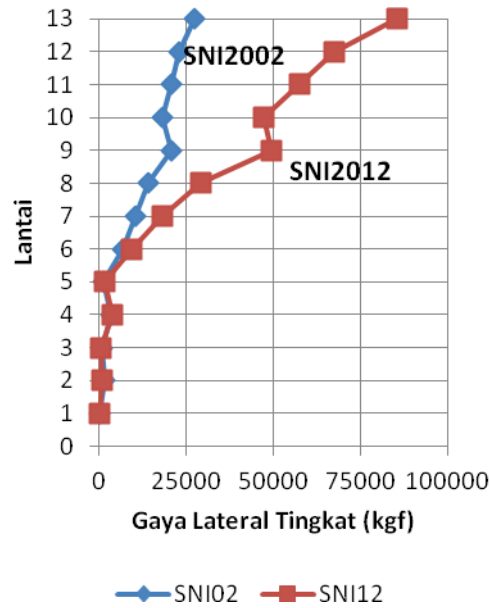
Gambar 8. Perhitungan nilai k

Dari hasil tersebut diperoleh, nilai k sebesar 1,595 untuk arah x dan 1,675 untuk arah y . Tabel 6 menunjukkan hasil distribusi vertikal gaya geser dasar seismik, sesuai SNI 03-1726-2002 dan 2012.

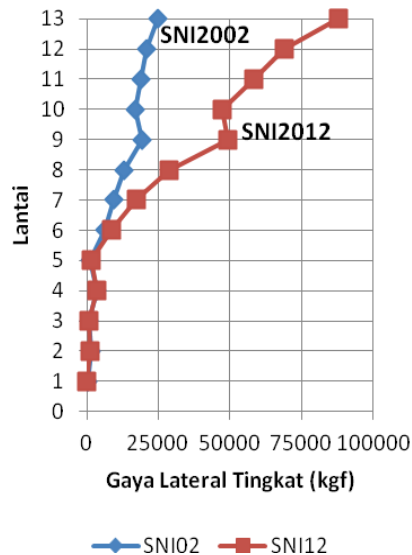
Tabel 6. Distribusi vertikal gaya geser dasar

Story	Tinggi tingkat, h_i (m)	SNI 2002				SNI 2012			
		F_x (kgf)	Static Story Shear (kgf)	F_y (kgf)	Static Story Shear (kgf)	F_x (kgf)	Static Story Shear (kgf)	F_y (kgf)	Static Story Shear (kgf)
+27.70	36,70	27.374,18	27.374,18	24.913,58	24.913,58	87.863,41	87.863,41	85.608,17	85.466,31
+24.20	33,20	22.981,09	50.355,27	20.915,38	45.828,95	68.937,62	156.801,03	67.708,88	153.096,88
+21.00	30,00	20.766,05	71.121,32	18.899,44	64.728,39	58.173,89	214.974,92	57.602,17	210.661,59
+17.50	26,50	18.406,94	89.528,26	16.752,39	81.480,77	47.423,11	262.398,03	47.425,38	258.085,54
+14.00	23,00	20.974,89	110.503,15	19.089,51	100.570,28	49.111,53	311.509,56	49.673,60	307.792,83
+09.50	18,50	14.170,25	124.673,40	12.896,52	113.466,80	28.644,14	340.153,71	29.481,02	337.325,98
+04.75	13,75	10.462,15	135.135,55	9.521,73	122.988,53	17.309,82	357.463,53	18.243,53	355.628,90
+00.00	9,00	7.019,97	142.155,52	6.388,96	129.377,49	8.725,02	366.188,54	9.512,77	365.192,89
-01.50	7,50	1.331,21	143.486,72	1.211,55	130.589,04	1.462,95	367.651,49	1.618,47	366.821,55
-03.20	5,80	3.784,22	147.270,95	3.444,07	134.033,11	3.496,30	371.147,79	3.948,34	370.799,88
-04.65	4,35	865,17	148.136,12	787,40	134.820,51	658,26	371.806,05	760,68	371.567,44
-06.10	2,90	1.719,63	149.855,75	1.565,06	136.385,57	995,11	372.801,16	1.187,85	372.768,46
-07.60	1,40	322,74	150.178,49	293,73	136.679,30	114,24	372.915,40	144,54	372.915,14
Σ		150.178,49		136.679,30		372.915,40		372.915,40	

Gambar 9 dan 10 menunjukkan perbandingan gaya lateral tingkat di tiap lantai yang dihasilkan dari gaya geser dasar seismik menurut SNI 2002 maupun 2012 dalam arah x dan y . Nampak bahwa pada lantai ke-1 hingga ke-5 besar gaya lateral hampir sama, namun pada lantai ke-6 dan seterusnya, gaya lateral yang dihasilkan dari peraturan SNI 03-1726-2012 jauh lebih besar.



Gambar 9. Gaya lateral tingkat arah x



Gambar 10. Gaya lateral tingkat arah y

3.5. Analisis Dinamik

Langkah selanjutnya adalah dilakukannya analisis secara dinamik dengan metode ragam spektrum respon. Jumlah ragam getar yang disertakan dalam analisis harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai minimal 90%. Penjumlahan respon dari masing-masing ragam getar dilakukan dengan metode kombinasi kuadratik lengkap (*Complete Quadratic Combination, CQC*). Dalam SNI 03-1726-2002 disyaratkan bahwa nilai akhir respon dinamik struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana tidak boleh kurang dari 80% nilai respon ragam pertama ($V > 0,8V_1$). Nilai V_1 adalah besar gaya geser dasar seismik seperti yang telah dihitung sebelumnya. Syarat ini dinaikkan dalam SNI 03-1726-2012, yang menyatakan bahwa nilai akhir respon dinamik struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana tidak boleh

kurang dari 85% nilai respon ragam pertama ($V > 0,85V_1$). Tabel 7 menunjukkan gaya geser tingkat dan gaya lateral tingkat yang dihasilkan dari analisis dinamis metode ragam spektrum respon yang dilakukan dengan bantuan *software* ETABS. Dari hasil tersebut untuk ke semua arah, gaya geser dasar yang dihasilkan dari analisis dinamis berdasarkan spektrum respon SNI 2012 lebih besar hingga dua kali lipat daripada hasil berdasarkan spektrum respon SIN 2002. Namun keduanya masih lebih kecil dari $0,8V_1$ (untuk SNI 2002) dan lebih kecil dari $0,85V_1$ (untuk SNI 2012). Oleh karena itu, untuk keperluan desain penampang, maka gaya geser dasar hasil analisis dinamis harus diskalakan menggunakan suatu faktor skala (FS).

Tabel 7. Gaya geser tingkat analisis dinamis

Story	SNI 2002		SNI 2012	
	V_x (kgf)	V_y (kgf)	V_x (kgf)	V_y (kgf)
+27.70	28422,15	24774,63	58283,52	51010,39
+24.20	40830,97	35257,44	83157,87	72270,81
+21.00	49490,1	41663,56	100947,3	85467,5
+17.50	56087,28	46340,71	115321,3	95541,75
+14.00	63892,09	52654,92	132244	109044,8
+09.50	69867,1	57412,01	144371,9	118717,3
+04.75	76995,53	64043,48	158689,1	132195,3
+00.00	83501,86	71235,25	172195,6	147197,7
-01.50	84673,98	73193,54	174659,7	151305,7
-03.20	91410,87	82353,73	188895,7	170621,9
-04.65	92989,28	84844,82	192246,7	175881,4
-06.10	96249,78	89510,38	199194,5	185760,9
-07.60	97688,41	91335,28	202260,3	189632,4

Dari hasil analisis dinamik terlihat pula bahwa gaya geser dasar seismik yang dihasilkan oleh SNI 03-1726-2012 lebih besar daripada hasil SNI 03-1726-2002. Untuk gempa dalam arah x, gaya geser dasar seismik SNI 2012 lebih besar 107,05%, sedangkan dalam arah y lebih besar 107,62% dibandingkan hasil dari SNI 2002. Hal ini berarti bahwa terjadi kenaikan gaya geser dasar seismik hasil analisis dinamik hingga sebesar dua kali lipat.

Untuk SNI 03-1726-2002 besarnya Faktor Skala, FS dihitung dengan persamaan:

$$FS = \frac{0,8V_1}{V_t} \geq 1 \dots\dots\dots (7)$$

sedangkan untuk SNI 03-1726-2012 besarnya FS adalah:

$$FS = \frac{0,85V_1}{V_t} \geq 1 \dots\dots\dots (8)$$

dengan V_1 adalah gaya geser dasar nominal hasil analisis statik ekivalen, dan V_t adalah gaya geser dasar hasil analisis dinamik. Perhitungan Faktor Skala ditampilkan dalam Tabel 8 berikut ini.

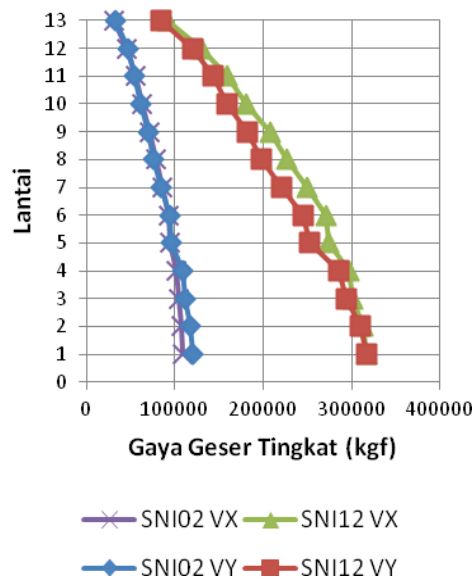
Tabel 8. Perhitungan faktor skala arah x dan arah y

	SNI 2002		SNI 2012
V_{Ix}	150178,5 kgf	V_{Ix}	372915,1 kgf
V_{Iy}	136679,3 kgf	V_{Iy}	372915,1 kgf
$0,80V_{Ix}$	120142,8 kgf	$0,85V_{Ix}$	316977,9 kgf
$0,80V_{Iy}$	109343,4 kgf	$0,85V_{Iy}$	316977,9 kgf
V_{tx}	97688,41 kgf	V_{tx}	202260,3 kgf
V_{ty}	91335,28 kgf	V_{ty}	189632,4 kgf
FS_x	1,32	FS_x	1,57
FS_y	1,12	FS_y	1,67

Analisis dinamik diulang kembali dengan mengamplifikasinya menggunakan faktor skala yang telah dihitung dalam Tabel 7, yaitu sebesar 1,32 dan 1,12 untuk arah x dan y pada SNI 2002, serta 1,57 dan 1,67 untuk arah x dan y pada SNI 2012. Tabel 9 menunjukkan hasil Gaya Geser Tingkat yang telah diskalakan.

Tabel 9. Gaya geser tingkat dinamis terskala

Story	SNI 2002		SNI 2012	
	V_x (kgf)	V_y (kgf)	V_x (kgf)	V_y (kgf)
+27.70	32702,51	31832,81	91501,4	85183,88
+24.20	46539,83	45730,69	130552,5	120687,3
+21.00	54995,89	55428,91	158480,8	142724,9
+17.50	61169,73	62817,75	181047	159548,2
+14.00	69504,49	71559,14	207614,6	182097,3
+09.50	75783,85	78251,15	226654,6	198249,7
+04.75	84537,4	86234,99	249131,7	220757,1
+00.00	94030,53	93522,08	270336,1	245810,1
-01.50	96615,47	94834,85	274204,6	252670,3
-03.20	108706,9	102380,2	296554,1	284927
-04.65	111995,2	104148	301815	293709,9
-06.10	118153,7	107799,8	312722,7	310208,1
-07.60	120562,6	109411	317535,7	316673,1



Gambar 11. Gaya geser tingkat untuk desain

3.6. Simpangan Antarlantai

Gaya gempa rencana akan menghasilkan simpangan struktur dalam arah lateral. Dalam proses perencanaan struktur, maka simpangan lateral antarlantai tingkat (*story drift*) harus selalu diperiksa untuk menjamin stabilitas struktur, mencegah kerusakan elemen-elemen non struktural, serta untuk menjamin kenyamanan pengguna bangunan

Simpangan Antarlantai SNI 03-1726-2002. Kontrol simpangan antarlantai berdasarkan SNI 03-1726-2002 ditentukan berdasarkan kriteria Kinerja Batas Layan dan Kinerja Batas Ultimit. Untuk memenuhi syarat kinerja batas layan, maka simpangan antartingkat tidak boleh melampaui $0,03/R$ kali tinggi tingkat atau 30 mm. Variabel R adalah faktor modifikasi respon, yang diambil sebesar 8,50 untuk struktur rangka pemikul momen khusus.

Selain itu, untuk memenuhi kriteria Kinerja Batas Ultimit, maka hasil kali antara simpangan antarlantai dengan faktor $0,7R/FS$ tidak boleh lebih besar daripada 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan. Dengan nilai $R = 8,5$, dan Faktor skala arah $x = 1,32$ serta Faktor Skala arah $y = 1,12$, maka faktor $0,7R/FS$ dalam arah x adalah $\frac{0,7R}{FS_x} = \frac{0,7 \times 8,5}{1,32} = 4,51$, dan dalam arah y adalah $\frac{0,7R}{FS_y} = \frac{0,7 \times 8,5}{1,12} = 5,31$.

Tabel 10 dan 11 memperlihatkan pemeriksaan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit untuk pembebanan gempa dalam kedua arah. Dari hasil pemeriksaan tersebut nampak bahwa struktur masih memenuhi syarat kinerja yang ditentukan dalam SNI 03-1726-2002.

Tabel 10. Pemeriksaan terhadap syarat simpangan antarlantai gempa SNI 2002 arah X

Story	h_i (m)	δ_{xe} (mm)	Drift (mm)	Kinerja Batas Layan		Kinerja Batas Ultimit		
				$0,03 \cdot h_i / R ; 30 \text{ mm}$	OK	$\delta_{xe} \times 0,7R / FS$	$0,02h_i$	$< 0,02h_i$
+27.70	3,50	19,60	4,17	12,4	OK	18,82	70	OK
+24.20	3,20	23,77	0,90	11,3	OK	4,76	64	OK
+21.00	3,50	22,87	0,93	12,4	OK	4,93	70	OK
+17.50	3,50	21,94	2,16	12,4	OK	11,48	70	OK
+14.00	4,50	19,78	3,64	15,9	OK	19,32	90	OK
+09.50	4,75	16,14	5,32	16,8	OK	28,25	95	OK
+04.75	4,75	10,82	5,02	16,8	OK	26,64	95	OK
+00.00	1,50	5,81	4,84	5,3	OK	25,72	30	OK
-01.50	1,70	0,96	0,40	6,0	OK	2,10	34	OK
-03.20	1,45	0,57	0,21	5,1	OK	1,13	29	OK
-04.65	1,45	0,35	0,17	5,1	OK	0,88	29	OK
-06.10	1,50	0,52	0,46	5,3	OK	2,47	30	OK
-07.60	1,40	0,05	0,05	4,9	OK	0,28	28	OK

Tabel 11. Pemeriksaan terhadap syarat simpangan antar lantai gempa SNI 2002 arah Y

Story	h_i (m)	δ_{xe} (mm)	Drift (mm)	Kinerja Batas Layan		Kinerja Batas Ultimit		
				$0,03 \cdot h_i / R ; 30 \text{ mm}$	OK	$\delta_{xe} \times 0,7R / FS$	$0,02h_i$	$< 0,02h_i$
+27.70	3,50	18,58	1,13	12,4	OK	5,99	70	OK
+24.20	3,20	19,71	1,02	11,3	OK	5,43	64	OK
+21.00	3,50	18,69	1,46	12,4	OK	7,76	70	OK
+17.50	3,50	17,23	2,30	12,4	OK	12,20	70	OK
+14.00	4,50	14,93	1,84	15,9	OK	9,78	90	OK
+09.50	4,75	13,09	3,34	16,8	OK	17,76	95	OK
+04.75	4,75	9,75	4,16	16,8	OK	22,10	95	OK
+00.00	1,50	5,58	5,09	5,3	OK	27,04	30	OK
-01.50	1,70	0,49	2,05	6,0	OK	10,91	34	OK
-03.20	1,45	2,55	2,34	5,1	OK	12,45	29	OK
-04.65	1,45	0,20	0,00	5,1	OK	0,02	29	OK
-06.10	1,50	0,20	0,17	5,3	OK	0,89	30	OK
-07.60	1,40	0,03	0,03	4,9	OK	0,17	28	OK

Simpangan Antarlantai SNI 03-1726-2012. Penentuan simpangan antarlantai tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) harus dihitung sesuai persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots\dots\dots (9)$$

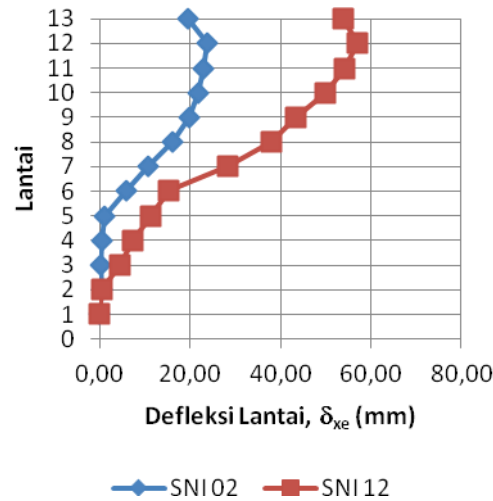
Variabel C_d adalah faktor pembesaran defleksi yang sesuai SNI 03-1726-2012 diambil sebesar 5,5 untuk struktur rangka pemikul momen khusus, dan faktor keutamaan, I_e diambil sama dengan 1,0. Simpangan antarlantai yang diizinkan adalah $\Delta_a = 0,020h_{sx}$, dengan h_{sx} adalah tinggi lantai yang bersangkutan. Untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus KDS = D, maka nilai Δ_a harus dibagi dengan $\rho = 1,3$. Tabel 12 dan 13 memperlihatkan pemeriksaan terhadap syarat simpangan antarlantai yang disyaratkan dalam SNI 03-1726-2012. Dari hasil pemeriksaan tersebut nampak bahwa struktur masih memenuhi syarat terhadap batasan simpangan antarlantai.

Tabel 12. Pemeriksaan terhadap syarat simpangan antarlantai gempa SNI 2012 arah X

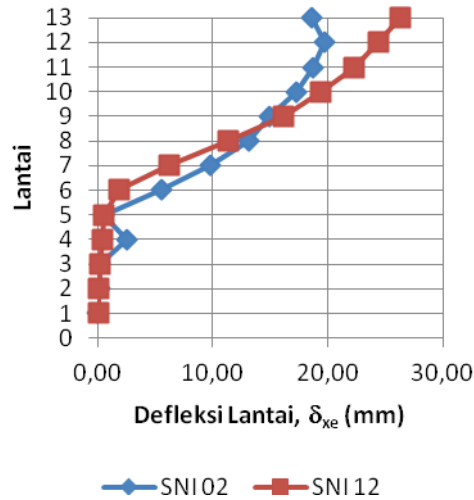
Story	h_i (m)	SNI 12				
		δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	Drift	$\Delta_a/1,3$	Drift < $\Delta/1,3$
+27.70	3,50	53,88	296,35	18,03	53,85	OK
+24.20	3,20	57,16	314,38	16,27	49,23	OK
+21.00	3,50	54,20	298,10	23,30	53,85	OK
+17.50	3,50	49,96	274,80	36,71	53,85	OK
+14.00	4,50	43,29	238,10	29,42	69,23	OK
+09.50	4,75	37,94	208,68	53,31	73,08	OK
+04.75	4,75	28,25	155,37	71,76	73,08	OK
+00.00	1,50	15,20	83,61	20,75	23,08	OK
-01.50	1,70	11,43	62,86	22,18	26,15	OK
-03.20	1,45	7,40	40,68	15,44	22,31	OK
-04.65	1,45	4,59	25,24	22,06	22,31	OK
-06.10	1,50	0,58	3,18	2,67	23,08	OK
-07.60	1,40	0,09	0,51	0,51	21,54	OK

Tabel 13. Pemeriksaan terhadap syarat simpangan antarlantai gempa SNI 2012 arah Y

Story	h_i (m)	SNI 12				
		δ_{xe} (mm)	δ_x (mm)	Drift	$\Delta_a/1,3$	Drift < $\Delta/1,3$
+27.70	3,50	26,28	144,52	10,33	53,85	OK
+24.20	3,20	24,40	134,20	11,89	49,23	OK
+21.00	3,50	22,24	122,31	15,75	53,85	OK
+17.50	3,50	19,37	106,55	18,02	53,85	OK
+14.00	4,50	16,10	88,53	25,95	69,23	OK
+09.50	4,75	11,38	62,58	28,56	73,08	OK
+04.75	4,75	6,19	34,03	23,92	73,08	OK
+00.00	1,50	1,84	10,10	7,38	23,08	OK
-01.50	1,70	0,50	2,73	0,09	26,15	OK
-03.20	1,45	0,48	2,63	1,51	22,31	OK
-04.65	1,45	0,20	1,12	0,76	22,31	OK
-06.10	1,50	0,06	0,36	0,14	23,08	OK
-07.60	1,40	0,04	0,21	0,21	21,54	OK



Gambar 12. Simpangan lantai arah X



Gambar 13. Simpangan lantai arah

Hasil pemeriksaan terhadap syarat simpangan antarlantai menunjukkan bahwa untuk kedua peraturan tersebut, semua syarat simpangan antarlantai dapat terpenuhi dengan baik.

3.7. Desain Penampang

Setelah gaya gempa ditentukan, maka proses selanjutnya adalah proses desain penampang beton bertulang, meliputi desain penampang balok, kolom, dan pelat, termasuk di dalamnya adalah desain penulangannya. Dalam studi ini memang tidak dibahas detail perbedaan perencanaan penampang yang diakibatkan oleh adanya perubahan peraturan gempa, namun secara sekilas akan dijelaskan perbedaan yang dijumpai dalam hal kombinasi beban yang digunakan.

Dalam SNI 03-1726-2002 kombinasi beban tidak dijelaskan secara spesifik, namun dianjurkan untuk mengikuti standar perencanaan struktur beton (SNI 03-2847-2002) sedangkan dalam SNI 03-1726-2002, dijelaskan secara detail kombinasi beban yang harus digunakan dalam perencanaan penampang. Perbedaan ini secara ringkas dirangkumkan dalam Tabel 14 berikut ini.

Tabel 14. Perbandingan Kombinasi Pembebanan Antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012

SNI 03-1726-2002	SNI 03-1726-2012
1. $1,4D$ 2. $1,2D + 1,6L + 0,5(A \text{ atau } R)$ 3. $1,2D + 1,0L + 1,0E$ 4. $0,9D + 1,0E$	1. $1,4D$ 2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } R)$ 3. $1,2D + 1,0E + L$ 4. $0,9D + 1,0E$
dengan: D adalah beban mati L adalah beban hidup A dan L_r adalah beban hidup di atap R adalah beban air hujan E adalah beban gempa bumi	Pengaruh beban gempa, E , harus dihitung sesuai dengan ketentuan berikut ini: <ol style="list-style-type: none"> Untuk penggunaan dalam kombinasi 3, maka E ditentukan sebagai berikut : $E = E_h + E_v$ Untuk penggunaan dalam kombinasi 4, E ditentukan sesuai persamaan berikut : $E = E_h - E_v$ dengan: E_h adalah pengaruh gaya seismik horizontal = ρQ_E E_v adalah pengaruh gaya seismik vertikal = $0,2S_{DS}D$ Q_E adalah pengaruh gaya seismik horizontal dari V ρ adalah koefisien redundansi, dapat diambil sebesar 1,00 untuk KDS A, B dan C, dan 1,30 untuk KDS D, E dan F. Nilai ρ tidak perlu lebih besar dari 1,30. S_{DS} adalah parameter percepatan spektrum respon desain pada periode pendek Dari ketentuan di atas, serta mengingat nilai $S_{DS} = 0,591$ dan $\rho = 1,30$ maka kombinasi 3 dan 4 akan menjadi <ol style="list-style-type: none"> $(1,2 + 0,2S_{DS})D + \rho Q_E + L = 1,32D + 1,3Q_E + L$ $(0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho Q_E = 0,78D + 1,3 Q_E$

Dari hasil perbandingan tersebut nampak bahwa untuk kombinasi beban pertama dan kedua adalah sama, namun ada perbedaan untuk kombinasi beban ketiga dan keempat yang menyertakan pengaruh beban gempa. Terlihat bahwa pada SNI 03-1726-2012, koefisien beban gempa mengalami kenaikan cukup signifikan dari yang semula 1,0 menjadi 1,3 (naik 30%). Hal ini tentunya harus mendapat perhatian yang cukup serius pada saat pendetailan ulang penampang karena beban gempa yang bekerja sudah bertambah besar, dan koefisien kombinasi untuk beban gempanya juga mengalami kenaikan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis ulang terhadap struktur bangunan Grand Edge Hotel dan Mall, ditinjau dari pengaruh perubahan beban gempa desain (perubahan dari SNI 03-1726-2002 ke SNI 03-1726-2012), maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Secara statik ekuivalen, gaya geser dasar seismik mengalami peningkatan yang cukup signifikan, yaitu sebesar 150.178,49 kgf & 136.679,30 kgf (SNI 2002) untuk arah x dan y , menjadi 372.915,14 kgf (SNI 2012), atau mengalami kenaikan sebesar 148,31 % dan 172,84 % dalam arah x dan y
- Dari hasil analisis dinamis dengan metode analisis ragam spektrum respon SNI 2002 diperoleh gaya geser dasar seismik sebesar 97.668,41 kgf dan 91.335,28 kgf untuk kedua arah x dan y , sedangkan hasil dari SNI 2012 diperoleh gaya geser dasar seismik

- sebesar 202.260,3 kgf dan 189.632,4 kgf untuk arah x dan y . Ada kenaikan gaya geser dinamik dasar sebesar 107,05 % dan 107,62 % dalam arah x dan y
3. Karena gaya geser dasar seismik hasil analisis dinamis masih kurang dari $0,8V_1$ (untuk SNI 2002), dan juga masih kurang dari $0,85V_1$ (untuk SNI 2012), maka analisis dinamis diulang kembali dengan memperbesarnya menggunakan faktor skala.
 4. Hasil pemeriksaan terhadap simpangan antarlantai, baik sesuai peraturan SNI 2002 maupun SNI 2012, struktur gedung Grand Edge Hotel dan *Mall* masih menunjukkan tingkat kinerja yang aman.
 5. Kontribusi beban gempa pada kombinasi pembebanan yang disyaratkan dalam SNI 03-1726-2012 mengalami kenaikan 30%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Arfiandi, Y. dan Satyarno I. 2013. Perbandingan Spektra Desain Beberapa Kota Besar di Indonesia dalam SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2002. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 Universitas Sebelas Maret Surakarta
- [2]. Imran, I. 2008. Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa untuk Bangunan Gedung. Jakarta: HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia).
- [3]. Sutjipto, S. 2011. Dampak Persyaratan Geser Dasar Seismik Minimum pada RSNI-03-1726-201X terhadap Gedung Tinggi Terbangun. Jakarta.
- [4]. SNI-03-1726-2012. 2012. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung. Bandung: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- [5]. SNI-03-1726-2002. 2002. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung. Bandung: Badan Standarisasi Nasional Indonesia.
- [6]. Computer and Structures, Inc. 2013. ETABS Integrated Building Design Software – Tutorial. California: Berkeley
- [7]. Tumilar, S. 2011. Perancangan Struktur Tahan Gempa Sesuai Konsep SNI Gempa Baru. Jakarta: HAKI (Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia)