

METODE ANALISIS RAGAM SPEKTRUM RESPONS PADA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT (Studi Kasus Hotel Tosan, Solo Baru)

Novi Prismastanto¹⁾

¹⁾ Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Veteran Bangun Nusantara, Sukoharjo, Jl. Letjen Sudjono Humardhani, No.1, Jombor, Sukoharjo; Telp. 0271-593156. Email: nprisma2@gmail.com

Abstrak

Semakin tinggi bangunan semakin rawan bangunan tersebut dalam menahan gaya lateral, terutama gaya gempa. Gaya lateral ini dapat menyebabkan simpangan horisontal. Jika nilai simpangan ini melebihi batas aman, tentu saja bangunan dapat runtuh. Oleh karena itu pada daerah rawan gempa seperti Indonesia perlu dilakukan perencanaan menyeluruh terhadap desain bangunan tahan gempa. Gempa rencana yang ditetapkan mempunyai periode ulang 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50 tahun. Analisis gempa menggunakan metode ragam spektrum respons ditinjau pada struktur tanpa shear wall dan dengan shear wall. Perhitungan analisis struktur menggunakan software SAP 2000 V14. Hasil analisis ini berupa simpangan antar tingkat (*displacement*) dan *base shear*. Hasil analisis tersebut digunakan untuk mengontrol kinerja batas layan dan ultimate struktur. Analisis gempa dengan metode ragam spektrum respons didapatkan bahwa penggunaan shear wall pada gedung memiliki kekakuan yang lebih dibandingkan gedung yang tidak menggunakan shear wall. Kekakuan lebih yang dimiliki gedung berdampak pada kinerja batas layan dan ultimate. Kinerja batas layan pada arah X dapat tereduksi 16,506246 %, arah Y tereduksi 14,366242 %. Kinerja batas ultimate pada arah X dapat tereduksi 1,7395894 %, sedangkan arah Y bertambah 1,1877801%.

Kata kunci : ragam spektrum respons, shear wall, kinerja layan, kinerja ultimate

Abstract

The higher the building the more vulnerable the building is in holding lateral forces, especially earthquake forces. This lateral force can cause horizontal displacement. If the value of this displacement exceeds the safe limit, of course the building can collapse. Therefore, in earthquake-prone areas like Indonesia, it is necessary to do a comprehensive planning of earthquake resistant building designs. The earthquake plan has a return period of 500 years, so that the probability of occurrence is limited to 10% over the life of the building 50 years. Earthquake analysis using a variety of response spectrum methods reviewed in structures without a shear wall and with a shear wall. Structural analysis calculations are performed using SAP 2000 V14 software. The results of this analysis are displacement between levels and base shear. The results of the analysis are used to control the service boundary performance and the ultimate limit performance of the structure. Earthquake analysis using a variety of response spectrum methods found that the use of shear walls in buildings has more stiffness than buildings that do not use shear walls. The extra rigidity of the building has an impact on service performance and ultimate limits. The service boundary performance in the X direction can be reduced 16.506246%, the Y direction reduced 14.36242%. The ultimate limit performance in the X direction can be reduced by 1.7395894%, while the Y direction increases by

Keywords: Attach 3 to 5 keywords in alphabetical order.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yaitu lempeng tektonik Hindia-Australia, lempeng Pasifik, dan lempeng Eurasia. Pertemuan ketiga lempeng ini menyebabkan Negara Indonesia salah satu Negara yang berpotensi terkena bencana gempa.

Gempa bumi merupakan getaran yang terjadi pada permukaan tanah yang dapat disebabkan

oleh aktivitas tektonik, vulkanisme, longsor termasuk batu, bahan peledak. Dari semua penyebab tersebut diatas, guncangan yang disebabkan oleh peristiwa tektonik merupakan penyebab utama kerusakan struktur dan perhatian utama dalam kajian tentang bahaya gempa (Chen dan Lui, 2006).

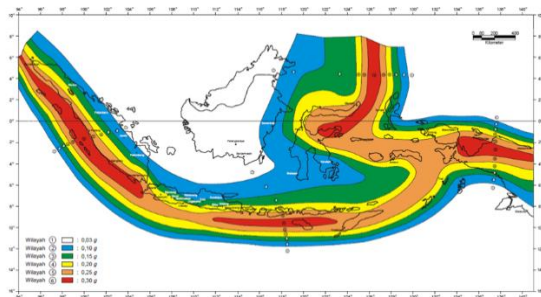
Gempa bumi yang paling banyak terjadi di Indonesia adalah gempa bumi tektonik, yang merupakan jenis gempa yang menimbulkan

kerusakan paling luas. (Dewi dan Sudrajat, 2007).

Akhir-akhir ini gempa yang menguncang Indonesia terjadi dalam skala besar, tahun 2004, tercatat tiga gempa besar di Indonesia yaitu di Kepulauan Alor (11 Nov. Skala 7,5), gempa Papua (26 Nov. Skala 7,1), gempa Aceh (26 Des. Skala 9,2), tahun 2009 tercatat di Sumatra Barat (30 Sep. Skala 7,6), dan tahun 2010 tercatat di Mentawai (25 Okt. Skala 7,2), sehingga mengakibatkan kerusakan pada bangunan tingkat tinggi yang cukup parah. Kondisi itu menyadarkan kita bahwa Indonesia merupakan daerah rawan terjadinya gempa. Hal ini pula menuntut perencana agar membuat perencanaan struktur bangunan tingkat tinggi agar dapat menahan beban yang diakibatkan oleh gempa bumi tersebut.

Semakin tinggi bangunan semakin rawan bangunan tersebut dalam menahan gaya lateral, terutama gaya gempa. Gaya lateral ini dapat menyebabkan simpangan horisontal. Jika nilai simpangan ini melebihi batas aman, tentu saja bangunan dapat runtuh. Oleh karena itu pada daerah rawan gempa seperti Indonesia perlu dilakukan perencanaan yang menyeluruh terhadap desain bangunan tahan gempa.

Untuk mengurangi akibat bencana gempa tersebut perlu direncanakan struktur tahan gempa. Berdasarkan SNI 03-1726-2002, Kota Sukoharjo telah diklasifikasikan kedalam daerah yang memiliki resiko gempa sedang (zona yang berwarna hijau) yang memiliki percepatan gempa 0.15 gravitasi (0.15 g).



Gambar 1 Wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan periode ulang 500 tahun

Standar ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan struktur gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Akibat pengaruh gempa rencana, struktur gedung secara keseluruhan harus masih berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di

ambang keruntuhan. Gempa rencana yang ditetapkan mempunyai periode ulang 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung 50

Menurut Iskandarsyah (2009), gempa bumi merupakan suatu gerakan tiba-tiba dari tanah yang berasal dari gelombang pada suatu tempat dan menyebar dari daerah tersebut ke segala arah. Gempa bumi dalam hubungannya dengan suatu wilayah berkaitan dengan gerakan muka bumi dan pengaruhnya terhadap daerah yang bersangkutan. Masing - masing daerah mempunyai bentuk maupun wilayah yang berbeda.

Menurut SNI 03-1726-2002 pasal 1.3 dilakukannya perencanaan ketahanan gempa untuk standar struktur gedung yang bertujuan untuk :

- Menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya gedung akibat gempa yang kuat.
- Membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih dapat diperbaiki.
- Membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang.

Pada dasarnya setiap sistem struktur pada suatu bangunan merupakan penggabungan berbagai elemen struktur secara tiga dimensi yang cukup rumit. Fungsi utama dari sistem struktur adalah memikul secara aman dan efektif beban yang bekerja pada bangunan serta menyalurkannya ke tanah melalui fondasi. Beban yang bekerja pada bangunan terdiri dari beban vertikal, horisontal, dan beban lain. Hal yang penting pada struktur bangunan tinggi adalah stabilitas dan kemampuannya untuk menahan gaya lateral, baik yang disebabkan oleh angin dan gempa bumi. Beban angin lebih terkait pada dimensi ketinggian bangunan, sedangkan beban gempa lebih terkait pada masa bangunan (Juwana, 2005).

Beban - beban lateral yang bekerja pada suatu struktur gedung, misalnya beban gempa, akan menimbulkan lendutan arah horisontal. Untuk menghindari lendutan yang berlebihan pada struktur gedung yang mengalami beban lateral maka efek torsional harus diminimalkan, dengan cara memperkecil eksentrisitas antara pusat masa dan pusat rotasi (Paulay dan Priestly, 1992).

Peraturan gempa Indonesia (SNI 03-1726-2002), membatasi besarnya lendutan arah ke samping (simpangan) struktur gedung dalam 2 istilah, yaitu kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni. Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung diambang keruntuhan.

Dalam perhitungan struktur bangunan tinggi tidak sama seperti menghitung bangunan yang tidak tinggi. Hal penting pada struktur bangunan tinggi adalah stabilitas dan kemampuannya untuk menahan gaya lateral, baik yang disebabkan oleh angin atau gempa bumi (Juwana, 2005). Beban angin lebih terkait pada dimensi ketinggian bangunan, sedangkan beban gempa lebih terkait pada masa bangunan. Kolom pada bangunan tinggi perlu diperkokoh dengan sistem pangaku untuk dapat menahan gaya lateral, agar deformasi yang terjadi akibat gaya horisontal tidak melampaui ketentuan yang disyaratkan. Pengaku gaya lateral yang lazim digunakan adalah portal penahan momen, dinding geser (*shear wall*) atau rangka pengaku.

Menurut SNI 03-1726-2002 analisis struktur terhadap beban gempa dibagi menjadi beberapa macam, yaitu :

- Analisis beban dorong statik (*static push over analysis*) pada struktur gedung
- Analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur gedung beraturan
- Analisis beban gempa statik ekuivalen pada struktur gedung tidak beraturan
- Analisis perambatan gelombang
- Analisis ragam spektrum respons
- Analisis respon dinamik riwayat waktu linier
- Analisis respon dinamik riwayat waktu non-linier

Analisis dinamik untuk perancangan tahan gempa dilakukan untuk evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Pada struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur.

Untuk struktur gedung tidak beraturan yang tidak memenuhi struktur gedung beraturan, pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung tersebut harus ditentukan melalui analisis respons dinamik 3 dimensi. Untuk mencegah terjadinya respons struktur gedung terhadap pembebanan gempa yang dominan dalam rotasi dari hasil analisis vibrasi bebas 3 dimensi, paling tidak gerak ragam pertama (*fundamental*) harus dominan dalam translasi (SNI 03-1726-2002).

Beban dinamik menimbulkan respon yang berubah-ubah menurut waktu, maka struktur yang bersangkutan akan ikut bergetar dan pada umumnya dikatakan bahan yang bersangkutan mempunyai kemampuan untuk meredam getaran. Dengan demikian pada pembebanan dinamik, akan dapat peristiwa redaman yang hal ini tidak ada pada pembebanan statik.

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah menganalisa struktur gedung terhadap gempa ragam spektrum respons dengan menggunakan program bantu SAP 2000 V14, Mengetahui keefektifan penggunaan *shear wall* dan tanpa penggunaan *shear wall* pada bangunan gedung hotel Tosan Solo Baru.

2. METODE

Pengumpulan data dan informasi bangunan hotel Tosan Solo Baru menggunakan data eksisting. Data yang didapat adalah *shop drawing* hotel Tosan Solo Baru. Data ini digunakan untuk pemodelan struktur 3D yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan SAP 2000 V14.

Shop Drawing digunakan untuk tahapan pemodelan yang sesuai dengan gambar yang ada sehingga analisis ini tidak menyimpang dari gambar yang ada. Semua struktur yang dimodelkan harus sesuai dengan *shop drawing*, untuk bangunan non struktural tidak dimodelkan karena tidak mempunyai pengaruh yang signifikan dalam pemodelan 3D ini.

Pemodelan 3D Pada SAP 2000 V14

Pembuatan model struktur bangunan dengan permodelan 3D sesuai dengan data dan informasi dari *shop drawing* atau gambar proyek hotel Tosan.

Perhitungan Pembebanan

Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup. Beban mati yang dihitung berdasarkan pemodelan yang ada dimana beban sendiri didalam program SAP

2000 dimasukkan dalam *load case DEAD*. Perhitungan berat sendiri ini dalam program SAP 2000 untuk *dead* adalah 1, dimana untuk *dead* telah dihitung secara otomatis oleh program SAP 2000. Beban hidup yang dimasukkan dalam program SAP 2000 dinotasikan dalam *live*. Beban hidup ini mendapatkan reduksi gempa. Beban hidup disesuaikan dengan peraturan yang ada. Perhitungan beban hidup ini dalam program SAP 2000 untuk *live* adalah 0, dimana beban hidup perlu dimasukkan secara manual sesuai dengan yang ada.

Analisis Gempa Ragam Spektrum Respons

Dalam tahap analisis semua parameter, baik berupa beban maupun struktur akan diterjemahkan dalam bentuk tiga dimensi pada *software* SAP 2000 V14. Pada *software* SAP 2000 V14, kolom dan balok dimodelkan sebagai *frame* dan plat lantai dimodelkan sebagai *shell*. SAP 2000 V14 akan menganalisis setiap *input* yang ada, baik berupa beban dari luar berupa beban lateral dan aksial maupun beban struktur itu sendiri. Kontrol struktur bangunan terhadap gempa menggunakan peraturan menurut SNI 03-1726-2002 dengan metode analisis ragam spektrum respons. SAP 2000 V14 akan mengeluarkan *output* berupa *joint displacement* dan *base shear*. Dimana *output* SAP berupa *joint displacement* dan *base shear* digunakan dalam menentukan batasan besaran lendutan arah kesamping (simpangan) struktur gedung, yaitu kinerja batas layan dan kinerja batas *ultimite*.

3. HASIL PENELITIAN

Mutu Beton

Struktur bangunan hotel Tosan Solo Baru pada balok, kolom, plat lantai dan core wall menggunakan beton bertulang. Mutu beton ditampilkan dalam tabel 1 sebagai berikut :

Tabel 1 Mutu Beton

Fungsi	Mutu Beton		
	K (kg/cm ²)	Fc (MPa)	Ec (MPa)
Balok	300	24.9	23452.9529
Kolom	300	24.9	23452.9529
Plat	300	24.9	23452.9529
Core wall	300	24.9	23452.9529

Data Gempa

Berikut ini adalah data gempa yang digunakan sebagai acuan dalam analisis gempa :

- Lokasi = Solo Baru
- Wilayah gempa = Wilayah gempa 3 dengan kondisi tanah sedang
- Nilai Am = 0,55 (nilai spektra untuk percepatan pendek 0,2 detik)
- Nilai Ar = 0,33 (nilai spektra untuk percepatan pendek 0,6 detik)
- Faktor reduksi (R) = 6,5 (Beton bertulang dengan SRPMM beton bertulang)
- Faktor keutamaan (I) = 1,0 (Hotel)

Pembebanan Struktur

Beban Mati

Beban mati yang akan dimasukkan dalam analisis SAP 2000 V14 terdiri dari dua beban, yaitu beban struktur disebut *dead load* dan beban mati tambahan atau beban komponen yang didefinisikan sebagai *super dead loads*.

Beban Hidup

Gedung difungsikan sebagai hotel. Beban hidup pada lantai gedung yang digunakan mengacu pada Standar Tata Cara Perencanaan untuk Rumah dan Gedung SNI 03-1727-1989, yaitu sebagai berikut :

- Beban hidup atap : 100 kg/m²
- Beban hidup lantai (hotel) : 250 kg/m²

Beban Total Struktur Gedung dengan *Shear Wall*

Beban atau berat total struktur gedung adalah penjumlahan dari beban gedung per lantai yang didapat dari beban mati, beban hidup, dan serta beban sendiri pada struktur tersebut.

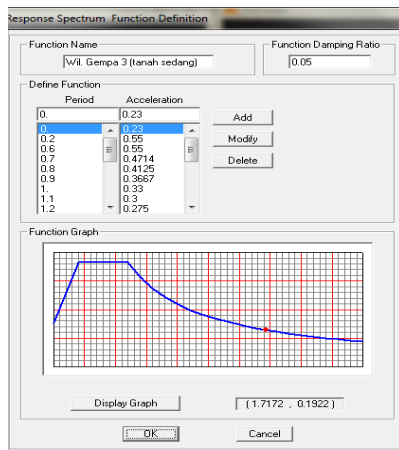
Desain Respons Spektrum

Data desain respons spektrum berdasarkan respons spektrum gempa rencana pada wilayah gempa 3 dengan kondisi tanah sedang ditampilkan pada gambar 2

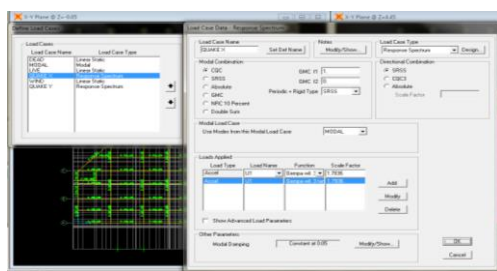
Nilai respons spektrum tersebut harus dikalikan dengan suatu faktor skala yang besarnya = $g \times \frac{I}{R}$ dengan g = percepatan gravitasi ($g = 9,81 \text{ m/det}^2$).

$$\text{Faktor skala} = 9,81 \times \frac{1}{5,5} = 1,783636364$$

Nilai faktor skala 1,783636364 kemudian digunakan sebagai faktor pengali pada *software* SAP 2000 seperti pada gambar 3



Gambar 2 Desain Respons Spektrum



Gambar 3 Input faktor skala spektrum gempa rencana

Tabel 2 Base Shear

OutCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	kgf	Kgf
COMB7	Combination	Max	119176,7	60207,13
COMB7	Combination	Min	-119176,7	-60207,13
COMB8	Combination	Max	119176,7	60207,13
COMB8	Combination	Min	-119176,7	-60207,13
COMB9	Combination	Max	56445,62	136285,36
COMB9	Combination	Min	-56445,62	-136285,36
COMB10	Combination	Max	56445,62	136285,36
COMB10	Combination	Min	-56445,62	-136285,36
COMB11	Combination	Max	119176,7	60207,13
COMB11	Combination	Min	-119176,7	-60207,13
COMB12	Combination	Max	119176,7	60207,13
COMB12	Combination	Min	-119176,7	-60207,13
COMB13	Combination	Max	56445,62	136285,36
COMB13	Combination	Min	-56445,62	-136285,36
COMB14	Combination	Max	56445,62	136285,36
COMB14	Combination	Min	-56445,62	-136285,36

Kontrol gaya geser arah x :

$$C_1 = \frac{0,33}{1,17248224} = 0,28145416$$

$$V_1 = \frac{C_1 \times I}{R} \times Wt = \frac{0,28145416 \times 1}{6,5} \times 8330104,32 = 360698,845$$

$$V < 0,8 \times V_1$$

Kontrol Gaya Geser

Nilai akhir ragam spektrum respons struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam pertama.

$$\text{Faktor reduksi (R)} = 6,5$$

$$\text{Faktor Keutamaan (I)} = 1,0$$

$$T \text{ efektif} = 0,0731 \times h^{(3/4)}$$

$$= 0,0731 \times 40,45^{(3/4)} = 1,17248224 \text{ detik}$$

$$C = 0,33$$

Perhitungan kontrol geser diperlukan nilai *base shear* yang didapat dari hasil *output* analisa struktur dengan SAP2000 V14 ditampilkan dalam tabel 2.

$$119176,7 < 0,8 \times 360698,845$$

$$119176,7 < 288559,0762 (\text{Tidak memenuhi syarat})$$

Kontrol gaya geser arah y :

$$C_1 = \frac{0,33}{1,17248224} = 0,28145416$$

$$V_1 = \frac{C_1 \times I}{R} \times Wt$$

$$= \frac{0,28145416 \times 1}{6,5} \times 8330104,32$$

$$= 360698,845$$

$$V < 0,8 \times V_1$$

$$136285,36 < 0,8 \times 360698,845$$

$$136285,36 < 288559,0762 \quad (\text{Tidak memenuhi syarat})$$

Untuk memenuhi persyaratan maka gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis ragam spektrum respons dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan faktor skala sebagai berikut :

$$\text{Faktor skala arah x} = \frac{0,8 \times V_1}{V}$$

$$= \frac{0,8 \times 360698,845}{119176,7}$$

$$= 2,4212709$$

$$\text{Faktor skala arah y} = \frac{0,8 \times V_1}{V}$$

$$= \frac{0,8 \times 360698,845}{136285,36}$$

$$= 2,117315287$$

Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai faktor pengali pada faktor skala respons spektrum gempa rencana pada SAP 2000 V14. Nilai *base shear* yang didapat dari hasil *output* analisa struktur dengan SAP2000 V14 ditampilkan pada tabel 3

Tabel 3 Base Shear

OutCase Text	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX kgf	GlobalFY Kgf
COMB7	Combination	Max	305789,85	137579,24
COMB7	Combination	Min	-305789,85	-137579,24
COMB8	Combination	Max	305789,85	137579,24
COMB8	Combination	Min	-305789,85	-137579,24
COMB9	Combination	Max	135549,73	291589,6
COMB9	Combination	Min	-135549,73	-291589,6
COMB10	Combination	Max	135549,73	291589,6
COMB10	Combination	Min	-135549,73	-291589,6
COMB11	Combination	Max	305789,85	137579,24
COMB11	Combination	Min	-305789,85	-137579,24
COMB12	Combination	Max	305789,85	137579,24
COMB12	Combination	Min	-305789,85	-137579,24
COMB13	Combination	Max	135549,73	291589,6
COMB13	Combination	Min	-135549,73	-291589,6
COMB14	Combination	Max	135549,73	291589,6
COMB14	Combination	Min	-135549,73	-291589,6

Kontrol gaya geser arah x :

$$V > 0,8 \times V_1$$

$$305789,85 > 0,8 \times 360698,8452$$

$$305789,85 > 288559,08 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kontrol gaya geser arah y :

$$V > 0,8 \times V_1$$

$$291589,6 > 0,8 \times 360698,8452$$

$$291589,6 > 288559,08 \quad (\text{Memenuhi})$$

Kinerja Batas Layan Struktur Gedung

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur, dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui $\frac{0,03}{R} \times$ tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, tergantung mana yang nilainya lebih kecil, maka :

$$\Delta s \text{ antar tingkat} < \frac{0,03}{R} \times h \text{ (SNI 03-1726-2002)}$$

Untuk menentukan batas layan struktur gedung diperlukan nilai *displacement* yang didapat dari hasil *output* analisa struktur dengan SAP2000 V14 ditampilkan pada tabel 4 dan tabel 5.

Tabel 4 Simpangan (*Displacement*) Arah X

Simpangan Horizontal X (<i>Output</i> SAP 2000)		
Join	Lantai	Arah x
639	Atap 2	0,057605
1178	Atap 1	0,050924
1073	9	0,048873
968	8	0,046186
863	7	0,042186
758	6	0,038845
653	5	0,034328
542	4	0,029624
427	3	0,024553
302	2	0,019306
137	1	0,011566
5	Dasar	0,003453

Tabel 5 Simpangan (*Displacement*) Arah Y
Simpangan Horisontal XY
(Output SAP 2000)

Join	Lantai	Arah y
639	Atap 2	0,075784
1178	Atap 1	0,065518
1073	9	0,063043
968	8	0,059078
863	7	0,054171
758	6	0,048248
653	5	0,04136
542	4	0,033752
427	3	0,025604
302	2	0,017498
137	1	0,009223
5	Dasar	0,002662

Kinerja Batas Layan Arah X

$$\Delta s \text{ antar tingkat} < \frac{0,03}{R} \times h$$

$$\Delta s \text{ lantai 9 – lantai 8} < \frac{0,03}{R} \times h$$

$$0,048873 - 0,046186 < \frac{0,03}{6,5} \times 3,5$$

$$0,002687 \text{ m} < 0,016153846 \text{ m}$$

(Memenuhi)

Untuk perhitungan kinerja batas layan arah x selanjutnya ditampilkan dalam tabel 6.

Tabel 6 Kinerja Batas Layan Struktur Gedung Arah X

Lan.ai	Tinggi (m)	Kinerja Batas Layan Arah X			
		Δs (m)	Δs antar tingkat (m)	Syarat (m)	Ket
Atap 2	3	0,057605	0,006681	0,013846154	OK
Atap 1	4	0,050924	0,002051	0,018461538	OK
9	3,5	0,048873	0,002687	0,016153846	OK
8	3,5	0,046186	0,003369	0,016153846	OK
7	3,5	0,042186	0,003972	0,016153846	OK
6	3,5	0,038845	0,004517	0,016153846	OK
5	3,5	0,034328	0,004704	0,016153846	OK
4	3,5	0,029624	0,005071	0,016153846	OK
3	3,5	0,024553	0,005247	0,016153846	OK
2	4,5	0,019306	0,00774	0,020769231	OK
1	4,5	0,011566	0,008113	0,020769231	OK
Dasar	3,45	0,003453	0,003453	0,015923077	OK

Kinerja Batas Layan Arah Y

$$\Delta s \text{ antar tingkat} < \frac{0,03}{R} \times h$$

$$\Delta s \text{ lantai 9 – lantai 8} < \frac{0,03}{R} \times h$$

$$0,063043 - 0,059078 < \frac{0,03}{6,5} \times 3,5$$

$$0,003965 \text{ m} < 0,0161538 \text{ m}$$

(Memenuhi)

Untuk perhitungan kinerja batas layan arah y selanjutnya ditampilkan dalam tabel 7.

Tabel 7 Kinerja Batas Layan Struktur Gedung Arah Y

Lantai	Tinggi (m)	Kinerja Batas Layan Arah Y			
		Δs (m)	Δs antar tingkat (m)	Syarat (m)	Ket
Atap 2	3	0,075784	0,009266	0,0138462	OK
Atap 1	4	0,065518	0,003475	0,0184615	OK
9	3,5	0,063043	0,003965	0,0161538	OK
8	3,5	0,059078	0,004907	0,0161538	OK
7	3,5	0,054171	0,005923	0,0161538	OK
6	3,5	0,048248	0,006888	0,0161538	OK
5	3,5	0,04136	0,007608	0,0161538	OK
4	3,5	0,033752	0,008148	0,0161538	OK
3	3,5	0,025604	0,008106	0,0161538	OK
2	4,5	0,017498	0,008275	0,0207692	OK
1	4,5	0,009223	0,006561	0,0207692	OK
Dasar	3,45	0,002662	0,002662	0,015231	OK

Kinerja Batas *Ultimate* Struktur Gedung

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas *ultimate* gedung, dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur ($\Delta s \times \zeta$) tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

$$\text{Faktor reduksi (R)} = 6,5$$

$$\text{Faktor keutamaan (I)} = 1$$

Mencari faktor skala :

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,8 \times V1}{Vt} > 1$$

$$F_{sx} = \frac{0,8 \times V1}{Vt} > 1$$

$$= \frac{0,8 \times 360698,8452}{305789,85} < 1$$

$$= 0,943651584 < 1 \rightarrow \text{Diambil 1}$$

$$F_{sy} = \frac{0,8 \times V1}{Vt} > 1$$

$$= \frac{0,8 \times 360698,8452}{291589,6} < 1$$

$$= 0,98960689 < 1 \rightarrow \text{Diambil 1}$$

Untuk gedung tidak beraturan :

$$\zeta = \frac{0,7 \times R}{F_s}$$

$$\zeta_x = \frac{0,7 \times R}{F_{sx}} \quad \zeta_y = \frac{0,7 \times R}{F_{sy}}$$

$$= \frac{0,7 \times 6,5}{1} = 4,55 \quad = \frac{0,7 \times 6,5}{1} = 4,55$$

Kinerja Batas *Ultimate* Arah X

$$\Delta s \text{ lantai 9 – lantai 8} = 0,048873 - 0,046186$$

$$= 0,002687$$

$$\zeta \times \Delta s < 0,02 \times h$$

$$4,55 \times 0,002687 < 0,02 \times 3,5$$

$$0,001222585 \text{ m} < 0,07 \text{ m (Memenuhi)}$$

Untuk perhitungan kinerja batas *ultimate* arah x selanjutnya ditampilkan dalam tabel 8.

Tabel 8 Kinerja Batas *Ultimate* Struktur Gedung Arah X

Lantai	Tinggi (m)	Kinerja Batas <i>Ultimate</i> Arah X			Ket
		Δs (m)	$\zeta \times \Delta s$ antar lantai (m)	Syarat (m)	
Atap 2	3	0,057605	0,03039855	0,06	OK
Atap 1	4	0,050924	0,00933205	0,08	OK
9	3,5	0,048873	0,01222585	0,07	OK
8	3,5	0,046186	0,01532895	0,07	OK
7	3,5	0,042186	0,0180726	0,07	OK
6	3,5	0,038845	0,02055235	0,07	OK
5	3,5	0,034328	0,0214032	0,07	OK
4	3,5	0,029624	0,02307305	0,07	OK
3	3,5	0,024553	0,02387385	0,07	OK
2	4,5	0,019306	0,035217	0,09	OK
1	4,5	0,011566	0,03691415	0,09	OK
Dasar	3,45	0,003453	0,01571115	0,069	OK

Kinerja Batas *Ultimate* Arah Y

$$\Delta s \text{ lantai } 9 - \text{lantai } 8 = 0,063043 - 0,059078 = 0,003965$$

$$\zeta \times \Delta s < 0,02 \times h$$

$$4,45 \times 0,003965 < 0,02 \times 3,5$$

$$0,0180408 \text{ m} < 0,07 \text{ m (Memenuhi)}$$

Untuk perhitungan kinerja batas *ultimate* arah y selanjutnya ditampilkan dalam tabel 9.

Tabel 9 Kinerja Batas *Ultimate* Struktur Gedung Arah Y

Lantai	Tinggi (m)	Kinerja Batas <i>Ultimate</i> Arah Y			Ket
		Δs (m)	$\zeta \times \Delta s$ antar lantai (m)	Syarat (m)	
Atap 2	3	0,075784	0,0421603	0,06	OK
Atap 1	4	0,065518	0,0158113	0,08	OK
9	3,5	0,063043	0,0180408	0,07	OK
8	3,5	0,059078	0,0223269	0,07	OK
7	3,5	0,054171	0,0269497	0,07	OK
6	3,5	0,048248	0,0313404	0,07	OK
5	3,5	0,04136	0,0346164	0,07	OK
4	3,5	0,033752	0,0370734	0,07	OK
3	3,5	0,025604	0,0368823	0,07	OK
2	4,5	0,017498	0,0376513	0,09	OK
1	4,5	0,009223	0,0298526	0,09	OK
Dasar	3,45	0,002662	0,0121121	0,069	OK

Perbandingan Kinerja Batas Layan

Kinerja Batas Layan Arah X

Perbandingan kinerja batas layan arah x terdapat reduksi simpangan gedung. Berikut reduksi simpangan gedung yang terjadi akibat adanya pemasangan *shear wall* :

$$= \frac{(\Delta s \text{ tanpa } shear \text{ wall} - \Delta s \text{ dengan } shear \text{ wall})}{\Delta s \text{ tanpa } shear \text{ wall}} \times 100 \%$$

$$= \frac{(0,0063 - 0,005247)}{0,0063} \times 100 \% = 16,714286 \%$$

Untuk perhitungan reduksi simpangan gedung yang terjadi akibat adanya pemasangan *shear wall* untuk setiap lantai selanjutnya ditampilkan dalam tabel 10.

Tabel 10 Reduksi Simpangan Gedung pada Kinerja Batas Layan Arah X

Lantai	Kinerja Batas Layan Arah X		
	Struktur tanpa <i>Shear Wall</i>	Struktur dengan <i>Shear Wall</i>	Reduksi simpangan akibat pemasangan <i>shear wall</i> (%)
	Δs antar tingkat (m)	Δs antar tingkat (m)	
Atap 2	0,008444	0,006681	20,87873
Atap 1	0,002399	0,002051	14,506044
9	0,003139	0,002687	14,39949
8	0,003982	0,003369	15,146336
7	0,004681	0,003972	15,506921
6	0,005346	0,004517	16,029989
5	0,005602	0,004704	16,015237
4	0,006038	0,005071	16,714286
3	0,0063	0,005247	17,606983
2	0,009394	0,00774	18,149718
1	0,009912	0,008113	17,726948
Dasar	0,004197	0,003453	16,506246

Simpangan batas layan akibat gempa arah x setelah gedung dipasang *shear wall* berkurang sebesar rata – rata 16,506246 %.

Kinerja Batas Layan Arah Y

Perbandingan kinerja batas layan arah y terdapat reduksi simpangan gedung. Berikut reduksi simpangan gedung yang terjadi akibat adanya pemasangan *shear wall* :

$$= \frac{(\Delta s \text{ tanpa } shear \text{ wall} - \Delta s \text{ dengan } shear \text{ wall})}{\Delta s \text{ tanpa } shear \text{ wall}} \times 100 \%$$

$$= \frac{(0,009477 - 0,008106)}{0,009477} \times 100 \% = 14,466603 \%$$

Untuk perhitungan reduksi simpangan gedung yang terjadi akibat adanya pemasangan *shear wall* untuk setiap lantai selanjutnya ditampilkan dalam tabel 11.

Tabel 11 Reduksi Simpangan Gedung pada Kinerja Batas Layan Arah Y

Lantai	Kinerja Batas Layan Arah Y		
	Struktur tanpa <i>Shear Wall</i>	Struktur dengan <i>Shear Wall</i>	Reduksi simpangan akibat pemasangan <i>shear wall</i> (%)
	Δs antar tingkat (m)	Δs antar tingkat (m)	
Atap 2	0,01076	0,009266	13,884758
Atap 1	0,00408	0,003475	14,828431
9	0,004664	0,003965	14,987136
8	0,005734	0,004907	14,422742
7	0,006918	0,005923	14,38277
6	0,008044	0,006888	14,37096
5	0,008878	0,007608	14,305024
4	0,00951	0,008148	14,321767
3	0,009477	0,008106	14,466603
2	0,009667	0,008275	14,399503
1	0,007657	0,006561	14,3137
Dasar	0,003085	0,002662	13,711507

Simpangan batas layan akibat gempa arah y setelah gedung dipasang *shear wall* berkurang sebesar rata – rata 14,366242 %.

Perbandingan Kinerja Batas *Ultimate*

Kinerja Batas *Ultimate* Arah X

Perbandingan kinerja batas *ultimate* arah x terdapat reduksi simpangan gedung. Berikut reduksi simpangan gedung yang terjadi akibat adanya pemasangan *shear wall* :

$$= \frac{(\Delta s \text{ tanpa } shear \text{ wall} - \Delta s \text{ dengan } shear \text{ wall})}{\Delta s \text{ tanpa } shear \text{ wall}} \times 100 \%$$

$$= \frac{(0,024255 - 0,02387385)}{0,024255} \times 100 \% = 1,5714286 \%$$

Untuk perhitungan reduksi simpangan gedung yang terjadi akibat adanya pemasangan *shear wall* untuk setiap lantai selanjutnya ditampilkan dalam tabel 12. Simpangan batas *ultimate* akibat gempa arah x setelah gedung dipasang *shear wall* berkurang sebesar rata – rata 1,7395894 %.

Kinerja Batas *Ultimate* Arah Y

Perbandingan kinerja batas *ultimate* arah y terdapat penambahan simpangan gedung. Berikut penambahan simpangan gedung yang terjadi akibat adanya pemasangan *shear wall* := $\frac{(\Delta s \text{ tanpa } shear \text{ wall} - \Delta s \text{ dengan } shear \text{ wall})}{\Delta s \text{ tanpa } shear \text{ wall}} \times 100 \%$

$$= \frac{(0,03648645 - 0,0368823)}{0,03648645} \times 100 \% = 1,0732791 \%$$

Untuk perhitungan penambahan simpangan gedung yang terjadi akibat adanya pemasangan *shear wall* untuk setiap lantai selanjutnya ditampilkan dalam tabel 13.

Tabel 12 Reduksi Simpangan Gedung pada Kinerja Batas *Ultimate* Arah X

Lantai	Kinerja Batas <i>Ultimate</i> Arah X		
	Struktur tanpa <i>Shear Wall</i>	Struktur dengan <i>Shear Wall</i>	Reduksi simpangan akibat pemasangan <i>shear wall</i> (%)
	$\zeta \times \Delta s$ antar lantai (m)	$\zeta \times \Delta s$ antar lantai (m)	
Atap 2	0,0325094	0,03039855	6,4930451
Atap 1	0,00923615	0,00933205	1,0383114
9	0,01208515	0,01222585	1,1642388
8	0,0153307	0,01532895	0,011415
7	0,01802185	0,0180726	0,2816026
6	0,0205821	0,02055235	0,1445431
5	0,0215677	0,0214032	0,7627146
4	0,0232463	0,02307305	0,7452799
3	0,024255	0,02387385	1,5714286
2	0,0361669	0,035217	2,626437
1	0,0381612	0,03691415	3,267848
Dasar	0,01615845	0,01571115	2,7682111

Tabel 13 Penambahan Simpangan Gedung pada Kinerja Batas *Ultimate* Arah Y

Lantai	Kinerja Batas <i>Ultimate</i> Arah Y		
	Struktur tanpa <i>Shear Wall</i>	Struktur dengan <i>Shear Wall</i>	Penambahan simpangan akibat pemasangan <i>shear wall</i> (%)
	$\zeta \times \Delta s$ antar lantai (m)	$\zeta \times \Delta s$ antar lantai (m)	
Atap 2	0,041426	0,0421603	1,7416859
Atap 1	0,015708	0,0158113	0,653016
9	0,0179564	0,0180408	0,4675526
8	0,0220759	0,0223269	1,123983
7	0,0266343	0,0269497	1,1701451
6	0,0309694	0,0313404	1,1837756
5	0,0341803	0,0346164	1,2598075
4	0,0366135	0,0370734	1,2405121
3	0,0364865	0,0368823	1,0732791
2	0,037218	0,0376513	1,150825
1	0,094795	0,0298526	1,2498095
Dasar	0,0118773	0,0121121	1,939701

Simpangan batas *ultimate* akibat gempa arah y setelah gedung dipasang *shear wall* bertambah sebesar rata – rata 1,1877801 %.

KESIMPULAN

Struktur tanpa *shear wall* pada kontrol geser arah x menunjukkan bahwa $V = 369437,04$ lebih besar dari $0,8.V_1 = 333768,466$ yang berarti bahwa sudah memenuhi syarat dan pada kontrol geser arah y menunjukkan bahwa $V = 339526,43$ lebih besar dari $0,8.V_1 = 333768,466$ yang berarti bahwa sudah memenuhi syarat.

Struktur dengan *shear wall* pada kontrol geser arah x menunjukkan bahwa $V = 305789,85$ lebih besar dari $0,8.V_1 = 288559,08$ yang berarti bahwa sudah memenuhi syarat dan pada kontrol geser arah y menunjukkan bahwa $V = 291589,6$ lebih besar dari $0,8.V_1 = 288559,08$ yang berarti bahwa sudah memenuhi syarat.

Besar kinerja batas layan struktur gedung dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui $\frac{0,03}{R}$ x tinggi tingkat struktur gedung tersebut atau 30 mm didapatkan bahwa :

- Struktur tanpa *shear wall* pada arah x memiliki nilai maksimum 0,008444 m dan nilai minimum 0,002399 m, kemudian pada arah y memiliki nilai maksimum 0,01076 m dan nilai minimum 0,003085 m.
- Struktur dengan *shear wall* pada arah x memiliki nilai maksimum 0,006681 m dan nilai minimum 0,002051 m, kemudian pada arah y memiliki nilai maksimum 0,009266 m dan nilai minimum 0,002662 m.

Besar kinerja batas *ultimate* struktur gedung dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur ($\Delta_s \times \zeta$) tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan didapatkan bahwa :

- Struktur tanpa *shear wall* pada arah x memiliki nilai maksimum 0,0381612 m dan nilai minimum 0,00933205 m, kemudian pada arah y memiliki nilai maksimum 0,094795 m dan nilai minimum 0,0118773m.
- Struktur dengan *shear wall* pada arah x memiliki nilai maksimum 0,03691415 m dan nilai minimum 0,00923615 m, kemudian pada arah y memiliki nilai maksimum 0,0421603 m dan nilai minimum 0,0158113 m.

Effektifitas struktur gedung tanpa *shear wall* dan dengan *shear wall*, ditinjau dari hasil reduksi kedua struktur didapatkan bahwa :

- Simpangan batas layan akibat gempa arah x setelah gedung dipasang *shear wall* berkurang sebesar rata – rata 16,506246 %.
- Simpangan batas layan akibat gempa arah y setelah gedung dipasang *shear wall* berkurang sebesar rata – rata 14,366242 %.
- Simpangan batas *ultimate* akibat gempa arah x setelah gedung dipasang *shear wall* berkurang sebesar rata – rata 1,7395894 %.
- Simpangan batas *ultimate* akibat gempa arah y setelah gedung dipasang *shear wall* bertambah sebesar rata – rata 1,1877801%.

Hasil reduksi diatas dapat disimpulkan bahwa penggunaan *shear wall* pada struktur bangunan gedung Hotel Tosan Solo Baru dapat mengurangi simpangan pada gempa rencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (a), 2002, SNI 03-1726-2002, *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*.
- Anonim (b), 2002, SNI 03-1727-1989, *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung*.
- Anonim (c), 2002, SNI 03-2847-2002, *Tata Cara Perhitungan Beton untuk Bangunan Gedung*.
- Chen, W.F., Lui, E.M., 2006, *Earthquake Engineering for Structural Design*, CRC/Taylor & Francis, Florida.
- . Dewi, R. Y. dan Sudrajat A. V, 2007, *Analisis Kinerja Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Balok Kolom dan Flat Slab Terhadap Beban Gempa Kuat*, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, Bandung.