

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG 10 LANTAI DENGAN ANALISIS *RESPONS SPEKTRUM* DITINJAU PADADRIFT DAN *DISPLACEMENT* MENGGUNAKAN *SOFTWARE ETABS*

Aris Priyono¹⁾, Agus Setiya Budi²⁾, Supardi³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2), 3)} Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126

e-mail :aris.priyo04@gmail.com

Abstract

An earthquake is a sudden movement that occurs in the earth's surface due to the energy of the earth is creating waves in all directions. In relation to earthquakes concerned with an area refers to the type and size of earthquakes. For Indonesia quake split the six regions with each level of vulnerability. Indonesia is an area of frequent earthquakes, because Indonesia is located on four tectonic plates, the Australian-Indian plate, Euro-Asian plate, the Pacific plate and Philippine. The analysis can be used to calculate the lateral earthquake two. Static analysis and dynamic analysis. On the way elastic distinguished history Time Variety Analysis (Time History of Capital Analysis), which is required in the way of earthquake acceleration record and response spectra Variety Analysis (Response Capital Spectrum Analysis), which in this way the maximum response of each variety that occurred vibration spectra obtained from response Plan (Design Spectra). This research method uses dynamic response spectrum analysis. This analysis is aided by using ETABS program. Based on a survey by the largest displacement response spectrum at the X value 0.0232 m and the Y direction is worth 0.0314 m. This building was declared safe on the condition and serviceability limit the performance evaluation of ultimate limits. The maximum total drift in the X direction is 0.00062 and the Y direction is 0.00084. Inelastic maximum total drift in the direction of X is 0.00061 and the Y direction is 0.00083, so when reviewed according to the ATC-40 are included in the category of Immediate Occupancy level.

Keyword : *Dynamic Analysis, Response Spectrum.*

Abstrak

Gempa bumi merupakan suatu gerakan tiba-tiba yang terjadi di permukaan bumi akibat adanya energi dari dalam bumi yang menciptakan gelombang ke segala arah. Dalam hubungannya gempa bumi bersangkutan dengan suatu wilayah yang mengacu pada jenis dan ukuran gempa bumi. Untuk wilayah Indonesia dibagi enam wilayah gempa dengan masing-masing tingkat kerawannya. Indonesia merupakan wilayah yang sering terjadi gempa, karena Indonesia terletak pada empat lempeng tektonik yaitu lempeng Australia-India, lempeng Euro-Asia, lempeng Pasifik-dan Philipine. Analisis yang dapat digunakan untuk memperhitungkan lateral pada gempa bumi ada dua. Analisis statik dan analisis dinamik. Pada cara elastis dibedakan Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respons (*Response Spectrum Modal Analysis*), dimana pada cara ini respons maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respons Rencana (*Design Spectra*). Metode penelitian ini menggunakan analisis dinamik respons spektrum. Analisis ini dibantu dengan menggunakan program ETABS. Berdasarkan tinjauan *displacement* terbesar akibat respon spektrum, pada arah X bernilai 0,0232 m dan pada arah Y bernilai 0,0314 m. Gedung ini dinyatakan aman terhadap syarat evaluasi kinerja batas layan dan batas ultimit. Maksimum total *drift* pada arah X adalah 0,00062 dan pada arah Y adalah 0,00084. Maksimum total inelastik *drift* pada arah X adalah 0,00061 dan pada arah Y adalah 0,00083, sehingga apabila ditinjau berdasarkan ATC-40 termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy*.

Kata Kunci : Analisis dinamik, Respon spektrum

PENDAHULUAN

Gempa bumi sering terjadi di Indonesia. Karena Indonesia terletak pada empat lempeng tektonik yaitu lempeng Australia-India, lempeng Euro-Asia, lempeng Pasifik-dan Philipine. Dengan adanya peristiwa gempa yang terjadi di Indonesia yang mengakibatkan kerusakan struktur. Untuk memperhitungkan beban lateral (gempa bumi) yang bekerja pada suatu struktur dapat dianalisis dengan menggunakan analisis secara statik ekuivalen dan analisis dinamik (*respons* spektrum dan riwayat waktu). Sedangkan struktur bangunan yang tidak beraturan dan mempunyai tingkat banyak dapat dianalisis dengan menggunakan analisis dinamik untuk pengaruh gempa terhadap struktur. Dalam penelitian ini menggunakan analisis dinamik dengan metode analisis *respons* spektrum.

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.

Sebab-sebab terjadinya gempa menurut Kardiyono Tjokrodimuljo (1993) adalah :

- Keruntuhan tanah di dalam gua. Akibat terjadinya tanah runtuh di dalam gua maka terjadi getaran di permukaan tanah di sekitar gua tersebut.
- Tumbukan antara meteor dan permukaan bumi. Pada saat ada meteor yang jatuh ke bumi maka terjadilah tumbukan yang sangat keras antara meteor dan permukaan tanah sehingga tanah disekitar tempat jatuhnya meteor tersebut bergetar.
- Peristiwa vulkanik, yaitu kegiatan gunung api yang meletus. Pada waktu terjadi gunung meletus biasanya terjadi getaran tanah di sekitar gunung tersebut.
- Peristiwa tektonik, yaitu gerakan lempeng atau kerak bumi.

Menurut Dewi dan Sudrajat (2005), Gempa bumi yang paling banyak terjadi di Indonesia adalah gempa bumi tektonik, yang merupakan jenis gempa yang menimbulkan kerusakan paling luas.

Analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan 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. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respons (*Respons Spectrum Modal Analysis*), dimana pada cara ini *respons* maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respons Rencana (*Design Spectra*). Pada analisis dinamis elastis digunakan untuk mendapatkan *respons* struktur akibat pengaruh gempa yang sangat kuat dengan cara integrasi langsung (*Direct Integration Method*). Analisis dinamik elastis lebih sering digunakan karena lebih sederhana.

METODE

Metode penelitian ini menggunakan analisis dinamik respon spektrum. Analisis ini dibantu dengan menggunakan program ETABS. Langkah analisis yang hendak dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan. Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini adalah *shop drawing* bangunan dan data tanah untuk perancangan hotel. *Shop drawing* dipergunakan untuk pemodelan struktur 3D di dalam program ETABS. Menghitung dan menentukan jenis beban yang bekerja pada struktur. Beban tersebut berupa beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Untuk mendapat kurva respon spektrum sesuai wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program ETABS. Selanjutnya adalah melakukan analisis pada model/ *run* program ETABS. Hasil output dari analisis program ini adalah berupa *displacement*, *drift*, dan *base shear* (gaya geser dasar).

Tabel 1. Deskripsi gedung

Diskripsi gedung	Keterangan
Sistem struktur	<i>Dual system Wall-frame</i> beton bertulang
Fungsi gedung	Tempat hunian / hotel / <i>apartement</i>
Jumlah lantai	10
Tinggi maksimum gedung	33,95m ²
Elevasi terendah gedung	- 3,6m
Tinggi lantai tipikal	3,6m
Jumlah lantai <i>basement</i>	1
Kedalaman <i>basement</i>	3,55m
Luas total gedung termasuk <i>basement</i>	8.095,47m ²

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mutu beton yang digunakan dalam bangunan ini baik untuk struktur atas maupun struktur bawah adalah mutu beton f'c 25. Mutu baja tulangan yang digunakan terdiri dari baja tulangan ulir (*deform*) dan baja tulangan polos. Untuk tulangan ulir fy 400 Mpa dan untuk tulangan polos 300 Mpa, modulus elastisitas baja Es 200.000 Mpa.

Tabel 2. Rekapitulasi berat struktur per lantai

No	Lantai	Beban Mati		Beban Hidup(ton)	Beban Total(ton)
		Struktur(ton)	Tambahan(ton)		
1	Atap dak	84,269	17,572	17,205	119,046
2	Atap	501,379	89,451	48,058	638,888

Lanjutan Tabel 2. Rekapitulasi berat struktur per lantai

3	Lantai 8	720,016	89,563	48,118	857,697
4	Lantai 7	963,684	89,814	48,253	1101,751
5	Lantai 6	1115,974	90,377	48,555	1254,906
6	Lantai 5	1037,231	90,377	48,555	1176,163
7	Lantai 3	941,612	90,377	48,555	1080,544
8	Lantai 2	987,305	134,741	72,389	1194,436
9	Lantai 1	869,113	134,743	72,390	1076,246
10	Lantai dasar	1687,783	142,166	76,379	1906,328
11	Basement	614,696	77,654	78,704	771,054
	Jumlah				11177,058

Pembuatan grafik respon spektrum gempa rencana menggunakan peta gempa berdasarkan SNI 1726-2012. Pada peta tersebut didapatkan bahwa bangunan mempunyai nilai S_1 0,32 g dan S_s 0,76 g. Selanjutnya berdasarkan Tabel 4 dan 5 SNI 1726-2012 didapatkan nilai F_a 1,196 dan F_v 1,760.

$$S_{DS} = 2/3 \times F_a \times S_s \dots\dots\dots [1]$$

$$S_{D1} = 2/3 \times F_v \times S_1 \dots\dots\dots [2]$$

Berdasarkan persamaan 1 dan 2 maka nilai S_{DS} adalah 0,606 dan S_{D1} adalah 0,375.

$$T_0 = 0,2(S_{D1} / S_{DS}) \dots\dots\dots [3]$$

$$T_s = (S_{D1} / S_{DS}) \dots\dots\dots [4]$$

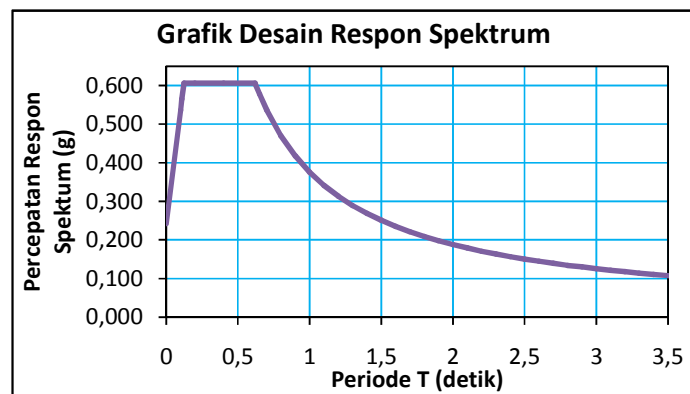
$$S_a \text{ untuk nilai } T = 0, \quad S_a = 0,4 S_{DS} \dots\dots\dots [5]$$

$$S_a \text{ untuk saat di } T_0 \leq T \leq T_s, \quad S_a = S_{DS} \dots\dots\dots [6]$$

$$S_a \text{ untuk nilai } T < T_0, \quad S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 (T/T_0)) \dots\dots\dots [7]$$

$$S_a \text{ untuk nilai } T > T_s, \quad S_a = (S_{D1} / T) \dots\dots\dots [8]$$

Sesuai persamaan 3 sampai 8 dapat dibuat grafik respon spektrum gempa rencana sesuai dengan lokasi bangunan.



Gambar 1. Grafik respon spektrum gempa rencana

Beban-beban lain yang diperhitungkan dalam pemodelan di ETABS adalah beban tekanan tanah pada dinding *basement* dan beban tekanan *uplift* pada *basement* paling dasar. Berdasarkan analisa tekanan tanah yang membebani dinding *basement* sedalam 3,60 m adalah 21,394 kN/m sehingga untuk tekanan tanah pada dinding *basement* tiap m² adalah 5,943 kN/m² atau 0,594 t/m². Nilai tersebut diperoleh berdasarkan hasil analisis *bored log* yang dilengkapi dengan data laboratorium dan berdasarkan letak M.A.T. atau muka air tanah.

Perhitungan Periode getar

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.2. periode getar suatu bangunan dibatasi nilai maksimum dan nilai minimum dimana nilai-nilai tersebut berbeda antara arah x dan arah y bangunan sesuai dengan parameternya.

-Periode getar arah x

$$T_a \text{ minimum} = C_t h_n^x \dots\dots\dots [9]$$

$$C_t = 0,0488 \quad (\text{Table SNI 1726-2012})$$

$$x = 0,75 \quad (\text{Table SNI 1726-2012})$$

$$h_n = 37,55 \text{ m} \quad (\text{Tinggi gedung})$$

Berdasarkan persamaan 9, nilai T_a minimum adalah 0,740 detik.

$$T_a \text{ maksimum} = C_u T_a \text{ minimum} \dots\dots\dots [10]$$

$$C_u = 1,4 \quad (\text{Table SNI 1726-2012})$$

Berdasarkan persamaan 10, nilai T_a maksimum adalah 1,036 detik.

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah x adalah 1,142 detik. Karena T_a pada ETABS lebih besar dari syarat maksimal, maka T_a yang digunakan adalah T_a maksimal yaitu 1,036 detik.

-Periode getar arah y

Untuk nilai T_a minimum dan T_a maksimum pada arah y sama dengan nilai pada arah x.

T_a minimum = 0,740 detik

T_a maksimum = 1,036 detik

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah y adalah 1,142 detik. Karena T_a pada ETABS lebih besar dari syarat maksimal, maka T_a yang digunakan adalah T_a maksimal yaitu 1,036 detik.

Koefisien Respon Seismik (C_s)

Menurut SNI 1726-2012, penentuan koefisien respon seismik suatu bangunan sama seperti penentuan periode getar bangunan yaitu terdapat batasan nilai minimum dan nilai maksimum berdasarkan arah bangunannya

- C_s arah x

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots \dots \dots [11]$$

$S_{DS} = 0,606$

$I_e = 1,00$ (Tabel SNI 1726-2012)

Berdasarkan persamaan 11, nilai C_s minimum adalah 0,0267

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots [12]$$

$S_{D1} = 0,375$

$R = 7$ (Tabel SNI 1726-2012)

$T = 1,036$ detik

Berdasarkan persamaan 12, nilai C_s maksimum adalah 0,0518

$$C_s \text{ hitungan} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \dots \dots \dots [13]$$

Berdasarkan persamaan 13, nilai C_s hitungan adalah 0,0866. Karena C_s hitungan bernilai lebih dari C_s pada batas maksimal, maka C_s yang dipakai adalah C_s maksimum yaitu 0,0518

- C_s arah y

Gedung pada arah y sama-sama memiliki dinding geser sehingga nilai R adalah 7 sama pada arah x. C_s minimum, C_s maksimum, dan C_s hitungan mempunyai nilai yang sama pada arah x.

Gaya Geser Dasar Seismik

Di dalam SNI 1726-2012 dijelaskan bahwa gaya geser seismik ditentukan dengan perkalian Koefisien respon Seismik dengan berat total gedung.

$$V = C_s \cdot W_t \dots \dots \dots [14]$$

Karena nilai C_s arah x dan arah y sama, maka besarnya gaya geser pada gedung mempunyai nilai yang sama. Berdasarkan persamaan 14 maka nilai V adalah 578,489 ton.

Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012 gaya gempa lateral (F) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut

$$F = C_{vx} \cdot V \dots \dots \dots [15]$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \dots \dots \dots [16]$$

C_{vx} = faktor distribusi vertikal gaya gempa W_i dan W_x = berat tingkat struktur

V = gaya lateral atau gaya geser struktur h_i dan h_x = tinggi dasar sampai tingkat i

k = eksponen terkait dengan periode, $T \leq 0,5$ maka $k = 1$ dan $T \geq 2,5$ maka $k = 2$

Nilai T dan V baik arah x maupun y adalah sama, sehingga distribusi vertikal gaya gempa arah x dan arah y bernilai sama. Perhitungan distribusi vertikal gempa dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Distribusi vertikal gaya gempa dan arah pembebanan

Lantai	Tinggi (m)	Berat (ton)	Wx hx ^k	Cvx	F = Cvx V (ton)	100%	30%
Atap DAK	37.550	108.723	10794.451	0.026	15.711	15.711	4.713
Lantai Atap	34.300	638.888	56551.533	0.137	82.309	82.309	24.693
Lantai 8	30.350	857.697	65008.226	0.158	94.618	94.618	28.385
Lantai 7	26.750	1101.751	71150.467	0.173	103.558	103.558	31.067
Lantai 6	23.150	1254.906	67468.132	0.164	98.198	98.198	29.459
Lantai 5	19.550	1176.163	51034.714	0.124	74.280	74.280	22.284
Lantai 3	15.950	1080.544	36220.274	0.088	52.718	52.718	15.815
Lantai 2	12.350	1194.436	28945.831	0.070	42.130	42.130	12.639
Lantai 1	7.950	1076.246	14918.788	0.036	21.714	21.714	6.514
Lantai Dasar	3.550	1906.328	9505.671	0.023	13.835	13.835	4.151
Basement	0.000	1179.044	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		11177,058	395651.401	1	578,489	578,489	173,547

Arah gempa yang sebenarnya tidak dapat dipastikan. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka dalam SNI disebutkan bahwa pembebanan gempa arah utama dianggap efektif sebesar 100% dan ditambah dengan pembebanan gempa sebesar 30% pada arah tegak lurusnya. Selanjutnya besarnya gaya tersebut dibebankan pada pusat massa struktur tiap-tiap lantai tingkat.

Gaya Geser Dasar Bangunan

Berdasarkan SNI 1726-2012 gaya geser dasar (*base shear*) yang didapatkan dari hasil analisa dinamik respons spektrum minimum adalah sebesar 85 % gaya geser dasar yang dihitung berdasarkan cara statik ekuivalen. Apabila gaya geser dasar hasil analisa dinamik respon spektrum lebih kecil dari 85 % gaya geser dasar statik ekuivalen, maka ordinat respon spektrum harus dikalikan dengan faktor skalanya.

$$FS = \frac{0,85V_{statik}}{V_{dinamik}} \dots \dots \dots [16]$$

Tabel 4. *Base shear* statik ekuivalen dan dinamik respon spektrum

Statik X(ton)		Statik Y (ton)		RSPX(ton)		RSPY (ton)	
Arah x (100%)	131,1	Arah x (30%)	81,72	Arah x (100%)	491,715	Arah x (30%)	147,514
Arah y (30%)	81,72	Arah y (100%)	105,21	Arah y (30%)	147,514	Arah y (100%)	491,715

Tabel 5. Faktor skala tahap 1

0,85 V Statik X (ton)	RSPX (ton)	FS	0,85 V Statik Y (ton)	RSPY (ton)	FS		
Arah x (100%)	491,715	507,470	0,969	Arah x (30%)	147,515	417,600	0,354
Arah y (30%)	147,515	350,920	0,421	Arah y 100%)	491,715	503,880	0,976

Nilai FS pada RSPX arah x telah kurang dari 1 hal ini berarti V dari dinamik respon spektrum telah lebih besar dari 0,85V statik ekuivalen. Hal ini telah sesuai pada SNI 1726-2012. Maka dari itu analisis dinamik respon spektrum dapat digunakan untuk menentukan *displacement* struktur gedung. Berikut ini adalah rekapitulasi faktor skala yang dimasukkan pada ordinat U1 dan U2 pada program ETABS.

Tabel 6. Rekapitulasi faktor skala

PercepatanGempa	Arah	Faktor Skala Tahap 1	Faktor Pengali 1	Faktor Skala Baru
RSPX	U1 (100%)	1,401	3,884	5,442
	U2 (30%)	0,420	1,869	2,619
RSPY	U1 (30%)	0,420	1,869	2,619
	U2 (100%)	1,401	4,840	6,781

Hasil Analisis *Displacemen* Akibat Beban Kombinasi

Analisis dilakukan dengan *software* ETABS dan dari program tersebut didapatkan hasil *displacement* pada bangunan yang diteliti. Selanjutnya dari berbagai kombinasi yang digunakan diambil nilai *displacement* yang paling besar.

Tabel 7. Kombinasi pembebanan yang digunakan

Kombinasi 1	1,4 D	1,4 D + 1,4 SIDL
Kombinasi 2	1,2 D + 1,6 L	1,2 D + 1,2 SIDL + 1,6 L
Kombinasi 3	0,9 D ± 1,0 E	0,9 D + 0,9 SIDL + 1,0 EQX/RSPX
Kombinasi 4		0,9 D + 0,9 SIDL + 1,0 EQY/RSPY
Kombinasi 5		0,9 D + 0,9 SIDL - 1,0 EQX/RSPX
Kombinasi 6		0,9 D + 0,9 SIDL - 1,0 EQY/RSPY
Kombinasi 7	1,2 D + 1,0 L ± 1,0 E	1,2 D + 1,2 SIDL + 1,0 L + 1,0 EQX/RSPX
Kombinasi 8		1,2 D + 1,2 SIDL + 1,0 L + 1,0 EQY/RSPY
Kombinasi 9		1,2 D + 1,2 SIDL + 1,0 L - 1,0 EQX/RSPX
Kombinasi 10		1,2 D + 1,2 SIDL + 1,0 L - 1,0 EQY/RSPY

Tabel 8. *Displacement* maksimal gedung hasil output ETABS

No	Lantai	Elevasi (m)	Statik Ekuivalen <i>Displacement</i> (m)		Dinamik Respon Spektrum <i>Displacement</i> (m)	
			Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
1	Atap DAK	37,550	0,0722	0,1229	0,0232	0,0314
2	Atap	34,300	0,0657	0,1112	0,0212	0,0432
3	Lantai 8	30,350	0,0575	0,0966	0,018	0,039
4	Lantai 7	26,750	0,0492	0,0822	0,0152	0,0346
5	Lantai 6	23,150	0,0405	0,0674	0,0122	0,0294
6	Lantai 5	19,550	0,0316	0,0524	0,0092	0,0235
7	Lantai 3	15,950	0,0227	0,0377	0,0065	0,0172
8	Lantai 2	12,350	0,0148	0,0244	0,0043	0,0118
9	Lantai 1	7,950	0,0061	0,0098	0,0021	0,0052
10	Lantai Dasar	3,550	0,0005	0,0006	0,0004	0,0003
11	Basement	0,000	0	0	0	0

Tabel 9. Kinerja batas layan gedung

Lantai	Syarat batas		Δs Statik		Ket.	Δs Dinamik		Ket.
	Δs antar Lantai (m)	Ekivalen (m)	Respon Spektrum (m)					
			Arah X	Arah Y				
Atap DAK	0,0139	0,0065	0,0117	Aman	0,0020	0,0118	Aman	
Atap	0,0169	0,0082	0,0146	Aman	0,0032	0,0042	Aman	
Lantai 8	0,0154	0,0083	0,0144	Aman	0,0028	0,0044	Aman	
Lantai 7	0,0154	0,0087	0,0148	Aman	0,0060	0,0052	Aman	
Lantai 6	0,0154	0,0089	0,0150	Aman	0,0030	0,0059	Aman	
Lantai 5	0,0154	0,0089	0,0147	Aman	0,0057	0,0063	Aman	
Lantai 3	0,0154	0,0079	0,0133	Aman	0,0022	0,0054	Aman	
Lantai 2	0,0087	0,0087	0,0146	Aman	0,0022	0,0066	Aman	
Lantai 1	0,0056	0,0056	0,0092	Aman	0,0017	0,0049	Aman	
Lantai Dasar	0,0005	0,0005	0,0006	Aman	0,0004	0,0003	Aman	
Basement	0,0000	0,0000	0,0000	Aman	0,0000	0,0000	Aman	

Tabel 10. Kinerja batas ultimit gedung

Lantai	Syarat batas		$\xi \Delta m$ Statik Ekuivalen (m)		Ket.	$\xi \Delta m$ Dinamik Respon Spektrum (m)		Ket.
	Δm (m)	Ekivalen (m)	Respon Spektrum (m)					
			Arah X	Arah Y				
Atap DAK	0,0650	0,0319	0,0573	Aman	0,0098	0,0578	Aman	
Atap	0,0790	0,0402	0,0715	Aman	0,0157	0,0206	Aman	
Lantai 8	0,0720	0,0407	0,0706	Aman	0,0137	0,0216	Aman	
Lantai 7	0,0720	0,0426	0,0725	Aman	0,0294	0,0255	Aman	
Lantai 6	0,0720	0,0436	0,0735	Aman	0,0147	0,0289	Aman	
Lantai 5	0,0720	0,0436	0,0720	Aman	0,0279	0,0309	Aman	
Lantai 3	0,0720	0,0387	0,0652	Aman	0,0108	0,0265	Aman	
Lantai 2	0,0720	0,0426	0,0715	Aman	0,0108	0,0323	Aman	
Lantai 1	0,0880	0,0274	0,0451	Aman	0,0083	0,0240	Aman	
Lantai Dasar	0,0880	0,0025	0,0029	Aman	0,0020	0,0015	Aman	
Basement	0,0710	0,0000	0,0000	Aman	0,0000	0,0000	Aman	

Hasil analisis statik ekuivalen maupun dinamik respon spektrum menyatakan bahwa gedung yang diteliti memenuhi syarat (Aman) terhadap kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit sesuai SNI 1726-2002.

Tabel 11. Level kinerja struktur gedung berdasarkan ATC-40

Parameter	Statik Ekuivalen		Respon Spektrum	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Maksimum Total Drift	0,00192	0,00327	0,00062	0,00084
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
Maksimum Total Inelastik Drift	0,00191	0,00326	0,00061	0,00083
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>

Hasil analisis dinamik respon spektrum berdasarkan *Applied Technology Council-40* (ATC-40), level kinerja struktur gedung baik arah X maupun arah Y termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy* yaitu apabila terkena gempa struktur bangunan aman, resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan/beroperasi kembali.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis dinamik respon spektrum pada arah X dan Y menghasilkan V lebih besardari 0,85V analisis statik ekuivalen, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012. Berdasarkan tinjauan *displacement* terbesar akibat respon spektrum, pada arah X bernilai 0,0232 m dan pada arah Y bernilai 0,0314 m. Gedung yang berlokasi di daerah Surakarta ini dinyatakan aman terhadap syarat evaluasi kinerja batas layan dan batas *ultimate* sesuai SNI 1726-2002. Berdasarkan hasil analisis dinamik respon spektrum yang ditinjau terhadap level kinerja struktur berdasarkan *Applied Technology Council 40* (ATC-40), nilai maksimum total *drift* pada arah X adalah 0,00062 dan arah Y adalah 0,00084, sehingga termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy*. Nilai maksimum total inelastik *drift* pada arah X adalah 0,00061 dan pada arah Y adalah 0,00083, sehingga termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy*, yaitu apabila terkena gempa struktur bangunan aman, resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan/beroperasi kembali.

REKOMENDASI

Data untuk pemodelan pada Etabs harus memenuhi apa yang dibutuhkan dan sesuai dengan data yang ada. Penelitian yang selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambah analisis kinerja gedung dengan metode dan acuan yang berbeda sehingga dapat digunakan untuk membandingkan hasil analisis yang telah dilakukan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penyusun ucapkan kepada Bapak Agus Setiya Budi, S.T., M.T. dan Bapak Ir, Supardi, MT selaku dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 dalam penelitian ini. Terima kasih kepada ayah, ibu, keluarga dan teman-teman yang telah membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini.

REFERENSI

- Applied Technology Council-40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*, Seismic Safety Commission State of California, California.
- Badan Standardisasi Nasional, 1989, *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung* SNI 03-1727-1989, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung* SNI 03-1726-2002, BSN, Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional, 2010, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung* SNI 03-1726-2012, BSN, Bandung.
- Ismailah Nur Elliza, 2013, Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS V9.50 (Studi Kasus : Gedung Solo Center Point), Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- 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.

- Helmy Iskandarsyah, 2009, *Analisis Respon Spektrum pada Bangunan yang Menggunakan Yielding Damper Akibat Gaya Gempa*, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Kardiyono Tjokrodimuljo, 1993, *Teknik Gempa*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta,
- Mc Cormac, J.C., 2002, *Desain Beton Bertulang Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- Pranata, Y. A. 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Taban Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3 , No. 1, Januari 2006
- Schodek, Daniel L. 1999. *Struktur Edisi kedua*, Erlangga, Jakarta.
- Steffie Tumilarir, *Prosedur Analisis Struktur Beton Akibat Gempa Menurut SNI 03-1726-2010*, HAKI, Jakarta
- Widodo, 2000, *Respon Dinamik Struktur Elastik*. UII Press, Yogyakarta.
- Wiryanto Dewobroto, 2005, *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Taban Gempa dengan Analisa Pushover*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan
- Wiryanto Dewobroto, 2006, *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Taban Gempa dengan SAP 2000*. Jurnal Teknik Sipil Vol.3 no.1 Januari 2006.
- Wiryanto Dewobroto, 2007, *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000 Edisi Baru*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta