

EVALUASI KINERJA STRUKTUR PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN ANALISIS DINAMIK RESPON SPEKTRUM MENGUNAKAN SOFTWARE ETABS (STUDI KASUS : HOTEL DI WILAYAH KARANGANYAR)

Muhammad Luthfi Rifa'i¹⁾, Agus Setiya Budi²⁾, Wibowo³⁾

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 : luthfi_rifai@yahoo.co.id

Abstract

Indonesia is located at the junction of the earth's tectonic plates, namely the Eurasian tectonic plates, the Pacific, the Philippines, and Indo - Australian. Besides, Indonesia also has many volcanoes which are still active, so that Indonesia is a country that is prone to earthquakes. The earthquake effects on damage to the building structure. Even it effects in fatalities because of the falling debris. When an earthquake occurs, it is expected that the building can withstand earthquake forces at a certain level without damage to the building so it avoids earthquake victims. There are two analytical approaches that can be used to calculate the lateral loads on the earthquake. Those analysis are a static analysis and dynamic analysis. Dynamic analysis is used for the high buildings which has a lot of levels. This analysis consists of dynamic response spectrum analysis and time history dynamic analysis. This study aims to investigate the building structure performance based on displacement and drift. The method that is used in this study is the dynamic response spectrum analysis by using ETABS. The maximum displacement of the building in the X direction is 0.0465 m and in the Y direction is 0.0634 m, so that if it is viewed from the limit performance and the limit ultimate performance, it is categorized as a eligible building (safety) in accordance with SNI 3-1726-2002. The maximum total drift in the X direction is 0.00090 and the Y direction is 0.00123. The maximum total inelastic drift in the X direction is 0.00077 and the Y direction is 0.00103, so that when it is viewed according to ATC - 40, it is included in the level immediate occupancy category.

Keyword : Dynamic Analysis, Response Spectrum.

Abstrak

Negara Indonesia terletak di wilayah pertemuan lempeng tektonik bumi yaitu lempeng tektonik Eurasia, Pasifik, Filipina, dan Indo-Australia. Selain itu, Indonesia juga mempunyai banyak gunung berapi yang masih aktif, sehingga Indonesia termasuk negara yang rawan terjadi gempa bumi. Peristiwa gempa bumi mengakibatkan terjadinya kerusakan pada struktur bangunan. Bahkan mengakibatkan korban jiwa karena tertimpa reruntuhan bangunan. Saat terjadi gempa diharapkan bangunan dapat menahan gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan pada bangunan sehingga menghindari adanya korban jiwa. Ada dua analisis pendekatan yang dapat digunakan untuk memperhitungkan beban lateral pada gempa bumi. Analisis tersebut adalah analisis statik dan analisis dinamik. Pada bangunan yang tinggi dan mempunyai banyak tingkat digunakan analisis dinamik. Analisis ini terdiri dari analisis dinamik respon spektrum dan analisis dinamik riwayat waktu. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui kinerja struktur gedung berdasarkan *displacement* dan *drift*. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis dinamik respon spektrum dengan menggunakan *software* ETABS. *Displacement* maksimum gedung pada arah X adalah 0,0465 m dan pada arah Y adalah 0,0634m, sehingga apabila ditinjau dari kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit gedung dinyatakan memenuhi syarat (aman)sesuai SNI 3-1726-2002. Maksimum total *drift* pada arah X adalah 0,00090 dan pada arah Y adalah 0,00123. Maksimum total inelastik *drift* pada arah X adalah 0,00077 dan pada arah Y adalah 0,00103, sehingga apabila ditinjau berdasarkan ATC-40 termasuk dalam kategori level *Immediate Occupancy*

Kata Kunci : Analisis dinamik, Respon spektrum

PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara yang beresiko tinggi terhadap ancaman gempa. Hal ini disebabkan letak negara Indonesia di pertemuan lempeng tektonik yaitu lempeng Eurasia, Pasifik, Filipina, dan Indo-Australia. Banyak bangunan dan infrastruktur yang hancur akibat terjadinya gempa. Untuk meminimalisir terjadinya kerusakan perlu dilakukan analisis pendekatan untuk memperhitungkan beban lateral yang disebabkan oleh gempa bumi. Ada dua analisis, yaitu analisis statik dan dinamik. Untuk gedung yang tinggi dan berlantai banyak, analisis yang digunakan adalah analisis dinamik. Analisis dinamik sendiri terdiri dari respon spektrum dan *time history*. Pada penelitian ini digunakan analisis dinamik respon 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.

Menurut Dewobroto (2005), proses evaluasi tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi.

Evaluasi kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana gempa akan mempengaruhi struktur bangunan gedung. Hal ini penting untuk evaluasi perilaku seismik struktur gedung pasca leleh. (Pranata, 2006)

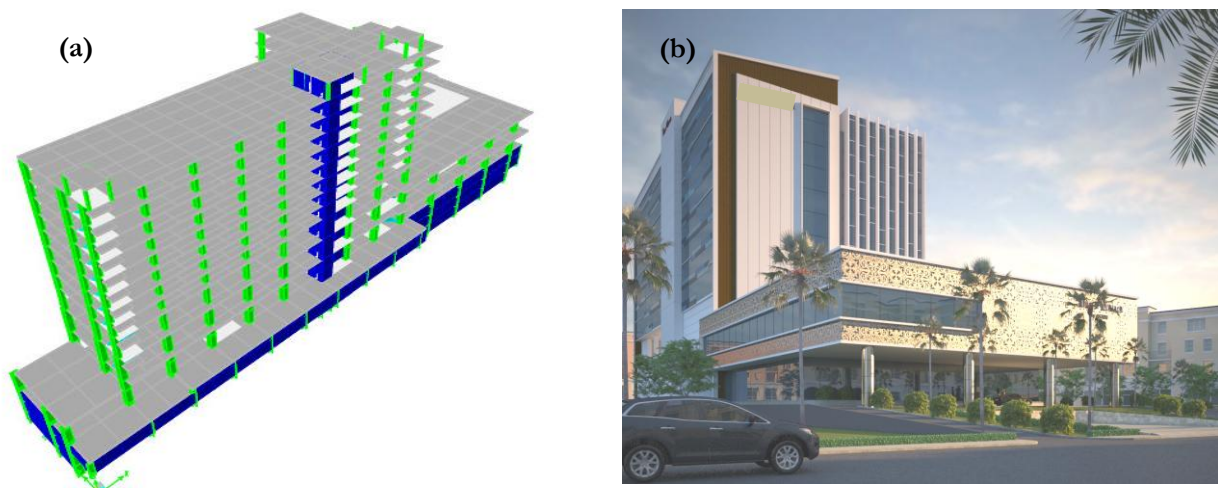
Pada struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan Analisis Ragam Riwayat Waktu (*Time History Modal Analysis*), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respon (*Respons Spectrum Modal Analysis*), dimana pada cara ini respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*). Pada analisis dinamis elastis digunakan untuk mendapatkan respon 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 pada penelitian ini adalah metode analitik yang dibantu dengan *software* ETABS . Analisis dilakukan dengan cara pemodelan struktur gedung dari mulai kolom, balok, pelat lantai, dan struktur gedung lainnya ke dalam *software*. Setelah pemodelan selesai baru dilakukan analisis dari hasil *output* ETABS

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	11	
Luas lantai tipikal	1260,66	m ²
Elevasi tertinggi gedung	+ 45,2	m
Elevasi terendah gedung	- 9,5	m
Tinggi lantai tipikal	3,2	m
Jumlah lantai <i>basement</i>	3	
Kedalaman <i>basement</i>	9,5	m
Luas total gedung termasuk <i>basement</i>	28255,02	m ²



Gambar 1. Pemodelan gedung pada ETABS (a) dan gedung yang dianalisis (b)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mutu beton yang digunakan dalam bangunan yang diteliti menggunakan K-350. Mutu tersebut digunakan untuk semua struktur bangunan baik struktur atas ataupun struktur bawah. Nilai f_c beton K-350 adalah 29,61 MPa dengan modulus elastisitas E_c adalah 25576,224 MPa.

Tabel 2. Rekapitulasi berat struktur per lantai

No	Lantai	Beban Mati		Beban Hidup(ton)	Beban Total(ton)
		Struktur(ton)	Tambahan(ton)		
1	Atap LMR	89,166	9,429	3,693	102,288
2	Atap	951,049	83,241	32,601	1066,891
3	Lantai 10	1380,090	175,988	94,550	1650,627
4	Lantai 9	1439,719	175,988	94,550	1710,257
5	Lantai 8	1457,692	175,988	94,550	1728,230
6	Lantai 7	1457,692	175,988	94,550	1728,230
7	Lantai 6	1457,692	175,988	94,550	1728,230
8	Lantai 5	1457,692	175,988	94,550	1728,230
9	Lantai 4	1457,692	175,988	94,550	1728,230
10	Lantai 3	1510,403	175,988	94,550	1780,940
11	Lantai 2	2342,629	552,543	194,428	3089,600
12	Lantai 1	3003,422	386,587	250,803	3640,812
13	Lantai 1'	110,173	19,544	10,500	140,217
14	Lantai dasar	2673,217	347,371	186,625	3207,212
15	Lantai dasar'	841,391	62,582	24,510	928,483
16	Basement 1	2939,549	330,125	378,729	3648,404
17	Basement 2	3446,288	259,965	298,239	4004,492
18	Basement 3	3061,299	198,024	642,240	3901,563
	Jumlah				37512,936

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 Persamaan (2) maka nilai S_{DS} adalah 0,606 dan S_{D1} adalah 0,375.

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

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

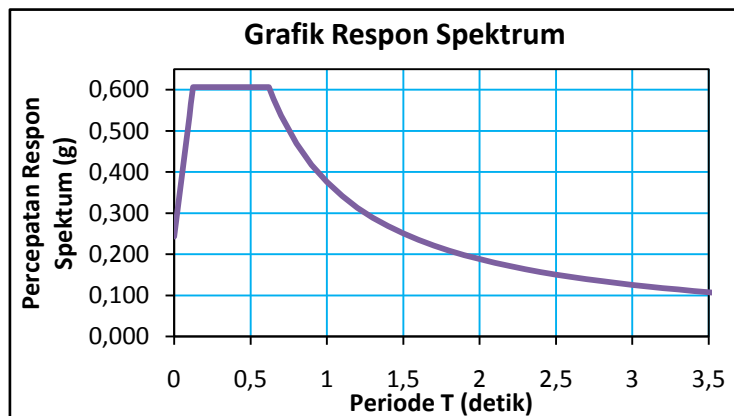
$$S_a \text{ untuk nilai } T = 0, \quad S_a = 0,4 S_{DS} \dots\dots\dots [5]$$

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

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

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

Sesuai Persamaan (3) sampai Persamaan (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. Besarnya tekanan dinding *basement* 3,857 t/m² dan tekanan *uplift* 34,335 kN/m². Nilai tersebut diperoleh berdasarkan hasil analisis *bored log* yang dilengkapi dengan data laboratorium dan berdasarkan letak M.A.T. atau muka air tanah.

Periode Getar

Berdasarkan SNI 1726-2012, periode fundamental struktur dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil koefisien batasan atas pada periode yang dihitung (C_u)

a. Periode getar arah x

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

$$C_t = 0,0488 \quad (\text{Table 15 SNI 1726-2012})$$

$$x = 0,75 \quad (\text{Table 15 SNI 1726-2012})$$

$$h_n = 54,7 \text{ m} \quad (\text{Tinggi gedung})$$

Berdasarkan Persamaan (9), nilai T_a minimum adalah 0,982 detik.

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

$$C_u = 1,4 \quad (\text{Table 14 SNI 1726-2012})$$

Berdasarkan Persamaan (10), nilai T_a maksimum adalah 1,374 detik.

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah x adalah 2,120 detik. Karena T_a pada ETABS lebih besar dari syarat maksimal, maka T_a yang digunakan adalah T_a maksimal yaitu 1,374 detik.

b. Periode getar arah y

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

$$T_a \text{ minimum} = 0,982 \text{ detik}$$

$$T_a \text{ maksimum} = 1,374 \text{ detik}$$

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah y adalah 2,342 detik. Karena T_a pada ETABS lebih besar dari syarat maksimal, maka T_a yang digunakan adalah T_a maksimal yaitu 1,374 detik.

Koefisien Respon Seismik (C_s)

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.1.1, penentuan koefisien respon seismik suatu bangunan sama seperti penentuan periode getar bangunan yaitu terdapat batasan nilai minimum dan nilai maksimum berdasarkan arah bangunannya

a. C_s arah x

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

$$S_{DS} = 0,606$$

$$I_e = 1,00 \quad (\text{Tabel 2 SNI 1726-2012})$$

Berdasarkan Persamaan (11), nilai C_s minimum adalah 0,0267

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

$$S_{D1} = 0,375$$

$$R = 7 \quad (\text{Tabel 9 SNI 1726-2012})$$

$$T = 1,374 \text{ detik}$$

Berdasarkan Persamaan (12), nilai C_s maksimum adalah 0,0390

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

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 0,0390

b. 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 1464,253 ton.

Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.3. 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 di bawah ini

Tabel 3. Distribusi vertikal gaya gempa dan arah pembebanan

Lantai	Tinggi (m)	Berat (ton)	$W_x h_x^k$	C_{vx}	F = $C_{vx} V$ (ton)	100%	30%
Atap LMR	54,700	102,288	32170,392	0,009	13,665	13,665	4,100
Atap	51,500	1066,891	307699,589	0,089	130,705	130,705	39,211
Lantai 10	48,300	1650,627	434128,794	0,126	184,409	184,409	55,323
Lantai 9	45,100	1710,257	407613,097	0,118	173,146	173,146	51,944
Lantai 8	41,900	1728,230	370557,402	0,107	157,405	157,405	47,222
Lantai 7	38,700	1728,230	330576,351	0,096	140,422	140,422	42,127
Lantai 6	35,500	1728,230	292015,703	0,085	124,042	124,042	37,213
Lantai 5	32,300	1728,230	254946,314	0,074	108,296	108,296	32,489
Lantai 4	29,100	1728,230	219449,825	0,064	93,218	93,218	27,965
Lantai 3	25,900	1780,940	191283,062	0,055	81,253	81,253	24,376
Lantai 2	20,900	3089,600	243814,948	0,071	103,568	103,568	31,070
Lantai 1	15,500	3640,812	186982,986	0,054	79,427	79,427	23,828
Lantai 1'	12,900	140,217	5531,065	0,002	2,349	2,349	0,705
Lantai dasar	9,500	3207,212	81507,278	0,024	34,623	34,623	10,387
Lantai dasar'	8,900	928,483	21484,488	0,006	9,126	9,126	2,738
Basement 1	6,000	3648,404	47903,780	0,014	20,349	20,349	6,105
Basement 2	3,000	4004,492	19418,228	0,006	8,248	8,248	2,475
Basement 3	0,000	3901,563	0	0	0	0,000	0,000
		37512,936	3447083,302	1	1464,253		

Arah gempa yang sebenarnya tidak dapat dipastikan. 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 lurus nya. 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 analisis dinamik respons spektrum minimum adalah sebesar 85 % gaya geser dasar yang dihitung berdasarkan cara statik ekuivalen. Apabila gaya geser dasar hasil analisis dinamik respon spektrum lebih kecil dari 85 % gaya geser dasar statik ekuivalen, maka ordinat respon spektrum harus dikalikan dengan faktor skalanya.

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

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

	Statik X(ton)		Statik Y (ton)		RSPX(ton)		RSPY (ton)	
Arah x (100%)	1464,253	Arah x (30%)	439,276	Arah x (100%)	1107,630	Arah x (30%)	747,450	
Arah y (30%)	439,276	Arah y (100%)	1464,253	Arah y (30%)	716,040	Arah y (100%)	1256,050	

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%)	1244,615	1107,630	1,124	Arah x (30%)	373,384	747,450	0,500
Arah y (30%)	373,384	716,040	0,522	Arah y (100%)	1244,615	1256,050	0,991

Berdasarkan table di atas nilai FS RSPX pada arah x yang mempunyai nilai lebih dari 1. Hal ini berarti 0,85 V statiknya masih lebih besar dari V dinamik, maka dari itu ordinat skala pada arah tersebut perlu dikalikan lagi dengan FS.

Tabel 6. Faktor skala tahap 2

0,85 V Statik X (ton)	RSPX (ton)	FS	FS awal (Ie/R.g)	FS baru	RSPX (ton) x skala	FS	
Arah x (100%)	1244,615	1107,630	1,124	1,401	1,575	1244,615	1,004

Nilai FS pada perkalian faktor skala tahap 2 masih bernilai lebih dari 1, maka FS tersebut masih perlu dikalikan lagi dengan FS sebelumnya dan dimasukkan ke dalam ordinat U1 dan U2 pada ETABS selanjutnya di *run*.

Tabel 7. Faktor skala tahap 3

0,85 V Statik X (ton)	RSPX (ton)	FS	FS awal	FS baru	RSPX (ton) hasil skala	FS	
Arah x (100%)	1244,615	1244,615	1,004	1,575	1,59	1244,615	0,995

Nilai FS pada RSPX arah x telah kurang dari 1 hal ini berarti V dari dinamik respon spektrum telah lebih besar dari 0,85 V 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 8. Rekapitulasi faktor skala

Percepatan Gempa	Arah	Faktor Skala Tahap 1	Faktor Pengali 1	Faktor Skala Baru	Faktor Pengali 2	Faktor Skala Baru
RSPX	U1 (100%)	1,401	1,124	1,575	1,004	1,59
	U2 (30%)	0,420	1,000	0,42	1,000	0,42
RSPY	U1 (30%)	0,420	1,000	0,42	1,000	0,42
	U2 (100%)	1,401	1,000	1,401	1,000	1,401

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

Keterangan :

D = *Dead load* (beban mati atau beban dari struktur sendiri)

L = *Live load* (beban hidup)

SIDL = *Superimposed dead load* (beban tambahan seperti spesi, kramik, pasir urug, dan lain-lain)

EQ = Beban gempa berdasarkan statik ekuivalen (X dan Y merupakan arah pembebanan)

RSP = Beban gempa berdasarkan respon spektrum (X dan Y merupakan arah pembebanan)

Tabel 10. *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	51,500	0,0878	0,1169	0,0465	0,0634
2	Lantai 10	48,300	0,0836	0,1074	0,0490	0,0600
3	Lantai 9	45,100	0,0783	0,0983	0,0452	0,0558
4	Lantai 8	41,900	0,0722	0,0888	0,0410	0,0509
5	Lantai 7	38,700	0,0653	0,0789	0,0365	0,0456
6	Lantai 6	35,500	0,0580	0,0687	0,0317	0,0398
7	Lantai 5	32,300	0,0501	0,0582	0,0266	0,0336
8	Lantai 4	29,100	0,0417	0,0476	0,0214	0,0270
9	Lantai 3	25,900	0,0357	0,0371	0,0187	0,0202
10	Lantai 2	20,900	0,0197	0,0244	0,0103	0,0176
11	Lantai 1	15,500	0,0089	0,0135	0,0045	0,0079
12	Lantai dasar	9,500	0,0005	0,0017	0,0003	0,0009
13	Basement 1	6,000	0,0044	0,0066	0,0057	0,0088
14	Basement 2	3,000	0,0044	0,0057	0,0071	0,0101
15	Basement 3	0	0	0	0	0

Tabel 11. Kinerja batas layan gedung

Lantai	Syarat batas		Δs Statik		Ket.	Δs Dinamik		Ket.
	Δs antar Lantai (m)	Ekivalen (m)	Arah X	Arah Y		Respon Spektrum (m)		
						Arah X	Arah Y	
Atap	0,0042	0,0095	Aman	0,0025	0,0034	Aman	0,0042	
Lantai 10	0,0053	0,0091	Aman	0,0038	0,0042	Aman	0,0053	
Lantai 9	0,0061	0,0095	Aman	0,0042	0,0049	Aman	0,0061	
Lantai 8	0,0069	0,0099	Aman	0,0045	0,0053	Aman	0,0069	
Lantai 7	0,0073	0,0102	Aman	0,0048	0,0058	Aman	0,0073	
Lantai 6	0,0079	0,0105	Aman	0,0051	0,0062	Aman	0,0079	
Lantai 5	0,0084	0,0106	Aman	0,0052	0,0066	Aman	0,0084	
Lantai 4	0,0060	0,0105	Aman	0,0027	0,0068	Aman	0,0060	
Lantai 3	0,0160	0,0127	Aman	0,0084	0,0026	Aman	0,0160	
Lantai 2	0,0108	0,0109	Aman	0,0058	0,0097	Aman	0,0108	
Lantai 1	0,0084	0,0118	Aman	0,0042	0,0070	Aman	0,0084	
Lantai dasar	0,0039	0,0049	Aman	0,0054	0,0079	Aman	0,0039	
Basement 1	0,0000	0,0009	Aman	0,0014	0,0013	Aman	0,0000	
Basement 2	0,0044	0,0057	Aman	0,0071	0,0101	Aman	0,0044	
Basement 3	0	0	-	0	0	-	0	

Tabel 12. Kinerja batas ultimit gedung

Lantai	Syarat batas		$\xi \Delta m$ Statik Ekuivalen (m)		Ket.	$\xi \Delta m$ Dinamik Respon Spektrum (m)		Ket.
	Δm (m)	$\xi \Delta m$	Arah X	Arah Y		Arah X	Arah Y	
Atap	0,0640	0,0206	0,0466	Aman	0,0123	0,0167	Aman	
Lantai 10	0,0640	0,0260	0,0446	Aman	0,0186	0,0206	Aman	
Lantai 9	0,0640	0,0299	0,0466	Aman	0,0206	0,0240	Aman	
Lantai 8	0,0640	0,0338	0,0485	Aman	0,0221	0,0260	Aman	
Lantai 7	0,0640	0,0358	0,0500	Aman	0,0235	0,0284	Aman	
Lantai 6	0,0640	0,0387	0,0515	Aman	0,0250	0,0304	Aman	
Lantai 5	0,0640	0,0412	0,0519	Aman	0,0255	0,0323	Aman	
Lantai 4	0,0640	0,0294	0,0515	Aman	0,0132	0,0333	Aman	
Lantai 3	0,1000	0,0784	0,0622	Aman	0,0412	0,0127	Aman	
Lantai 2	0,1080	0,0529	0,0534	Aman	0,0284	0,0475	Aman	
Lantai 1	0,1200	0,0412	0,0578	Aman	0,0206	0,0343	Aman	
Lantai dasar	0,0700	0,0191	0,0240	Aman	0,0265	0,0387	Aman	
Basement 1	0,0600	0,0000	0,0044	Aman	0,0069	0,0064	Aman	
Basement 2	0,0600	0,0216	0,0279	Aman	0,0348	0,0495	Aman	
Basement 3	0	0	0	-	0	0	-	

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 03-1726-2002.

Tabel 13. Level kinerja struktur gedung berdasarkan ATC-40

Parameter	Statik Ekuivalen		Respon Spektrum	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Maksimum Total Drift	0,00170	0,00227	0,00090	0,00123
<i>Performance Level</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Immediate Occupancy</i>
Maksimum Total Inelastik Drift	0,00162	0,00216	0,00077	0,00103
<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 besar dari 0,85 V 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. *Displacement* maksimum gedung pada arah X adalah 0,0465 m dan pada arah Y adalah 0,0634 m, sehingga apabila ditinjau dari kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit gedung dinyatakan memenuhi syarat (aman) sesuai SNI 3-1726-2002. Maksimum total *drift* pada arah X adalah 0,00090 dan pada arah Y adalah 0,00123. Maksimum total inelastik *drift* pada arah X adalah 0,00077 dan pada arah Y adalah 0,00103, sehingga apabila ditinjau berdasarkan ATC-40 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

Pemodelan struktur pada *software* ETABS harus dilakukan secara teliti dan dimodelkan sesuai dengan gambar acuan yang digunakan. Selain itu, penelitian yang selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambah analisis dengan 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 Wibowo, ST, DEA selaku dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 dalam penelitian ini. Terima kasih kepada ayah, ibu, keluarga, dan sahabat yang telah memberi doa sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya.

REFERENSI

- Adhitya P Anugerah, 2011, *Evaluasi Kinerja Gedung Bertingkat Simpangan Antar Tingkat Dengan Analisis Ragam Spektrum Respons Menggunakan ETABS V 9.50 Studi Kasus: Gedung Bertingkat Di Yogyakarta*, Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- 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, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012*, BSN, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2010, *Peta Hazard Gempa Indonesia*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Hary Christady Hardiyatmo, 2007, *Mekanika Tanah 2 Edisi Keempat*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Helmy Iskandarsyah, 2009, *Analisis Respon Spektrum pada Bangunan yang Menggunakan Yielding Damper Akibat Gaya Gempa*, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.
- 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
- Widodo, 2000, *Respon Dinamik Struktur Elastik*. UII Press, Yogyakarta.
- Wiryanto Dewobroto, 2006, *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Taban Gempa dengan SAP 2000*. Jurnal Teknik Sipil Vol.3 no.1 Januari 2006.