

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG 10 LANTAI DENGAN ANALISIS *PUSHOVER* TERHADAP *DRIFT* DAN *DISPLACEMENT* MENGUNAKAN SOFTWARE ETABS (STUDI KASUS : HOTEL DI WILAYAH SURAKARTA)

Ary Marwanto¹⁾, Agus Setiya Budi²⁾, Agus Supriyadi³⁾

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 :marwanto_arie@yahoo.com

Abstract

Earthquake or seisme many interpreted as vibrations or shocks that arise on the surface of the earth is due to the movement of tectonic plates. Earth has plates that will someday move because of pressure or energy from the earth. The plates can move away (divergent), closer (converging) or pass (transform). Movement of these plates can be in a slow time or in rapid succession. In the process there is an earthquake and the epicenter hiposentrum known. Hiposentrum epicenter is the point which resides in the earth while the epicenter is the point on the earth's surface which is right above the hiposentrum. Effect of earthquake should be reviewed in the structural design of buildings and various parts and equipment in general. Due to the influence of the earthquake plan, the overall building structure must still stand, despite being in a state on the verge of collapse. In analyzing the structure of earthquake-resistant building methods used are Sismic Performance Based Design (PBSD) and Performance Based Evaluation Sismic (PBSE). Evaluation on PBSD is one with nonlinear pushover analysis. The purpose of pushover analysis is to estimate the maximum force and deformation as well as to obtain information which parts are critical.

This study used nonlinear pushover analysis, using ETABS program. The research method begins with the 3-dimensional structure modeling using ETABS software appropriate shop drawings. Once the modeling is done loading analysis calculations in the structural form of dead load, live load and the additional load. In static pushover load case is made of two kinds, of which the first is due to the imposition of gravity load. And the second pattern gives the load is gradually according to the first mode of the structure. The results are stored in multiple static pushover with a minimum number of steps 5 and a maximum of 1001 steps.

The results obtained by analysis of the value of the drift in the x direction is 0.00312 and the y direction is 0.00298. The maximum value in-elastic drift in the x direction and the y direction is 0.00310 is 0.00297. According to ATC-40, the value of including the Immediate Occupancy performance level.

Keywords : *nonlinear pushover analysis.*

Abstrak

Gempa Bumi atau *seisme* banyak diartikan sebagai getaran atau guncangan yang timbul di permukaan bumi yang terjadi karena adanya pergerakan lempeng bumi. Bumi memiliki lempeng-lempeng yang suatu saat akan bergerak karena adanya tekanan atau energi dari dalam bumi. Lempeng-lempeng tersebut bisa bergerak menjauh (*divergen*), mendekat (*konvergen*) atau melewati (*transform*). Gerakan lempeng-lempeng tersebut bisa dalam waktu yang lambat maupun dalam waktu yang cepat. Dalam proses gempa bumi ada yang dikenal dengan hiposentrum dan episentrum. Hiposentrum adalah titik pusat gempa yang berada didalam bumi sedangkan episentrum adalah titik di permukaan bumi yang berada tepat di atas hiposentrum. Pengaruh gempa 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. Dalam menganalisis struktur bangunan gedung tahan gempa metode yang digunakan adalah *Performance Based Sismic Design (PBSD)* dan *Performance Based Sismic Evaluation (PBSE)*. Evaluasi pada PBSD adalah salah satunya dengan analisis nonlinier *pushover*. Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis.

Penelitian yang digunakan ini adalah analisis nonlinier *pushover*, menggunakan program ETABS. Metode penelitian diawali dengan pemodelan struktur 3 dimensi dengan menggunakan *software* ETABS sesuai *shopdrawing*. Setelah pemodelan dilakukan analisis perhitungan pembebanan pada struktur tersebut berupa beban mati, beban hidup dan beban tambahan. Pada *static pushover case* dibuat dua macam pembebanan, dimana yang pertama adalah pembebanan akibat beban gravitasi. Dan pola yang kedua memberi beban secara berangsur-angsur adalah sesuai dengan mode pertama struktur. Hasil *pushover* disimpan secara multiple statis dengan jumlah minimum 5 steps dan maksimum 1001 steps.

Hasil analisis diperoleh nilai *drift* pada arah x adalah 0,00312 dan pada arah y adalah 0,00298. Nilai maksimal *in-elastic drift* pada arah x adalah 0,00310 dan arah y adalah 0,00297. Menurut ATC-40, nilai level kinerja termasuk *Immediate Occupancy*.

Kata kunci : analisis nonlinier *pushover*.

PENDAHULUAN

Gempa bumi juga diartikan sebagai suatu pergeseran lapisan secara tiba-tiba yang berasa dalam bumi. Karena gempa bumi dikatakan bersumber dari dalam bumi atau lapisan bawah bumi berarti gempa bumi adalah getaran pada kulit bumi yang disebabkan oleh kekuatan dari dalam bumi. Bumi kita ini memiliki lempeng-lempeng yang suatu saat akan bergerak karena adanya tekanan atau energi dari dalam bumi. Terjadinya gempa disebabkan oleh benturan atau gesekan antar plat tektonik

(lempeng bumi). Lempeng samudera yang rapat massanya lebih besar bertumbukan dengan lempeng benua di zona tumbukan (subduksi) akan menyusup ke bawah. Gerakan lempeng itu akan mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi. Perlambatan gerak itu menyebabkan penumpukan energi di zona subduksi dan zona patahan. Akibatnya zona-zona itu terjadi tekanan, tarikan dan geseran. Pada batas elastisitas lempeng telampau maka terjadilah patahan batuan yang diikuti oleh lepasnya energi secara tiba-tiba atau proses ini menimbulkan getaran partikel ke segala arah yang disebut gelombang gempa. Pergeseran atau benturan antar plat tektonik menyebabkan plat tektonik bergerak. Pengaruh gempa 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.

Wiryanto Dewobroto (2006) menyatakan *pushover analysis* adalah suatu analisis statik nonlinier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama didalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi elastik kemudian disusul pelelehan (sendi plastis) dilokasi lain pada struktur tersebut.

Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. (Wiryanto Dewobroto,2006)

METODE

Metode dalam tugasakhir ini akan dilakukan analisis static nonlinier struktur (*pushover analysis*). Analisis *pushover* dilakukan sesuai dengan prosedur A pada dokumen ATC-40 menggunakan bantuan software ETABS dengan konsep *Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)*. Analisis *pushover* merupakan analisis yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja dari sebuah struktur gedung, hasil dari analisis *pushover* adalah *capacity curve, performance point*.

Tabel 1. Deskripsi gedung

Diskripsi gedung	Keterangan
Sistem struktur	<i>Dual System</i> (kombinasi sistem rangka pemikul momen dan sistem dinding struktural)
Fungsi gedung	Tempat hunian / hotel / <i>apartment</i>
Jumlah lantai	10
Elevasi tertinggi gedung	+ 33,95 m
Tinggi lantai tipikal	3,6 m
Jumlah lantai <i>basement</i>	1
Elevasi terendah gedung	- 3,55 m
Luas total gedung	8095.47m ²

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mutu beton yang digunakan untuk struktur atas maupun struktur bawah adalah mutu beton $f'c$ 25. Mutu baja tulangan adalah $f_y = 400$ MPa untuk tulangan ulir dan $f_y = 300$ MPa untuk tulangan polos. Dengan modulus elastisitas E_s 200.00 MPa. Pada dimensi elemen struktur kolom dan balok mempunyai tipe yang beraneka ragam, sedangkan tebal pelat pada gedung bervariasi pada tiap lantainya.

Pembebanan

Menghitung beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup. Beban mati yang bekerja yaitu: beton bertulang (2400 kg/m³), pasir (1600 kg/m³), adukan semen dan spasi (21 kg/m²), eternit (11 kg/m²), penggantung langit-langit (7 kg/m²), kramik (24 kg/m²), *ducting* AC dan penerang (30,6 kg/m²), *waterproof* (14 kg/m²) dan dinding pasangan bata merah 1/2 batu (250 kg/m²). Pada beban hidup yang bekerja pada tiap lantai antara lain: atap (100 kg/m²), tangga (300kg/m²), lantai hotel (250 kg/m²) dan parkir lantai basement (800 kg/m²). Reduksi untuk beban hidup hotel adalah: Tinjauan beban gravitasi 0,75 dan Tinjauan beban gempa 0,3

Tabel 2. Rekapitulasi berat struktur per lantai

Lantai	Beban Mati			W Total Ton	Massa Bangunan (W total * g) Ton
	Berat Struktur Ton	Berat Tambahan Ton	Beban Hidup Ton		
Atap DAK	84,269	17,572	6,882	108,723	11,083
Lantai atap	501,379	89,451	48,058	638,888	65,126
Lantai 8	720,016	89,563	48,118	857,697	87,431
Lantai 7	963,684	89,814	48,253	1101,751	112,309
Lantai 6	1115,974	90,377	48,555	1254,906	127,921
Lantai 5	1037,231	90,377	48,555	1176,163	119,894

Lantai 3	941,612	90,377	48,555	1080,544	110,147
Lantai 2	987,305	134,741	72,389	1194,436	121,757
Lantai 1	869,113	134,743	72,390	1076,246	109,709
Lantai dasar	1687,783	142,166	76,379	1906,328	194,325
Basement	849,538	77,654	251,852	1179,044	120,188

Menurut peta *barzad* 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.

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

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

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

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

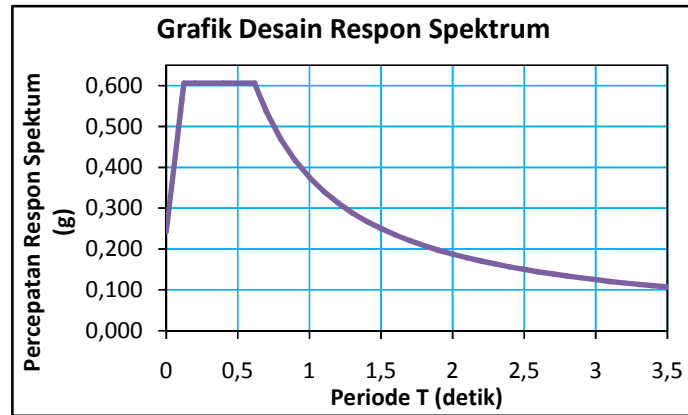
$$T_s = (S_{D1} / S_{DS}) \dots\dots\dots [4]$$

$$S_a \text{ untuk saat di } T_0 \leq T \leq T_s, \quad S_a = S_{DS} \dots\dots\dots [5]$$

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

$$S_a \text{ untuk nilai } T > T_s, \quad S_a = (S_{D1} / T) \dots\dots\dots [7]$$

Sesuai persamaan 3 sampai 7 dapat dibuat grafik respon spektrum gempa rencana sesuai dengan lokasi bangunan.



Gambar 1. Grafik respon spektrum gempa rencana

Perhitungan Periode getar

Berdasarkan SNI 1726-2012 periode getar suatu bangunan dibatasi nilai maksimum dan nilai minimum dimana nilai-nilai tersebut berbeda antara arah x dan arah y bangunan sesuai dengan parameteranya. Periode fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil koefisien batasan atas pada periode yang dihitung (C_u)

-Periode getar arah x

$$T_a \text{ minimum} = C_t h_n^x \dots\dots\dots [8]$$

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

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

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

Berdasarkan persamaan 8, nilai T_a minimum adalah 0,740 detik.

$$T_a \text{ maksimum} = C_u T_a \text{ minimum} \dots\dots\dots [9]$$

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

Berdasarkan persamaan 9, 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.

$$T_a \text{ minimum} = 0,740 \text{ detik}$$

$$T_a \text{ maksimum} = 1,036 \text{ detik}$$

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah y adalah 1,264 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 (Cs)

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

-Cs arah x

$$Cs \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \dots\dots\dots [10]$$

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

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

Berdasarkan persamaan 10, nilai Cs minimum adalah 0,0267

$$Cs \text{ maksimum} = \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})} \dots\dots\dots [11]$$

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

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

$$T = 1,036 \text{ detik}$$

Berdasarkan persamaan 11, nilai Cs maksimum adalah 0,0518

$$Cs \text{ hitungan} = \frac{S_{DS}}{(\frac{R}{I_e})} \dots\dots\dots [12]$$

Berdasarkan persamaan 12, nilai Cs hitungan adalah 0,0866. Karena Cs hitungan bernilai lebih dari Cs pada batas maksimal, maka Cs yang dipakai adalah Cs maksimum yaitu 0,0518.

-Cs arah y

Gedung pada arah y memiliki dinding geser sehingga nilai R adalah 7 sama pada arah x. Cs minimum, Cs maksimum, dan Cs 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.

$$V = Cs \cdot W_t \dots\dots\dots [13]$$

Karena nilai Cs arah x dan arah y sama, maka besarnya gaya geser pada gedung mempunyai nilai yang sama. Berdasarkan persamaan 14 maka nilai V adalah 599,072 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:

$$F = C_{vx} \cdot V \dots\dots\dots [14]$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \dots\dots\dots [15]$$

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 $k = 1,72$

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	h (m)	W (Ton)	W. h_x^k	C_{vx}	V_x	V_y	F_x	F_y
Atap DAK	37,550	108,723	10794,451	0,026	601,451	601,451	15,711	15,711
Lantai atap	34,300	638,888	56551,533	0,137	601,451	601,451	82,309	82,309
Lantai 8	30,350	857,697	65008,226	0,158	601,451	601,451	94,618	94,618
Lantai 7	26,750	1101,751	71150,467	0,173	601,451	601,451	103,558	103,558
Lantai 6	23,150	1254,906	67468,132	0,164	601,451	601,451	98,198	98,198
Lantai 5	19,550	1176,163	51034,714	0,124	601,451	601,451	74,280	74,280
Lantai 3	15,950	1080,544	36220,274	0,088	601,451	601,451	52,718	52,718
Lantai 2	12,350	1194,436	28945,831	0,070	601,451	601,451	42,130	42,130
Lantai 1	7,950	1076,246	14918,788	0,036	601,451	601,451	21,714	21,714
Lantai dasar	3,550	1906,328	9505,671	0,023	601,451	601,451	13,835	13,835
Basement	0,000	1179,044	0,000	0,000	601,451	601,451	0,000	0,000
Total		11574,725	411598,086	1			599,072	599,072

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.

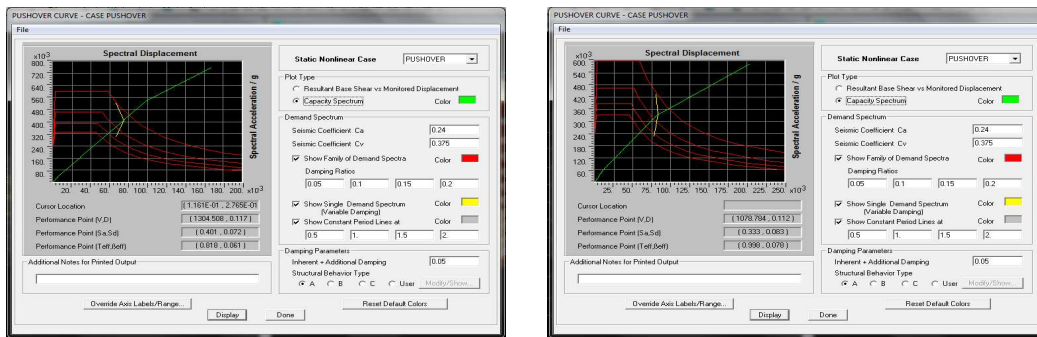
ANALISIS PUSHOVER

Metode analisis static beban dorong (*static nonlinear/pushoveranalysis*) merupakan suatu metode analisis, yang mana dari hasil analisis antara lain diperoleh informasi berupa kurva kapasitas. Kurva kapasitas menyatakan hubungan antara gaya geser dasar terhadap peralihan atap struktur bangunan gedung. Dari kurva kapasitas kemudian dapat ditentukan daktilitas peralihan aktual struktur, yang mana bergantung pada penentuan titik peralihan pada saat leleh pertama terjadi dan titik peralihan ultimate (target peralihan yang diharapkan).

Dari analisis statis *pushover* nonlinier ini didapatkan kurva kapasitas yang kemudian diolah lebih lanjut dengan metode tertentu, salah satunya adalah *Capacity Spectrum Method* (CSM) ATC-40, 1996. Hasil analisis statis *pushover nonlinier* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpang atap (*Roof Displacement*). *Capacity curve* hasil *pushover* diubah menjadi *capacity spectrum*.

$$S_a = \frac{v/W}{\alpha_1} \dots\dots\dots [16]$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF10_{roof,1}} \dots\dots\dots [17]$$



Gambar 2. Kurva Kapasitas spektrum arah X dan Y

Performance Level

Menurut SNI 1726 2012 ditentukan $0,02H = 0,02 * 37,55 = 0,751 \text{ m} > 0,117 \text{ m}$ (x) dan $> 0,112 \text{ m}$ (y) maka kinerja gedung *displacement* baik. $C_1 = 0,0518$ (didapatkan dari perhitungan gaya geser dasar) Maka sesuai dengan rumus 2.8. sebagai berikut : $V_1 = C_1 * W_t = 0,0518 * 11574,725 = 599,571 \text{ ton}$ (Untuk arah x dan y sama) Syarat: $V > 0,8 V_1$, $Arah_x 1304,508 > 479,657$ dan $Arah_y 1078,784 > 479,657$ maka dapat disimpulkan bahwa *base share* struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana pada arah x dan telah memenuhi persyaratan SNI 1726 – 2012. *Displacement* maksimal atap (Dt) arah x = 0,117 m, arah y = 0,112 m. *Displacement* diatas penjepit lateral (D1) Arah x = 0,0005 m, arah y = 0,0006 m.

Tabel 4. Kinerja Gedung

Parameter	Arah x	Arah y
Maksimal Total Drift	0,00327	0,00341
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)
Maksimal in-elastic Drift	0,00318	0,00332
Performance Level	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)

Berdasarkan nilai *Ratio Drift* untuk arah x dan y kurang dari 0.01 maka kinerja gedung termasuk dalam *Immediate Occupancy* sedangkan nilai *Ration elastic drift* untuk arah x dan y lebih kecil atau sama dengan 0.005 maka nilai level kinerja termasuk *Immediate Occupancy*.

Perhitungan Performance Point Menurut ATC 40 Dalam Format ADRS

Tabel 5. faktor α dan PF arah x

No	Lantai	Displacement (m)	Berat (ton)	mi. $\cdot\phi_i$ (tm)	mi. $\cdot\phi_i^2$ (tm ²)
1	Atap DAK	0.0722	119.0461	8.5951	0.6206
2	Lantai atap	0.0657	638.8882	41.9750	2.7578
3	Lantai 8	0.0575	857.6967	49.3176	2.8358
4	Lantai 7	0.0492	1101.7507	54.2061	2.6669
5	Lantai 6	0.0405	1254.9057	50.8237	2.0584
6	Lantai 5	0.0316	1176.1627	37.1667	1.1745

Lanjutan Tabel 5

7	Lantai 3	0.0227	1080.5437	24.5283	0.5568
8	Lantai 2	0.0148	1194.4357	17.6776	0.2616
9	Lantai 1	0.0061	1076.2463	6.5651	0.0400
10	Lantai dasar	0.0005	1906.3282	0.9532	0.0005
11	Basement	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TOTAL			10406.0039	291.8085	12.9728

Tabel 6.faktor α dan PF arah y

No	Lantai	Displacement (m)	Berat (ton)	mi. ϕ i (tm)	mi. ϕ i ² (tm ²)
1	Atap DAK	0.0722	119.0461	14.6308	1.7981
2	Lantai atap	0.0657	638.8882	71.0444	7.9001
3	Lantai 8	0.0575	857.6967	82.8535	8.0036
4	Lantai 7	0.0492	1101.7507	90.5639	7.4444
5	Lantai 6	0.0405	1254.9057	84.5806	5.7007
6	Lantai 5	0.0316	1176.1627	61.6309	3.2295
7	Lantai 3	0.0227	1080.5437	40.7365	1.5358
8	Lantai 2	0.0148	1194.4357	29.1442	0.7111
9	Lantai 1	0.0061	1076.2463	10.5472	0.1034
10	Lantai dasar	0.0005	1906.3282	1.1438	0.0007
11	Basement	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
TOTAL			10406.0039	486.8758	36.4274

Tabel 7. Perhitungan kurva kapasitas arah x dalam format ADRS

No	Displacement (m)	Base force (ton)	α	Wtot (ton)	Sa/g (m)	Sd/g (m)
0	0.0000	0.0000	0.6308	10406.0039	0.0000	0.0000
1	0.0084	124.0111	0.6308	10406.0039	0.0189	0.0052
2	0.1588	1761.8311	0.6308	10406.0039	0.2684	0.0978
3	0.2757	2473.1455	0.6308	10406.0039	0.3768	0.1698
4	0.0191	893.2214	0.6308	10406.0039	0.1361	0.0118

Tabel 8. Perhitungan kurva kapasitas arah y dalam format ADRS

No	Displacement (m)	Base force (ton)	α	Wtot (ton)	Sa/g (m)	Sa/g (m)
0	0.0000	0.000	0.6254	10406.0039	0.0000	0.0000
1	0.0143	175,2899	0.6254	10406.0039	0.0269	0.0235
2	0.1109	1070,7820	0.6254	10406.0039	0.1645	0.1822
3	0.2635	1843,9674	0.6254	10406.0039	0.2834	0.4328
4	0.2698	1872,2855	0.6254	10406.0039	0.2877	0.4432
5	0.0678	920,8697	0.6254	10406.0039	0.1415	0.1114

Demand Spektrum

Untuk T = 0,124 detik, didapat dari T₀

$$T^2 = 0.0153 \text{ detik}$$

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{Sd}{S_a \cdot g}, \quad 0.0153 = 4\pi^2 \frac{Sd}{0.602 \cdot 9.81}$$

$$Sd = 0,0021 \text{ m}$$

Untuk T = 0,620 detik, didapat dari nilai T_s

$$T^2 = 0.3844 \text{ detik}$$

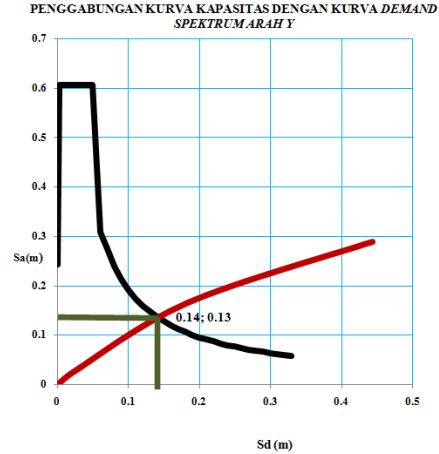
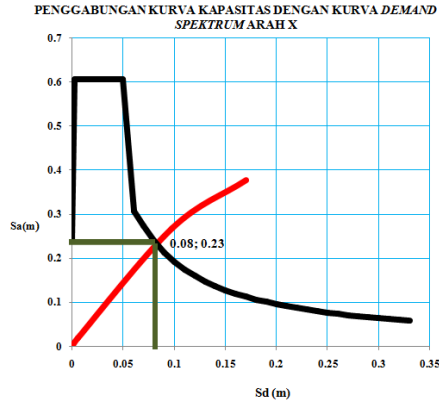
$$T^2 = 4\pi^2 \frac{Sd}{S_a \cdot g}, \quad 0.3844 = 4\pi^2 \frac{Sd}{0.602 \cdot 9.81}$$

$$Sd = 0,0021 \text{ m}$$

Untuk $T > 0,620$ detik

$$\frac{S_a}{g} = \frac{0,375}{T} = \frac{0,375}{2\pi\sqrt{\frac{S_d}{S_a}}}$$

$$\frac{S_a}{g} = \frac{0,0192}{S_d}$$



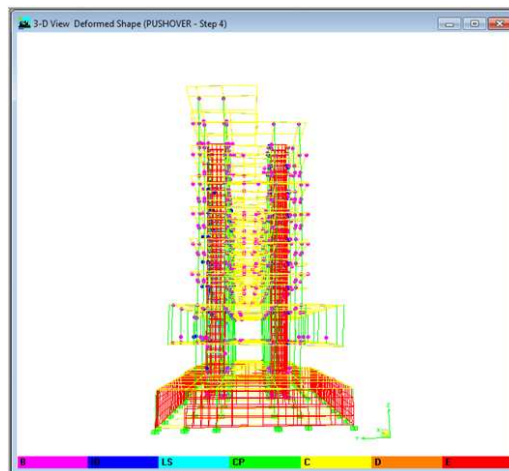
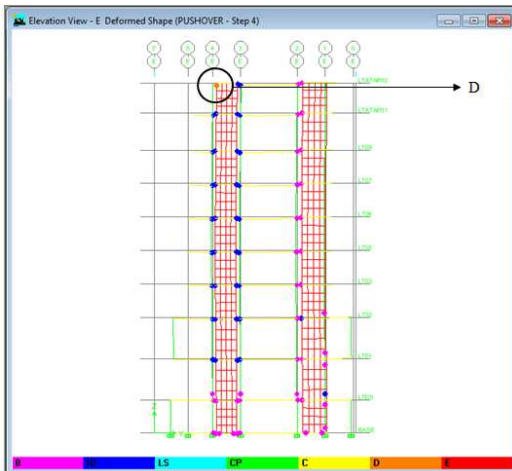
Gambar 3. Penggabungan Kurva Kapasitas Spektrum dengan Kurva Demand Spektrum arah x dan y format ADRS

Tabel 9. Koodinat performance point

x		y	
Sd	sa	sd	sa
0,08	0,15	0,14	0,13

Skema Sendi platis

Step 4 menunjukkan balok sudah masih sama mengalami level D- E terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar sehingga kondisi struktur stabil dan hampir *collaps* pada step ini struktur mengalami displacement 0.2757 m.



Gambar 4. Gambar 3D sendi plastis arah x

SIMPULAN

Berdasarkan analisis *pushover* dengan bantuan program ETABS, maka diperoleh kesimpulan. Nilai *drift* pada arah x adalah 0,00312 dan pada arah y adalah 0,00298. Berdasarkan hasil nilai *drift* untuk arah x dan y kurang dari 0,01 maka menurut ATC-40 nilai level kinerja termasuk *Immediate Occupancy*. Nilai maksimal *in-elastic drift* pada arah x adalah 0,00310 dan arah y adalah 0,00297. Menurut ATC-40 nilai *in elastic drift* untuk arah x dan y lebih kecil atau sama dengan 0,005, maka nilai level kinerja termasuk *Immediate Occupancy*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penyusun ucapkan kepada Bapak Agus Setiya Budi, ST., MT. dan Ir. Agus Supriyadi, MT. selaku dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 dalam penelitian ini. Terima kasih kepada ayah, ibu, keluarga dan teman-teman yang telah memberi doa serta semangatnya sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

REFERENSI

- Anindityo Budi P, 2011, *Evaluasi Kinerja SEISMIK Struktur Beton Dengan Analisis Pushover prosedur A menggunakan Program Etabs V9.5 Antar Studi Kasus: Gedung B Apartemen Tuning Bandung*, 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.
- 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.
- Kardiyono Tjokrodinuljo, 1993, *Teknik Gempa*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, *Peta Hazard Gempa Indonesia*, 2010, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Pranata, Y. A. 2008. *Kajian Daktilitas Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan dengan Anlisi Riwayat Waktu dan Analisis Beban Dorong*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 8, No. 8, Juni 2008
- Steffie Tumilarir, *Prosedur Analisis Struktur Beton Akibat Gempa Menurut SNI 03-1726-2010*, HAKI, Jakarta
- 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.
- Yosafat Aji Pranata, 2006, *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Taban Gempa Dengan Pushover Analysis*, Jurnal Teknik Sipil, Vol. 3, No. 1, Januari 2006. Universitas Kristen Maranatha, Bandung