

EVALUASI KINERJA GAYA GEMPA PADA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN ANALISIS PUSHOVER BERDASAR PADA DRIFT DAN DISPLACEMENT MENGGUNAKAN SOFTWARE ETABS (STUDI KASUS : HOTEL DI WILAYAH KARANGANYAR)

Muhamad Nurhadi¹, 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 : nurhadimuhamad77@yahoo.co.id

Abstract

Indonesia as an archipelago the State and state which are included in the ring of fire lanes because the path of it was meeting the Australian plate, the Eurasian plate and the plates pasifik. Have high enough percentage, resulting in vulnerable regions of Indonesia earthquake shocks. Based on this background, Performance Evaluation study conducted seismic forces in buildings with Pushover analysis. This study aimed to determine the performance of the building based on the mechanism of formation of plastic hinge in the beam and column so the relationship with the base shear displacement on the pushover curve and seismic demand curve. The method used is a nonlinear static pushover analysis using ETABS program. Performance evaluation can be done with a nonlinear static pushover analysis which refers to the ATC - 40. Based ratio value on the drift x 0,00327 and ratio values on the drift y 0,00341. So it can be safely concluded ultimate limit of performance evaluation requirements in according with SNI SNI 03-1726 -2002. The review of value maximum ratio of in- elastic Drift is 0,00318 and the maximum value of in- elastic ratio is 0,00332. Drift y illustrate the behavior of structures ranging from elastic conditions, in- elastic then have a condition on the verge of collapse is indicated by a decrease in the curve of the building, including the level of performance of the Immediate Occupancy (IO). Based on Drift values for x and y directions is less than 0,01 then the performance of the building is included in the Immediate Occupancy whereas in elastic drift values for x and y directions are smaller or equal with 0,005 then according to ATC - 40 level value of performance, including the Immediate occupancy of the results of the analysis graph building structure behaves linear pushover. The concept of strong column weak beam design is not met it is indicated the the beginning of the plastic hinge element column. When it reaches the majority of the performance point-shaped column plastic hinge elements but the building is safe.

Keywords: Pushover Analysis, Demand Spectrum, plastic hinge

Abstrak

Indonesia sebagai Negara kepulauan dan Negara yang termasuk di dalam jalur ring of fire karena berada diatas pertemuan lempeng Australia, lempeng Eurasia dan lempeng pasifik. Memiliki prosentasi pergeseran yang cukup tinggi, sehingga mengakibatkan wilayah Indonesia rentan guncangan gempa bumi. Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian Evaluasi Kinerja gaya gempa pada gedung bertingkat dengan analisis Pushover. Penelitian ini bertujuan untuk untuk mengetahui kinerja gedung berdasarkan mekanisme terbentuknya sendi plastis pada balok kolom serta hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* dan kurva *seismic demand*. Metode yang digunakan adalah analisis statik *nonlinier pushover* dengan menggunakan program ETABS. Evaluasi kinerja dapat dilakukan dengan analisis *static nonlinier pushover* yang mengacu pada ATC-40. Berdasarkan nilai *ratio drift* pada arah x 0,00327 dan nilai *ratio drift* pada arah y 0,00341, maka total drift gedung ini aman dan memenuhi syarat evaluasi kinerja batas layan dan batas ultimit sesuai SNI SNI 03-1726 -2002. Dari kurva kapasitas tinjauan nilai maksimal *ratio in-elastic Drift* adalah 0,00318 dan nilai maksimal *ratio in-elastic Drift* y adalah 0,00332 memberi gambaran perilaku struktur mulai dari kondisi *elastis*, *in-elastis* kemudian mengalami kondisi diambang keruntuhan yang ditunjukkan dengan penurunan kurva maka gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Berdasarkan nilai *Drift* untuk arah x dan y kurang dari 0,01 maka kinerja gedung termasuk dalam *Immediate Occupancy* sedangkan nilai *in elastic drift* untuk arah x dan y lebih kecil atau sama dengan 0,005 maka menurut ATC-40 nilai level kinerja termasuk *Immediate Occupancy*. Dari hasil grafik analisis *pushover* struktur gedung berperilaku linier. Konsep desain kolom kuat balok lemah tidak terpenuhi hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen kolom. Pada saat mencapai *performance point* mayoritas elemen kolom berbentuk sendi plastis tetapi gedung cukup aman.

Kata kunci : Analisis Pushover, Demand Spektrum, sendi plastis

PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara yang beresiko tinggi terhadap ancaman gempa. Hal ini disebabkan letak negara Indonesia dipertemuan 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 *static pushover*

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 Tjokrodiluljo (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 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 inelastics digunakan metode stitik nonlinier pushover. *Pushover* analisis adalah suatu analisis stitik nonlinier dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-bebanstatik yang menagkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan berangsur angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan pelelehan (sendi plastis) pertama di dalam struktur gedung (Yosafat Aji Pranata, 2008).

METODE

Metode pada penelitian ini adalah metode analisis 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	SRPMK	
Fungsi gedung	Tempat hunian / hotel / <i>apartement</i>	
Jumlah lantai	12	
Luas lantai tipikal	1300,77	m ²
Elevasi tertinggi gedung	+ 43,7	m
Elevasi terendah gedung	0.00	m
Tinggi lantai tipikal	3,5	m
Luas total gedung	15317	m ²

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mutu Baja Tulangan yang digunakan f_y 400 MPa untuk ulir dan f_y 240 untuk polos. Dengan modulus elastisitas E_s 200.000 Mpa. Mutu beton yang digunakan adalah f_c' 25 Mpa, f_c' 30 Mpa, dan F_c 35 . Untuk balok anak menggunakan f_c' 25, semua plat lantai menggunakan f_c' 25 sedangkan kolom lantai 1-3 dengan f_c' 35 , kolom lantai 4-6 dengan f_c' 30, dan kolom lantai 7-atas menggunakan f_c' 25.

Pembebanan

Beban mati merupakan beban dari semua elemen gedung yang bersifat permanen termasuk peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung. Beban mati yang bekerja yaitu : beton bertulang (2400kg/m³), pasir (1600kg/m³), adukan semen dan spasi (21kg/m²), eternit (11kg/m²), penggantung langit-langit (7kg/m²), kramik (24kg/m²) *ducting* AC dan penerangn (30,6kg/m²), *waterproof* (14kg/m²), dinding

hebel(650kg/m³. Beban hidup merupakan beban yang bekerja pada lantai bangunan tergantung dari fungsi ruang yang digunakan.Pembagian beban hidup sebagai berikut :Atap(100 kg/m²),Tangga(300 kg/m²),lantai hotel (250 kg/m²), Reduksi untuk beban hidup hotel adalah: Tinjauan beban gravitasi 0,75 danTinjauan beban gempa 0,3

Tabel 2. Rekapitulasi berat struktur per lantai

Lantai	Berat Struktur (Kg)	Beban Mati		Beban Hidup (Kg)	W Total (Kg)
		Berat Tambahan (Kg)	Berat Dinding (Kg)		
1	1223814,50	255526,63	192381,28	137281,50	1809003,91
2	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
3	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
4	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
5	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
6	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
7	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
8	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
9	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
10	840636,50	181587,49	90330,76	97557,75	1210112,50
11	854662,50	189555,86	45820,89	101838,75	1191878,00
12 Atap'	200695,50	27160,98	0,00	12654,00	240510,48
Total	9979865,00	2106530,90	1867583,17	1129794,00	15083773,07

Pembuatan grafik respon spektrum gempa rencana menggunakan peta gempa berdasarkan SNI 1726-2012. Pada peta tersebut didapatkan bahwa bangunan mempunyai nilai S₁ 0,32 g dan S_s 0,76 g. Selanjutnya berdasarkan Tabel 4 dan 5 SNI 1726-2012 didapatkan nilai Fa 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.

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

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

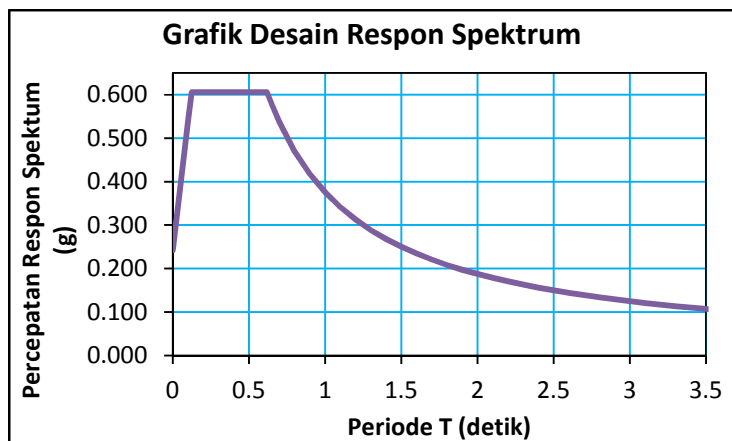
$$S_a \text{ untuk nilai } T = 0, S_a = 0,4 S_{DS} \dots\dots\dots [5]$$

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

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

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

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



Gambar 1. Grafik respon spektrum gempa rencana

Perhitungan 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)

-Periode getar arah x

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

$C_t = 0,0466$ (Table 15 SNI 1726-2012)
 $x = 0,9$ (Table 15 SNI 1726-2012)
 $h_n = 43,7 \text{ m}$ (Tinggi gedung)

Berdasarkan persamaan 9, nilai T_a minimum adalah 1,3957detik.

T_a maksimum = $C_u T_a$ minimum.....[10]

$C_u = 1,4$ (Table 14 SNI 1726-2012)

Berdasarkan persamaan 10, nilai T_a maksimum adalah 1,9541 detik.

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah x adalah 2,3823detik. Karena T_a pada ETABS lebih besar dari syarat maksimal, maka T_a yang digunakan adalah T_a maksimal yaitu 1,9541 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 = 1,395 detik

T_a maksimum = 1,9541 detik

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah y adalah 2,5169detik. Karena T_a pada ETABS lebih besar dari syarat maksimal, maka T_a yang digunakan adalah T_a maksimal yaitu 1,9541detik.

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

- C_s arah x

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

$S_{DS} = 0,606$

$I_e = 1,00$ (Tabel 2 SNI 1726-2012)

Berdasarkan persamaan 11, nilai C_s minimum adalah 0,0267

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

$S_{D1} = 0,368$

$R = 8$ (Tabel 9 SNI 1726-2012)

$T = 1,9541$ detik

Berdasarkan persamaan 12, nilai C_s maksimum adalah 0,0390

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

Berdasarkan persamaan 13, nilai C_s hitungan adalah 0,0745. Karena C_s hitungan bernilai lebih dari C_s pada batas maksimal, maka C_s yang dipakai adalah C_s maksimum yaitu 0,026

- C_s arah y

Gedung pada arah y sama-sama tidak memiliki dinding geser sehingga nilai R adalah 8 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.

$V = C_s W_t$[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 15083 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

$F = C_{vx} V$[15]

$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k}$ [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 $k = 1,72$
 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)	h_x^k	w (Ton)	w. h_x^k	C_{vx}	Fx (Ton)	30 % Fx (Ton)
1	5	16,11	1809,00	29147,17	0,0079	3,12	0,94
2	8,5	40,29	1329,03	53541,42	0,0145	5,73	1,72
3	12	73,08	1329,03	97126,34	0,0263	10,39	3,12
4	15,5	113,70	1329,03	151112,20	0,0409	16,16	4,85
5	19	161,61	1329,03	214787,33	0,0581	22,97	6,89
6	22,5	216,42	1329,03	287623,36	0,0778	30,76	9,23
7	26	277,80	1329,03	369204,62	0,0998	39,49	11,85
8	29,5	345,51	1329,03	459191,22	0,1242	49,11	14,73
9	33	419,33	1329,03	557297,39	0,1507	59,60	17,88
10	36,5	499,07	1210,11	603928,13	0,1633	64,59	19,38
11	40,5	597,25	1191,88	711850,29	0,1925	76,13	22,84
12	43,7	681,08	240,51	163805,76	0,0443	17,52	5,26
Total			15083,77	3698615.23	1,00	395,56	118,67

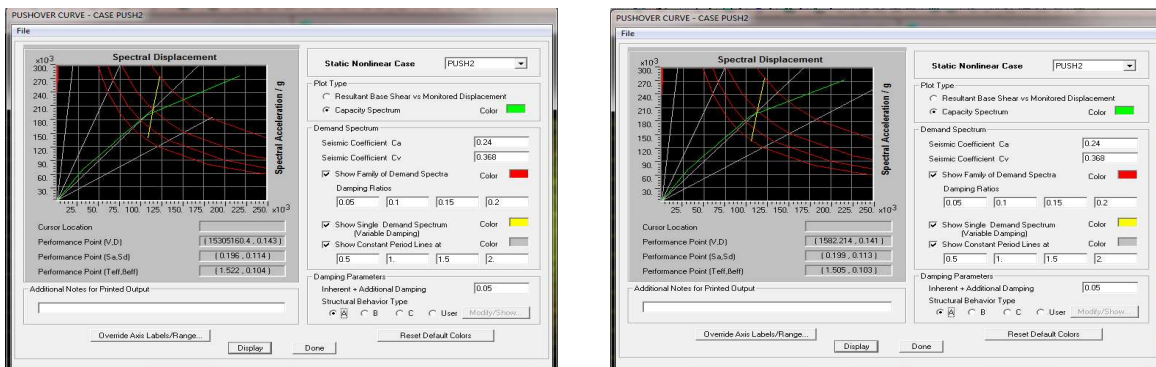
Arah gempa yang sebenarnya tidak dapat dipastikan. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka dalam SNI disebutkan bahwa pembebanan gempa arah utama dianggap efektif sebesar 100% dan ditambah dengan pembebanan gempa sebesar 30% pada arah tegak lurus nya. Selanjutnya besarnya gaya tersebut dibebankan pada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

ANALISIS PUSHOVER

Metode analisis statik beban dorong (*static nonlinear/pushover analysis*) 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 ultimit (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; ATC-55, 2005. Hasil analisis statis *pushover nonlinier* adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*Base Shear*) dan simpangan atap (*Roof Displacement*). *Capacity curve* hasil *pushover* diubah menjadi capacity spectrum.

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha 1} \dots \dots \dots [15]$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF1 \phi_{roof,1}} \dots \dots \dots [16]$$



Gambar 2. Kurva Kapasitas spektrum arah X dan Y
Performance Level

Menurut SNI 1726 2012 ditentukan $0,02H = 0,02 * 43,7 = 0,874m > 0,127 m (x)$ dan $> 0,261m (y)$ maka kinerja gedung *displacement* baik . $C1 = 0,07459$ (didapatkan dari perhitungan gaya geser dasar)Maka sesuai dengan rumus 2.8. sebagai berikut : $V1 = C1 Wt = 0,0749 * 15598 = 1168,34 t.$ (Untuk arah x dan y sama)Syarat: $V > 0,8$

V1, Arah x , 1500,184 > 934,647 Arah y, 1508,24 > 934.647 maka dapat disimpulkan bahwa *base share* struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana pada arah x dan y telah memenuhi persyaratan SNI 1726 – 2012. *Displacement* maksimal atap (Dt). Arah x = 0,143m , arah y = 0,141 m . *Displacement* diatas penjepit lateral (D1) Arah x = 0,0039 m , arah y = 0,0041 m .

Perhitungan *Performance Point* Menurut ATC 40 Dalam Format ADRS

Tabel 5. faktor α dan PF arah x

No	Lantai	Displacement (m)	Berat (ton)	mi. ϕ i (tm)	mi. ϕ i ² (tm ²)
1	Atap	0,0441	227,500	10,033	0,442
2	Lantai 11	0,0463	118,425	54,931	2,543
3	Lantai 10	0,0435	1210,113	52,640	2,290
4	Lantai 9	0,0406	1329,034	53,959	2,191
5	Lantai 8	0,037	1329,034	49,174	1,819
6	Lantai 7	0,0328	1329,034	43,592	1,430
7	Lantai 6	0,0283	1329,034	37,612	1,064
8	Lantai 5	0,0234	1329,034	31,099	0,728
9	Lantai 4	0,0184	1329,034	24,454	0,450
10	Lantai 3	0,0133	1329,034	17,676	0,235
11	Lantai 2	0,0084	1329,033522	11,164	0,094
12	Lantai 1	0,0039	1691,045412	6,595	0,026
TOTAL			15083,77	392,929798	13,312291

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	0,0321145	227,500	10,238	0,461
2	Lantai 11	0,0325943	118,425	52,677	2,339
3	Lantai 10	0,0306971	1210,113	53,245	2,343
4	Lantai 9	0,0289379	1329,034	51,168	1,970
5	Lantai 8	0,0268337	1329,034	46,516	1,628
6	Lantai 7	0,0243684	1329,034	41,200	1,277
7	Lantai 6	0,0215731	1329,034	35,352	0,940
8	Lantai 5	0,0184416	1329,034	29,239	0,643
9	Lantai 4	0,0149859	1329,034	22,992	0,398
10	Lantai 3	0,0112615	1329,034	17,012	0,218
11	Lantai 2	0,0076338	1329,033522	11,031	0,092
12	Lantai 1'	0,0002916	1691,045412	6,933	0,028
TOTAL			15083,77	377,603	12,3366864

Tabel 6. faktor α dan PF arah x

No	Displacement (m)	Base force (ton)	α	W _{tot} (ton)	S _a /g (m)	S _d /g (m)
0	0	0	0,787821558	15083,773	0	0
1	0,0389	531,677	0,787821558	15083,773	0,045676788	0,029873974
2	0,1324	1501,005	0,787821558	15083,773	0,128952517	0,101679027
3	0,2701	2309,4614	0,787821558	15083,773	0,19840764	0,207428287
4	0,093	109,1003	0,787821558	15083,773	0,009372892	0,071421069

Tabel 7. faktor α dan PF arah y

No	Displacement (m)	Base force (ton)	α	W _{tot} (ton)	S _a /g (m)	S _a /g (m)
0	0	0	0,787821558	15083,773	0	0
1	0,0071	539,98	0,787821558	15083,773	0,046545003	0,053595817
2	0,0277	1523,29	0,787821558	15083,773	0,131302733	0,18048977
3	0,0278	2306,82	0,787821558	15083,773	0,198840164	0,371037367
4	0,2532	1976,741	0,787821558	15083,773	0,170388459	0,348855037

Demand Spektrum

Untuk T = 0,1239 detik

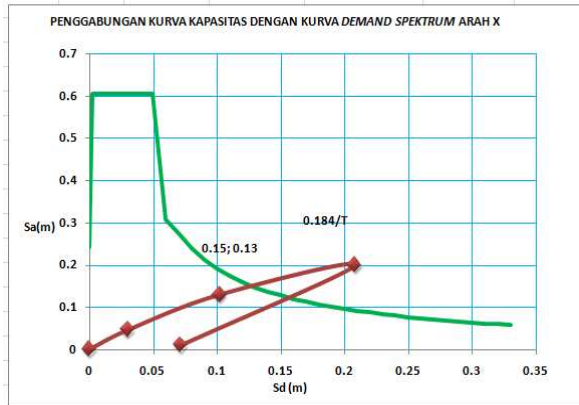
$$T = 4^2 \pi \sqrt{sa/sd g} \quad , \quad 0,0153 = 4^2 \pi \frac{sd}{0,605 * 9,81} \quad , \quad Sd = 0,00239 \text{ m}$$

Untuk T = 0,619 detik

$$T = \pi \sqrt{sa/sd g} \quad , \quad 0,36 = 4^2 \pi \sqrt{sa/sd g} \quad , \quad Sd = 0,04925\text{m}$$

Untuk T > 0,6 detik

$$\frac{sa}{g} = \frac{0,0192}{sd}$$



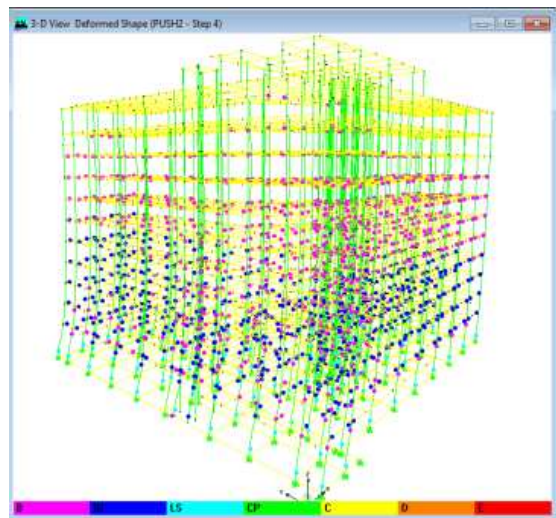
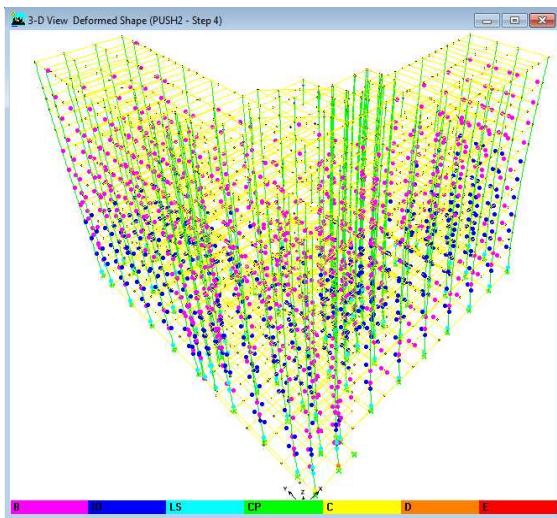
Gambar 3. Penggabungan Kurva Kapasitas Spektrum dengan Kurva Demand Spektrum arah x dan y format ADRS

Tabel 8. Koodinat performance point

x		y	
Sd	sa	sd	sa
0,13	0,15	0,16	0,12

Skema Sendi platis

Pada step 4 semua balok dan kolom mengalami sendi plastis sebagian besar pada level CP ke C terjadi kerusakan yang parah pada struktur hingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak, dan batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung.



Gambar 3. Gambar 3D sendi plastis arah x

Tabel 8. Kinerja Gedung

Parameter	Arah x	Arah y
Maksimal Total Drift	0,00327	0,00341
<i>Performace Level</i>	Immediate Occupancy (IO)	Immediate Occupancy (IO)
Maksimal <i>in-elastic Drift</i>	0,00318	0,00332
<i>Performace Level</i>	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 *Ratio in elastic drift* untuk arah x dan y lebih kecil atau sama dengan 0.005 maka nilai level kinerja termasuk *Immediate Occupancy*.

SIMPULAN

di daerah Karanganyar ini dinyatakan aman terhadap syarat evaluasi kinerja batas layan dan batas ultimit sesuai ATC-40. Dari kurva kapasitas tinjauan nilai maksimal *ratio in-elastic Drift* adalah 0,00318 dan nilai maksimal *ratio in-elastic Drift y* adalah 0,00332 memberi gambaran perilaku struktur mulai dari kondisi *elastis, in-elastis* kemudian mengalami kondisi diambang keruntuhan yang ditunjukkan dengan penurunan kurva maka gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) Berdasarkan nilai *Drift* untuk arah x dan y kurang dari 0,01 maka kinerja gedung termasuk dalam *Immediate Occupancy* sedangkan nilai *in elastic drift* untuk arah x dan y lebih kecil atau sama dengan 0,005 maka menurut ATC-40 nilai level kinerja termasuk *Immediate Occupancy* Dari hasil grafik analisis *pushover* struktur gedung berperilaku linier. Konsep desain kolom kuat balok lemah tidak terpenuhi hal ini ditunjukkan terbentuknya sendi plastis diawali dari elemen kolom. pada saat mencapai *performance point* mayoritas elemen kolom berbentuk sendi plastis tetapi gedung cukup aman .

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penyusun ucapkan kepada Bapak Agus Setiya Budi, S.T, M.T. dan Ir.Supardi,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 Daktalitas Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan dengan Anlisi Rinvayat 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 Sipi 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