

EVALUASI KINERJA SEISMIK PADA STRUKTUR GEDUNG RUMAH SAKIT PENDIDIKAN UNIVERSITAS INDONESIA DENGAN METODE ANALISIS *PUSHOVER* BERDASARKAN ATC 40

Abdul Fatah Arjakoni¹, Muhamad Lutfi²

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Email: fattahonline@yahoo.co.id ¹, mlutfi@uika-bogor.ac.id ²

ABSTRAK

Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia, Kota Depok, direncanakan harus bisa menahan beban gempa, untuk mengkaji ulang dilakukan pengukuran kinerja struktur bangunan menggunakan metode analisis pushover yang sesuai SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012. Penggunaan metode analisis pushover untuk mengetahui tingkatan kinerja gedung berdasarkan performance point yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur gedung sesuai dengan ATC-40 dan nilai batas maksimum rasio drift atap dengan software ETABS V9.07. Parameter untuk analisis pushover zona gempa wilayah 4, tanah keras, diantaranya $T_c = 0,5$; $A_o (C_a) = 0,24$; $A_r (C_v) = 0,30$; dan $C (A_r/T_c) = 0,6$, massa (m), kekakuan struktur (k), redaman (c), dan waktu getar alami struktur (t). Hasil analisis pushover yang dihasilkan pada permodelan gedung didapat nilai $V_i=2932,433 \text{ ton} > V_y=294,133 \text{ ton}$. Nilai redaman efektif (β_{eff}) yang didapat sebesar 15,6%. Rasio drift dengan software ETABS V9.07 diperoleh maksimum total drift sumbu-x sebesar 0,00399 meter sedangkan drift maksimum in-elastik adalah 0,00327 meter dan sumbu-y sebesar 0,000407 meter serta maksimum in-elastik drift 0,000316 meter. Berdasarkan batasan rasio drift atap menurut ATC-40 hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja Immediate Occupancy (IO), berarti bila terjadi gempa gedung tidak mengalami kerusakan struktural dan non struktural sehingga bangunan tersebut tetap aman digunakan.

Kata Kunci: kinerja seismic Gedung, analisis pushover, ATC-40, performance point, total drift.

ABSTRACT

Educational Hospital building of Universitas Indonesia Depok city, is planned to be able to withstand earthquake loads, the building structure performance reviewed using the pushover analysis method according to SNI 1726-2002 and SNI 1726-2012. The use of pushover analysis method to determine the level of building performance based on the performance point is used to evaluate the seismic performance of the building structure according to ATC-40 and the maximum limit of the roof drift ratio with ETABS V9.07 software. Parameters for pushover analysis for earthquake zone area 4, hard soil, including $T_c = 0.5$; $A_o (C_a) = 0.24$; $A_r (C_v) = 0.30$; and $C (A_r/T_c) = 0.6$, mass (m), structural stiffness (k), damping (c), and natural vibration time of the structure (t). The results of the pushover analysis generated in the building modeling obtained $V_i = 2932,433 \text{ tonnes} > V_y = 294,133 \text{ tonnes}$. The effective damping value (β_{eff}) obtained is 15.6%. The drift ratio with ETABS V9.07 software obtained a maximum total x-axis drift of 0.00399 meters, while the maximum in-elastic drift is 0.00327 meters and the y-axis are 0.000407 meters and the maximum in-elastic drift is 0.000316 meters. Based on the limit of the roof drift ratio according to ATC-40, the calculation results show that the building being categorized in the Immediate Occupancy (IO) performance level, meaning that if an earthquake occurs the building does not experience structural and non-structural damage so that the building remains safe to use.

Keywords: building seismic performance, pushover analysis, ATC-40, performance point, total drift.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah rawan terjadinya gempa, sehingga bangunan yang dibangun harus direncanakan mampu bertahan ketika terjadinya gempa. Beton bertulang dipergunakan oleh perencana sebagai material struktur bangunan, seperti pada gedung, jembatan, dan bendungan. Elemen struktur seperti balok, kolom dan pelat menggunakan material beton bertulang. Akan tetapi pada peristiwa gempa beberapa tahun terakhir telah menunjukkan bahwa banyak bangunan dengan struktur beton bertulang telah mengalami kerusakan dan bahkan roboh.

Penyebab utama dari kerusakan tersebut umumnya terletak pada kesalahan perencanaan dan terutama pada detail pelaksanaan serta mutu bahan yang rendah. Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia direncanakan harus bisa menahan beban gempa atau pergeseran yang sewaktu-waktu akan terjadi agar tidak menimbulkan kerugian baik materi maupun korban jiwa. Metode *pushover* menggunakan SNI 1726-2002 dan SNI 1726-2012; untuk tujuan memperoleh kriteria kinerja struktur gedung yang sesuai dengan ATC-40; penelitian ini dilakukan dengan batasan masalah berupa, mencari (massa,

kekakuan, redaman, dan waktu getar alami), peraturan pembebanan berdasarkan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG 1987) dan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2002), dan menghasilkan kriteria kinerja struktur yang aman.

2. METODE PENELITIAN

Waktu penelitian ini dimulai dari bulan April 2017 sampai dengan bulan Juni 2017, dengan tempat penelitian dilakukan di Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia tepatnya di Kampus Universitas Indonesia, Depok. Analisis struktur bangunan menggunakan analisis *pushover* untuk menghasilkan *performance point* dari gedung tersebut. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur yaitu pengkajian atau langkah awal dalam melakukan penelitian, referensi yang biasa di gunakan buku, skripsi, jurnal, tesis dan

penelitian-penelitian yang berkaitan dengan judul penelitian. Tahapan berikutnya melakukan proses pengumpulan data berupa data eksisting gedung, hal ini sangat penting di lakukan agar semua rancangan untuk penelitian bisa di jalankan sesuai tahapan yang di rencanakan. Data penelitian yang diperoleh adalah bangunan dengan kategori resiko zona gempa 4 dan tanah keras $T_c = 0,5$ det; A_o (Ca) = 0,24; dan A_r (Cv) = 0,30. Selanjutnya melakukan analisis struktur gedung dengan menggunakan bantuan *software Autocad 2007* untuk menggambar kontruksi yang direncanakan dan *software ETABS V.9.07* untuk melakukan permodelan struktur. Terakhir, melakukan analisis dan mengevaluasi hasil perhitungan, apakah dinyatakan aman atau tidak aman berdasarkan ATC-40. Tabel 1 berikut merupakan nilai percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing wilayah gempa Indonesia.

Tabel 1 Percepatan puncak batuan dasar dan percepatan puncak muka tanah untuk masing-masing wilayah gempa Indonesia.

Wilayah Gempa	Percepatan Puncak batuan Dasar ('g')	Percepatan puncak muka tanah A_o ('g')			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

(Sumber: SNI 03-1726-2002)

Tabel 2 Spektrum respons gempa rencana.



Wilayah Gempa	Tanah Keras $T_c = 0,5$ det.		Tanah Sedang $T_c = 0,6$ det.		Tanah Lunak $T_c = 1,0$ det.	
	A_m	A_r	A_m	A_r	A_m	A_r
1	0,10	0,05	0,13	0,08	0,20	0,20
2	0,30	0,15	0,38	0,23	0,50	0,50
3	0,45	0,23	0,55	0,33	0,75	0,75
4	0,60	0,30	0,70	0,42	0,85	0,85
5	0,70	0,35	0,83	0,50	0,90	0,90
6	0,83	0,42	0,90	0,54	0,95	0,95






(Sumber: SNI 03-1726-2002)

Pada Tabel 2 diperlihatkan *spektrum respons* gempa rencana yang didapat berdasarkan zona gempa 4 dan tanah keras dengan nilai $T_c = 0,5$ det, dan A_r (Cv) = 0,30. Berdasarkan Tabel 3 kriteria kinerja menghasilkan *performance level*. *Performance level* menggambarkan batasan

kerusakan pada struktur dan beban gempa yang ada. Batasan kerusakan ini dideskripsikan dari kerusakan fisik yang terjadi pada struktur, ancaman kehilangan nyawa bagi pengguna bangunan akibat kerusakan yang terjadi. Tujuh tingkat kerusakan utama sebagai berikut:

Tabel 3 Kriteria kinerja Gedung

Level Kinerja	Simbol	Penjelasan
B		Tidak ada kerusakan struktural dan non struktural yang berarti, bangunan dapat tetap berfungsi.
IO		Tidak terjadi kerusakan struktural, komponen <i>non structural</i> masih berada di tempatnya dan bangunan tetap dapat berfungsi tanpa terganggu masalah perbaikan.

Level Kinerja	Simbol	Penjelasan
LS		Terjadi kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, komponen non struktural tidak berfungsi tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan.
CP		Kerusakan terjadi pada komponen struktural dan <i>non-struktural</i> , bangunan hampir runtuh, dan kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan sangat mungkin terjadi.
C		Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung.
D		Terjadinya degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir <i>collapse</i>
E		Struktur sudah tidak mampu menahan gaya geser dan hancur.

(Sumber: ATC-40)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil Analisa pada gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia, didapatkan nilai gaya geser dasar (V_i) lebih besar dibandingkan dengan nilai beban gravitasi (V_y) dimana nilai $V_i=2932,433$ ton $>$ $V_y=294,133$ ton. Nilai redaman efektif (β_{eff}) yang didapat sebesar 15,6%, nilai tersebut lebih kecil dari batasan redaman efektif maksimum yang diijinkan yaitu 40%. Hasil gempa rencana pada gedung telah mengalami *in-elastic* yang disebabkan pada sendi plastisnya yang ditunjukkan pada Gambar 5 berupa *node-node* yang berwarna-warni. Batasan maksimum *displacement* sebesar $\Delta = 0,010 h_{sx} \times 73,65$ meter (tinggi bangunan) = 0,7365 meter (SNI 1726-2012:7.12.1), target hasil *displacement* dari analisis *pushover* sumbu-X adalah 0,193 meter, dan sumbu-Y adalah 0,198 meter $<$ 0,7365 meter. Batasan rasio *drift* atap dengan *software* ETABS diperoleh maksimum total *drift* sumbu-X sebesar 0,00399 meter sedangkan maksimum *in-elastic drift* 0,00327-meter dan sumbu-Y sebesar 0,000407 meter sedangkan maksimum *in-elastic drift* 0,000316 meter. Berdasarkan batasan rasio *drift* atap berdasarkan ATC-40 hasil menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy (IO)*, hal ini berarti bahwa bila terjadi gempa gedung tidak mengalami kerusakan struktural dan non struktural sehingga bangunan tersebut tetap aman digunakan.

3.1 Analisis Struktur

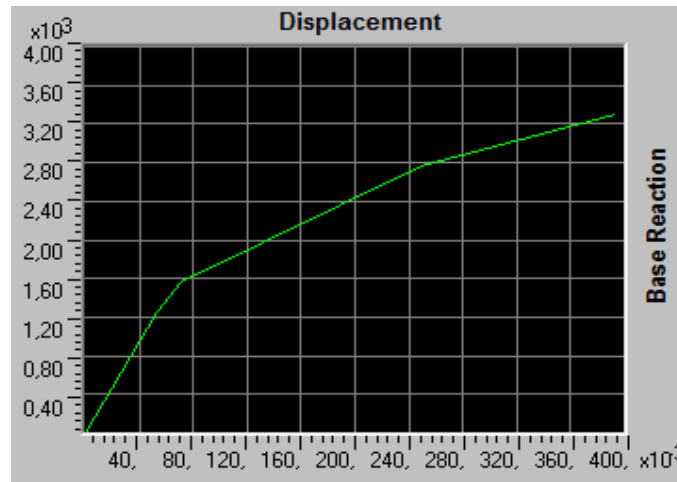
Spesifikasi bangunan eksisting pada Gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia dengan jumlah lantai: 18 lantai. Ukuran kolom lantai 1-14 menggunakan dimensi 1000x1200mm dan 700x700mm; dan lantai 15-18 menggunakan dimensi 1000x1000mm. Ukuran balok lantai 1-6

menggunakan dimensi 500x1000mm, untuk lantai 7-14 menggunakan dimensi 500x1000mm dan 400x700mm, serta lantai 15-18 menggunakan dimensi 400x800mm dan 400x700mm. Balok anak menggunakan dimensi 250x600mm. Pelat lantai beton dengan ketebalan 15cm. Mutu bahan: K-400 setara $f_c = 39,2266$ Mpa, tegangan leleh $f_y = 392,266$ Mpa, $f_{ys} = 235,359$ Mpa, modulus elastisitas $4700 \times \sqrt{f_c} = 29436,636$ Mpa. Beban mati (DL) perlantai adalah dinding $250 \text{ kg/m}^2 \times 4\text{m} = 1000 \text{ kg/m}^2 \times 18$ lantai = 18.000 kg/m^2 , tebal adukan $21 \text{ kg/m}^2 \times 2\text{cm} = 42 \text{ kg/m}^2 \times 18$ lantai = 756 kg/m^2 , berat keramik $24 \text{ kg/m}^2 \times 18$ lantai = 432 kg/m^2 , berat plafond $11 \text{ kg/m}^2 \times 18$ lantai = 198 kg/m^2 , berat mekanikal elektrikal (ME) $25 \text{ kg/m}^2 \times 18$ lantai = 450 kg/m^2 , total berat beban mati (DL) 19.836 kg/m^2 . Beban hidup (LL) perlantai adalah $250 \text{ kg/m}^2 \times 18$ lantai = 4.500 kg/m^2 . Parameter yang digunakan untuk beban gempa (E) berdasarkan dokumen konsultan perencana gedung, tanah yang digunakan relatif keras ($N_{SPT} > 50$ pukulan/30cm). Parameter untuk menghasilkan kurva *pushover* adalah zona gempa wilayah 4, tanah keras, $T_c = 0,5$ det; $A_o (C_a) = 0,24$; $A_r (C_v) = 0,30$; dan $C (A_r/T_c) = 0,6$. Untuk monitor target peralihan dipilih pada sumbu lemah dari struktur bangunan yang ditinjau yaitu sumbu X dan Y. Pengisian parameter pada "*PUSH*" case *step-step* analisis *pushover* menggunakan metode *trial*.

3.2 Hasil analisis struktur

1. Kurva kapasitas (*capacity curve*)

Kurva kapasitas menunjukkan hubungan antara gaya gempa dan perpindahan yang terjadi hingga struktur runtuh. Perpindahan yang ditinjau adalah perpindahan atap dan gaya geser dasar (*base shear*). Kurva kapasitas (*capacity curve*) dan skema kelelahan sendi plastis selengkapnya disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 1 Kurva Kapasitas (*Capacity Curve*)
(Sumber: Aplikasi ETABS V9.07)

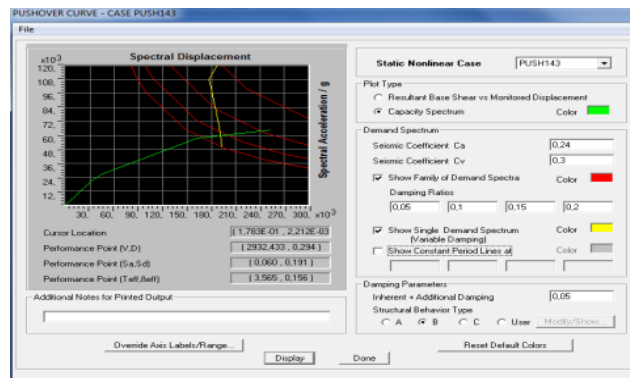
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-ID	ID-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E TOTAL
0	0,0000	0,0000	0	0	0	0	0	0	0	0 11112
1	0,0530	1248,5929	0	0	0	0	0	0	0	0 11112
2	0,0711	1567,7820	0	0	0	0	0	0	0	0 11112
3	0,2483	2769,0894	0	0	0	0	0	0	0	0 11112
4	0,3933	3290,4712	0	0	0	0	0	0	0	0 11112

Gambar 2 Output perpindahan atap dan gaya dasar (*base shear*)
(Sumber: Hasil aplikasi ETABS V9.07)

2. Titik kinerja (*performance point*)

Berdasarkan kurva respon spektrum rencana dari peraturan gempa (SNI 1726-2002) untuk wilayah zona gempa 4 dengan kondisi tanah

keras dapat diperoleh nilai $C_a = 0,22$; dan $C_v = 0,30$ sebagai *input* analisis *pushover* dalam format ADRS (*acceleration-displacement response spectrum*).



Grafik Kinerja Struktur
(Sumber: Aplikasi ETABS V9.07)

Tabel 4 Evaluasi Kinerja Struktur

Gaya geser dasar (ton)	Performance point			
	Vt (ton)	D (m)	β_{eff} (%)	Teff (Detik)
294,133	2932,433	0,294	15,6%	3,565

(Sumber: Hasil aplikasi ETABS V9.07)

Dari Tabel 4 didapat nilai gaya geser dasar (V_t) lebih besar dibandingkan dengan nilai beban gravitasi (V_y) dimana nilai $V_t=2932,433$ ton $>$ $V_y=294,133$ ton. Nilai redaman efektif (β_{eff}) yang didapatkan sebesar 15,6 %, nilai tersebut lebih kecil dari batasan redaman efektif maksimum yang

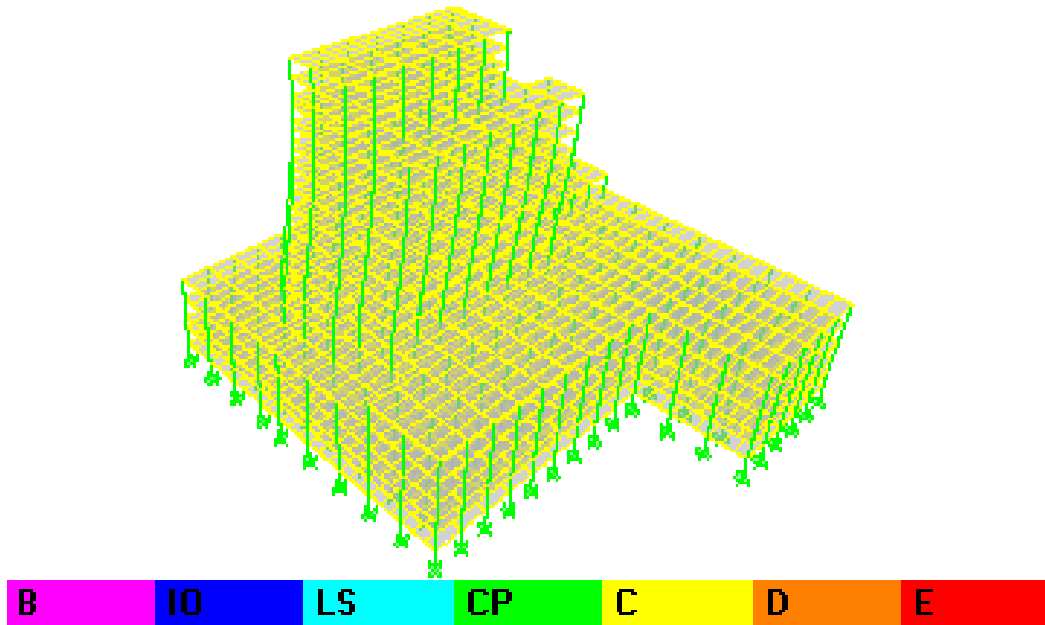
dijinkan yaitu 40 %. Maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur arah x pada gempa rencana telah mengalami in-elastis yang disebabkan pelelehan pada sendi plastisnya. Batasan ijin maksimum *displacement* sebesar

0,7365 meter ($\Delta=0,010h_{sx} \times 73,65$ meter (tinggi bangunan) sesuai SNI 1726-2012:7.12.1), adapun hasil *displacement* dari analisis *pushover* terhadap sumbu-X adalah 0,193 meter, dan sumbu-Y adalah 0,198 meter dimana nilai keduanya $< 0,7365$ meter, sehingga gedung tersebut memenuhi syarat keamanan.

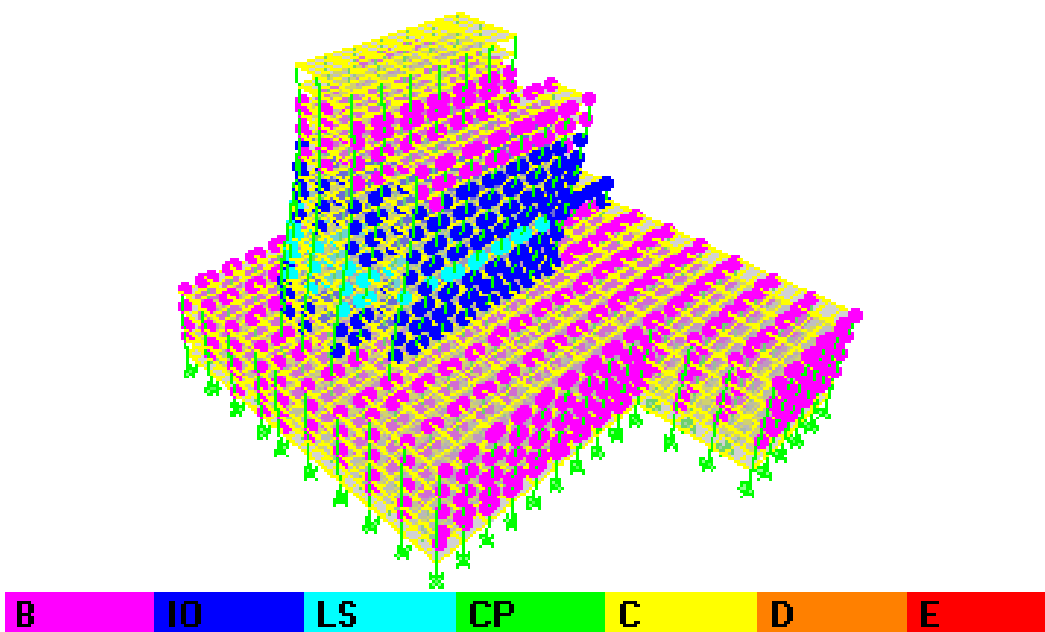
3. Mekanisme sendi plastis menurut ATC-40

Dari hasil analisis yang dilakukan dapat diketahui letak sendi plastis yang terjadi pada

struktur, pada step 1 tidak ada sendi plastis yang terbentuk di daerah struktur yang ditinjau. Pada step 4 hampir semua daerah balok terbentuk sendi plastis, hal ini menunjukkan bahwa distribusi sendi plastis hasil analisis *pushover* pada model gedung yang ditinjau hanya terjadi pada daerah balok, sehingga tidak terjadi mekanisme kerusakan tingkat.



Gambar 4 Sendi Plastis yang terjadi pada step 1
(Sumber: Aplikasi ETABS V9.07)



Gambar 5 Sendi Plastis yang terjadi pada step 4
(Sumber: Aplikasi ETABS V9.07)

Pembacaan warna *pushover* pada sendi plastis diatas bedasar kan Tabel 3 dimana terbagi menjadi 7 kondisi.

Pada Tabel 5, diperlihatkan hasil distribusi sendi platis sumbu-X dan pada Tabel 6 diperlihatkan hasil distribusi sendi platis sumbu-Y.

Tabel 5 Distribusi Sendi Platis Sumbu-X

Step	Displacement (m)	Base Force (Tonm)
0	0,0000	0,0000
1	0,0530	1248,593
2	0,0711	1567,782
3	0,2483	2769,089
4	0,3933	3290,471

(Sumber: Hasil aplikasi ETABS V9.07)

Tabel 6 Distribusi Sendi Platis Sumbu-Y

Step	Displacement (m)	Base Force (Tonm)
0	0,0000	0,0000
1	0,0067	1248,593
2	0,0164	2204,745
3	0,0386	3290,471

(Sumber: Hasil aplikasi ETABS V9.07)

Berdasarkan Tabel 5 dan 6 dapat diketahui batasan rasio *drift* atap gedung. Nilai-nilai tabel tersebut dievaluasi dengan *performance point* menggunakan parameter yaitu maksimum total *drift* dan maksimum *in-elastic drift*.

Berikut adalah perhitungan maksimum total *drift* dan maksimum *in-elastic drift*.

- Kinerja gedung menurut ATC-40 (Table 11-2) sumbu-X.
 1. Nilai maksimum sumbu-X total

$$\text{drift} = \frac{D_t}{H_{total}} = \frac{0,294}{73,65} = 0,00399 \text{ meter}$$
 2. Nilai maksimum sumbu-X *in-elastic drift*

$$\text{in-elastic drift} = \frac{(D_t - D_1)}{H_{total}} = \frac{(0,294 - 0,0530)}{73,65} = 0,00327 \text{ meter}$$
- Kinerja gedung menurut ATC-40 (Table 11-2) sumbu-Y.
 1. Nilai maksimum sumbu-Y total

$$\text{drift} = \frac{D_t}{H_{total}} = \frac{0,030}{73,65} = 0,000407 \text{ meter}$$
 2. Nilai maksimum sumbu-Y *in-elastic drift*

$$\text{in-elastic drift} = \frac{(D_t - D_1)}{H_{total}} = \frac{(0,030 - 0,0067)}{73,65} = 0,00031 \text{ meter}$$

Tabel 7 Batasan Rasio *Drift* Atap

<i>Performance Point</i>		
IO	LS	CP
0,005m	0,01m	0,02m

(Sumber: ATC-40)

Berdasarkan Tabel 7 hasil perhitungan nilai maksimum total *drift* dan maksimum *in-elastic drift* maka level kinerja bangunan gedung dinyatakan *Immediate Occupancy* (IO).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan batasan rasio *drift* atap berdasarkan ATC-40 hasil menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), hal ini berarti bahwa bila terjadi gempa gedung tidak mengalami kerusakan struktural dan non struktural sehingga bangunan tersebut tetap aman digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anindityo B.P., (2011). Evaluasi Kinerja Seismik Stuktur Beton Dengan Analisis *Pushover* Prosedur A Menggunakan Program Etabs V 9.50. Skripsi, Tidak diterbitkan. Surakarta: Universitas Sebelas Maret,
- Aribisma, F., Raka, I.G.P., dan Tavio. T. (2015). Evaluasi Gedung MNC Tower Menggunakan SNI 03-1726-2012 dengan Metode *Pushover Analysis*. *Jurnal Teknik ITS*. Vol 4 (1). DOI: [10.12962/j23373539.v4i1.9178](https://doi.org/10.12962/j23373539.v4i1.9178)
- ATC-40., (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Redwood City, California: California Seismic Safety Commission.
- AutoCAD *computer aided design*., 2007.
- Badan Standardisasi Nasional (2002), SNI 03-1727-1989. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG 1989)*. Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional (2002), SNI 03-1726-2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional (2012), SNI 03-1726-2012 *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Bandung.
- Dokumen Konsultan Perencana UNICO Internasional Corporation NIHON SEKKEI, Depok.
- ETABS: *Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems v.9.0.7.*, 1984-2006. *Integrated Building Design Software*.

- Juwana, J.S. (2005). *Panduan Sistem Bangunan Tinggi untuk Arsitek dan Praktisi Bangunan*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Nugroho, F. (2016). Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 03-1726-2002 Dan FEMA 356 di Daerah Rawan Gempa. *Jurnal Momentum*, Vol. 18 (1).
- PPPURG., 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung*, Jakarta.
- Pranata, Y.A. (2006). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan *Pushover Analysis* (Sesuai ATC-40, FEMA 356 Dan FEMA 440), *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 3, (1). pp. 41 – 52.
- Waworuntu, G.F., Sumajouw, M.D.J., Windah, R.S. (2014). Evaluasi Kemampuan Struktur Rumah Tinggal Sederhana Akibat Gempa, *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 2 (4).