

**STUDI PERBANDINGAN KINERJA
GEDUNG BETON BERTULANG
SRPMK 6 LANTAI DENGAN
MENGUNAKAN METODE
PUSHOVER DAN NONLINEAR TIME
HISTORY ANALYSIS**

**Syaiful Anam¹⁾, Bantot Sutrisno²⁾ dan
Retno Trimurtiningrum³⁾**

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas
Teknik, Universitas 17 Agustus 1945
Surabaya
email : neno_s47@yahoo.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara rawan gempa di dunia. Untuk mengurangi dampak akibat gempa khususnya jatuhnya korban jiwa akibat keruntuhan bangunan, maka dalam perencanaan struktur gedung di daerah rawan gempa, perilaku atau kinerja gedung terhadap gempa merupakan salah satu hal terpenting untuk diperhatikan. Oleh karena itu, perhitungan analisa secara inelastik atau nonlinier harus dilakukan. Beberapa metode untuk perhitungan analisis nonlinier meliputi analisis beban dorong (static nonlinear pushover analysis) dan analisis riwayat waktu (inelastic dynamic time history analysis). Penelitian ini membandingkan hasil kinerja dari analisis beban dorong dan analisis riwayat waktu dengan menggunakan rekaman gempa San Fernando, Morgan Hill dan Kobe untuk gedung beton bertulang SRPMK 6 lantai.

Dari hasil analisis beban dorong maupun analisis riwayat waktu, didapatkan tingkat kinerja yang sama yaitu kategori IO (Immediate Occupancy) baik untuk arah X dan Y. Target displacement yang didapat dari analisa beban dorong sebesar 0,092 m untuk arah X dan 0,096 m untuk arah Y. Sedangkan displacement maksimum yang

didapat dari hasil analisa riwayat waktu adalah sebesar 0,0129 m untuk arah X dan 0,005 m untuk arah Y yang berasal dari rekaman gempa Kobe dan gempa San Fernando.

Kata Kunci : analisis pushover , analisis time history level kinerja

ABSTRACT

Indonesia is one of the earthquake-prone countries in the world. To reduce the impact of earthquakes, especially the missing life due to building collapse, the behavior or performance of buildings against the earthquakes is one of the most important things to consider. Therefore, inelastic or nonlinear analytical calculations must be performed. Some methods for calculating nonlinear analysis are static nonlinear pushover analysis and inelastic dynamic time history analysis. This study compares the performance results of the pushover analysis and time history analysis using the earthquake records from San Fernando, Morgan Hill and Kobe for a 6-story SRPMK reinforced concrete building.

From the results of the pushover analysis and time history analysis, the same level of performance is obtained, which is IO (Immediate Occupancy) category for both X and Y directions. The displacement target obtained from the pushover analysis is 0.092 m for the X direction and 0.096 m for the Y direction. While the maximum displacement obtained from the results of time history analysis is 0.0129 m for the X direction and 0.005 m for the Y direction from the Kobe earthquake and San Fernando earthquake records.

Keywords : pushover analysis, time history analysis, performance level

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat resiko gempa tinggi. Hal ini disebabkan karena wilayah Indonesia berada di antara empat lempeng tektonik yang aktif dan Indonesia termasuk lingkaran api pasifik (*ring of fire*). Beberapa gempa yang terjadi selama 3 tahun terakhir meliputi Gempa Poso sebesar 6,6 SR pada tanggal 29 Mei 2017, Gempa Donggala-Palu-Sigi sebesar 7,4 SR tanggal 28 September 2018 yang juga menimbulkan dampak tsunami, Gempa Lombok sebesar 6,9 SR tanggal 5 Agustus 2018 dan masih banyak lagi (BMKG, 2019). Maka dari itu dalam perencanaan struktur, selain mempertimbangkan faktor kekuatan elemen, perlu pula mempertimbangkan perilaku dan kinerja struktur bangunan akibat beban gempa.

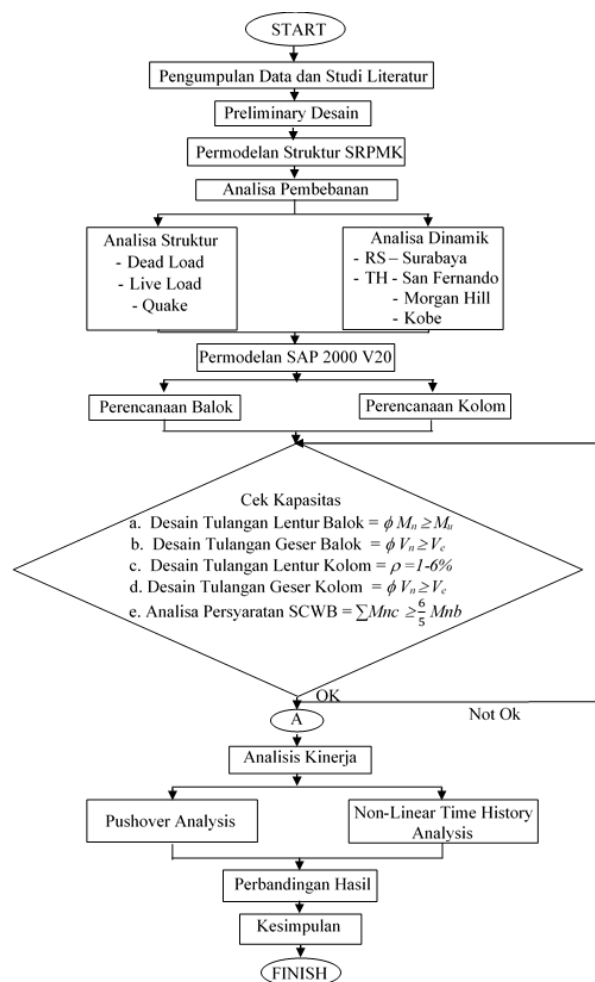
Untuk mengetahui perilaku dan kinerja struktur bangunan, perhitungan analisa secara inelastik atau nonlinier harus dilakukan. Beberapa metode analisis inelastik meliputi analisis beban dorong (*static nonlinear pushover analysis*) dan analisis riwayat waktu (*inelastic dynamic time history analysis*). Analisa pushover adalah suatu analisis statik nonlinear dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan gedung dianggap sebagai beban-beban statik lateral, yang nilainya ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama didalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai kondisi elastik. Sedangkan, Non-linear Time History Analysis (NLTHA) didasarkan oleh perhitungan integrasi numerik dari persamaan differensial gerak yang diperoleh dari data percepatan gempa (Cada dkk 2017).

Metode Analisa *pushover* memiliki komputasi yang lebih sederhana dan cepat dibandingkan dengan metode non linier dinamis *time history*. Akan tetapi, metode analisa *pushover* dinilai kurang akurat karena menggunakan analisa static untuk menangkap efek dinamis dari beban gempa (Huy Tran dkk, 2018).

Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan hasil kinerja gedung beton bertulang 6 lantai dengan sistem struktur SRPMK menggunakan analisa *pushover* dan analisa *time history*.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian dapat dilihat dalam penjaaran diagram alir pada gambar 1.



Gambar 1.

Diagram alir penelitian

Perhitungan pembebanan analisa dinamik menggunakan Respon Spectrum daerah Surabaya untuk analisa Pushover dan ground motion dari San Fernando, Morgan Hill dan Kobe yang telah diskalakan untuk analisa Time History. Penggunaan tiga ground motions sesuai dengan peraturan SNI 1726-2012, Pasal 11.1.3 dan Pasal 11.2.3 yang menyatakan paling sedikit tiga gerak tanah (Ground Motion) yang sesuai harus digunakan dalam analisis.

Tabel 1.
Rekaman Gempa yang digunakan

No	Event	Stasiun	Tahun	SR
1	San Fernando	Fairmont Dam	1971	6,61
2	Morgan Hill	Anderson Dam	1984	6,19
3	Kobe	Takatori	1995	6,9

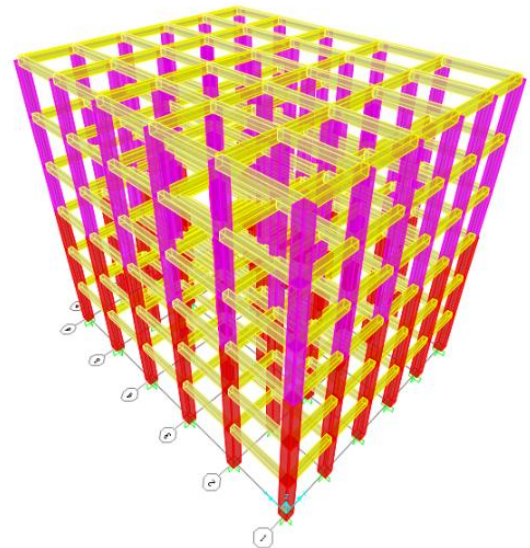
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Deskripsi Bangunan

Panjang Bangunan : 20 m
 Lebar Bangunan : 20 m
 Tinggi Bangunan : 24 m
 Fungsi Bangunan : Apartemen
 Zona Daerah : Surabaya
 Mutu Beton (f'_c) : 30 MPa
 Kategori Resiko : II



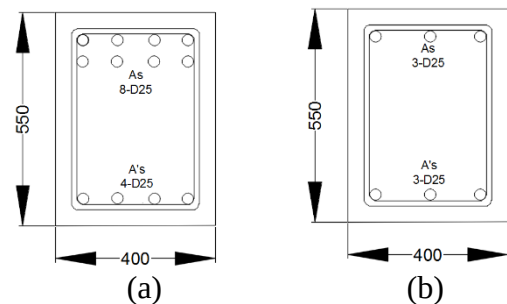
Gambar 2.
Tampak Depan Bangunan



Gambar 3.
Permodelan SAP2000

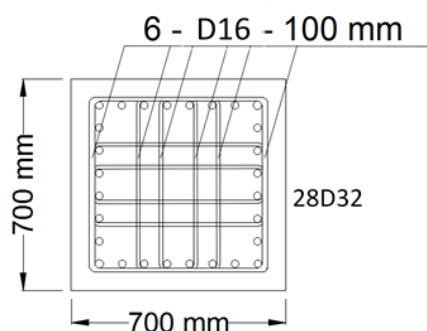
3.2. Perencanaan Dimensi Balok dan Kolom (SNI 03-2847-2013 Psl 9.5.2.1)

- Dimensi yang di gunakan untuk balok induk arah memanjang sebesar 40/55 cm
- Dimensi yang di gunakan untuk balok induk arah melintang sebesar 40/55 cm



Gambar 4.
Desain Komponen Lentur : (a) Tumpuan,
(b) Lapangan

- Dimensi yang di gunakan untuk Kolom sebesar 70/70 cm



Gambar 5.
Desain Komponen Aksial dan Lentur

3.3. Kontrol Simpangan

Kontrol simpangan struktur harus memenuhi SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.3 dan 7.12.1, dimana simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh

melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a), harus ditentukan dengan

persamaan berikut :

$$\Delta_x = \frac{(\delta_{xs} - \delta_{(x-1)s})C_d}{I_s} \leq \Delta_a \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

$(\delta_{xs} - \delta_{(x-1)s})$ = Selisih defleksi yang

terjadi (mm)

C_d = Faktor amplifikasi

defleksi = 5,5

I_s = Faktor keutamaan gempa

= 1

Δ_a = Simpangan antar lantai

tingkat ijin (mm)

Bangunan termasuk dalam kategori resiko II dan semua struktur lainnya, maka berdasarkan SNI 03-1726-2012 tabel 16 batas simpangan antar lantai ijin adalah $0,020 h_{sx}$ dengan h_{sx} adalah tinggi tingkat = 4 m = 4000 mm. Karena struktur yang dirancang termasuk kategori desain seismik D maka batas simpangan antar

lantai tingkat tidak boleh melebihi Δ_a/ρ

dengan faktor redudansi (ρ) = 1,3 (Sesuai

dengan SNI Gempa 1726 – 2012, pasal 7.12.1.1)

$$\Delta_a = 0,020 h_{sx} = 0,020 \times 4 = 0,080 \text{ m} = 80$$

mm.

Simpangan antar lantai ijin = $\Delta_a/\rho = 80/$

$$1,3 = 61,53 \text{ mm}$$

Tabel 2.
Kontrol simpangan arah X

lantai	δ_{xe} (mm)	$\delta_{xe} - \delta_{(x-1)e}$ (mm)	Δx (m)	$\Delta a / \rho$ (mm)	Cek ($\delta e \leq \Delta a / \rho$)
1	0,5	0,5	2,75	61,53	Memenuhi
2	1,3	0,8	4,4	61,53	Memenuhi
3	1,4	0,1	0,55	61,53	Memenuhi
4	1,7	0,3	1,65	61,53	Memenuhi
5	1,6	0,1	0,55	61,53	Memenuhi
6	2,2	0,6	3,3	61,53	Memenuhi

Tabel 3.
Kontrol simpangan arah Y

lantai	δ_{ye} (mm)	$\delta_{ye} - \delta_{(y-1)e}$ (mm)	Δy (mm)	$\Delta a / \rho$ (mm)	Cek ($\delta e \leq \Delta a / \rho$)
1	0,6	0,6	3,3	61,53	Memenuhi
2	1,6	1	5,5	61,53	Memenuhi
3	1,8	0,2	1,1	61,53	Memenuhi
4	1,2	0,6	8,8	61,53	Memenuhi
5	1,4	0,4	2,2	61,53	Memenuhi
6	2,5	1,1	6,05	61,53	Memenuhi

3.4. Analisis Pushover

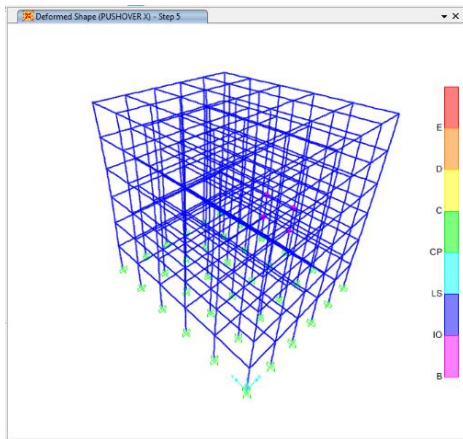
Sendi Plastis

Sendi plastis merupakan suatu kondisi dimana terjadi rotasi secara terus menerus akibat adanya penambahan penambahan beban – beban pada struktur tersebut dan

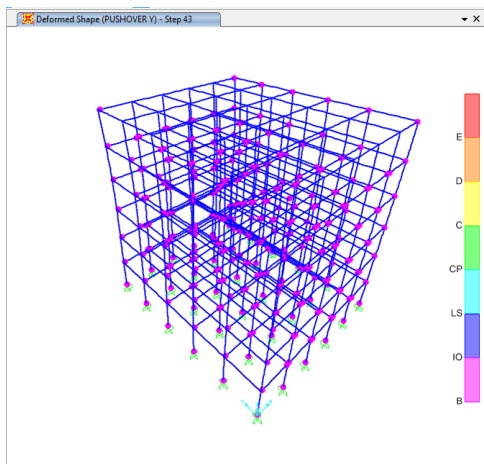
pada kondisi ini nilai momen tidak mengalami perubahan.

Dari analisis Pushover, dapat diketahui tahapan elemen struktur yang telah mengalami kerusakan beserta jumlahnya pada setiap peningkatan beban lateral serta saat kinerja tercapai.

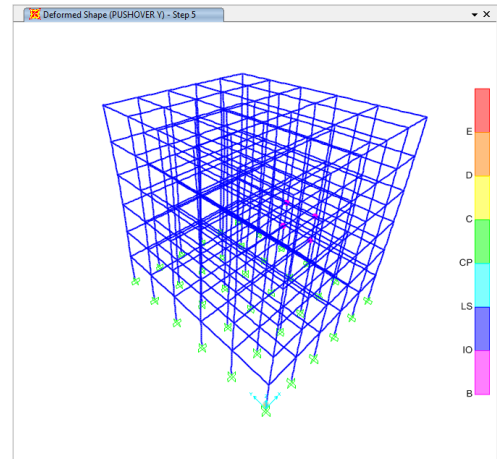
Posisi elemen – elemen struktur yang telah terbentuk sendi plastis beserta kategori kinerja sendi plastis yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 6, 7, 8 dan 9.



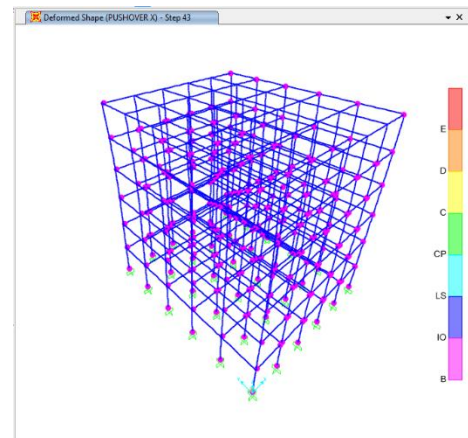
Gambar 6.
Keruntuhan step pertama arah X



Gambar 7.
Keruntuhan step terakhir arah X



Gambar 8.
Keruntuhan step pertama arah Y



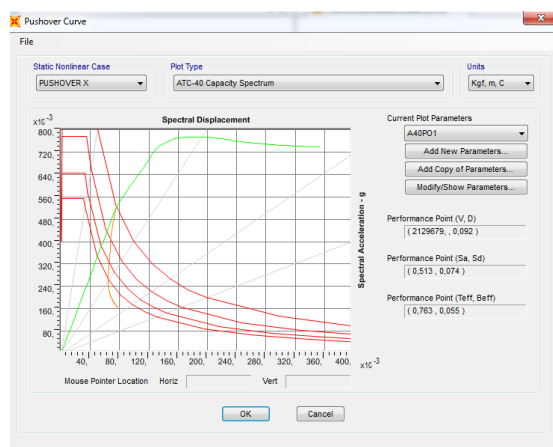
Gambar 9.
Keruntuhan step terakhir arah Y

Dari hasil analisis *pushover* diketahui bahwa sendi plastis pertama terbentuk pada balok. Kategori kinerja sendi plastis yang terbentuk adalah IO (Immediate Occupancy).

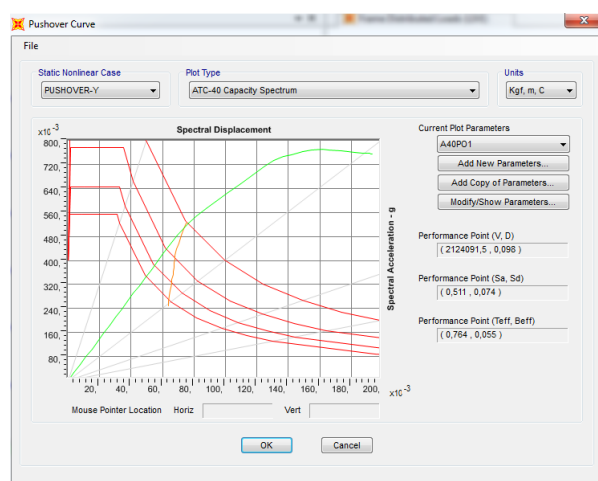
Titik Kinerja (*Performance point*)

Titik kinerja atau target perpindahan gedung merupakan potongan antara kurva spektrum kapasitas dan spektrum demand. Spektrum kapasitas menunjukkan bagaimana kekuatan struktur dalam memenuhi suatu beban yang diberikan, sedangkan spektrum *demand* didapat dari kurva *response spektrum* rencana SNI 03-

1726-2012. Perpotongan antara kurva spektrum kapasitas dan kurva spektrum *demand* dapat dilihat pada gambar 10 dan 11.



Gambar 10.
Kurva Kapasitas Spektrum arah X
berdasarkan ATC-40



Gambar 11.
Kurva Kapasitas Pushover arah Y
berdasarkan ATC-40

Dari gambar 10 dan 11 diketahui target perpindahan sebesar 0,092 m untuk arah X dan 0,096 m untuk arah Y.

Level Kinerja (Level Performance)

Tabel 4
Batasan Kinerja Struktur berdasarkan
ATC-40

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Kontrol	LS	Struktural Stability
Maximum Total Drift	0,01	0,01 s.d 0,02	0,02	0,33 $\frac{V_u}{P_u}$

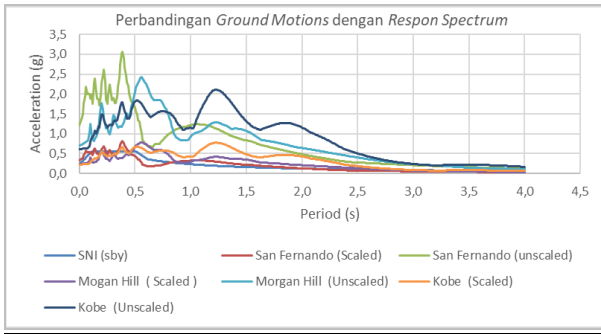
Maximum total drift arah X = $\frac{D_t}{H} = \frac{0,092}{24} = 0,0038$ (nilai lebih kecil dari 0,01)

Maximum total drift arah Y = $\frac{D_t}{H} = \frac{0,098}{24} = 0,0041$ (nilai lebih kecil dari 0,01)

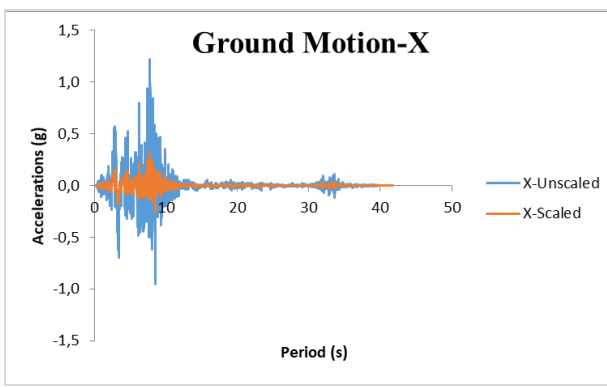
Perhitungan maksimum total drift untuk arah X dan Y mempunyai nilai kurang dari 0,01, oleh karena itu kinerja struktur gedung termasuk dalam kategori IO (*Immediate Occupancy*).

3.5. Analisis Time History

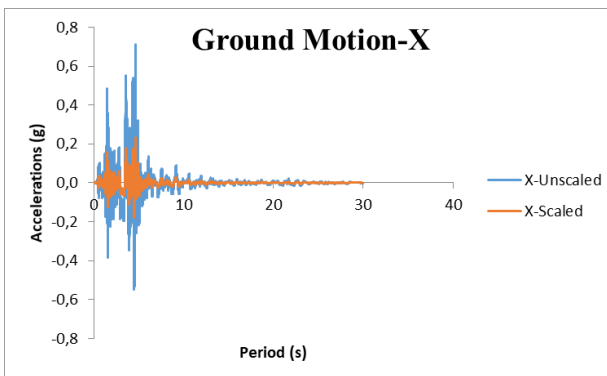
Penskalaan gempa *Ground Motion* (San Fernando, Morgan Hill, Kobe) dengan *respon spectrum* (Surabaya) adalah proses membandingkan besaran nilai dari masing-masing ground motion untuk disesuaikan dengan besaran respons spectrum berdasarkan SNI 03-1726-2012 (gambar 12), yang nantinya akan didapatkan sebuah nilai sebagai input faktor skala pada bantuan program SAP 2000 untuk mendapatkan *ground motion scaled* seperti yang terlihat pada gambar 13,14, dan 15.



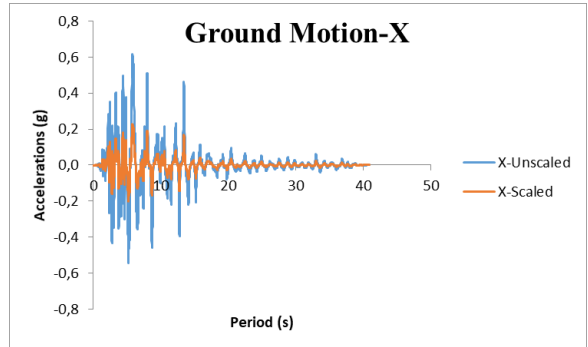
Gambar 12.
Grafik Rekapitulasi Perbandingan Ground Motions dengan Respon Spectrum



Gambar 13.
Ground Motions Scaled San Fernando Arah X



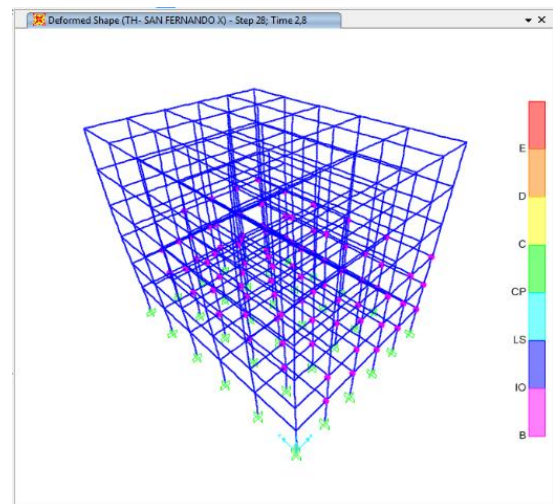
Gambar 14.
Ground Motions Scaled Morgan Hill Arah X



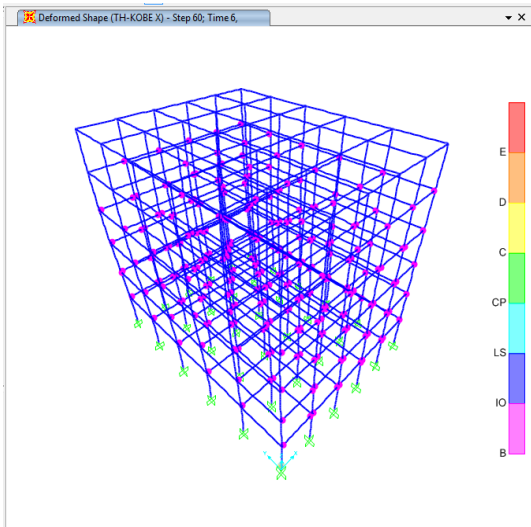
Gambar 15.
Ground Motions Scaled Kobe Arah X

Sendi Plastis

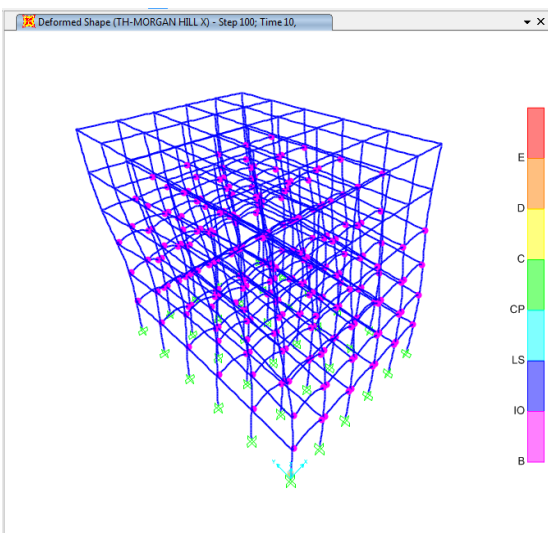
Dari analisis time history, dapat diketahui bahwa sendi plasis pertama yang terbentuk berasal dari elemen balok sama seperti hasil analisa pushover sebelumnya, sehingga dapat diketahui tipe keruntuhan struktur gedung adalah mekanisme Balok Lemah Kolom Kuat. Kategori kinerja sendi plastis yang terbentuk menunjukkan level kinerja IO (Immediate Occupancy), dapat dilihat pada gambar 16, 17, 18 dan 19.



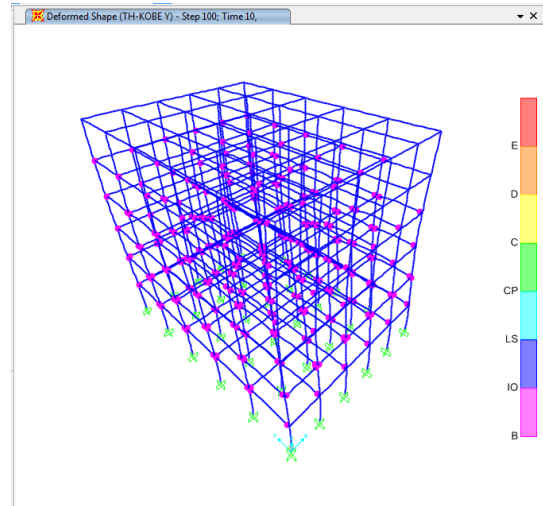
Gambar 16.
Keruntuhan step pertama gempa San Fernando arah X



Gambar 17.
Keruntuhan step terakhir gempa San Fernando arah X



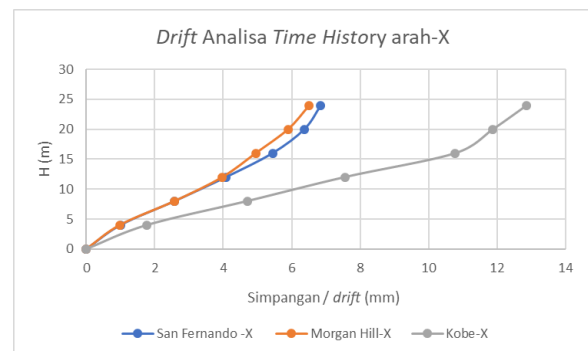
Gambar 18.
Sendi plastis yang terbentuk pada gempa Morgan Hills arah X



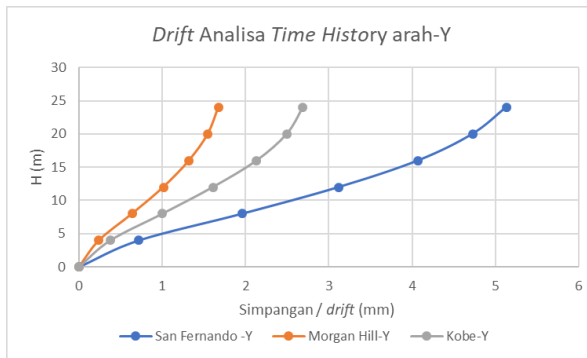
Gambar 19.
Sendi plastis yang terbentuk pada gempa Kobe arah Y

Kinerja (*Level Performance*)

Gambar 20 dan 21 menunjukkan perbandingan simpangan (*drift*) yang terjadi pada struktur saat terjadi pembebanan *ground motions scaled* San Fernando, Morgan Hills dan Kobe yang telah diskala sebelumnya.



Gambar 20.
Drift analisa time history arah X



Gambar 21.
Drift analisa time history arah Y

Berdasarkan gambar 20 dan 21, diperoleh drift maksimum arah X adalah sebesar 12,869 mm saat dibebani oleh *ground motions scaled* Kobe. Sedangkan pada arah Y, drift maksimum didapatkan sebesar 5,134 mm saat dibebani *ground motions scaled* San Fernando.

$$\begin{aligned} \text{Max. total drift arah X} &= \frac{D_t}{H} = \frac{0,012869}{24} = 0,00054 \\ &(\text{nilai lebih kecil dari } 0,01) \\ \text{Max. total drift arah Y} &= \frac{D_t}{H} = \frac{0,005134}{24} = 0,000214 \\ &(\text{nilai lebih kecil dari } 0,01) \end{aligned}$$

Perhitungan maksimum total *drift* untuk arah X dan Y mempunyai nilai kurang dari 0,01, oleh karena itu kinerja struktur gedung termasuk dalam kategori IO (*Immediate Occupancy*), yaitu terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, sehingga struktur dapat segera dipergunakan kembali (Laresi dkk, 2018).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa pushover dan analisis time history, sendi plastis pertama yang terbentuk pada struktur terletak pada balok, sehingga dapat diketahui mekanisme keruntuhan struktur

merupakan mekanisme balok lemah kolom kuat.

Level kinerja yang didapatkan dari analisa pushover maupun analisa time history adalah level IO (*Immediate Occupancy*), dengan target displacement :

- Analisa pushover
Arah X = 0,092 m
Arah Y = 0,096 m
- Analisa time history
Arah X = 0,012869 m (Kobe)
Arah Y = 0,000214 m (San Fernando)

5. DAFTAR PUSTAKA

- ATC 40, (1996) , *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Applied Technology Council, Redwood City, California.
- Badan Standardisasi Nasional, (2013), SNI 03-2847-2013 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Jakarta : BSN
- Badan Standardisasi Nasional, (2012), SNI 03-1726-2012 Standart Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung , Jakarta : BSN
- BMKG, (2019), Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak 1821-2018, Jakarta : Pusat Gempa Bumi dan Tsunami BMKG.
- Cada, P., Maca, J., (2017), Comparison of Methods Used For Seismic Analysis of Structures, Acta Polytechnica CTU Proceedings 13, pp. 20-28.
- Huy Tran, Q., et al. (2018), Comparative Study of Nonlinier Static and Time History Analyses of Typical Korean STS Container Cranes, Hindawi Advances in Civil Engineering vol 2018, pp. 1-13.
- Laresi, Y.T., Ihsan,M., W. Alisjahbana, S., (2018), Analisis Pushover Terhadap Ketidakberaturan Struktur Gedung Universitas 9 Lantai, Jurnal Infrastruktur 4(1), pp 53-63.