

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG DENGAN ANALISIS *TIME HISTORY* (STUDI KASUS: GEDUNG RUMAH SAKIT BETHESDA YOGYAKARTA)

Listyorini¹⁾, Edy Purwanto²⁾, Agus Supriyadi³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

²⁾³⁾Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126

e-mail : listyorini1@gmail.com

Abstract

Earthquake acceleration at ground level is a parameter of the earthquake that has direct impact on the structure. Earthquake acceleration is dynamic, as well as structural response caused. Dynamic time history analysis can represent the dynamic of earthquake acceleration and structure response. The purpose of this study was to determine the performance of building structure without shear wall with the building using shear wall based on the deviation by the effect of an earthquake plan. The case studies in this study is a hospital in Yogyakarta, where the structure of the building is modeled as a three-dimensional structure of the program ETABS V9.5.0. At the level of earthquake plan is used dynamic time history analysis and analysis of equivalent static. The original ground surface acceleration of earthquake input should be scaled so that its response spectrum averaged approaching the level of response structures will be designed. In a time history analysis using seismic records El centro, Sumatra, Chichi, and Friuli deviation that occurs in buildings without shear wall and with the shear wall meet the requirements of displacement permit $\leq 0,041m$. But there are displacement that do not qualify displacement permit, that is the earthquake Superstition Hills. Performance for buildings without shear wall or using shear wall still on the level of performance IO (Immediate Occupancy).

Key words: *earthquake acceleration, structural response, time history analysis, equivalent static analysis, structure performance.*

Abstrak

Percepatan gempa di muka tanah adalah parameter gempa yang memberikan dampak langsung pada struktur. Percepatan gempa bersifat dinamik, begitu juga dengan respon struktur yang ditimbulkan. Analisis dinamik *time history* dapat menampilkan sifat dinamik percepatan gempa dan respon struktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur bangunan tanpa menggunakan dinding geser dengan bangunan yang menggunakan dinding geser berdasarkan nilai simpangan oleh pengaruh gempa rencana. Studi kasus dalam penelitian ini adalah rumah sakit di Yogyakarta, dimana struktur gedung dimodelkan sebagai struktur 3 dimensi dengan program ETABS V9.5.0. Pada level gempa rencana digunakan analisis dinamik *time history* dan analisis statik ekuivalen. Analisis *time history* terhadap pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan, sehingga spektrum respons-nya secara rata-rata kira-kira dekat dengan level spektrum respons gempa batuan pada rentang perioda yang signifikan dari respons struktur bangunan yang akan didesain. Dalam analisis *time history* menggunakan rekam gempa El centro, Sumatera, Chichi dan Friuli simpangan yang terjadi pada gedung tanpa dinding geser maupun dengan dinding geser memenuhi persyaratan simpangan ijin yaitu $\leq 0,041m$. Namun masih terdapat simpangan yang tidak memenuhi syarat simpangan ijin, yaitu pada gempa Superstition Hills. Kinerja untuk gedung tanpa dinding geser maupun menggunakan dinding geser masih masuk dalam level kinerja IO (*Immediate Occupancy*).

Kata kunci: percepatan gempa, respon struktur, analisis *time history*, analisis statik ekuivalen, kinerja struktur.

PENDAHULUAN

Perencanaan struktur tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan kemudian melakukan simulasi kinerjanya terhadap gempa rencana yang diperhitungkan menurut kondisi setempat atau dapat diuji dengan gempa aktual. Setiap simulasi memberikan informasi perilaku struktur: simpangan lateral (*drift*) dan simpangan lateral antar tingkat (*interstory drift*), kemudian akan diidentifikasi

tingkat kerusakan (*level of damage*), sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi.

METODE

Metode pada penelitian ini adalah metode analisis, dimana pemodelan struktur yang dijadikan studi kasus dimodelkan dengan program ETABS. Langkah analisis adalah dengan membuat model struktur A yang terdiri dari elemen kolom, tanpa dinding geser (*shear wall*) balok, pelat lantai dan model struktur B dengan elemen yang sama namun menggunakan dinding geser (*shearwall*). Beban yang terjadi berupa: beban gravitasi (beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup) ditambah beban percepatan gempa. Pada level gempa rencana digunakan analisis dinamik *time history* dengan model A dan model B sebagai pembandingan, analisis dinamik *time history* menggunakan level gempa rencana. Gempa rencana diskalakan sesuai dengan lokasi dan keadaan gedung yang akan ditinjau. Keseluruhan analisis pada gempa rencana dilakukan secara linear. Hasil analisis akibat gempa rencana dan gempa aktual kemudian dievaluasi untuk mengetahui kinerja dan tingkat kinerja struktur. Analisis dinamik riwayat waktu percepatan gempa (*time history*) adalah salah satu metode analisis dinamik yang digunakan dalam analisis struktur terhadap gempa. Akselerogram gempa masukan yang ditinjau dalam analisis respons dinamik riwayat waktu harus diambil dari rekaman gerakan tanah akibat gempa yang didapat di suatu lokasi yang mirip kondisi geologi, topografi dan seismotektoniknya. Dalam analisis dinamik linier riwayat waktu terhadap pengaruh gempa rencana pada taraf pembebanan gempa nominal, percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan, sehingga spektrum respons-nya secara rata-rata kira-kira dekat dengan level spektrum respons gempa batuan pada rentang periode yang signifikan dari respons struktur bangunan yang akan didesain. Dengan *software* ETABS, data akselerogram yang telah diinput akan disimulasikan menjadi percepatan gempa selama durasi waktu tertentu yang menggetarkan model struktur

Tabel 1. Deskripsi Gedung

Deskripsi Gedung	Keterangan	
Sistem struktur	<i>Model A : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus</i> <i>Model B : Dual system: Dinding Geser Beton Bertulang Khusus dan SRPMK</i>	
Fungsi gedung	Rumah Sakit	
Jumlah lantai	5	
Tinggi dari muka tanah	+ 20,40	M
Mutu Beton (struktur atas dan bawah)	f_c 25 MPa	
Mutu Baja Tulangan Polos	240	MPa
Mutu Baja Tulangan Ulir	400	MPa
Kategori risiko	IV	Tabel 1, SNI-1726-2012
Faktor keutamaan	1,5	Tabel 2 SNI-1726-2012
Koefisien modifikasi respon	Model A: 8 (SRMPK) Model B: 7 (<i>Dual system</i>)	Tabel 9, SNI-1726-2012 $W_t = DL + SIDL + 0,3LL$
Berat Seismik Efektif (W_t)	Model A: 74883,79 kN Model B: 76865,37 kN	(SNI 1726:2012 pasal 7.2.2)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Parameter Respon Spektrum

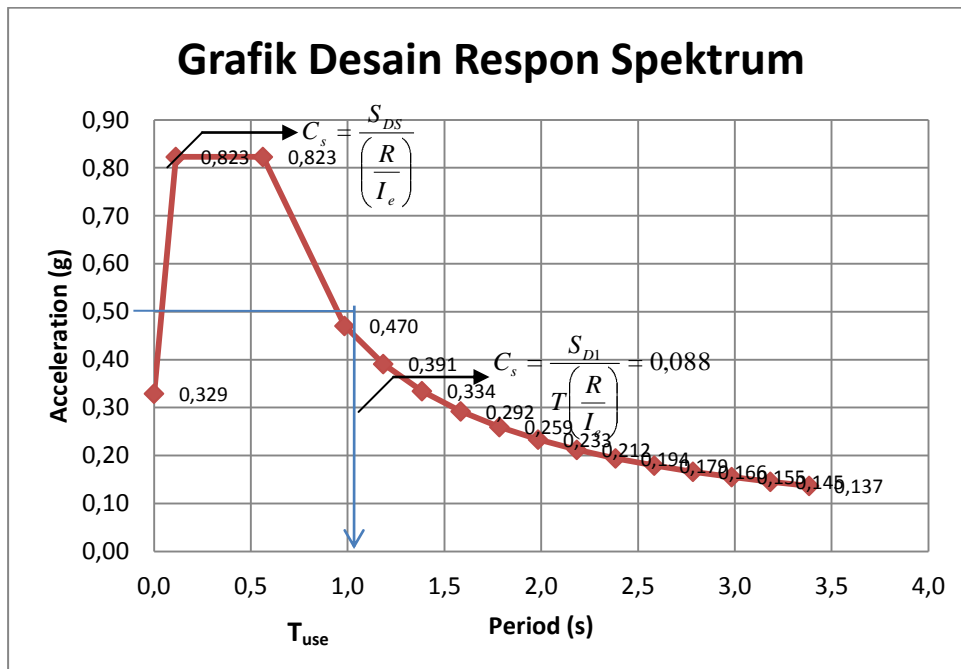
Parameter respon spektral untuk wilayah Karanganyar (kelas situs D, tanah sedang) dengan nilai $S_s = 1,219.g$ dan $S_1 = 0,447.g$ yang ditentukan dari http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/ (level gempa probabilitas 2% selama 50 tahun), kemudian diperoleh parameter respon spektrum elastik desain $S_{DS} = 0,82.g$ (percepatan periode 0,2 detik) dan $S_{D1} = 0,46.g$ (percepatan periode 1 detik).

2. Aspek Gedung Terhadap Kegempaan

Sistem struktur arah X dan arah Y sama (nilai koefisien modifikasi respon $R_x = R_y$), maka parameter struktur periode getar (T), koefisien respon seismik (C_s), geser dasar seismik (V) bernilai sama (ditinjau pada arah X dan arah Y).

Tabel 3. Aspek Gedung Terhadap Kegempaan

Aspek Gedung	Nilai	Dasar Hitungan
Periode getar (T)	Model A : 0,984 detik Model B : 0,929 detik	Analisis ETABS dan Pasal 7.8.2, SNI 1726:2012
Koefisien respon seismik (Cs)	Model A : 0,088 Model B : 0,107	Pasal 7.8.1.1, SNI-1726-2012
Geser dasar seismik (V)	Model A : 6600,79 kN Model B : 8205,33 kN	Pasal 7.8.1, SNI-1726-2012



Gambar 1 . Nilai T dan Koefisien Respon Seismik (Cs) pada Grafik Desain Respon Spektrum

3. Analisis Struktur Dengan Beban Gempa Rencana

A. Analisis Linear Statik Ekuivalen

Tabel 4. Distribusi Vertikal Gempa Gedung Tanpa Dinding Geser (F)

Story	Tinggi (m)	hi (m)	w (kN)	wi (kN)	wi.hi ^{kx}	Cvx	F (kN)
LANTAI ATTIC	4,00	20,40	9694,88	9694,88	3792823,4	0,084	552,95
LANTAI 5	4,10	16,40	17186,00	26880,88	10265839,7	0,227	1496,64
LANTAI 4	4,10	12,30	16712,74	43593,6175	13092812,3	0,289	1908,78
LANTAI 3	4,10	8,20	15623,48	59217,0925	11575360,9	0,256	1687,55
LANTAI 2	4,10	4,10	15666,70	74883,79	6549734,9	0,145	954,87
BASE	0,00	0,00	0,00	0	0,0	0,000	0,00
Σ	20,4		74883,8	74883,79	45276571,1	1,0	6600,8

Tabel 5. Distribusi Vertikal Gempa Gedung Dengan Dinding Geser (F)

Story	Tinggi (m)	hi (m)	w (kN)	wi (kN)	wi.hi ^{kx}	Cvx	Fx (kN)
LANTAI							
ATTIC	4,00	20,40	10347,30	10347,30	2927880,04	0,09	729,84
LANTAI 5	4,10	16,40	17518,30	27865,60	7481064,92	0,23	1864,82
LANTAI 4	4,10	12,30	17045,03	44910,63	9418196,95	0,29	2347,69
LANTAI 3	4,10	8,20	15955,77	60866,39	8326327,19	0,25	2075,52
LANTAI 2	4,10	4,10	15998,98	76865,37	4763717,03	0,14	1187,46
BASE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ	20,4		76865,4	76865,37	32917186,1	1,0	8205,3

B. Analisis Dinamik *Time History*

1) Percepatan Puncak Permukaan Tanah (*Peak Ground Acceleration / PGA*)

PGA Yogyakarta: 0,532.g , 2% 50 tahun) dan koefisien situs, $F_{PGA}=1$ (www.puskim.pu.go.id).

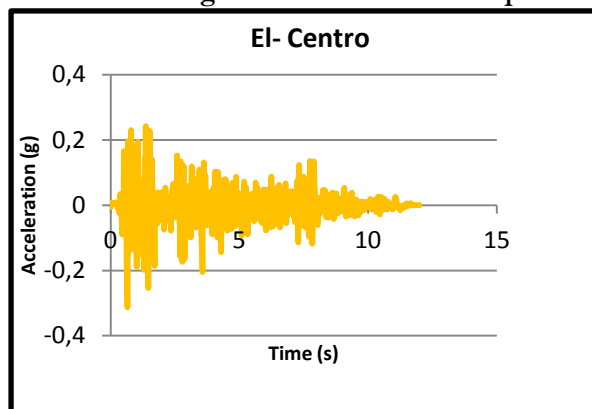
2) PGA_M dengan Pengaruh Klasifikasi Situs (PGA_M)

PGA_M adalah penyesuaian PGA akibat pengaruh klasifikasi situs, dengan mengalikan nilai PGA dengan koefisien situs.

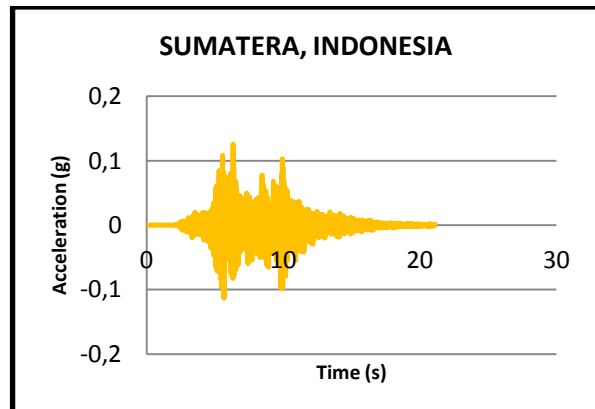
$$= F_{PGA} \times \text{PGA} = 1 \times 0,532 = 0,532 \text{ g}$$

3) Penyekalaan PGA dari Lima Rekam Gempa Pilihan

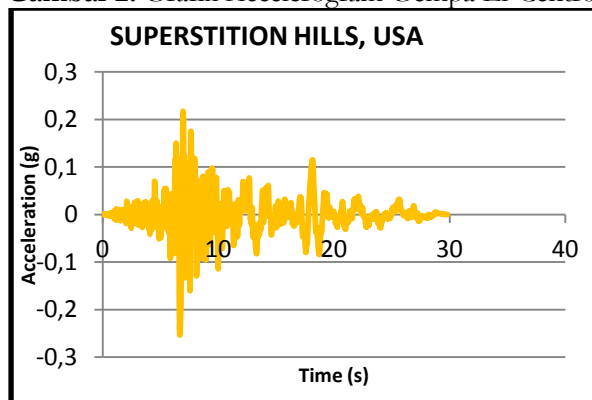
Grafik Accelerogram dari 5 Rekam Gempa Pilihan :



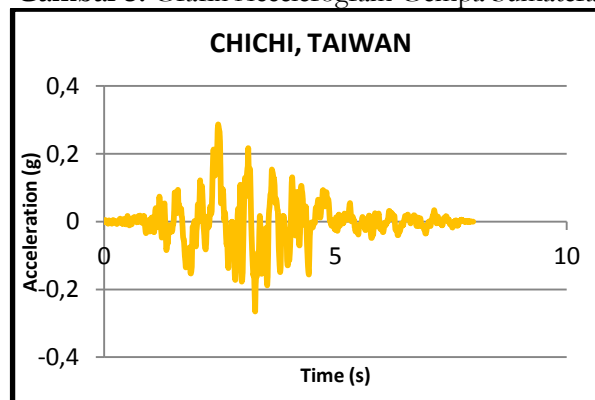
Gambar 2. Grafik Accelerogram Gempa El-Centro



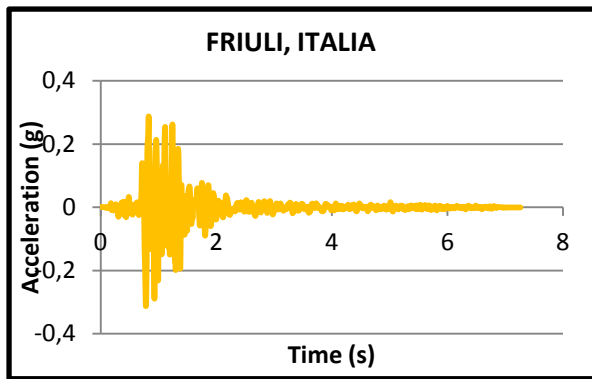
Gambar 3. Grafik Accelerogram Gempa Sumatera



Gambar 4. Grafik Accelerogram Gempa Superstition Hills

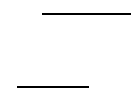


Gambar 5. Grafik Accelerogram Gempa Chichi



Gambar 6. Grafik Accelerogram Gempa Friuli

Contoh PGA Elcentro terhadap PGA Yogyakarta :



Ket :

— = PGA Modifikasi Yogyakarta
 — = PGA Elcentro

4) Reduksi Percepatan Puncak Permukaan Tanah

Pasal 11.1.4, SNI-1726-2012, mengenai parameter respons menetapkan setiap gerak tanah dalam analisis harus dikalikan dengan I/R, sesuai konsep desain kapasitas untuk gempa rencana. Contoh hitungan skala gempa :

$$\begin{aligned} \text{Skala gempa rencana gedung tanpa dinding geser} &= \text{Skala gempa} \times g \times (I_e/R) \\ &= 1,700 \times 9,81 \times (1,5/8) \\ &= 3,127 \end{aligned}$$

4. Kontrol Kinerja Struktur Terhadap Gempa

A. Tingkat Kinerja Menurut SNI 1726:2012

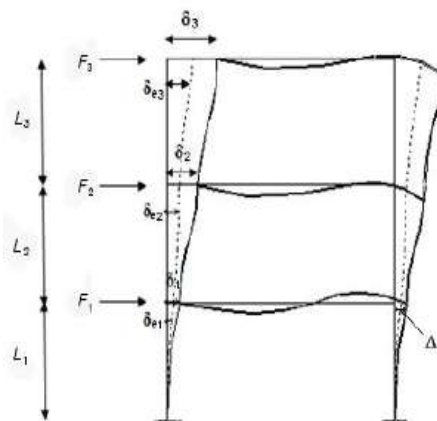
Penentuan simpangan antar lantai harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai peraturan SNI 1726:2012 Pasal 7.8.6 persamaan berikut :

Keterangan :

C_d = faktor amplifikasi defleksi dalam tabel 4.9

δ_{xe} = defleksi pada lokasi yang disyaratkan

I_e = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Tabel 2.5



Gambar 7. Penentuan Simpangan Antar Lantai

Keterangan :

Tingkat 3

F_3 = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e3} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa tingkat kekuatan

$\delta_3 = C_d \delta_{e3}/I_e$ = perpindahan yang diperbesar

$\Delta_3 = (\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d/I_e \leq \Delta_a$ (Tabel 16 SNI 1726:2012)

Tingkat 2

F_2 = Gaya gempa desain tingkat kekuatan

δ_{e2} = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa tingkat kekuatan

$\delta_2 = C_d \delta_{e2}/I_e =$ perpindahan yang diperbesar
 $\Delta_2 = (\delta_{e2} \cdot \delta_{e1}) C_d/I_e \leq \Delta_a$ (Tabel 16 SNI 1726:2012)

Tingkat 1

$F_1 =$ Gaya gempa desain tingkat kekuatan

$\delta_{e1} =$ perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa tingkat kekuatan

$\delta_1 = C_d \delta_{e1}/I_e =$ perpindahan yang diperbesar

$\Delta_1 = \delta_{e1} \leq \Delta_a$ (Tabel 16 SNI 1726:2012)

B. Tingkat Kinerja (Performance Level) Menurut ATC-40

Performance level ditentukan berdasarkan nilai *maximum total drift*, yaitu rasio / perbandingan *drift roof* terhadap tinggi total struktur.

Tabel 7. *Performance level* ATC-40

Parameter	<i>Performance Level</i>		
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Limited Safety</i>
<i>maximum total drift</i>	0,01	0,01 – 0,02	0,02

Tabel 8. Rekapitulasi Perbandingan Simpangan Gedung Arah X

Lantai	ElCentro			Sumatera			Superstition Hills			Chichi			Friuli			Δa
	ΔA_x	ΔB_x	$\Delta A_x/\Delta B_x$	Δa_x	ΔB_x	$\Delta A_x/\Delta B_x$	ΔA_x	ΔB_x	$\Delta A_x/\Delta B_x$	ΔA_x	ΔB_x	$\Delta A_x/\Delta B_x$	ΔA_x	ΔB_x	$\Delta A_x/\Delta B_x$	
	m	m	%	M	M	%	m	m	%	m	m	%	m	m	%	
LANTAI ATTIC	0,012	0,012	0,0%	0,002	0,003	40,0%	0,016	0,051	213,6%	0,011	0,029	158,1%	0,008	0,003	-57,1%	0,040
LANTAI 5	0,012	0,009	-27,3%	0,002	0,001	-20,0%	0,022	0,053	141,7%	0,013	0,030	134,3%	0,008	0,002	-78,3%	0,041
LANTAI 4	0,009	0,007	-25,0%	0,003	0,002	-28,6%	0,023	0,048	112,9%	0,015	0,026	75,6%	0,007	0,001	-85,0%	0,041
LANTAI 3	0,015	0,007	-52,4%	0,002	0,001	-33,3%	0,020	0,037	85,2%	0,018	0,021	20,8%	0,005	0,002	-57,1%	0,041
LANTAI 2	0,015	0,005	-66,7%	0,002	0,001	-66,7%	0,014	0,020	38,5%	0,014	0,011	-21,1%	0,017	0,002	-87,2%	0,041
BASE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabel 9. Rekapitulasi Perbandingan Simpangan Gedung Arah Y

Lantai	ElCentro			Sumatera			Superstition Hills			Chichi			Friuli			Δa
	ΔA_y	ΔB_y	$\Delta A_x/\Delta B_x$	ΔA_y	ΔB_y	$\Delta A_x/\Delta B_x$	ΔA_y	ΔB_y	$\Delta A_x/\Delta B_x$	ΔA_y	ΔB_y	$\Delta A_x/\Delta B_x$	ΔA_y	ΔB_y	$\Delta A_x/\Delta B_x$	
	m	m	%	m	M	%	m	m	%	m	m	%	m	m	%	
LANTAI ATTIC	0,025	0,010	-59,4%	0,006	0,003	-47,1%	0,025	0,046	83,8%	0,027	0,032	17,8%	0,013	0,006	-52,8%	0,040
LANTAI 5	0,029	0,010	-64,6%	0,007	0,003	-57,9%	0,039	0,055	41,1%	0,017	0,036	117,8%	0,017	0,004	-77,8%	0,041
LANTAI 4	0,017	0,008	-53,3%	0,006	0,003	-47,1%	0,042	0,054	27,8%	0,018	0,035	90,0%	0,016	0,001	-95,3%	0,041
LANTAI 3	0,026	0,011	-59,7%	0,006	0,002	-62,5%	0,043	0,048	11,9%	0,029	0,022	-23,8%	0,014	0,003	-78,9%	0,041
LANTAI 2	0,019	0,008	-57,7%	0,007	0,001	-78,9%	0,027	0,030	13,7%	0,028	0,000	-100,0%	0,019	0,004	-79,2%	0,041
BASE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Dari hasil analisis pada Tabel 7 dan Tabel 8 dapat dibandingkan pada gedung yang menggunakan dinding geser memiliki simpangan lebih kecil dari gedung yang tidak menggunakan dinding geser, kecuali pada gempa Superstition Hills dan Chichi terdapat simpangan yang lebih besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- a. Dalam analisis *time history* menggunakan rekam gempa Elcentro, Sumatera, Chichi dan Friuli simpangan yang terjadi pada gedung tanpa dinding geser maupun dengan dinding geser memenuhi persyaratan simpangan ijin. Namun masih terdapat simpangan yang tidak memenuhi syarat simpangan ijin, yaitu pada gempa Superstition Hills.
- b. Simpangan yang dihasilkan pada gedung tanpa dinding geser dalam analisis *time history* lebih besar dibandingkan dengan simpangan pada gedung yang menggunakan dinding geser, kecuali pada gempa Superstition Hills dan Chichi.
- c. Dalam studi kasus ini, kinerja untuk gedung tanpa dinding geser maupun menggunakan dinding geser masih masuk dalam level kinerja IO (*Immediate Occupancy*).

Saran

- a. Untuk mengecek evaluasi kinerja berdasarkan ATC-40 dapat dicoba dengan metode statik dan *pushover*
- b. Analisis dinamik *pushover* dapat diterapkan sebagai pembanding analisis dinamik *time history*.
- c. Paket data gempa (percepatan, kecepatan, dan perpindahan) dengan kriteria tertentu dapat diperoleh dari peer.berkeley.edu atau strongmotioncenter.org dan pembacaan / pengolahan data gempa dengan *microsoft excel*, *notepad* dan *seismosoft*.

REFERENSI

- Anggen Wandrianto S., 2014, *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Time History Menggunakan ETABS (Studi Kasus : Hotel di Karanganyar)*, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Aritonang, Tobok Sihol Marito, 2010, *Evaluasi Kinerja Instalasi Rawat Darurat RSUP DR. Sardjito Yogyakarta Terhadap Pengaruh Gempa*, Program Pasca Sarjana S2 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- ATC 40, 1996, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, Applied Technology Council, Redwood City, 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, 2010, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2012*, BSN, Bandung.
- Boediono, Prof. Dr. Ir. Bambang, 2008, *Short Course HAKI Performance Based Design*, Jakarta
- FEMA 310, 1998, *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, USA
- Pratama Fajri, 2014, *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis Time History Pada Tinjauan Drift dan Displacement Menggunakan Software ETABS*, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Pawirodikromo Widodo, 2012, *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Yulianti Ria Catur, 2013 *Rekayasa Gempa*, Pusat Pengembangan Bahan Ajar Universitas Mercu Buana.
<http://peer.berkeley.edu/nga/>
<http://strongmotioncenter.org>

