

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN ANALISIS DINAMIK *TIME HISTORY* MENGGUNAKAN ETABS (STUDI KASUS: HOTEL DI DAERAH KARANGANYAR)

Wandrianto S. Anggen¹⁾, Agus Setiya Budi²⁾, Purnawan Gunawan³⁾

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: wandri.anggen@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, so this analysis method can provide more complete overview and information of structure response. This study aims to determine the structure performance based on the value of drift and interstory drift by the influence of design earthquake and actual earthquake. The case study in this research is a multi-storey hotel in Karanganyar, where the model structure is created in 3D with ETABS. Design earthquake level using time history dynamic analysis and equivalent static analysis as a comparison. The actual earthquake was also applied using dynamic time history analysis on a variety of earthquake accelerations value. Time history analysis at design earthquake using 7 selected actual earthquake accelerograms, where the average of response spectrum's value should be match to the average of response spectrum design in the period $0.2 T - 1.5 T$. Accelerogram data scaled according to local soil conditions with probability magnitude exceeded 2 % for 50 years. Actual earthquake using dynamic time history analysis, accelerogram not scaled and loading combination only to simulate earthquake acceleration directions. Analysis results due to design earthquake: safe structure and categorized as immediate occupancy. Analysis results due to actual earthquake of Elcentro: unsafe structure at Story 1st - Roof Story, structure categorized as damage control, Northridge: unsafe structure at Story 10th and Roof Story, but still categorized as immediate occupancy, and Mentawai: safe structure and categorized as 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 merepresentasikan sifat dinamik percepatan gempa dan respon struktur, sehingga metode analisis ini dapat memberikan gambaran dan informasi respon struktur yang lebih lengkap. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja struktur berdasarkan nilai *drift* dan *interstory drift* oleh pengaruh gempa rencana dan gempa aktual. Studi kasus dalam penelitian ini adalah hotel bertingkat di Karanganyar, dimana model struktur dibuat dalam 3D dengan program ETABS. Pada level gempa rencana digunakan analisis dinamik *time history* dan analisis statik ekuivalen sebagai pembanding. Gempa aktual juga diterapkan dengan analisis dinamik *time history* pada beragam nilai percepatan gempa. Analisis *time history* pada level gempa rencana menggunakan akselerogram 7 gempa aktual pilihan, dimana rata-rata respon spektrum dari gempa aktual tersebut nilai percepatannya harus berdekatan dengan rata-rata respon spektrum gempa rencana pada periode $0,2T - 1,5T$. Data akselerogram diskalakan menurut kondisi tanah setempat dengan kekuatan gempa probabilitas terlampaui 2% selama 50 tahun. Pada level gempa aktual dengan analisis dinamik *time history*, akselerogram tidak diskalakan dan kombinasi pembebanan hanya untuk mensimulasikan arah percepatan gempa. Hasil analisis akibat gempa rencana adalah struktur aman dan masuk kategori *immediate occupancy*. Hasil analisis akibat gempa aktual adalah, Elcentro: struktur tidak aman pada Lt 1 – Lt Atap, struktur masuk kategori *damage control*, Northridge: struktur tidak aman pada Lt 10 dan Lt Atap, namun masih pada kategori *immediate occupancy*, dan Mentawai: struktur aman dan masuk kategori *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 dibantu dengan program ETABS. Langkah analisis adalah dengan membuat model struktur yang terdiri dari elemen kolom, *core wall*, dinding *basement*, balok, dan pelat lantai. Beban: beban gravitasi (beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup) ditambah beban percepatan gempa (gempa rencana dan gempa aktual). Pada level gempa rencana digunakan analisis dinamik *time history* dan analisis statik ekuivalen sebagai pembandingan, pada level gempa aktual hanya digunakan analisis dinamik *time history*. Keseluruhan analisis pada gempa rencana dan gempa aktual dilakukan secara linear. Hasil analisis akibat gempa rencana dan gempa aktual kemudian dievaluasi untuk mengetahui kinerja dan tingkat kinerja struktur.

Tabel 1. Deskripsi Gedung

Deskripsi Gedung	Keterangan	
Sistem struktur	<i>Dual system: Dinding Geser Beton Bertulang Khusus dan SRPMK</i>	
Fungsi gedung	Tempat hunian / hotel / <i>apartement</i>	
Jumlah lantai	11	
Jumlah lantai <i>basement</i>	3	
Tinggi dari muka tanah	+ 45,2	m
Tinggi ke bawah muka tanah	- 9,5	m
Luas total gedung termasuk <i>basement</i>	28.255,02	m ²
Mutu Beton (struktur atas dan bawah)	K-350 / 29,61 MPa	
Mutu Baja Tulangan Polos	240	MPa
Mutu Baja Tulangan Ulir	400	MPa
Kategori risiko	II	Tabel 1, SNI-1726-2012
Faktor keutamaan	1	Tabel 2 SNI-1726-2012
Koefisien modifikasi respon	7 (<i>Dual system</i>)	Tabel 9, SNI-1726-2012
Berat Seismik Efektif (W_t)	37457,496 ton.f	$W_t = DL + SIDL + 0,3LL$

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Parameter Respon Spektrum

Parameter respon spektral untuk wilayah Karanganyar (kelas situs D, tanah sedang) dengan nilai $S_s = 0,76.g$ dan $S_1 = 0,32.g$ yang ditentukan dari Peta Gempa SNI-1726-2012 (level gempa probabilitas 2% selama 50 tahun), kemudian diperoleh parameter respon spektrum elastik desain $S_{DS} = 0,606.g$ (percepatan periode 0,2 detik) dan $S_{D1} = 0,376.g$ (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 Perhitungan
Periode getar (T)	1,374 detik	Analisis ETABS dan Pasal 7.8.2, SNI-1726-2012
Koefisien respon seismik (C_s)	0,0390	Pasal 7.8.1.1, SNI-1726-2012
Geser dasar seismik (V)	1462,089 ton	Pasal 7.8.1, SNI-1726-2012

3. Analisis Struktur Dengan Beban Gempa Rencana
A. Analisis Linear Statik Ekuivalen

Tabel 4. Distribusi Vertikal Gaya Gempa (F)

Lantai	Elevasi (m)	Berat	$W \times h_x^k$	Cv	F = Cv.V (ton)	Eq 100%	Eq 30%
Atap LMR	54,7	102,29	32170,39	0,01	13,66	13,66	4,10
Atap	51,5	1066,89	307699,59	0,09	130,63	130,63	39,19
Lantai 10	48,3	1650,63	434128,79	0,13	184,31	184,31	55,29
Lantai 9	45,1	1710,26	407613,10	0,12	173,05	173,05	51,92
Lantai 8	41,9	1728,23	370557,40	0,11	157,32	157,32	47,20
Lantai 7	38,7	1728,23	330576,35	0,10	140,35	140,35	42,10
Lantai 6	35,5	1728,23	292015,70	0,09	123,97	123,97	37,19
Lantai 5	32,3	1728,23	254946,31	0,07	108,24	108,24	32,47
Lantai 4	29,1	1728,23	219449,83	0,06	93,17	93,17	27,95
Lantai 3	25,9	1780,94	191283,06	0,06	81,21	81,21	24,36
Lantai 2	20,9	3077,27	242841,86	0,07	103,10	103,10	30,93
Lantai 1	15,5	3597,70	184768,96	0,05	78,44	78,44	23,53
Lantai 1'	12,9	140,22	5531,07	0,00	2,35	2,35	0,70
Lantai dasar	9,5	3207,21	81507,28	0,02	34,60	34,60	10,38
Lantai dasar'	8,9	928,48	21484,49	0,01	9,12	9,12	2,74
Basement 1	6	3648,40	47903,78	0,01	20,34	20,34	6,10
Basement 2	3	4004,49	19418,23	0,01	8,24	8,24	2,47
Basement 3	0	3901,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ		37457,50	3443896,19	1,00	1462,09		

Model struktur diterapkan beban orthogonal (SNI-1726-2012, Pasal 7.5.3a & Pasal 7.5.3b) ditambah pengaruh gempa vertikal, sehingga digunakan kombinasi pembebanan seperti pada SNI-1726-2012, Pasal 7.4.

B. Analisis Linear Dinamik Time History

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

PGA Karanganyar: 0,37.g (Peta Gempa SNI-1726-2012, 2% 50 tahun) dan koefisien situs, $F_{PGA} = 1,13$ (Tabel 8 SNI-1726-2012).

2) PGA dengan Pengaruh Klasifikasi Situs (PGA_M)

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

$$\begin{aligned}
 PGA_M &= F_{PGA} \times PGA \dots\dots\dots [1] \\
 &= 1,13 \times 0,37.g \\
 &= 0,4181.g
 \end{aligned}$$

3) 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.

$$\begin{aligned}
 PGA_{M(direduksi)} &= F_{PGA} \times PGA \times (I/R) \dots\dots\dots [2] \\
 &= 1,13 \times 0,37.g \times (1/7) \\
 &= 0,05973.g
 \end{aligned}$$

4) Pemilihan Data Akselerogram

Respon spektrum akselerogram gempa aktual harus konvergen dengan respon spektrum elastik desain. Respon spektrum elastik desain diinput pada situs PEER untuk memperoleh data akselerogram. Dengan program bantu Seismosoft akselerogram pilihan dapat dimodifikasi, sedemikian sehingga respon spektrum elastiknya benar-benar konvergen (toleransi 30%) dengan respon spektrum elastik desain.

Rata-rata 7 respon spektrum elastik gempa aktual (Gambar 1) dibandingkan dengan respon spektrum elastik desain (respon spektrum Karanganyar, tanah sedang) pada periode $0,2.T - 1,5.T$, dimana T adalah periode gedung ($T = 1,374$ detik) rentang $0,2.T - 1,5.T$ adalah $0,27$ detik – $2,06$ detik (Gambar 2).

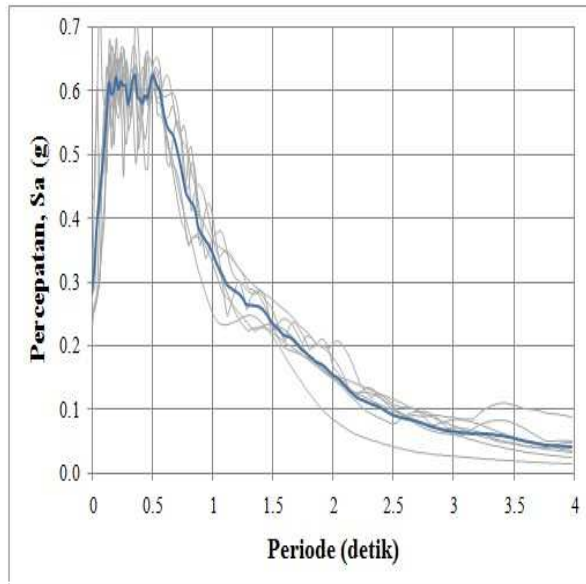
Hasil perbandingan RSP elastik (aktual dan desain) periode $0,2.T - 1,5.T$ ($0,27$ detik – $2,06$ detik):

- Nilai S_a rata-rata RSP_{aktual} pada periode $0,2.T - 1,5.T = 0,34.g$
 - Nilai S_a rata-rata RSP_{desain} pada periode $0,2.T - 1,5.T = 0,37.g$
- Sehingga, S_a rata-rata $RSP_{aktual} \approx S_a$ rata-rata RSP_{desain} (konvergen)

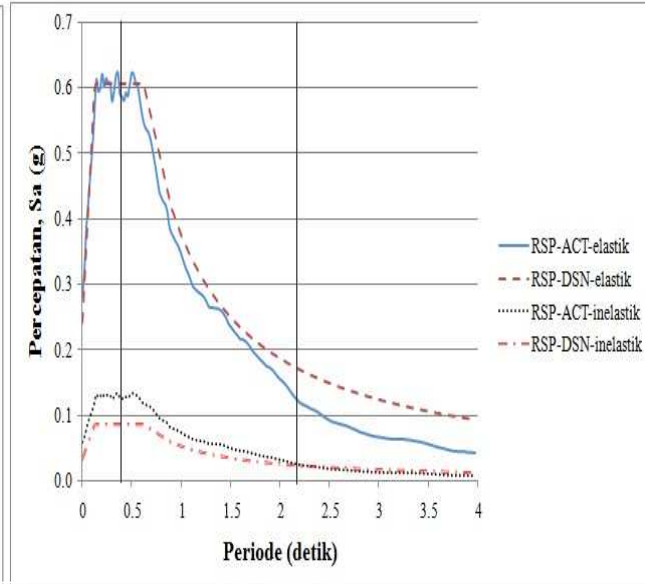
Hasil perbandingan RSP inelastik (aktual dan desain) periode $0,2.T - 1,5.T$ ($0,27$ detik – $2,06$ detik):

- Nilai S_a rata-rata RSP_{aktual} pada periode $0,2.T - 1,5.T = 0,075.g$
- Nilai S_a rata-rata RSP_{desain} pada periode $0,2.T - 1,5.T = 0,053.g$

Sehingga, $(0,075.g / 0,053.g = 1,4043) > 1,4$ (OK), sesuai syarat: SNI-1726-2012, Pasal 11.1.3.2 dan FEMA 352, Chapter 1.6.2.2



Gambar 1. Rata-rata 7 RSP Elastik Gempa Aktual



Gambar 2. RSP: Elastik vs Inelastik

5) Penskalaan Percepatan Gempa Masukan

Percepatan gempa maksimum dari akselerogram pilihan (PGA_{Max}) disetarakan dengan percepatan permukaan tanah maksimum sesuai kondisi tanah setempat ($PGA_{M(direduksi)}$). Perhitungan skala adalah $(PGA_{M(direduksi)} / PGA_{Max})$ seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Data dan Penskalaan Akselerogram

No	Gempa	Kode	Interval	Durasi	PGA_{Max}	$PGA_{M(direduksi)}$	Skala
			detik	detik	m/s^2	m/s^2	
1	Taiwan, (1986)	TH1	0.0025	7.978	0.287.g	0,0597.g	0.208
2	Superstition Hills, USA (1987)	TH2	0.0050	29.795	0.253.g	0,0597.g	0.236
3	Parkfield, USA (1966)	TH3	0.0025	8.783	0.266.g	0,0597.g	0.225
4	Northridge, USA (1994)	TH4	0.0025	7.988	0.428.g	0,0597.g	0.140
5	Imperial Valley, USA (1979)	TH5	0.0100	39.980	0.259.g	0,0597.g	0.231
6	Victoria, Mexico (1980)	TH6	0.0050	26.905	0.267.g	0,0597.g	0.224
7	Chalfant Valley, USA (1986)	TH7	0.0050	39.970	0.259.g	0,0597.g	0.231

6) Kontrol Geser Dasar

Geser dasar hasil analisis dinamik (V_t) harus lebih besar atau sama dengan 85% geser dasar ragam pertama ($0,85.V_1$) atau $V_t \geq 0,85.V_1$. Jika $V_t < 0,85.V_1$, maka percepatan gempa masukan dalam analisis dinamik dikali $(0,85.V_1)/V_t$. Setelah syarat $V_t \geq 0,85.V_1$ terpenuhi, hasil analisis *drift* dan *interstory drift* dapat digunakan sebagai dasar evaluasi struktur.

C. Evaluasi Kinerja Struktur

1) Kinerja Struktur Menurut SNI-1726-2002

a. Kinerja Batas Layan

$\Delta_{i,x,y} \leq \Delta_{i,x,y}$ Izin, dimana: $\Delta_{i,x,y}$ Izin = $(0,03 / R_{x,y}) / h$ [3]

b. Kinerja Batas Ultimate

$(\zeta \times \Delta_{i,x,y}) \leq (0,02 \times h)$, dimana: $\zeta = (0,7 \times R_{x,y}) / F_s$ [4]

Dengan:

$\Delta_{i,x,y}$ = simpangan lateral (*drift*) antar tingkat pada arah X atau Y (*Interstory drift* arah X atau Y)

$\Delta_{i,x,y}$ Izin = simpangan lateral (*drift*) antar tingkat izin arah X atau Y (*Interstory drift* arah X atau Y)

$R_{x,y}$ = koefisien modifikasi respons sistem struktur tinjauan arah X atau Y ($R_x = R_y = 7$)

h = tinggi tingkat

ζ = faktor pengali untuk gedung tidak beraturan (4,9)

F_s = faktor skala $F_s = \left(\frac{0,85 \times V_{Statik}}{V_{Dinamik}} \geq 1 \right)$ [5]

2) Tingkat Kinerja (*performance level*) Menurut ATC-40

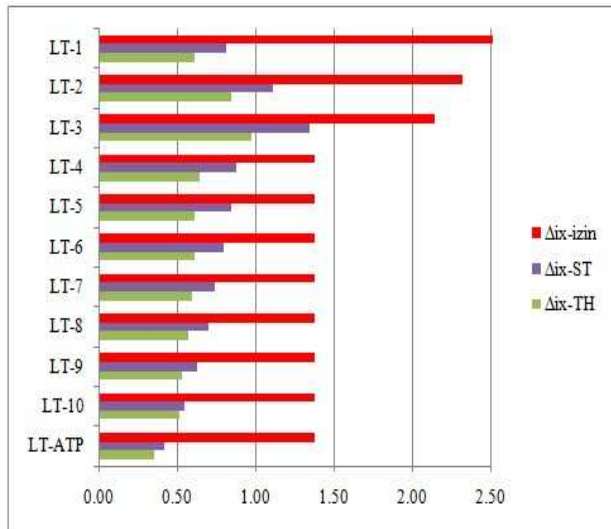
Performance level ditentukan berdasarkan nilai *maximum total drift*, yaitu rasio / perbandingan *drift roof* terhadap tinggi total struktur.

Tabel 7. *Performance level* ATC-40

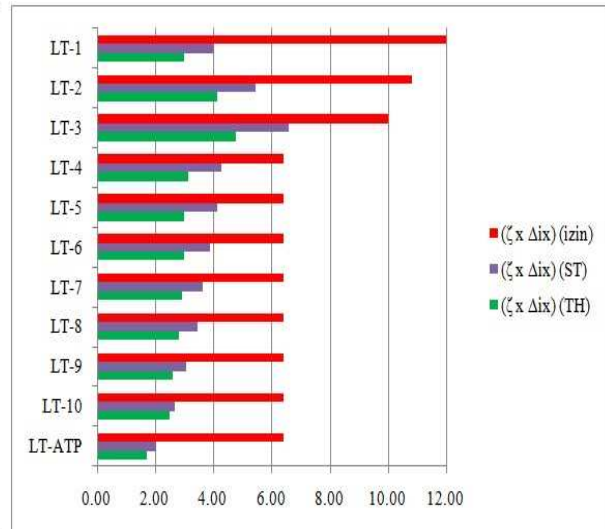
Parameter	Performance Level		
	Immediate Occupancy	Damage Control	Limited Safety
<i>maximum total drift</i>	0,01	0,01 – 0,02	0,02

Hasil Analisis Level Gempa Rencana (Statik Ekuivalen & Dinamik *Time History*)

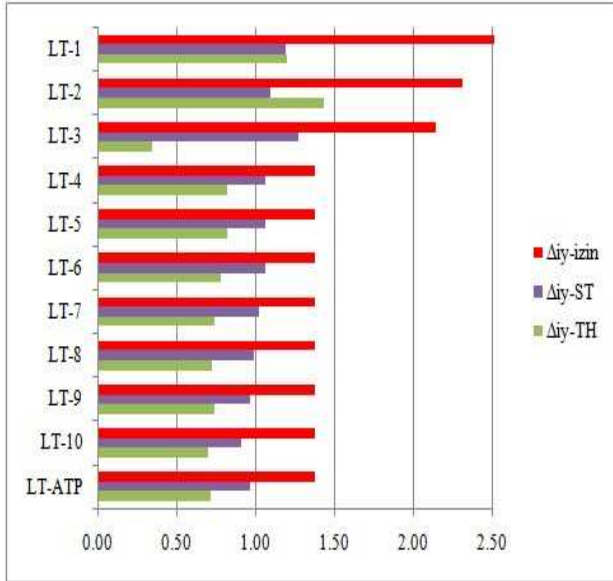
Akselerogram gempa masukan yang digunakan sebanyak 7 data, sehingga dapat diambil nilai rata-rata respon struktur terhadap gempa (*drift & interstory drift*) dari hasil analisis dinamik *time history* (Pasal 11.1.4, SNI-1726-2012, mengenai parameter respons).



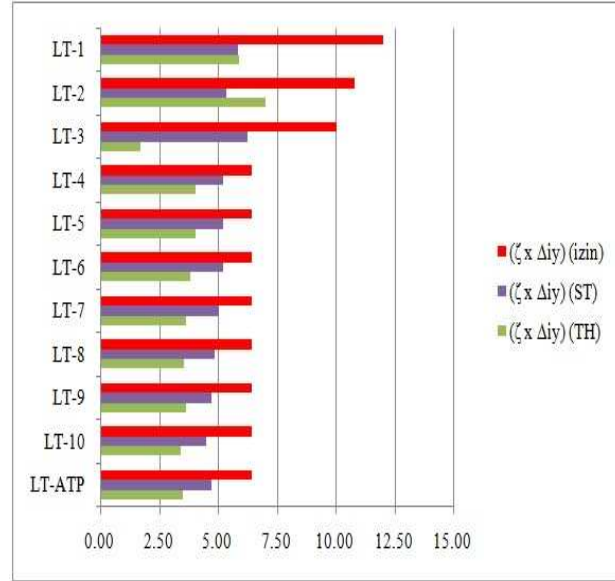
Gambar 3. *Interstory Drift* Arah X (Batas Layan)



Gambar 4. *Interstory Drift* Arah X (Batas Ultimate)



Gambar 5. *Interstory Drift* Arah Y (Batas Layan)



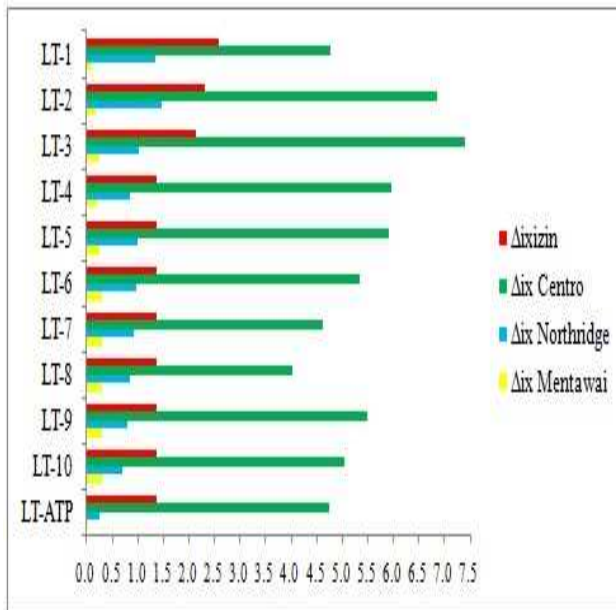
Gambar 6. *Interstory Drift* Arah Y (Batas Ultimate)

Tabel 8. *Performance level* ATC-40 Gempa Rencana

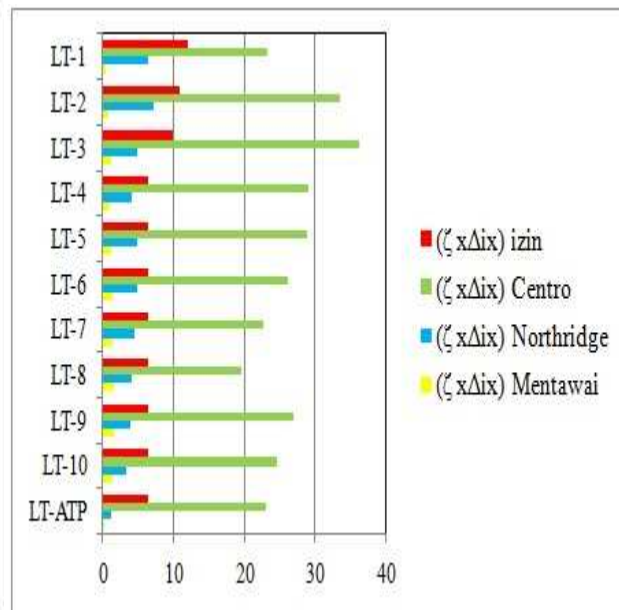
Gempa Masukkan	<i>Drift</i> Lt Atap (cm)	h_{total} (cm)	<i>Max Total Drift</i> <i>Drift Roof / h_{total}</i>	<i>Performance Level</i>
$TH_x = 100\%TH_x + 30\%TH_y$	6,734	5150	0.00131	IO
$TH_y = 30\%TH_x + 100\%TH_y$	9,059	5150	0.00176	IO
$ST_x = 100\%ST_x + 30\%ST_y$	8,82	5150	0.00171	IO
$ST_y = 30\%ST_x + 100\%ST_y$	11,74	5150	0.00228	IO

Keterangan: *Drift Lt Atap* pada Tabel 8 (TH_x dan TH_y) adalah *Drift Lt Atap* rata – rata dari 7 analisis

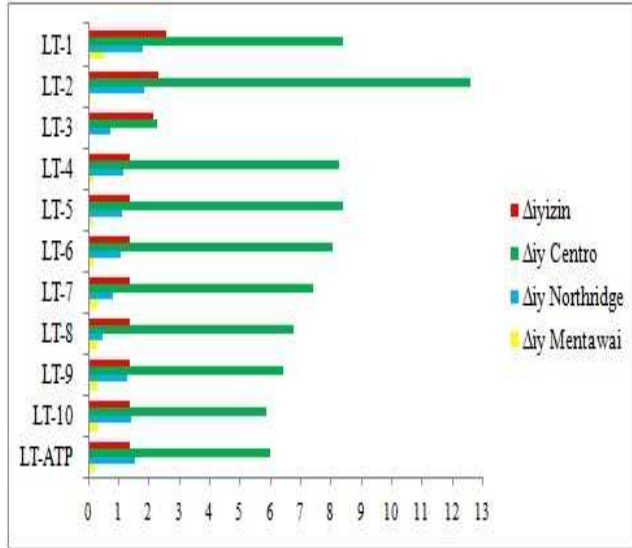
D. Hasil Analisis Gempa Aktual (Analisis Linear Dinamik *Time History*)



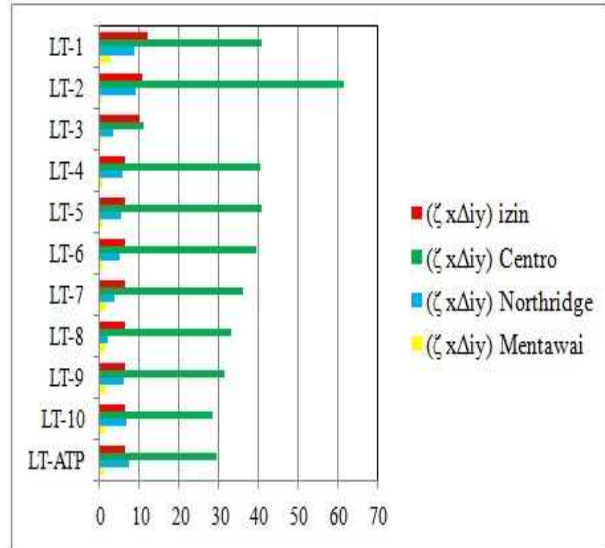
Gambar 7. *Interstory Drift* Arah X (Batas Layan)



Gambar 8. *Interstory Drift* Arah X (Batas Ultimate)



Gambar 9. Interstory Drift Arah Y (Batas Layan)



Gambar 10. Interstory Drift Arah Y (Batas Ultimate)

Tabel 9. Performance level ATC-40 Gempa Aktual

Tinjauan	Gempa Masukkan	Drift Lt Atap (m)	h_{total} (m)	$\frac{Max\ Total\ Drift\ Drift\ Roof}{h_{total}}$	Performance Level
Arah X	Centro	60,34	5150	0.0117	DC
	Northridge	10,19	5150	0.0020	IO
	Mentawai	2,48	5150	0.0005	IO
Arah Y	Centro	81,17	5150	0.0158	DC
	Northridge	13,36	5150	0.0026	IO
	Mentawai	2,54	5150	0.0005	IO

SIMPULAN

Hasil Analisis Akibat Gempa Rencana (Linear Statik Ekuivalen & Linear Dinamik *Time History*)

- Interstory drift* dari kedua hasil analisis ditinjau pada arah X dan arah Y tidak melebihi *interstory drift* izin pada batas layan (1,37 cm) maupun *interstory drift* izin pada batas ultimate (6,40 cm).
- Maximum total drift* dari kedua hasil analisis (arah X dan arah Y) kurang dari 0,01 sehingga struktur akibat gempa rencana masuk pada kategori *immediate occupancy*.

Hasil Analisis Akibat Gempa Aktual (Linear Dinamik *Time History*)

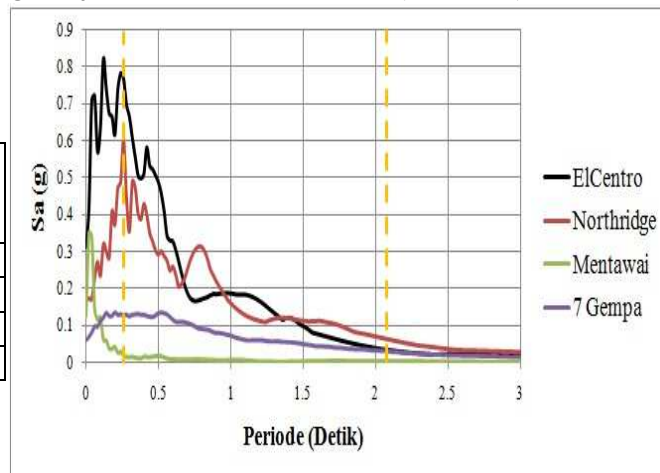
- Interstory drift* izin pada batas layan adalah 1,37 cm
 - Gempa Elcentro: struktur tidak aman pada arah X dan arah Y (Lantai 1 – Lantai 10)
 - Gempa Northridge: struktur aman pada arah X sedangkan arah Y tidak aman pada Lantai 10 dan Lantai Atap
 - Gempa Mentawai: struktur aman pada arah X dan arah Y.
- Interstory drift* izin pada batas ultimate adalah 6,40 cm
 - Gempa Elcentro: struktur tidak aman pada arah X dan arah Y (Lantai 1 – Lantai 10)
 - Gempa Northridge: struktur aman pada arah X sedangkan arah Y tidak aman pada Lantai 10 dan Lantai Atap
 - Gempa Mentawai: struktur aman pada arah X dan arah Y.
- Maximum total drift* akibat Gempa Elcentro: 0,0117 (arah X) dan 0,0158 (arah Y), struktur masuk kategori *damage control*; akibat Gempa Northridge dan Gempa Mentawai struktur masuk kategori *immediate occupancy*.

Perbandingan Hasil Analisis Gempa Rencana dan Gempa Aktual

- Percepatan-Waktu (akselerogram):
 PGA_{MAX} Gempa Mentawai = $0,126.g \text{ m/s}^2 > PGA_{MAX}$ Gempa Rencana = $0,05973.g \text{ m/s}^2$, namun Gempa Mentawai menimbulkan *story drift* lebih kecil dibanding Gempa Rencana.
- Percepatan-Periode (respon spektrum):
 Sa Gempa Mentawai = $0,0077.g \text{ m/s}^2 < Sa$ Gempa Rencana = $0,0721.g \text{ m/s}^2$ (*Rata-rata Respon Spektrum Inelastik 7 Gempa Aktual* pada periode efektif: $0,2T - 1,5T$, T: periode struktur 1,374 detik)
- Semakin besar PGA_{MAX} , semakin besar Sa_{MAX} , namun Percepatan Sa (respon spektrum) yang memberi pengaruh pada respon struktur perlu diperiksa pada rentang $0,2T - 1,5T$ (periode efektif). Hal demikian akan menjadi dasar yang lebih menentukan dibanding hanya melihat nilai Percepatan PGA_{MAX} (akselerogram). Perhatikan hubungan *drift*, PGA_{MAX} , dan rata-rata Sa ($0,2T-1,5T$): Tabel 8 -10.

Tabel 10. Rata-rata Sa ($0,2T - 1,5T$)

No	Gempa	PGA_{MAX} (m/s^2)	Rata-rata Sa ($0,2T - 1,5T$) (m/s^2)
1	Elentro	0,3130.g	0.2028.g
2	Northridge	0,1700.g	0.1863.g
3	Mentawai	0,1260.g	0.0077.g
4	TH 7 Gempa	0,0597.g	0,0721.g



Gambar 11. Respon Spektrum: Aktual – Rencana
 Keterangan: RSP 7 Gempa : Rata-rata Respon Spektrum Inelastik 7 Gempa Aktual dalam analisis linear dinamik time history (level gempa rencana)

REKOMENDASI

- Pada **level gempa rencana**, pemilihan data akselerogram harus sesuai kriteria untuk analisis dinamik *time history*. Kesesuaian data akselerogram diperhitungkan pada data respon spektrumnya pada rentang perioda $0,2T - 1,5T$, (SNI-1726-2012, Pasal 11.1.3.2; lihat juga pada: ASCE 7-10, *Chapter* 16.1.3.2.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Bapak Agus Setiya Budi, S.T., M.T. dan Bapak Purnawan Gunawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing. Terimakasih kepada Keluarga dan Rekan-rekan atas kepercayaan dan dukungannya.

REFERENSI

- Anonim. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim. 2012. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Applied Technology Council-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*. Seismic Safety Commission State of California. Reston, Virginia.
- Deierlein, Greg. 2007. *Journal: Performance Assessment Through Nonlinear Time History Analysis*. Stanford University.
- Tola, Adrian. 2010. *Thesis: Development of a Comprehensive Linear Response History Analysis Procedure for Seismic Load Analysis*. Polytechnic Institute and State University, Virginia.