

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG 10 LANTAI DENGAN ANALISIS *TIME HISTORY* PADA TINJAUAN DRIFT DAN DISPLACEMENT MENGGUNAKAN SOFTWARE ETABS.

Fajri Pratama¹⁾, Agus Setiya Budi²⁾, Wibowo³⁾

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: fajri_pratama57@yahoo.com

Abstract

Indonesia is a country located in circum pacific earthquake belt and Trans Asiatic Earthquake Belt so it has potentially lead the earthquake because Indonesia is located in the Pacific Ring of Fire. This review loads emphasized the importance of the earthquake in planning structures design as anticipation when earthquake happens. The purpose of this study to determine the performance of the structure based on drift and displacement according to the performance limits of serviceability and ultimate performance limits stated in the SNI 03-1726-2002 and level of structure performance in accordance ATC-40.

This study uses time history analysis with 4 original earthquake records in El Centro earthquake, Taiwan earthquake, Friuli earthquake, and the Sumatra earthquake. The structure analysis calculation using ETABS software in three-dimensional model. The results of this analysis is displacement of each level and inter-level deviation.

The results of this analysis are used to control the performance limits of serviceability, ultimate performance limits and structure performance level. The results of this study based on time history analysis of plan seismic for the El Centro earthquake record there are 3 floors are not safe in they direction towards serviceability limit control and ultimate. Analysis of the time history in actual earthquake record at El Centro there are 8 floors in they direction and 7 floors in they direction is not safe to serviceability limit control and ultimate. According to ATC-40, plan seismic and actual seismic are included in the IO (Immediate Occupancy) category of building performance level.

Keyword : Earthquake, Time History Analysis

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) sehingga sangat berpotensi mengalami gempa, karena itu Indonesia termasuk dalam jalur cincin api Pasifik (*Ring of Fire*). Hal ini menegaskan pentingnya tinjauan beban gempa rencana dalam perencanaan desain struktur sebagai antisipasi apabila terjadi gempa. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kinerja struktur berdasarkan *drift dan displacement* sesuai dengan kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit yang tercantum dalam SNI 03-1726-2002 dan level kinerja struktur sesuai ATC-40.

Penelitian ini menggunakan analisis riwayat waktu dengan 4 rekaman gempa asli yaitu gempa El Centro, gempa Taiwan, gempa Friuli, dan gempa Sumatera. Perhitungan analisis struktur menggunakan *software* ETABS dalam model tiga dimensi. Hasil analisis ini berupa perpindahan masing-masing tingkat dan simpangan antar tingkat. Hasil analisis tersebut digunakan untuk mengontrol kinerja batas layan, kinerja batas ultimit dan level kinerja struktur.

Hasil Penelitian ini berdasarkan analisis riwayat waktu pada gempa rencana untuk rekaman gempa El Centro terdapat 3 lantai yang tidak aman pada arah y terhadap kontrol batas layan dan ultimit. Analisis riwayat waktu pada gempa aktual untuk rekaman El Centro terdapat 8 lantai pada arah x dan 7 lantai pada arah y yang tidak aman terhadap kontrol batas layan dan ultimit. Menurut ATC-40 untuk gempa rencana maupun gempa aktual termasuk dalam level kinerja gedung kategori IO (*Immediate Occupancy*).

Kata kunci : Gempa, Analisis Riwayat Waktu

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) sehingga sangat berpotensi mengalami gempa, karena itu Indonesia termasuk dalam jalur cincin api Pasifik (*Ring of Fire*). Cincin api Pasifik merupakan rangkaian gunung aktif dunia yang menyebabkan Indonesia mengalami frekuensi gempa yang cukup sering. Hal ini menegaskan pentingnya tinjauan beban gempa rencana dalam perencanaan desain struktur sebagai antisipasi apabila terjadi

gempa. Struktur bangunan harus mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada struktur atau apabila bangunan harus mengalami keruntuhan (disebabkan beban gempa melebihi beban gempa rencana), masih mampu memberikan perilaku nonlinier pada kondisi pasca-elastik sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin.

Menurut Daniel L. Schodek (1999), gempa bumi dapat terjadi karena fenomena getaran dengan kejutan pada kerak bumi. Faktor utama adalah benturan pergesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Gempa bumi ini menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya menjadi bergetar. Getaran ini nantinya akan menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan karena struktur cenderung mempunyai gaya untuk mempertahankan gaya untuk mempertahankan dirinya dari gerakan.

Dinamik secara sederhana dapat didefinisikan sebagai perubahan waktu. Beban dinamik adalah setiap beban yang besarnya, arahnya atau posisinya berubah menurut waktu. Demikian juga, respons struktur terhadap beban dinamik, yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan, juga perubahan waktu, atau sifat dinamik (Clough and Penzien, 1997).

Dalam analisis dinamik linier ada dua metode analisis yang dapat digunakan, yaitu: respon spektrum dan *time history*. Riwayat waktu percepatan gempa (*time history*) memberikan informasi besarnya percepatan tanah akibat gempa selama durasi atau waktu terjadinya gempa. Pada penelitian ini digunakan analisis dinamik *time history*.

METODE

Metode pada penelitian ini adalah metode analisis dimana pemodelan dibantu dengan *software* ETABS. Langkah analisis adalah dengan membuat model struktur yang terdiri dari elemen kolom, *core wall*, dinding *basement*, balok, dan pelat lantai. Beban yang diterapkan yaitu: beban gravitasi (beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup) ditambah beban percepatan gempa (gempa rencana dan gempa aktual). 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 Kbusus dan SRPMK</i>	
Fungsi gedung	Tempat hunian / hotel / <i>apartement</i>	
Jumlah lantai	10	
Jumlah lantai <i>basement</i>	1	
Luas total gedung termasuk <i>basement</i>	8.095,47	m ²
Mutu Beton (struktur atas dan bawah)	F'c 25	
Mutu Baja Tulangan Polos	300	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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2. Rekapitulasi Berat Struktur Per Lantai

Lantai	Beban Mati		Beban Hidup (ton)	Beban Total (ton)
	Struktur (ton)	Tambahan (ton)		
Atap DAK	84.269	17.572	6.882	108.723
Lantai Atap	501.379	89.451	48.058	638.888
Lantai 8	720.016	89.563	48.118	857.697
Lantai 7	963.684	89.814	48.253	1101.751
Lantai 6	1115.974	90.377	48.555	1254.906
Lantai 5	1037.231	90.377	48.555	1176.163
Lantai 3	941.612	90.377	48.555	1080.544
Lantai 2	987.305	134.741	72.389	1194.436

Lantai 1	869.113	134.743	72.390	1076.246
Lantai dasar	1687.783	142.166	76.379	1906.328
Basement 1	849.538	77.654	251.852	1179.044
Σ				Wt = 11574,725

Beban-beban lain yang diperhitungkan dalam pemodelan di ETABS adalah beban tekanan tanah pada dinding *basement*. Besarnya tekanan dinding *basement* 2,139 t/m². Nilai tersebut diperoleh berdasarkan hasil perhitungan yang didukung oleh data hasil uji tanah setempat.

Parameter Respon Spektral

Parameter respon spektral untuk wilayah Surakarta (site class D, tanah sedang) berdasarkan nilai $S_s = 0,76.g$ dan $S_1 = 0,32.g$ yang ditentukan dari Peta Gempa SNI-1726-2012 (level gempa probabilitas terlampaui 2% selama 50 tahun umur struktur). Diperoleh $S_{Ds} = 0,606.g$ (percepatan periode 0,2 detik) dan $S_{D1} = 0,375.g$ (percepatan periode 1 detik).

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 (I), koefisien respon seismik (Cs), 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 (I)	1,264 detik	Analisis ETABS dan Pasal 7.8.2, SNI-1726-2012
Koefisien respon seismik (Cs)	0,0267	SNI-1726-2012, Pasal 7.8.1.1.
Geser dasar seismik (V)	599,072 ton	SNI-1726-2012, Pasal 7.8.1

Analisis Struktur Dengan Beban Gempa Rencana

Analisis Statik Ekuivalen

Tabel 4. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Lantai	Tinggi	Berat	$W_x h_x^k$	C_{vx}	$F = C_{vx} V$	V_y
Atap DAK	37.550	108.723	10794.451	0.026	15.711	15.711
Lantai Atap	34.300	638.888	56551.533	0.137	82.309	98.021
Lantai 8	30.350	857.697	65008.226	0.158	94.618	192.639
Lantai 7	26.750	1101.751	71150.467	0.173	103.558	296.196
Lantai 6	23.150	1254.906	67468.132	0.164	98.198	394.395
Lantai 5	19.550	1176.163	51034.714	0.124	74.280	468.675
Lantai 3	15.950	1080.544	36220.274	0.088	52.718	521.392
Lantai 2	12.350	1194.436	28945.831	0.070	42.130	563.522
Lantai 1	7.950	1076.246	14918.788	0.036	21.714	585.236
Lantai Dasar	3.550	1906.328	9505.671	0.023	13.835	599.072
Basement	0.000	1179.044	0.000	0.000	0.000	599.072
		11574.725	411598.086	1	599.072	

Analisis Dinamik *Time History*

Percepatan Puncak Permukaan Tanah (PGA)

PGASurakarta menurut Peta Gempa SNI-1726-2012 untuk level gempa dengan probabilitas terlampaui sebesar 2% selama 50 tahun umur struktur bangunan adalah 0,355.g dan koefisien situs (F_{PGA}) menurut Tabel 8 SNI-1726-2012 adalah 1,145.

PGA dengan Pengaruh Klasifikasi Situs (PGA_M)

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

$$\begin{aligned}
 PGAM &= F_{PGA} \times PGA \dots\dots\dots [1] \\
 &= 1,145 \times 0,355.g \\
 &= 0,4068.g
 \end{aligned}$$

Data Akselerogram

Gaya gempa masukan yang digunakan dalam berupa percepatan maksimum permukaan tanah (PGA) dari rekaman gempa sebenarnya.

Tabel 5. Data Akselerogram

Rekaman Gempa	Waktu (s)	Percepatan Puncak Tanah Asli	Percepatan Puncak Tanah Asli (g)
El Centro 1974	12,113	0,3194. g	0,31940
Taiwan 1999	17,995	0,37679 g	0,37679
Friuli 1976	7,26	0,31215. g	0,31215
Sumatera 2007	21,12	123 cm/s ²	0,12538

Penskalaan Percepatan Puncak Permukaan Tanah

Pasal 11.1.4, SNI-1726-2012, mengenai parameter respons menetapkan setiap gerak tanah dalam analisis harus dikalikan (diskalakan) dengan I/R.

$$\begin{aligned}
 PGAM_{(diskalakan)} &= F_{PGA} \times PGA \times (I/R) \dots\dots\dots [2] \\
 &= 1,145 \times 0,355.g \times (1/7) \\
 &= 0.05807.g
 \end{aligned}$$

Tabel 6. Penskalaan Data Akselerogram

Rekaman Gempa	Waktu (s)	Percepatan Puncak Tanah Asli (g)	PGAM (g)	Skala Gempa	Percepatan Puncak Modifikasi
El Centro 1974	12,113	0,31940	0,05807	0,1818	1,7835
Taiwan 1999	17,995	0,37679	0,05807	0,1541	1,5118
Friuli 1976	7,26	0,31215	0,05807	0,1860	1,8249
Sumatera 2007	21,12	0,12538	0,05807	0,4631	4,5433

Kontrol Geser Dasar

Nilai geser dasar dari hasil analisis dinamik (Vt) harus lebih besar atau sama dengan 85% geser dasar ragam pertama (0,85.V1) atau dituliskan $V_t \geq 0,85.V1$. Jika $V_t < 0,85.V1$, maka percepatan gempa masukan dalam analisis dinamik dikali $(0,85.V1)/V_t$.

Evaluasi Kinerja Struktur

Kinerja Struktur Menurut SNI-1726-2002

Kinerja Batas Layan

$$\Delta \leq \frac{0,03}{R} \times h_i \leq 30 \text{ mm} \dots\dots\dots [3]$$

Kinerja Batas Ultimate

$$(\zeta \cdot \Delta) \leq (0,02 \times H), \text{ dimana: } \zeta = (0,7 \cdot R) / F_S \dots\dots\dots [4]$$

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

Tingkat Kinerja (performance level) Menurut ATC-40

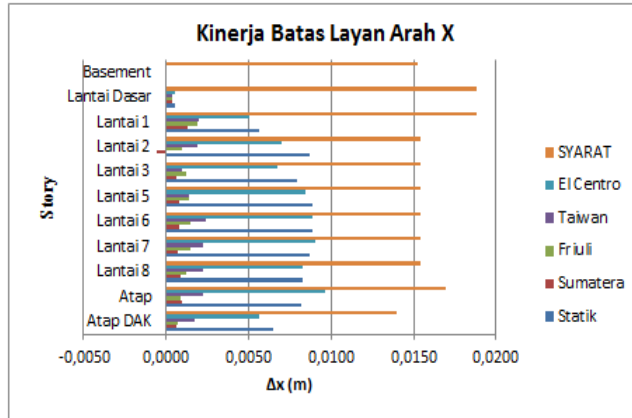
Performance level ditentukan berdasarkan nilai maximum total drift, yaitu rasio drift roof terhadap tinggi total struktur.

Tabel 7. Performance level ATC-40

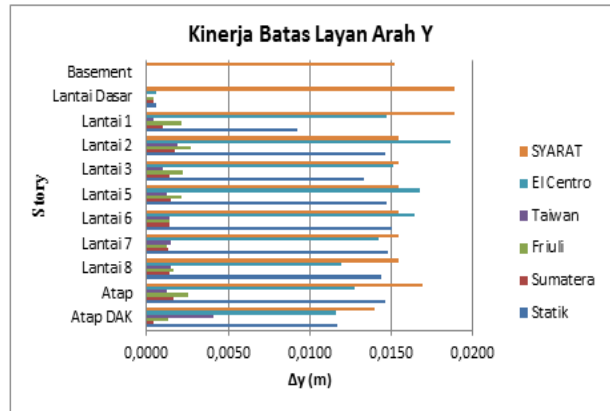
Parameter	Performance Level		
	Immediate Occupancy	Damage Control	Limited Safety
maximum total drift	0,01	0,01 – 0,02	0,02

Hasil Analisis Gempa Rencana

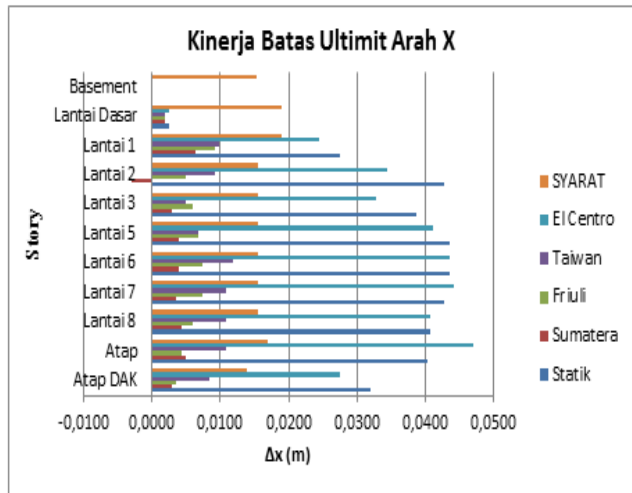
Akselerogram gempa masukan yang digunakan sebanyak 4data, sehingga dapat diambil nilai rata-rata respon struktur terhadap gempa (batas layan, batas ultimit, & ATC-40) dari hasil analisisdinamik *time history*(Pasal 8.1. SNI1726-2002



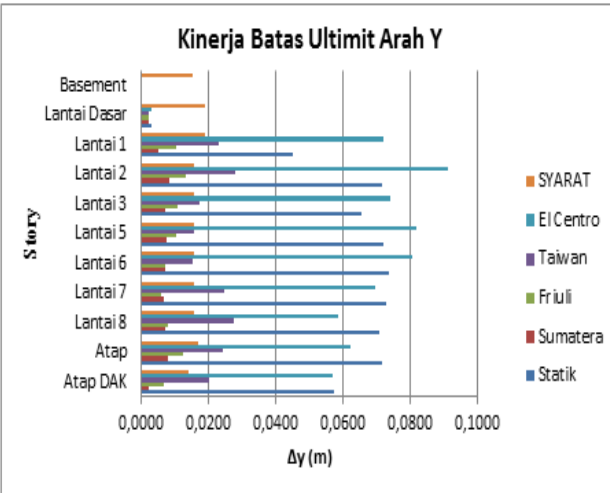
Gambar 1. Batas Layan Arah X Gempa Rencana



Gambar 2. Batas Layan Arah Y Gempa Rencana



Gambar 3. Batas Ultimit Arah X Gempa Rencana

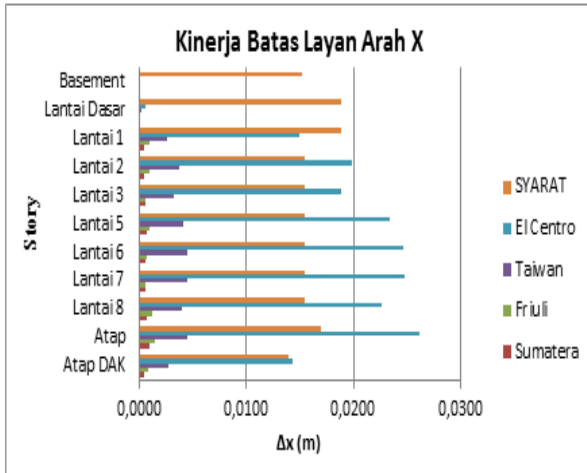


Gambar 4. Batas Ultimit Arah Y Gempa Rencana

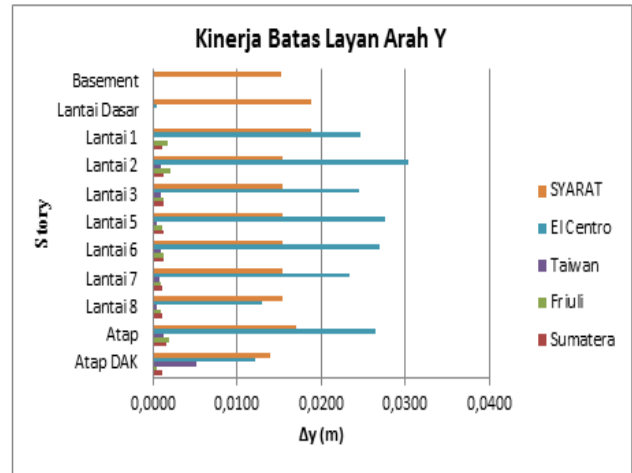
Tabel 8. *Performance level* ATC-40 Gempa Rencana

Tinjauan	Gempa	Dt	D1	<i>Maximum Drift</i>	<i>Maximum In-Elastic Drift</i>	Level Kinerja Drift	Level Kinerja In-Elastic Drift
Arah X	Statik	0,072	0,0005	0,001923	0,001909	IO	IO
	El Centro	0,0690	0,0005	0,001838	0,001824	IO	IO
	ChiChi	0,0174	0,0004	0,000463	0,000453	IO	IO
	Friuli	0,0117	0,0004	0,000312	0,000301	IO	IO
	Sumatra	0,0065	0,0004	0,000173	0,000162	IO	IO
Arah Y	Statik	0,123	0,0006	0,003273	0,003257	IO	IO
	El Centro	0,1093	0,0006	0,002911	0,002895	IO	IO
	ChiChi	0,0320	0,0004	0,000852	0,000842	IO	IO
	Friuli	0,0149	0,0004	0,000397	0,000386	IO	IO
	Sumatra	0,0113	0,0004	0,000301	0,000290	IO	IO

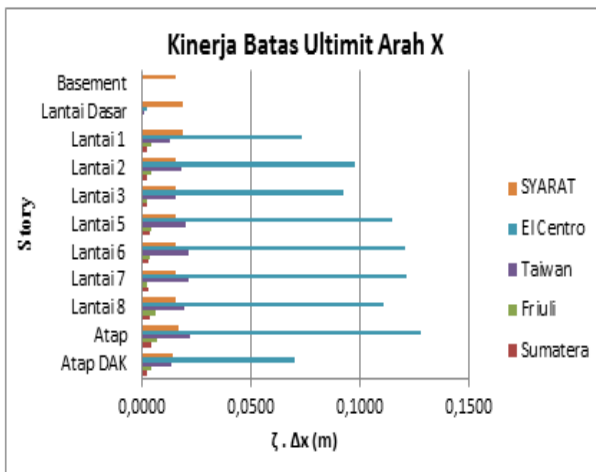
Hasil Analisis Gempa Aktual



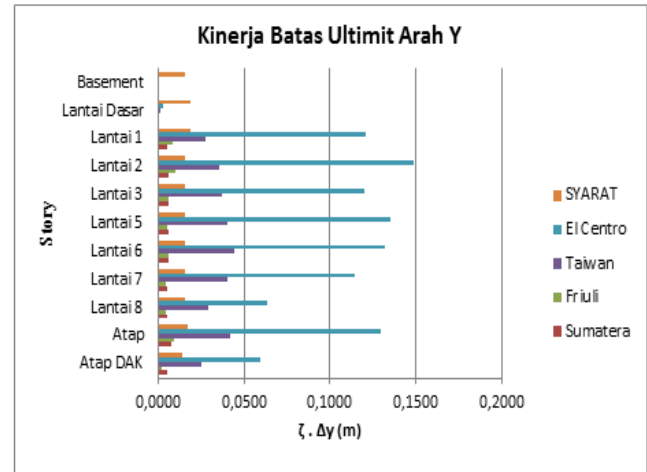
Gambar 5. Batas Layan Arah X Gempa Aktual



Gambar 6. Batas Layan Arah Y Gempa Aktual



Gambar 7. Batas Ultimit Arah X Gempa Aktual



Gambar 8. Batas Ultimit Arah Y Gempa Aktual

Tabel 9. Performance level ATC-40 Gempa Aktual

Tinjauan	Gempa	Dt	D1	Maximum Drift	Maximum In-Elastic Drift	Level Kinerja Drift	Level Kinerja In-Elastic Drift
Arah X	El Centro	0,1904	0,0005	0,00507057	0,0050573	IO	IO
	ChiChi	0,0336	0,0001	0,00089481	0,0008921	IO	IO
	Friuli	0,0078	0,0000	0,00020772	0,0002077	IO	IO
	Sumatra	0,0052	0,0000	0,00013848	0,0001385	IO	IO
Arah Y	El Centro	0,1853	0,0005	0,00493475	0,0049214	IO	IO
	ChiChi	0,0554	0,0002	0,00147537	0,0014700	IO	IO
	Friuli	0,0108	0,0001	0,00028762	0,0002850	IO	IO
	Sumatra	0,0088	0,0001	0,00023435	0,0002317	IO	IO

SIMPULAN

1. Hasil dari kontrol batas layan berdasarkan SNI-03-1726-2002 pasal 8.1 adalah:
 - a. Untuk Gempa Rencana bila bangunan dianalisis dengan rekaman gempa El Centro 1940, *displacement* untuk arah x aman dan arah y terdapat 3 lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas layan. Bila dianalisis dengan analisis statik, rekaman gempa Chi Chi Taiwan 1999, rekaman gempa Friuli Italia 1976, dan rekaman gempa Sumatra maka *displacement* untuk arah x dan arah y aman terhadap kinerja batas layan.
 - b. Untuk Gempa Aktual bila bangunan dianalisis dengan rekaman gempa El Centro 1940, *displacement* untuk arah x terdapat 8 lantai yang tidak memenuhi syarat dan arah y terdapat 7 lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas layan. Bila dianalisis dengan rekaman gempa Chi Chi Taiwan 1999, rekaman gempa Friuli Italia 1976, dan rekaman gempa Sumatra maka *displacement* untuk arah x dan arah y aman terhadap kinerja batas layan.
2. Hasil dari kontrol batas ultimit berdasarkan SNI-03-1726-2002 pasal 8.2 adalah:
 - a. Untuk Gempa Rencana bila bangunan dianalisis dengan rekaman gempa El Centro 1940, *displacement* untuk arah x aman dan arah y terdapat 4 lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas ultimit. Bila dianalisis dengan analisis statik, *displacement* untuk arah x aman dan arah y terdapat 3 lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas ultimit. Bila dianalisis dengan rekaman gempa Chi Chi Taiwan 1999, rekaman gempa Friuli Italia 1976, dan rekaman gempa Sumatra maka *displacement* untuk arah x dan arah y aman terhadap kinerja batas ultimit.
 - b. Untuk Gempa Aktual bila bangunan dianalisis dengan rekaman gempa El Centro 1940, *displacement* untuk arah x terdapat 8 lantai yang tidak memenuhi syarat dan arah y terdapat 7 lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas ultimit. Bila dianalisis dengan rekaman gempa Chi Chi Taiwan 1999, rekaman gempa Friuli Italia 1976, dan rekaman gempa Sumatra maka *displacement* untuk arah x dan arah y aman terhadap kinerja batas ultimit.
3. Hasil dari kontrol maksimum total *drift* berdasar ATC-40:
Menurut ATC-40, untuk Gempa Rencana maupun Gempa Aktual setelah dianalisis dengan rekaman gempa El Centro 1940, gempa Chi Chi Taiwan 1999, gempa Friuli Italia 1976, dan gempa Sumatra Indonesia termasuk dalam *Immediate Occupancy (IO)*.

REKOMENDASI

1. Evaluasi kinerja struktur dengan menggunakan analisis dinamik respon spektrum.
2. Evaluasi kinerja struktur dengan menggunakan analisis statik *non-linierpushover*.
3. Menggunakan rekaman gempa yang ada di Indonesia lainnya.
4. Menggunakan rekaman gempa lebih dari 4 buah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Bapak Agus Setiya Budi, S.T., M.T. dan Bapak Wibowo, ST., DEA. selaku dosen pembimbing. Terimakasih kepada Keluarga atas kepercayaan dan dukungannya, juga kepada rekan-rekan yang selalu antusias menjadi teman diskusi dan teman belajar sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan memuaskan.

REFERENSI

- 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, 2010, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2012*, BSN, Bandung.
- Clough, Ray W. 1988. *Dinamika Struktur Jilid 1*. Erlangga. Jakarta (Anggota IKAPI).
- Ismailah Nur Elliza, 2013, Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS V9.50 (Studi Kasus : Gedung Solo Center Point), Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- 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.

- Helmy Iskandarsyah, 2009, *Analisis Respon Spektrum pada Bangunan yang Menggunakan Yielding Damper Akibat Gaya Gempa*, Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Kardiyono Tjokrodimuljo, 1993, *Teknik Gempa*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta,
- Mc Cormac, J.C., 2002, *Desain Beton Bertulang Jilid 2*, Erlangga, Jakarta.
- Schodek, Daniel L. 1999. *Struktur Edisi kedua*, Erlangga, Jakarta.
- Steffie Tumilarir, *Prosedur Analisis Struktur Beton Akibat Gempa Menurut SNI 03-1726-2010*, HAKI, Jakarta
- Widodo, 2000, *Respon Dinamik Struktur Elastik*. UII Press, Yogyakarta.
- Wiryanto Dewobroto, 2005, *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Taban Gempa dengan Analisa Pushover*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pelita Harapan
- Wiryanto Dewobroto, 2006, *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Taban Gempa dengan SAP 2000*. Jurnal Teknik Sipil Vol.3 no.1 Januari 2006.
- Wiryanto Dewobroto, 2007, *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP 2000 Edisi Baru*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta