

EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT DENGAN ANALISIS RIWAYAT WAKTU TERHADAP *DRIFT* DAN *DISPLACEMENT* MENGGUNAKAN SOFTWARE ETABS (STUDI KASUS : HOTEL DI DAERAH KARANGANYAR)

Firman Andriyanto¹⁾, 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 : firman_182@ymail.com

Abstract

Indonesia lies between severally tektonik's plate universalizes, which is Australian Eurasian plate one moves to aim northern, moving Pacific plate to aim Eurasia's northwest and plate, so often experiences earthquake. Sighted by geological, Indonesian archipelago lies on appointment 2 main earthquake bands, which is earthquake Sirkum Pacific and Alpide Transasiatic's earthquake band, in consequence Indonesia includes in ring band damp down Pacific (ring of fire). Ring damps down Pacific constitute world active mountain series causative Indonesian experience earthquake frequency that adequately frequent. It bears out the importance for review strategical earthquake charges be in contemplation structure design in anticipation if happening earthquake. In common structure analysis to earthquake is divided as 2 kinds, which is static analysis and dynamic analysis (respon spectrum analysis and time history analysis). This research has a purpose to know building structure performance bases drift and displacement. Observational method that is utilized is analisis dynamic time history by use of software ETABS. Buildings structure evaluation by give earthquake record note El Centro, Chi Chi Taiwan, Kobe Japan and Indonesian Sumatera. If building was given by charges El Centro's earthquake, Chi Chi Taiwan, Kobe Japan and Indonesian Sumatera is gotten safe to inspire angles nominal basic. Helper bounds performance and ultimitt's bounds performance that ineligibile appropriate SNI 1726 2002 sections 8.1 and sections 8.2 is El Centro's earthquake record and Indonesia Sumatera. According to ATC-40, if building was given by charges El Centro's earthquake, Chi Chi Taiwan, Kobe Japan and Indonesian Sumatera therefore building performance comes in category IO (Immediate Occupancy).

Keyword : Time History Analysis

Abstrak

Indonesia terletak diantara beberapa lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Indo Australia yang bergerak kearah utara, lempeng Pasifik yang bergerak kearah barat laut dan lempeng Eurasia, sehingga sering mengalami gempa bumi. Ditinjau secara geologis, kepulauan Indonesia berada pada pertemuan 2 jalur gempa utama, yaitu gempa Sirkum Pasifik dan jalur gempa Alpide Transasiatic, 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. Secara umum analisa struktur terhadap gempa dibagi menjadi 2 macam, yaitu analisis secara statik ekuivalen dan analisis dinamik (*repon spectrum analysis* dan *time history analysis*). Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui kinerja struktur gedung berdasarkan *drift* dan *displacement*. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis dinamik riwayat waktu dengan menggunakan *software* ETABS. Evaluasi struktur gedung dengan memberikan catatan rekaman gempa El Centro, Chi Chi Taiwan, Kobe Jepang dan Sumatera Indonesia. Bila bangunan diberi beban gempa El Centro, Chi Chi Taiwan, Kobe Jepang dan Sumatera Indonesia didapat aman terhadap gaya geser dasar nominal. Kinerja batas layan dan kinerja batas ultimitt yang tidak memenuhi syarat sesuai SNI 1726-2002 pasal 8.1 dan pasal 8.2 adalah rekaman gempa El Centro dan Sumatera Indonesia. Menurut ATC-40, bila gedung diberi beban gempa El Centro, Chi Chi Taiwan, Kobe Jepang dan Sumatera Indonesia maka kinerja gedung masuk kategori IO (*Immediate Occupancy*).

Kata Kunci : Analisis Riwayat Waktu

PENDAHULUAN

Indonesia terletak diantara beberapa lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Indo Australia yang bergerak kearah utara, lempeng Pasifik yang bergerak kearah barat laut dan lempeng Eurasia, sehingga sering mengalami gempa bumi. Ditinjau secara geologis, kepulauan Indonesia berada pada pertemuan 2 jalur gempa utama, yaitu gempa Sirkum Pasifik dan jalur gempa Alpide Transasiatic, 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. Secara umum analisa struktur terhadap gempa dibagi menjadi 2 macam, yaitu analisis secara statik ekuivalen dan analisis dinamik (*repon spectrum analysis* dan *time history analysis*).

Menurut Daniel L. Schodek (1999), gempa bumi dapat terjadi karena fenomena getaran dengan kejutan pada kerak bumi. Faktor utama adalah benturan gesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi.

Hal penting dari evaluasi berbasis kinerja adalah sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas. Sasaran kinerja tersebut terdiri dari kejadian gempa rencana yang ditentukan (*earthquake hazard*), dan taraf kerusakan yang diijinkan atau level kinerja (*performance level*) dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. (Devobroto, 2006)

Analisis riwayat waktu merupakan metode analisis struktur yang meninjau respons struktur dari waktu ke waktu terhadap getaran gempa. Model struktur diberikan suatu catatan rekam gempa yang ada dan respons struktur di hitung langkah demi langkah pada interval waktu tertentu.

METODE

Pada penelitian ini elemen struktur seperti balok, kolom, pelat dan tangga dimodelkan dengan menggunakan *software* ETABS. Evaluasi struktur gedung menggunakan analisis dinamik riwayat waktu dengan memberikan catatan rekaman gempa El Centro, Chi Chi Taiwan, Kobe Jepang dan Sumatera Indonesia.

Tabel 1. Deskripsi gedung

Diskripsi gedung	Keterangan
Sistem struktur	SRPMK beton bertulang
Fungsi gedung	Hotel
Jumlah lantai	12
Tinggi antar tingkat	3,5 m
Elevasi tertinggi gedung	+ 43,7 m
Jumlah lantai <i>basement</i>	-
Luas total gedung	15.734,56 m ²

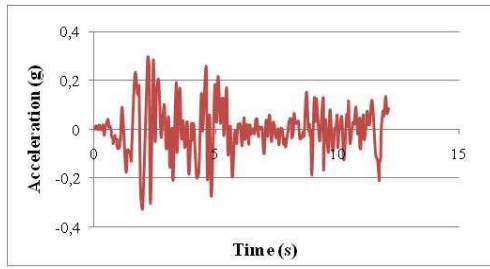
HASIL DAN PEMBAHASAN

Elemen struktur pada bangunan gedung ini memiliki mutu beton yang berbeda-beda. Untuk elemen balok dan pelat lantai beton memiliki mutu beton f_c sebesar 25 MPa, sedangkan untuk kolom lantai 1-3 memiliki mutu beton f_c sebesar 35 MPa, untuk kolom lantai 4-6 memiliki mutu beton f_c sebesar 30 MPa dan untuk kolom lantai 7-12 memiliki mutu beton f_c sebesar 25 MPa.

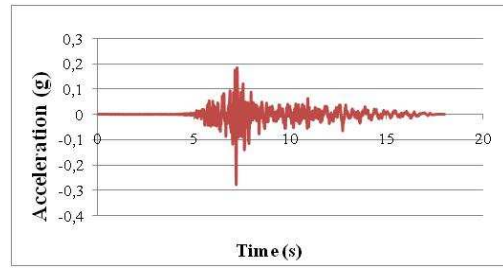
Tabel 2. Rekapitulasi berat struktur per lantai

Lantai	Berat Struktur (kg)	Beban Mati		Beban Hidup (kg)	W Total (kg)
		Berat Tambahan (kg)	Berat Dinding (kg)		
1	1223814,50	255526,63	192381,28	137281,50	1809003,91
2	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
3	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
4	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
5	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
6	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
7	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
8	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
9	857507,00	181587,49	192381,28	97557,75	1329033,52
10	840636,50	181587,49	90330,76	97557,75	1210112,50
11	854662,50	189555,86	45820,89	101838,75	1191878,00
12 Atap'	200695,50	27160,98	0,00	12654,00	240510,48
Total	9979865,00	2106530,90	1867583,17	1129794,00	15083773,07

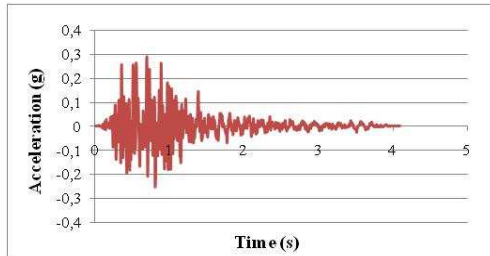
Data percepatan permukaan tanah (PGA) berupa akseloregram, yaitu grafik perbandingan percepatan permukaan tanah terhadap waktu atau durasi saat terjadinya gempa. Data akseloregram ini akan menjadi parameter gempa masukan untuk suatu perencanaan atau analisis struktur. Gaya gempa masukan yang digunakan berupa percepatan maksimum permukaan tanah (PGA) dari rekaman gempa.



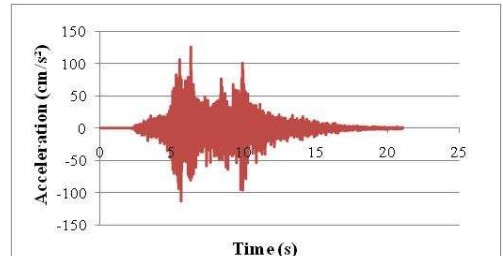
Gambar 1. Akselerogram Gempa El Centro



Gambar 2. Akselerogram Gempa Chi Chi Taiwan



Gambar 3. Akselerogram Gempa Kobe Jepang



Gambar 4. Akselerogram Gempa Sumatera Indonesia

Penentuan Periode Fundamental

Menurut SNI 1726-2012 periode fundamental struktur T tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung (Cu) dan periode fundamental pendekatan Ta yang harus ditentukan dari persamaan yang telah disediakan.

Syarat $T_{a\ min} < T < T_{a\ max}$

$T_{a\ minimum} = C_t h_n^x$ [1]

$C_t = 0,0466$ (Table 15 SNI 1726-2012)

$x = 0,9$ (Table 15 SNI 1726-2012)

$h_n = 43,7\ m$ (Tinggi gedung)

Berdasarkan persamaan 1, didapat nilai Ta minimum adalah 1,3957 detik.

$T_{a\ maksimum} = C_u T_{a\ minimum}$ [2]

$C_u = 1,4$ (Table 14 SNI 1726-2012)

Berdasarkan persamaan 2, didapat nilai Ta maksimum adalah 1,9541 detik.

Nilai periode getar alami bangunan dari program ETABS pada arah x adalah 2,3738 detik. Karena Ta pada ETABS lebih besar dari syarat maksimum, maka Ta yang digunakan adalah Ta maksimum yaitu 1,9541 detik.

Koefisien Respon Seismik (Cs)

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.1.1, penentuan koefisien respon seismik suatu bangunan sama seperti penentuan periode getar bangunan yaitu terdapat batasan nilai minimum dan nilai maksimum berdasarkan arah bangunannya.

$C_s\ minimum = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$ [3]

$S_{DS} = 0,596$

$I_e = 1,00$ (Tabel 2 SNI 1726-2012)

Berdasarkan persamaan 3, didapat nilai Cs minimum adalah 0,0262

$C_s\ hitungan = \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})}$ [4]

$S_{D1} = 0,368$

$R = 8$ (Tabel 9 SNI 1726-2012)

$T = 1,9541\ detik$

Berdasarkan persamaan 4, didapat nilai Cs hitungan adalah 0,0235

$C_s\ maksimum = \frac{S_{DS}}{(\frac{R}{I_e})}$ [5]

Berdasarkan persamaan 4, nilai Cs hitungan adalah 0,0235. Karena Cs hitungan bernilai lebih kecil dari Cs pada batas minimum, maka Cs yang dipakai adalah Cs minimum yaitu 0,0262

Gaya Dasar Seismik

Menurut SNI 1726-2012 pasal 7.8.1 Geser dasar seismik dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W_t \dots\dots\dots [6]$$

Karena nilai C_s arah x dan arah y sama, maka besarnya gaya geser pada gedung mempunyai nilai yang sama. Berdasarkan persamaan 6, maka didapat nilai V adalah 395,556 ton.

Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.3 gaya gempa lateral (F) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dengan persamaan berikut:

$$F = C_{vx} \cdot V \dots\dots\dots [7]$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \dots\dots\dots [8]$$

- C_{vx} = faktor distribusi vertikal gaya gempa
- W_i dan W_x = berat tingkat struktur
- h_i dan h_x = tinggi dasar sampai tingkat i
- V = gaya lateral atau gaya geser struktur
- k = eksponen terkait dengan periode
 $T \leq 0,5$ maka $k = 1$ dan $T \geq 2,5$ maka $k = 2$

Tabel 3. Distribusi vertikal gaya gempa arah x

Lantai	h (m)	h_x^k	w (ton)	w. h_x^k	C_{vx}	F _x (ton)	30 % F _x (ton)
12 Atap'	43,7	681,08	240,51	163805,76	0,04	17,52	5,26
11	40,5	597,25	1191,88	711850,29	0,19	76,13	22,84
10	36,5	499,07	1210,11	603928,13	0,16	64,59	19,38
9	33	419,33	1329,03	557297,39	0,15	59,60	17,88
8	29,5	345,51	1329,03	459191,22	0,12	49,11	14,73
7	26	277,80	1329,03	369204,62	0,10	39,49	11,85
6	22,5	216,42	1329,03	287623,36	0,08	30,76	9,23
5	19	161,61	1329,03	214787,33	0,06	22,97	6,89
4	15,5	113,70	1329,03	151112,20	0,04	16,16	4,85
3	12	73,08	1329,03	97126,34	0,03	10,39	3,12
2	8,5	40,29	1329,03	53541,42	0,01	5,73	1,72
1	5	16,11	1809,00	29147,17	0,01	3,12	0,94
Total			15083,77	3698615,23	1,00	395,56	118,67

Arah gempa yang sebenarnya tidak dapat dipastikan. Untuk mengantisipasi hal tersebut maka dalam SNI disebutkan bahwa pembebanan gempa arah utama dianggap efektif sebesar 100% dan ditambah dengan pembebanan gempa sebesar 30% pada arah tegak lurusnya. Selanjutnya besarnya gaya tersebut dibebankan pada pusat massa struktur tiap-tiap lantai tingkat.

Gaya Geser Dasar

Berdasarkan SNI 1726-2012 gaya geser dasar (*base shear*) yang didapatkan dari hasil analisa dinamik riwayat waktu minimum adalah sebesar 85 % gaya geser dasar yang dihitung berdasarkan cara statik ekuivalen.

$$V_{dinamik} > 0,85 \cdot V_{statik} \dots\dots\dots [9]$$

Apabila gaya geser dasar hasil analisa dinamik riwayat waktu lebih kecil dari 85 % gaya geser dasar statik ekuivalen, maka ordinat gaya geser dasar harus dikalikan dengan faktor skalanya.

$$FS = \frac{0,85 V_{statik}}{V_{dinamik}} \dots\dots\dots [10]$$

Tabel 4. Kontrol gaya geser dasar gempa Chi Chi Taiwan

Run	0,85.V Statik (ton)		V Dinamik (ton)		Faktor Skala	
	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
Tahap 1	336,22	100,87	-	-	2,72	0,82
	100,87	336,22	-	-	0,82	2,72
Tahap 2	336,22	100,87	65,53	23,62	13,96	3,49
	100,87	336,22	29,01	53,21	2,84	17,19
Tahap 3	336,22	100,87	333,58	109,67	14,07	-
	100,87	336,22	130,21	336,12	-	17,20
	336,22	100,87	336,79	110,19	-	-
	100,87	336,22	130,25	336,31	-	-

Dari hasil memasukkan faktor skala tahap 1 didapatkan $V_{dinamik}$ arah y sebesar 53,21 ton. Hasil tersebut masih belum memenuhi syarat $V_{dinamik} > 0,85 \cdot V_{statik}$. Maka dari itu ordinat pada arah tersebut perlu dikalikan lagi dengan skala awal dan dimasukkan kedalam ordinat U2 pada ETABS.

$$FS = \frac{347,82}{53,21} \times 2,72 = 17,19 \dots\dots\dots [11]$$

Dari hasil memasukkan faktor skala tahap 3 didapatkan $V_{dinamik}$ arah y sebesar 336,31 ton. Sehingga gaya geser dasar arah y telah memenuhi syarat $V_{dinamik} > 0,85 \cdot V_{statik}$. Hasil *Displacement* hasil *running* tahap 3 baru bisa dipakai.

Hasil Displacement

Analisis dilakukan dengan *software* ETABS dan dari program tersebut didapatkan hasil *displacement* pada bangunan yang diteliti. Selanjutnya dari berbagai kombinasi yang digunakan diambil nilai *displacement* yang paling besar.

Tabel 5. Hasil *displacement*

Lantai	Displacement (mm)									
	El Centro		Taiwan		Kobe		Sumatera		Statik	
	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	32,865	32,616	6,915	7,929	5,287	6,783	23,161	21,715	3,872	4,112
2	49,361	49,505	9,145	11,745	6,785	10,483	34,951	33,298	8,359	8,286
3	64,606	65,045	10,073	15,093	7,045	14,019	45,992	44,163	13,322	12,757
4	78,354	79,588	10,441	16,691	7,214	15,220	55,909	53,934	18,393	17,296
5	91,486	95,584	11,739	17,316	8,285	14,864	64,307	62,323	23,430	21,982
6	104,620	116,559	13,321	18,842	11,010	12,778	71,107	71,043	28,269	26,589
7	116,755	138,138	15,931	19,254	13,746	15,078	76,485	80,275	32,790	30,918
8	126,786	157,274	18,342	22,134	16,798	18,186	80,422	90,250	36,905	34,889
9	134,656	173,026	20,455	24,554	19,336	20,805	85,792	98,602	40,462	38,357
10	141,997	184,614	22,390	26,921	21,452	23,610	92,251	105,195	43,413	41,264
11	145,723	194,358	23,325	27,947	22,196	26,954	97,849	111,389	46,190	44,275
12 Atap	144,709	156,143	24,023	28,304	22,892	24,728	94,939	98,800	43,779	44,883

Kontrol Kinerja Batas Layan

Berdasarkan SNI 1726-2002 pasal 8.1 kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping untuk mencegah kerusakan non struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

$$\Delta < \frac{0,03}{R} \cdot xh \dots\dots\dots [12]$$

Kontrol Kinerja Batas Ultimit

Menurut SNI 1726-2002 pasal 8.2 kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia.

$$\zeta \cdot \Delta < 0,02 \cdot xh \dots\dots\dots [13]$$

Tabel 6. Kontrol kinerja batas layan analisis statik

Lantai	h (mm)	Displacement (mm)		Simpangan Antar Tingkat (mm)		Syarat (mm)	Keterangan	
		x	y	Δx	Δy		x	y
1	5000	3,872	4,112	3,872	4,112	18,750	OK	OK
2	3500	8,359	8,286	4,488	4,174	13,125	OK	OK
3	3500	13,322	12,757	4,963	4,471	13,125	OK	OK
4	3500	18,393	17,296	5,071	4,539	13,125	OK	OK
5	3500	23,430	21,982	5,037	4,686	13,125	OK	OK
6	3500	28,269	26,589	4,838	4,607	13,125	OK	OK
7	3500	32,790	30,918	4,521	4,329	13,125	OK	OK
8	3500	36,905	34,889	4,115	3,971	13,125	OK	OK
9	3500	40,462	38,357	3,558	3,468	13,125	OK	OK
10	3500	43,413	41,264	2,951	2,907	13,125	OK	OK
11	4000	46,190	44,275	2,776	3,011	15,000	OK	OK
12 Atap'	3200	43,779	44,883	2,410	0,608	12,000	OK	OK

Tabel 7. Kontrol kinerja batas ultimit analisis statik

Lantai	h (mm)	Displacement (mm)		Simpangan Antar Tingkat (mm)		$\zeta \cdot \Delta x$	$\zeta \cdot \Delta y$	Syarat (mm)	Keterangan	
		x	y	Δx	Δy				x	y
1	5000	3,872	4,112	3,872	4,112	21,680	23,028	100	OK	OK
2	3500	8,359	8,286	4,488	4,174	25,131	23,372	70	OK	OK
3	3500	13,322	12,757	4,963	4,471	27,793	25,039	70	OK	OK
4	3500	18,393	17,296	5,071	4,539	28,396	25,416	70	OK	OK
5	3500	23,430	21,982	5,037	4,686	28,208	26,244	70	OK	OK
6	3500	28,269	26,589	4,838	4,607	27,095	25,801	70	OK	OK
7	3500	32,790	30,918	4,521	4,329	25,320	24,243	70	OK	OK
8	3500	36,905	34,889	4,115	3,971	23,043	22,236	70	OK	OK
9	3500	40,462	38,357	3,558	3,468	19,922	19,422	70	OK	OK
10	3500	43,413	41,264	2,951	2,907	16,527	16,278	70	OK	OK
11	4000	46,190	44,275	2,776	3,011	15,547	16,860	80	OK	OK
12 Atap'	3200	43,779	44,883	2,410	0,608	13,498	3,403	64	OK	OK

Tabel 8. Rekapitulasi kontrol kinerja batas layan

Lantai	Keterangan Kontrol Batas Layan Arah X					Keterangan Kontrol Batas Layan Arah Y				
	El Centro	Taiwan	Kobe	Sumatera	Statik	El Centro	Taiwan	Kobe	Sumatera	Statik
1	NOT OK	OK	OK	NOT OK	OK	NOT OK	OK	OK	NOT OK	OK
2	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
3	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
4	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
5	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
6	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
7	OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
8	OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
9	OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
11	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
12 Atap'	OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	NOT OK	OK

Tabel 9. Rekapitulasi kontrol kinerja batas ultimit

Lantai	Keterangan Kontrol Batas Ultimit Arah X					Keterangan Kontrol Batas Ultimit Arah Y				
	El Centro	Taiwan	Kobe	Sumatera	Statik	El Centro	Taiwan	Kobe	Sumatera	Statik
1	NOT OK	OK	OK	NOT OK	OK	NOT OK	OK	OK	NOT OK	OK
2	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
3	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
4	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
5	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
6	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
7	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
8	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
9	NOT OK	OK	OK	OK	OK	NOT OK	OK	OK	OK	OK
10	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
11	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
12 Atap'	NOT OK	OK	OK	NOT OK	OK	NOT OK	OK	OK	NOT OK	OK

Hasil analisis statik ekuivalen menyatakan bahwa gedung yang diteliti memenuhi syarat terhadap kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit sesuai SNI 1726-2002, sedangkan untuk analisis dinamik riwayat waktu terdapat beberapa rekaman gempa yang tidak memenuhi syarat.

Level Kinerja Gedung Berdasarkan ATC-40

Besarnya simpangan horizontal (*drift*) harus dipertimbangkan sesuai dengan peraturan yang berlaku, yaitu kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Menurut Mc. Cormac (1981) simpangan struktur dapat dinyatakan dalam bentuk *drift indeks*.

$$\text{MaximumDrift} = \frac{Dt}{H_{total}} \dots\dots\dots [14]$$

$$\text{MaximumInElasticDrift} = \frac{Dt - D1}{H_{total}} \dots\dots\dots [15]$$

Tabel 10. Level kinerja struktur gedung arah x berdasarkan ATC-40

Gempa	Dt (mm)	D1 (mm)	<i>Maximum Drift</i>	<i>Maximum In-Elastic Drift</i>	Level Kinerja <i>Drift</i>	Level Kinerja <i>In-Elastic Drift</i>
El Centro	145,723	32,865	0,003335	0,002583	IO	IO
Taiwan	24,023	6,915	0,000550	0,000391	IO	IO
Kobe	22,892	5,287	0,000524	0,000403	IO	IO
Sumatera	97,849	23,161	0,002239	0,001709	IO	IO
Statik	46,190	3,872	0,001057	0,000968	IO	IO

Tabel 11. Level kinerja struktur gedung arah y berdasarkan ATC-40

Gempa	Dt (mm)	D1 (mm)	<i>Maximum Drift</i>	<i>Maximum In-Elastic Drift</i>	Level Kinerja <i>Drift</i>	Level Kinerja <i>In-Elastic Drift</i>
El Centro	194,358	32,616	0,004448	0,003701	IO	IO
Taiwan	28,304	7,929	0,000648	0,000466	IO	IO
Kobe	26,954	6,783	0,000617	0,000462	IO	IO
Sumatera	111,389	21,715	0,002549	0,002052	IO	IO
Statik	44,883	4,112	0,001027	0,000933	IO	IO

Hasil analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik riwayat waktu berdasarkan *Applied Technology Council-40* (ATC-40), level kinerja struktur gedung baik arah x maupun arah y termasuk dalam kategori *IO* (*Immediate Occupancy*).

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan gaya geser dasar dari analisis riwayat waktu bila bangunan diberi beban gempa El Centro, Chi Chi Taiwan, Kobe Jepang dan Sumatera Indonesia didapat aman terhadap gaya geser dasar nominal. Kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit yang tidak memenuhi syarat sesuai SNI 1726-2002 pasal 8.1 dan pasal 8.2 adalah rekaman gempa El Centro dan Sumatera Indonesia. Menurut ATC-40, bila gedung diberi beban gempa El Centro, Chi Chi Taiwan, Kobe Jepang dan Sumatera Indonesia maka kinerja gedung masuk dalam kategori *IO (Immediate Occupancy)*. Artinya jika terkena gempa struktur bangunan aman, resiko korban jiwa dari kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan atau dapat beroperasi kembali.

REKOMENDASI

Pemodelan struktur dengan menggunakan *software* ETABS harus dilakukan dengan sangat teliti dan benar-benar sesuai dengan gambar acuan. Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menggunakan rekaman gempa lainnya untuk membandingkan hasil analisis dengan rekaman gempa lainnya. Hal ini untuk meminimalisir kesalahan dari penggunaan rekaman gempa. Dapat pula dilakukan analisis dengan menggunakan metode lain seperti analisis dinamik respon spektrum dan analisis statik *pushover* sebagai pembanding dengan analisis dinamik riwayat waktu.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penyusun ucapkan kepada Bapak Agus Setiya Budi, ST, MT dan Bapak Wibowo, ST, DEA selaku dosen pembimbing 1 dan pembimbing 2 dalam penelitian ini. Terima kasih kepada ayah, ibu, kakak dan teman-teman yang telah memberi doa serta semangatnya sehingga penyusun dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya.

REFERENSI

- Anonim. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Anonim. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk 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, California.
- Dewobroto, Wiryanto. 2007. *Aplikasi Rekayasa Konstruksi dengan SAP2000, Edisi Baru*. PT Alex Media Komputindo, Jakarta.
- Widodo. 2000. *Respon Dinamik Struktural Elastik*. UII Press. Yogyakarta
- Schodek, Daniel L. 1999. *Struktur Edisi Kedua*. Erlangga. Jakarta
- R. Park dan T. Paulay. 1975. *Reinforced Concrete Structure*, New Zealand
- Mc Cormack, Jack. 2004. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Erlangga. Bandung.
- Iskandarsyah, Helmy. 2009. *Analisis Respon Spektrum pada Bangunan yang Menggunakan Yielding Damper Akibat gaya Gempa*. UNSU. Medan
- url: <http://strongmotioncenter.org>
- url: <http://smo.kenken.go.jp>
- url: <http://peer.berkeley.edu/nga/>