

# EVALUASI KINERJA STRUKTUR PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN ANALISIS RIWAYAT WAKTU MENGGUNAKAN SOFTWARE ETABS V 9.5 ( STUDI KASUS : GEDUNG SOLO CENTER POINT )

Dian Ayu Angling Sari<sup>1)</sup>, Edy Purwanto<sup>2)</sup>, Wibowo<sup>3)</sup>

<sup>1),2),3)</sup>Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: dianayuanglingsari@gmail.com

## Abstrak

Indonesia memiliki aktivitas kegempaan yang cukup tinggi. Tingginya potensi gempa yang terjadi membuat perencanaan struktur gedung harus diperhitungkan dengan tepat sesuai dengan kondisi yang ada. Sudah seharusnya bangunan direncanakan mampu bertahan terhadap gempa, sehingga diperlukan suatu perencanaan yang benar sesuai perencanaan gedung tahan gempa di Indonesia yang terdapat dalam tata cara perencanaan gempa untuk bangunan gedung (SNI 03-1726-2002). Hal ini bertujuan agar apabila terkena gempa rencana, struktur gedung masih dapat berdiri. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja struktur dengan analisis riwayat waktu yang ditinjau berdasarkan *displacement*, *drift*, dan *base shear*. Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian tentang evaluasi kinerja gedung bertingkat dengan metode analisis riwayat waktu. Model struktur digetar dengan memakai rekaman gempa tertentu untuk memprediksi perilaku kerusakan struktur gedung akibat gempa rencana. Hasil analisis ini berupa *displacement*, *drift*, dan *base shear*. Hasil dari analisis tersebut digunakan untuk mengontrol kinerja batas layan, kinerja batas ultimit dan level kinerja struktur. Kesimpulan dari penelitian menunjukkan menurut SNI 03-1726-2002, untuk gempa Kobe dan Sanriku tidak memenuhi kinerja batas layan. Untuk gempa Kobe tidak memenuhi batas ultimate. Menurut *Applied Technology Council* 40, gedung termasuk dalam taraf kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

Kata kunci: analisis riwayat waktu, evaluasi kinerja struktur

## Abstract

Indonesia has a relatively high seismic activity. The high potential for earthquake make planning of the building structure should be taken into account appropriately in accordance with the existing conditions. It should be planned buildings to withstand earthquakes, so it requires a proper planning in the planning in Indonesia earthquake resistant buildings located in seismic design procedures for buildings (SNI 03-1726-2002). It is intended that an earthquake hit the building, the structure of the building still stands. The purpose of this study was to evaluate the performance of the structure with time history analysis are reviewed based on *displacement*, *drift* and *base shear*. Based on this background, research on the structure performance evaluation of multistoried building with time history analysis method. The model of structure will trilled using earthquake recordings given to predict the behavior of structural damage to the building caused by the earthquake plan. The results of this analysis in the form of *displacement*, *drift* and *base shear*. The results of the analysis are used to control the performance of the serviceability limit performance and ultimit limit performance and the performance level of the structure. Conclusions of the study indicate according to SNI 03-1726-2002, for Kobe and Sanriku earthquake did not meet serviceability limit performance. For Kobe earthquake did not meet the ultimate limit performance. According to the *Applied Technology Council* 40, the building is included in *Immediate Occupancy* (IO) performance.

**Key words:** time history analysis, structure performance evaluation

## PENDAHULUAN

Indonesia memiliki aktivitas kegempaan yang cukup tinggi. Tingginya potensi gempa yang terjadi membuat perencanaan struktur gedung harus diperhitungkan dengan tepat sesuai dengan kondisi yang ada. Sudah seharusnya bangunan direncanakan mampu bertahan terhadap gempa, sehingga diperlukan suatu perencanaan yang benar sesuai perencanaan gedung tahan gempa di Indonesia yang terdapat dalam tata cara perencanaan gempa untuk bangunan gedung (SNI 03-1726-2002). Hal ini bertujuan agar apabila terkena gempa rencana, struktur gedung masih dapat berdiri. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja struktur dengan analisis riwayat waktu yang ditinjau berdasarkan *displacement*, *drift*, dan *base shear*.

## TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

### Tinjauan Pustaka

Menurut Widodo (2000), beban dinamik berubah-ubah intensitasnya menurut waktu, maka pengaruhnya terhadap struktur juga berubah-ubah menurut waktu. Penyelesaian problem dinamik harus dilakukan berulang-ulang menyertai sejarah pembebanan yang ada. Kalau penyelesaian problem statik bersifat penyelesaian tunggal, maka penyelesaian problem dinamik bersifat penyelesaian berulang-ulang.

## Landasan Teori

Penelitian ini menggunakan metode analisis dinamik riwayat waktu. Menurut Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung SNI 01-1726 2002, perhitungan respons dinamik struktur gedung tidak beraturan terhadap pengaruh Gempa Rencana, dapat dilakukan dengan metoda analisis dinamik 3 dimensi berupa analisis respons dinamik linier dan non-linier riwayat waktu dengan suatu akselerogram gempa yang dianggakan sebagai gerakan tanah masukan. Untuk mengurangi ketidakpastian mengenai kondisi lokasi ini, paling sedikit harus ditinjau 4 buah akselerogram.

Pada Perencanaan Gedung *Solo Center Point* digunakan wilayah gempa yang disusun berdasarkan peta respon spektrum percepatan untuk periode pendek 0,2 detik di batuan dasar  $S_B$  pada peta hazzard gempa untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun (redaman 5%).

Percepatan puncak di permukaan tanah diperoleh dengan mengalikan faktor amplifikasi untuk PGA (FPGA) dengan nilai PGA yang diperoleh dari Gambar 1.

Percepatan puncak di permukaan tanah dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PGA_M = F_{PGA} \times S_{PGA} \dots \dots \dots (1)$$

keterangan:

$PGA_M$  = nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi site.

$F_{PGA}$  = faktor amplifikasi untuk PGA.

Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh gempa rencana, yaitu untuk membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, di samping untuk mencegah kerusakan nonstruktur dan ketidaknyamanan penghuni.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur gedung, menurut SNI 01-1726 2002 dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui  $\frac{0,03}{R}$  kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, bergantung yang mana yang nilainya terkecil.

Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan. Simpangan dan simpangan antar tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal, dikalikan dengan suatu faktor pengali  $\xi$  tertera pada Persamaan 2 dan 3 :

Untuk struktur gedung beraturan :

$$\xi = 0,7 R \dots \dots \dots (2)$$

Untuk struktur gedung tidak beraturan :

$$\xi = \frac{0,7R}{FaktorSkala} \dots \dots \dots (3)$$

$$faktor skala = \frac{0,8V_1}{V_t} \geq 1$$

keterangan:

R = Faktor reduksi gempa struktur gedung

$V_1$  = Gaya geser dasar nominal sebagai respon dinamik ragam pertama saja

$V_t$  = Gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum yang telah dilakukan.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit struktur gedung, dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan sesuai dengan SNI 01-1726 2002.

## METODE PENELITIAN

Menganalisis model struktur dengan riwayat waktu untuk mendapatkan gempa masukan sesuai dengan wilayah gempa yang dianalisis dengan bantuan program ETABS V 9.50. Data yang dibutuhkan dalam analisis riwayat waktu adalah fungsi bangunan, letak bangunan terhadap wilayah gempa, jenis tanah dan tipe struktur. Data fungsi bangunan digunakan untuk mendapatkan nilai faktor keutamaan (I), letak bangunan terhadap wilayah gempa dan jenis tanah dipakai untuk mendapatkan nilai waktu getar alami ( $T_c$ ) dan kurva respon spektrum gempa

rencana. Rekaman gempa rencana dimasukkan ke program, disertai dengan memasukkan skala gempa yang telah dihitung sebelumnya, kemudian dapat dilakukan analisis struktur dengan metode analisis riwayat waktu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data gempa untuk wilayah Surakarta adalah sebagai berikut:

Lokasi : Surakarta  
 Tanah dasar : Tanah Sedang (Kelas D)  
 Level Gempa: 10% dalam 50 tahun (Gempa 500 tahun)  
 Nilai  $S_{PG}$  : 0,2 g [Nilai PGA di batuan dasar ( $S_B$ )]  
 Nilai  $F_{PGA}$  : 1,4 (Faktor amplikasi untuk PGA)  
 Nilai  $S_s$  : 0,5 g (Nilai spektra untuk percepatan pendek 0.2 detik)  
 Nilai  $S_1$  : 0,2 g (Nilai spektra untuk percepatan pendek 1 detik)  
 $F_a$  : 1,4  
 $F_v$  : 2  
 KRB : III  
 $I$  : 1,25 (Faktor keutamaan gempa ~ RSNI 1726-2010)

Menghitung Parameter Percepatan Desain ( $S_{D1}, S_{DS}$ )

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2 \times 0,2 = 0,4$$

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,4 \times 0,5 = 0,7$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0,4 = 0,2667$$

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,7 = 0,4667$$

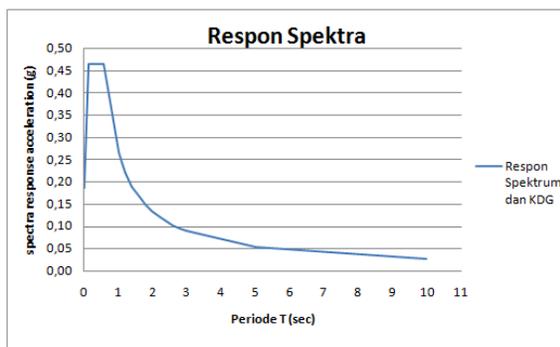
Grafik respons spektra

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 (T/T_0)) = 0,1867$$

$$T_0 = 0,2(S_{D1}/S_{DS}) = 0,144$$

$$T_s = (S_{D1}/S_{DS}) = 0,4961$$

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 (T/T_0)) = 0,467$$



Gambar 1. Grafik Respon Spektra

Untuk wilayah Surakarta dengan jenis tanah sedang.

Dari gambar 4.6 didapatkan nilai  $T_c = 1,324$  detik.

Maka nilai  $C_1 = 0,2026$

Digunakan 4 rekaman gempa, yaitu Elcentro, Kobe, Hokkaido, dan Sanriku. Hitungan skala intensitas adalah sebagai berikut, untuk gempa El-Centro percepatan puncak tanah asli = 0,3417g, sedangkan percepatan puncak tanah keras untuk wilayah gempa Surakarta dapat dilihat pada tabel 2.

$$PGA_M = F_{PGA} \times S_{PGA}$$

Faktor keutamaan gempa ( $I$ ) = 1,25 (kategori resiko bangunan III)

$$PGA_M = F_{PGA} \times S_{PGA} = 0,2 \times 1,4 = 0,28 \text{ g}$$

$$\text{Skala gempa} = \frac{0,28}{0,3417} \times 1,25 = 1,0243$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat di Tabel 4.10

Tabel 1. Percepatan puncak tanah keras

Gempa	Percepatan Puncak Tanah asli	A <sub>0</sub> untuk Surakarta	Skala Gempa
El Centro	0,3417 g	0,28 g	1,0243
Kobe	280,7 cm/s <sup>2</sup>	0,28 g	1,2233
Hokkaido	392,2 cm/s <sup>2</sup>	0,28 g	1,1399
Sanriku	259 cm/s <sup>2</sup>	0,28 g	1,3257

Setelah dilakukan analisis dinamik time history dengan software ETABS V 9.5, didapatkan hasil displacement, drift, dan base shear yang kemudian digunakan untuk menentukan kinerja gedung.

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur, dalam segala hal simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melampaui 0,03/R x tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, tergantung yang mana yang nilainya kecil,

Maka :

$$\Delta s \text{ antar tingkat} < \frac{0,03}{R} \times H \dots\dots\dots(\text{SNI 03- 1726 -2002 pasal 8.1.2})$$

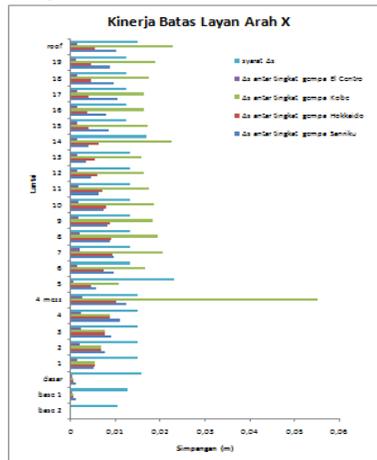
Contoh hitungan kinerja batas layan lantai atap arah X untuk Gempa El Centro 1940 :

$$\Delta s \text{ atap} - \Delta s 19 < \frac{0,03}{R} \times H \text{ atap}$$

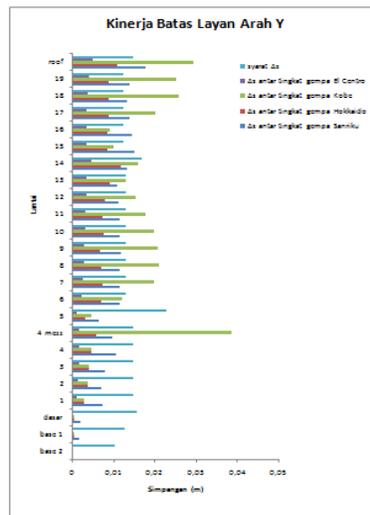
$$0,0232 - 0,0222 < \frac{0,03}{5} \times 4$$

$$0,001 \text{ m} < 0,0015 \text{ m} \dots\dots\dots(\text{Memenuhi Syarat})$$

kinerja batas layan selanjutnya disajikan dalam grafik berikut:



Gambar 2. Kinerja batas layan arah X



Gambar 3 Kinerja batas layan arah Y

Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimate struktur, simpangan antar tingkat harus lebih kecil 2% dari tinggi tingkat yang bersangkutan.

Mencari Faktor Skala

$$\text{Faktor skala (FS)} = \frac{0,8 V_1}{V_2} \geq 1 \dots\dots\dots (\text{SNI 03-1726-2002 Pasal 7.2.3})$$

$$FS_x = \frac{0,8 \times 13378,636}{15712,01} = 0,6811 \text{ (maka diambil 1)}$$

$$FS_y = \frac{0,8 \times 13378,636}{15080,74} = 0,6818 \text{ (maka diambil 1)}$$

Untuk Gedung Tidak Beraturan

$$\xi = \frac{0,75}{\text{Faktor Skala}} \dots\dots\dots (\text{SNI 03-1726-2002 Pasal 8.2.1})$$

$$\xi_x = \frac{0,75}{0,6811} = \frac{0,75}{0,6} = 5,6$$

$$\xi_y = \frac{0,75}{0,6818} = \frac{1}{1} = 5,6$$

Contoh hitungan kinerja batas *ultimate* lantai atap pada arah X :

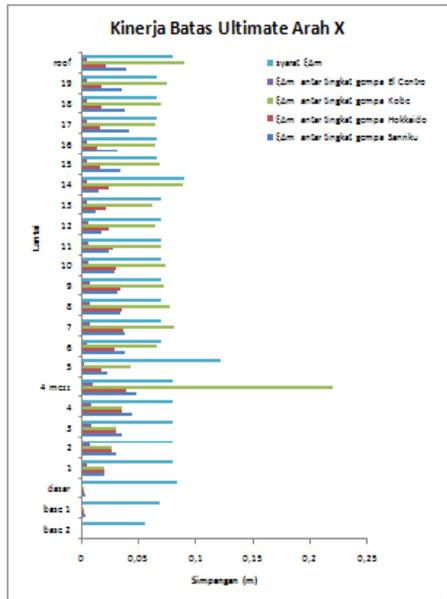
$$\begin{aligned} \Delta m \text{ antar tingkat} &= \Delta m \text{ atap} - \Delta m 19 \\ &= 0,0232 - 0,0222 \\ &= 0,001 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\xi \times \Delta m \text{ antar tingkat} < 0,02 \cdot H \dots\dots\dots (\text{SNI 03-1726-2002 Pasal 8.2.1 \& 8.2.2})$$

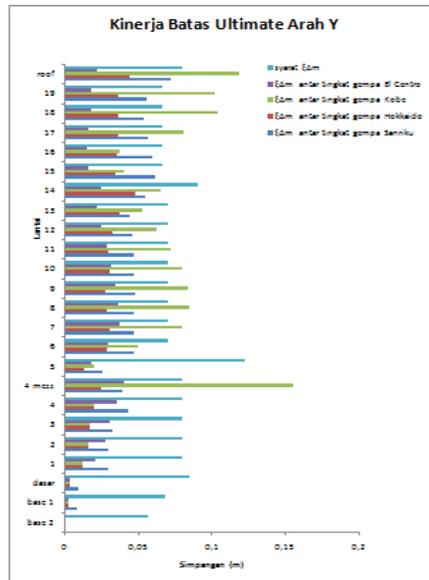
$$5,6 \times 0,001 \text{ m} < 0,02 \cdot 4 \text{ m}$$

$$0,0056 \text{ m} < 0,08 \text{ m} \dots\dots\dots (\text{Memenuhi Syarat})$$

kinerja batas ultimate selanjutnya akan disajikan dalam grafik berikut



Gambar 4. Kinerja batas ultimate arah X



Gambar 5. Kinerja batas ultimate arah Y

Tabel 3. Level Kinerja Gedung arah X menurut ATC-40

Nama Gempa	Maksimal Drift	Maksimal in-elastic Drift	Level Kinerja Gedung
ElCentro	0.000282	0.0002826	<i>Immediate Occupancy</i>
Kobe	0.004449	0.004523	<i>Immediate Occupancy</i>
Hokkaido	0.001657	0.00169	<i>Immediate Occupancy</i>
Sanriku	0.002066	0.002054	<i>Immediate Occupancy</i>

Tabel 4. Level Kinerja Gedung arah Y menurut ATC-40

Nama Gempa	Maksimal Drift	Maksimal in-elastic Drift	Level Kinerja Gedung
El Centro	0.000638	0.0006626	<i>Immediate Occupancy</i>
Kobe	0.004136	0.00413	<i>Immediate Occupancy</i>
Hokkaido	0.001885	0.001877	<i>Immediate Occupancy</i>
Sanriku	0.003045	0.00323	<i>Immediate Occupancy</i>

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental  $T_1$  dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien  $\zeta$  untuk wilayah gempa tempat struktur gedung berada dan jumlah tingkatnya  $n$  menurut persamaan  $T_1 \leq \zeta \cdot n$  (SNI 03-1726-2002), dengan nilai  $T_1 = 2,0982$  detik (periode gempa efektif) maka :

$$2,0982 < 0,18 \times 23$$

$$2,0928 < 4,14 \text{ (memenuhi syarat)}$$

Nilai akhir respons dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 80% nilai respons ragam yang pertama.

Maka hitungan kontrol *base shear* untuk Gempa El Centro 1940 adalah

$C_1 = 0,2026$  (didapat dari grafik 4.1)

$$V_1 = \frac{C_1 \cdot I}{R} \cdot W_t = \frac{0,2026 \times 1,25}{2} \times 42262,2276 = 1337,8636 \text{ ton} = 13378,636 \text{ kN}$$

Contoh hitungan kontrol base shear arah X untuk gempa El Centro

$$V \geq 0,80 V_1 \dots\dots\dots (\text{SNI 03-1726-2002 Pasal 7.1.3})$$

$$V_x = 15712,01 \text{ kN} \geq 0,8 \cdot 13378,636$$

$$V_x = 15712,01 \text{ kN} \geq 10702,9088 \text{ kN} \dots\dots\dots (\text{Memenuhi Syarat})$$

Selanjutnya, kontrol *base shear* arah X akan disajikan dalam tabel berikut:

**Tabel 5.** Kontrol *base shear* arah X

Jenis Gempa	V <sub>x</sub> (kN)	0,8 V <sub>1</sub> (kN)	V > 0,8 V <sub>1</sub>
El Centro	15712,01	10702,9088	memenuhi
Kobe Jepang	28417,29	10702,9088	memenuhi
Hokkaido Jepang	286203,6	10702,9088	memenuhi
Sanriku Jepang	379811,9	10702,9088	memenuhi

Contoh perhitungan kontrol base shear arah Y untuk gempa El Centro

$$V \geq 0,80 V_1 \dots\dots\dots (\text{SNI 03-1726-2002 Pasal 7.1.3})$$

$$V_x = 15696,74 \text{ kN} \geq 0,8 \cdot 13378,636$$

$$V_x = 15696,74 \text{ kN} \geq 10702,9088 \text{ kN} \dots\dots\dots (\text{Tidak Memenuhi Syarat})$$

Selanjutnya, kontrol base shear arah Y akan disajikan dalam tabel berikut:

**Tabel 6.** Kontrol *base shear* arah Y

Jenis Gempa	V <sub>x</sub> (kN)	0,8 V <sub>1</sub> (kN)	V > 0,8 V <sub>1</sub>
El Centro	15696,74	10702,9088	memenuhi
Kobe Jepang	21353,76	10702,9088	memenuhi
Hokkaido Jepang	268766	10702,9088	memenuhi
Sanriku Jepang	424377	10702,9088	memenuhi

## SIMPULAN

Setelah melakukan analisis tentang evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat dengan analisis riwayat waktu, didapatkan simpulan sebagai berikut:

1. Dari kontrol *displacement* didapatkan hasil bahwa jika struktur gedung dianalisis dengan masing-masing rekaman gempa, maka *displacement* yang ditimbulkan masih memenuhi batas *displacement* maksimum.
2. Dari kontrol *base shear* didapatkan hasil bahwa jika struktur gedung dianalisis dengan gempa El Centro, Kobe, Hokkaido, dan Sanriku, base shear yang ditimbulkan memenuhi syarat *base shear* minimum.
3. Dari kontrol kinerja batas layan didapatkan hasil:
  - a. Bangunan bila dianalisis dengan rekaman gempa El Centro dan Hokkaido, untuk arah X dan arah Y aman terhadap kinerja batas layan.
  - b. Bangunan bila dianalisis dengan rekaman gempa Kobe dan Sanriku, untuk arah X dan arah Y tidak aman terhadap kinerja batas layan.
4. Dari kontrol kinerja batas ultimate didapatkan hasil:
  - a. Bangunan bila dianalisis dengan rekaman gempa El Centro, Hokkaido, dan Sanriku untuk arah X dan arah Y aman terhadap kinerja batas layan.
  - b. Bangunan bila dianalisis dengan rekaman gempa Kobe, untuk arah X dan arah Y tidak aman terhadap kinerja batas layan.
5. Menurut ATC-40, bila struktur gedung diberi beban gempa El Centro, Kobe, Hokkaido, dan Sanriku, maka gedung termasuk dalam level kinerja IO (*Immediate Occupancy*), yaitu tidak ada kerusakan berarti pada struktur dimana kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

## REFERENSI

ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*. California. Seismic Safety Commission State of California.

Peta Hazard Gempa. 2010. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum

Standar Nasional Indonesia. 2002. *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung*. SNI 1726-2002. Jakarta : Badan Standar Nasional Indonesia.

Widodo. 2001. *Respon Dinamik Struktur Elastik*. Yogyakarta : UII Press