

## ANALISIS RIWAYAT WAKTU PERILAKU STRUKTUR GEDUNG SMA NEGERI 9 DENPASAR

I Gede Gegiranang Wiryadi, I Wayan Giatmajaya, I Putu Agus Putra Wirawan,  
Ni Made Trangipani

*Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar  
Email: anankwiryadi27@gmail.com*

**ABSTRAK:** Indonesia memiliki ancaman gempa bumi yang cukup tinggi karena berada di atas tiga pertemuan lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Jika terjadi gempa bumi, dapat menimbulkan bahaya karena gempa tidak dapat diprediksi secara pasti. Oleh karena itu struktur bangunan harus direncanakan mampu memikul beban dan tahan gempa guna memperkecil risiko korban jiwa dan kerusakan. Struktur bangunan tahan gempa didasari oleh perencanaan yang baik dan sesuai dengan regulasi yang ada. Untuk mengetahui perilaku struktur terhadap gempa perlu dilakukan analisis. Pada penelitian ini dilakukan analisis dengan metode riwayat waktu pada Gedung Ruang Kelas SMAN 9 Denpasar. Analisis ini akan menggunakan tiga rekaman gempa yaitu gempa El-Centro, Kobe dan, Chichi. Dari hasil time history, simpangan antar tingkat arah x maupun y yang terjadi dari ketiga gempa tidak melebihi simpangan izin. Simpangan antar tingkat terbesar untuk gempa El Centro adalah 20,96 mm, untuk gempa Kobe yaitu 16,63 mm dan gempa Chichi sebesar 0,58 mm. Hasil gaya geser didapatkan diantaranya pada Gempa El Centro sebesar 567,739 kN, Kobe 695,680 kN, dan Chichi sebesar 24,320 kN di arah x dan pada arah y El Centro sebesar 556,531 kN, Kobe 716,402 kN, serta Chichi sebesar 22,100 kN.

**Kata kunci:** gempa, perilaku struktur, riwayat waktu.

**ABSTRACT:** Indonesia has a high threat of earthquakes because it is located above three tectonic plate encounters, namely the Indo-Australian, Eurasian, and Pacific plates. If an earthquake occurs, it can pose a danger because earthquakes cannot be predicted. Therefore, the building structure must be designed to be able to withstand loads and earthquakes in order to minimize the risk of loss of life and damage. Earthquake-resistant building structures are based on good planning and follows existing regulations. To determine the behavior of the structure against earthquakes, it is necessary to do an analysis. In this study, analysis was carried out using the time history method in the Classroom Building of SMAN 9 Denpasar. This analysis will use three earthquake records, El-Centro, Kobe and Chichi. From the results of time history, the displacement between levels on x and y directions that occurred from the three earthquakes did not exceed the allowable displacement. The largest level displacement of El Centro earthquake was 20.96 mm, for the Kobe earthquake it was 16.63 mm and the Chichi earthquake was 0.58 mm. The results of the shear forces obtained including the El Centro Earthquake of 567,739 kN, Kobe 695,680 kN, and Chichi of 24,320 kN in the x direction and in the y direction El Centro of 556,531 kN, Kobe 716,402 kN, and Chichi of 22,100 kN.

**Keywords:** earthquake, structural behavior, time history.

### PENDAHULUAN

Telah banyak tercatat gempa-gempa besar terjadi karena aktivitas lempeng-lempeng tektonik ini. Seperti gempa yang terjadi di Nusa Dua tahun 2011 (6,8 SR), gempa Donggala tahun 2018 (7,4 SR), serta yang terbaru gempa di Jembrana-Bali pada tahun 2019 (5,8 SR). Hal ini tentu perlu diperhatikan karena gempa bumi dapat menyebabkan banyak kerusakan dan korban jiwa. Dari sekian banyak pulau di Indonesia, Bali merupakan salah satu dengan intensitas gempa bumi yang tinggi.

Salah satu bangunan yang termasuk dalam kategori IV dalam kategori risiko bangunan SNI 1726: 2012 adalah gedung sekolah. Fungsi utama gedung sekolah adalah sebagai sarana pendidikan yang mampu menampung banyak siswa beserta guru-guru yang mengajar didalamnya. Selain fungsi tersebut, gedung sekolah juga biasa digunakan sebagai tempat perlindungan atau pengungsian jika terjadi bencana besar seperti gempa atau tsunami. Karena alasan tersebut, gedung sekolah haruslah memiliki struktur yang kuat dan tahan gempa. Untuk mengetahui perilaku struktur terhadap gempa perlu dilakukan analisis.

Analisis struktur gempa dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu analisis statis dan analisis dinamik. Analisis dinamik terbagi atas analisis ragam spektrum respons (*respons spectra*) dan analisis riwayat waktu (*time history*). Pada analisis dengan metode time history, permukaan tanah pada lokasi struktur di berikan percepatan sesuai dengan rekam percepatan terhadap waktu dari data gempa yang pernah terjadi. Akibat percepatan ini, lalu respons struktur terhadap gempa diamati sebagai acuan perilaku struktur.

Dari beberapa penelitian sejenis, kategori keamanan perilaku struktur terhadap gempa, nilai simpangan, dan gaya geser dasar didapatkan. Seperti pada penelitian yang dilakukan pada Gedung Hotel Banda Aceh oleh Delti Ayuna (2016). Pada penelitian tersebut dilakukan evaluasi perilaku akibat gempa dengan metode time history analysis dan mendapat hasil perilaku struktur hotel tersebut aman dari gempa El-Centro, Kobe, dan Chichi. Gempa-gempa ini digunakan karena memiliki periode gempa pendek dan percepatan gravitasi besar, serta menghasilkan dampak buruk pada konstruksi (Ayuna, 2016).

Pada penelitian dalam skripsi ini dilakukan analisis dengan metode riwayat waktu untuk mendapat dan membandingkan perilaku struktur Gedung Ruang Kelas SMAN 9 Denpasar akibat beberapa gempa. Analisis ini akan menggunakan tiga rekaman gempa yaitu gempa El-Centro, Kobe dan, Chichi. Permodelan dan analisa akan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SAP2000.

**ANALISIS RIWAYAT WAKTU**

Getaran gempa memiliki intensitas tertentu menyebabkan kerusakan dan keruntuhan struktur. Gaya gempa yang berubah-ubah intensitasnya menurut waktu, pengaruhnya terhadap struktur juga dapat berubah-ubah menurut waktu (Hasdanita, 2014). Analisis riwayat waktu merupakan analisis mengenai respon dinamik suatu struktur bangunan dimana beban berupa percepatan getaran tanah dikerjakan secara bertahap dan besarnya berubah-ubah menurut waktu. Wibowo berpendapat time history analysis merupakan analisis dinamik dimana pada model struktur dimasukkan suatu rekaman gempa.

*Metode Newmark*

Metode Newmark merupakan metode integrasi numerik yang digunakan dalam memecahkan persamaan diferensial tertentu, metode ini banyak digunakan dalam evaluasi numerik dari respons dinamis struktur. Metode ini memiliki dua parameter utama. Parameter tersebut adalah  $\beta$  dan  $\gamma$ , yang menetapkan variasi dari percepatan terhadap selang waktu serta menentukan akurasi dan karakteristik kestabilan metode tersebut (Chopra, 1995). Prinsip percepatan linier digunakan apabila dipakai nilai  $\gamma = 1/2$  dan  $\beta = 1/4$ . Seperti metode numerik lain, kedua prinsip ini juga mempunyai tingkat kestabilan dan akurasi masing-masing yang berbeda (Rompas *et al.*, 2015).

*Damping Ratio*

Dalam menganalisis dengan time history analysis dengan direct integration, harus dihitung dulu proportional damping menggunakan prinsip Reyleigh damping. Dimana koefisien  $\alpha$  dan  $\beta$  dihitung dengan persamaan:

$$\alpha = \frac{2\omega_i\omega_j(\xi_i\omega_j - \xi_j\omega_i)}{(\omega_j)^2 - (\omega_i)^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$\beta = \frac{2(\xi_i\omega_j - \xi_j\omega_i)}{(\omega_j)^2 - (\omega_i)^2} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:  $\omega_i$  = frekuensi natural dari mode ke  $i$   
 $\omega_j$  = frekuensi natural dari mode ke  $j$   
 $\xi_i$  = *damping ratio* dari mode ke  $i$   
 $\xi_j$  = *damping ratio* dari mode ke  $j$

*Simpangan*

Simpangan antar lantai harus dihitung dari simpangan struktur akibat pengaruh gempa yang telah dibagi oleh faktor skala. Agar memenuhi batas layanan menurut SNI 1726-2012, simpangan tidak boleh melampaui persamaan:

$$\Delta_1 = \frac{0,0003}{R} h_i \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:  $\Delta_1$  = simpangan antar tingkat yang telah dibagi faktor skala  
 $R$  = faktor reduksi gempa struktur gedung  
 $h_i$  = tinggi tingkat yang bersangkutan

Simpangan izin ditentukan dengan persamaan:

$$\Delta_a = 0,020 \times h_{sx} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:  $\Delta_d$  = simpangan lantai izin (Tabel 16, SNI 1726:2019)  
 $h_{sx}$  = tinggi tingkat di bawah tingkat x

**Gaya Geser**

Untuk mencegah terjadinya keruntuhan geser, elemen struktur umumnya dirancang dengan kekuatan geser lebih tinggi dari gaya geser maksimumnya. Berdasarkan SNI 1726-2012 gaya geser dasar ditentukan dengan :

$$V = C_s W_t \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:  $V$  = gaya geser  
 $C_s$  = koefisien respons seismic  
 $W_t$  = berat seismic efektif

Koefisien respons seismic,  $C_s$ , harus ditentukan dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{\left[ \frac{R}{I_e} \right]} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:  $S_{D1}$  = parameter spektrum respons percepatan periode 1 detik  
 $S_{DS}$  = parameter spektrum respons percepatan periode pendek  
 $R$  = faktor modifikasi respons  
 $I_e$  = faktor keutamaan gempa

**Faktor Keutamaan Gempa**

Berdasarkan SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung Pasal 4.1.2, kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung harus dikalikan dengan faktor keutamaan ( $I_e$ ) seperti dalam tabel berikut ini:

Tabel 1. Faktor Keutamaan Gempa

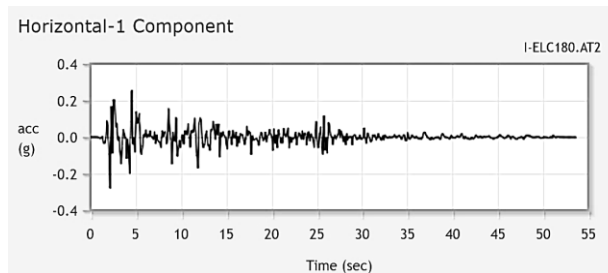
Kategori risiko	$I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

**Rekaman Gempa**

Terdapat beberapa gempa yang sering dan paling umum digunakan dalam penelitian. Umumnya gempa-gempa tersebut adalah gempa yang menyebabkan kerusakan yang cukup berat pada struktur bangunan di wilayah tersebut. Beberapa dari rekaman-rekaman gempa adalah sebagai berikut:

**Gempa El Centro**

Gempa El-Centro adalah gempa yang terjadi di California. Termasuk sebagai salah satu gempa terdahsyat dengan nilai magnitude 7,1.

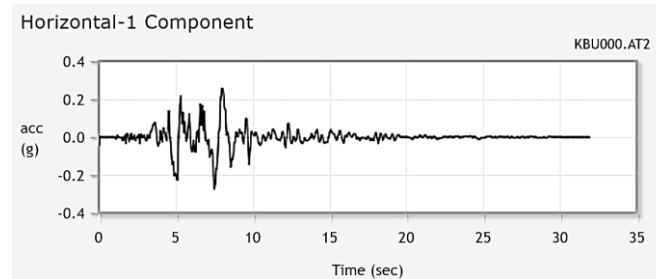


Gambar 1. Rekaman Gempa El-Centro

Sumber : peer.berkeley.nga, 2021

### Gempa Kobe

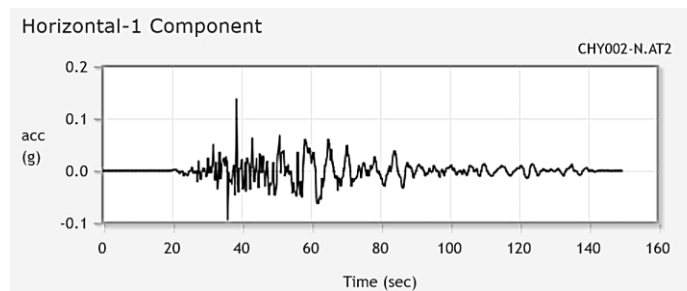
Gempa Kobe terjadi di tanggal 17 Januari 1995 di Kota Pelabuhan Kobe, Jepang. Gempa ini bermagnitudo 6,9 pada kedalaman 7,1 km dari pusat gempa dan berlangsung selama 12 detik.



Gambar 2. Rekaman Gempa Kobe  
Sumber : peer.berkeley.nga, 2021

### Gempa Chichi

Gempa ini terjadi di tahun 1999 di Taiwan, berkekuatan 7,3 SR di kedalaman 9,6 km dari pusat gempa.



Gambar 3. Rekaman Gempa Chi-Chi  
Sumber : peer.berkeley.nga, 2021

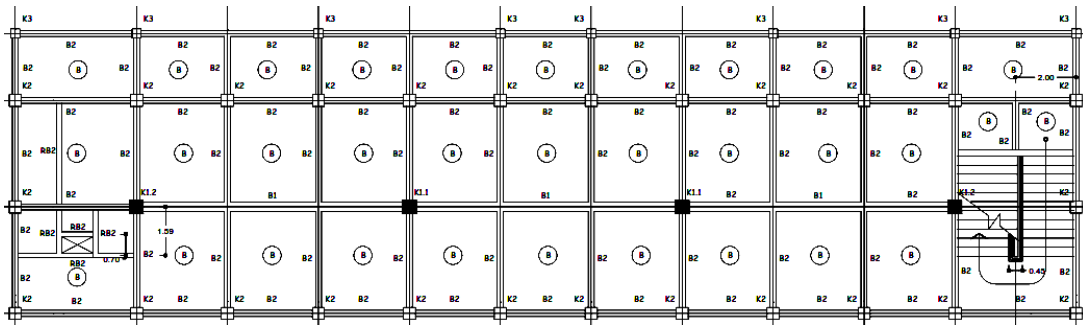
## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif, dimana penelitian ini akan ditekankan pada data-data yang didapat melalui rumus-rumus dan pedoman yang sudah ada. Data-data tersebut akan diolah untuk memperoleh hasil berupa perilaku struktur dan grafik. Alur penelitian dimulai dari mengidentifikasi masalah, studi literatur dari sumber buku dan jurnal, dilanjutkan dengan pengumpulan data berupa data primer dan sekunder. Permodelan struktur dan melakukan analisis dilanjutkan dengan menyusun hasil.

Sumber data dalam penelitian ini menggunakan sumber data primer dan sekunder. Untuk data primer yaitu data yang didapatkan secara langsung, berupa hasil pengukuran lapangan. Sedangkan pengertian data sekunder adalah data yang diperoleh dari data yang sudah ada sebelumnya

Data mutu bahan yang digunakan :

- Mutu beton : K250 atau  $f'c$  20,75 MPa
- Mutu Baja Tulangan : BJ32 ( $f_y$  320 MPa)
- Mutu Baja Sengkang : BJ24 ( $f_y$  240 MPa)



Gambar 4. Denah Bangunan

Bentuk bangunan yaitu memanjang dengan Panjang 35 m arah x dan 9,2 m arah y. Pada bangunan terdapat 6 jenis kolom, 7 jenis balok, dan 2 jenis plat. Untuk kolom jenis-jenis nya adalah K1.1, K1.2, K2, K3, K4, dan KP. Jenis-jenis balok diantaranya B1, B2, B3, TB, BK, RB1, dan RB. Sedangkan untuk pelat terdapat dua tipe yaitu pelat atap atau Plat Type A dengan tebal 10 cm dan pelat lantai atau Plat Type B dengan tebal 12,5 cm. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.

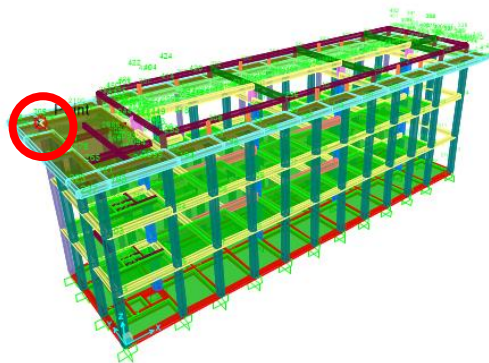
Struktur dimodelkan secara 3D pada program SAP2000 dengan beberapa tahapan yaitu; menentukan bentuk struktur, menginput jenis material, mendefinisikan element property, menggambar elemen struktur, pemodelan daya dukung tanah, mendefinisikan beban pada struktur, pengerjaan beban pada struktur serta mendefinisikan kombinasi beban. Setelah itu dilakukan input beban gempa dari data rekaman gempa diantaranya gempa El-Centro, Kobe, dan Chichi. Analisis ini digunakan ini untuk mengetahui perilaku dan respons dinamis struktur terhadap getaran gempa tersebut.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Respons-respons struktur yang diperoleh meliputi :

1. Waktu Getar Alami Struktur
2. Gaya Geser Dasar (*Base Sheari*)
3. Perpindahan Horizontal (*Displacement*) Tiap Lantai
4. Kecepatan Getaran Tiap Lantai (*Velocity*)
5. Percepatan Getaran Tiap Lantai (*Acceleration*)

Untuk memudahkan analisa, digunakan salah satu join sebagai tinjauan yaitu join 176 karena menunjukkan perubahan yang cukup signifikan.



Gambar 5. Posisi Joint 176

*Waktu Getar Alami*

Waktu getar alami struktur diperoleh dari dari waktu getar terbesar dari semua mode yang diperhitungkan, dapat dilihat waktu getar alami struktur SMAN 9 Denpasar dengan 20 mode dalam tabel berikut:

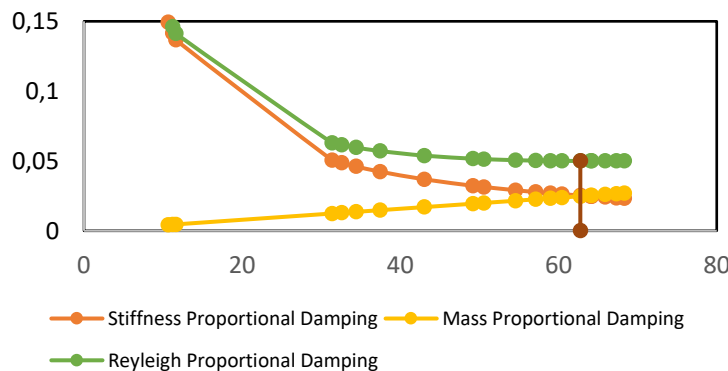
Tabel 2. Waktu Getar Alami Struktur

Text	Unitless	Sec	Text	Unitless	Sec
<b>Mode</b>	<b>1</b>	<b>0.625084</b>	Mode	11	0.119945
Mode	2	0.594356	Mode	12	0.116789
Mode	3	0.573217	Mode	13	0.116522
Mode	4	0.212397	Mode	14	0.114702
Mode	5	0.206204	Mode	15	0.113701
Mode	6	0.193088	Mode	16	0.113134
Mode	7	0.192545	Mode	17	0.109747
Mode	8	0.167713	Mode	18	0.101602
Mode	9	0.13254	Mode	19	0.101254
Mode	10	0.128495	Mode	20	0.100574

Dalam menginput rekaman gempa pada SAP2000 diperlukan *damping ratio*. Untuk menentukan *damping ratio* digunakan perhitungan koefisien damping menggunakan metode *Reyleigh damping*. Hasil perhitungan *reyleigh damping* ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 3. *Reyleigh Damping*

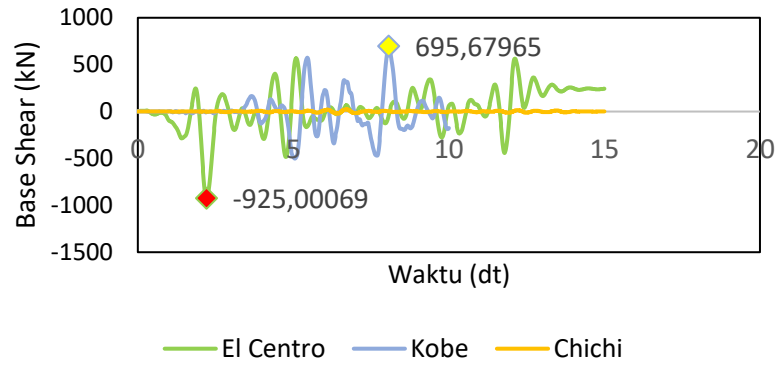
Mode	Circle Frequency	Stiffness Proportional Damping	Mass Proportional Damping	Reyleigh Proportional Damping
Mode 1	10.62	0.149249512	0.004187169	0.15343668
Mode 2	11.189	0.141659649	0.00441151	0.146071159
.....				
Mode 15	62.751	0.025259037	0.024740963	0.05
Mode 16	64.065	0.024740963	0.025259037	0.05
Mode 17	64.183	0.024695477	0.025305561	0.050001038
Mode 18	65.867	0.024064096	0.025969515	0.050033611
Mode 19	67.289	0.023555556	0.02653017	0.050085726
Mode 20	68.306	0.02320484	0.026931144	0.050135985



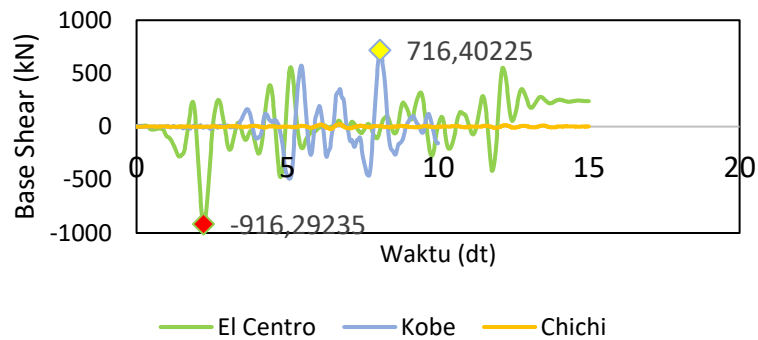
Gambar 6. Kurva *Proportional Damping*

**Gaya Geser Dasar**

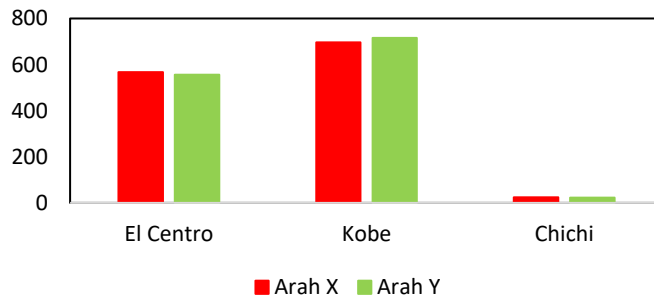
Gaya geser (*Base shear*) pada struktur yang disebabkan oleh gempa El Centro, Kobe, dan Chichi dari arah X dan Y dapat dilihat pada kurva. Gaya geser maksimum arah X ada pada gempa El Centro di detik 2.21 sebesar -925,00 kN. Untuk arah Y gaya geser maksimum ada pada gempa El Centro di detik 2.23 sebesar -916,292 kN. Gaya geser terbesar terjadi pada rekaman gempa El-Centro karena gempa tersebut memiliki kekuatan yang cukup besar dan dampak yang signifikan menurut catatan yang ada.



Gambar 7.1 Perbandingan Gaya Geser Arah X Ketiga Gempa



Gambar 8.2 Perbandingan Gaya Geser Arah Y Ketiga Gempa



Gambar 9. Perbandingan Gaya Geser Ketiga Gempa

*Simpangan*

Untuk mendapatkan simpangan maksimum dan simpangan antar tingkat data tersebut diolah terlebih dahulu sesuai dengan syarat dan ketentuan simpangan menurut SNI gempa tahun 2012. Terlihat pada tabel dibawah bahwa simpangan arah y sedikit lebih besar daripada arah x yang diakibatkan oleh bentuk bangunan yang memanjang ke arah y.

Tabel 4. Simpangan Maksimum Arah X dan Y Gempa El Centro

Lantai	$\delta_e$ (mm)	
	Arah X	Arah Y
3	12.08	14.200
2	9.493	11.084
1	4.723	5.368

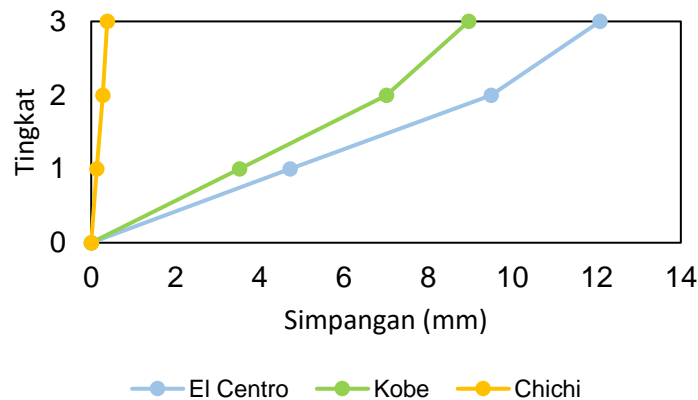
Tabel 5. Simpangan Maksimum Arah X dan Y Gempa Kobe

Lantai	$\delta e$ (mm)	
	Arah X	Arah Y
3	8.964	11.441
2	7.009	8.823
1	3.522	4.287

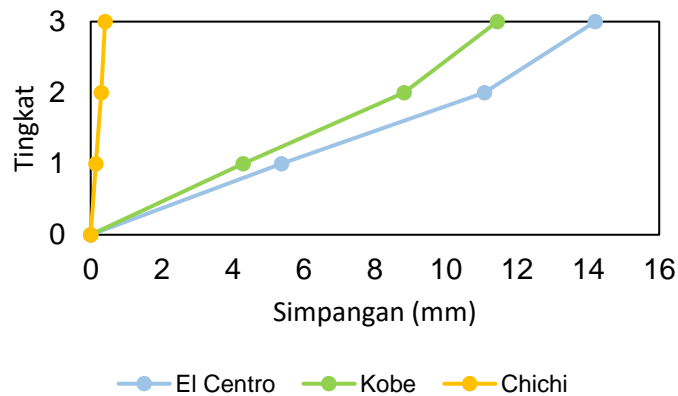
Tabel 6. Simpangan Maksimum Arah X dan Y Gempa Chi-chi

Lantai	$\delta e$ (mm)	
	Arah X	Arah Y
3	0.38	0.402
2	0.277	0.300
1	0.134	0.142

Dari grafik-grafik dibawah dapat disimpulkan bahwa simpangan terbesar didapatkan pada gempa El-Centro. Ini dikarenakan gaya geser yang dialami pada gempa El-Centro adalah yang terbesar dibanding dua gempa lainnya, sehingga simpangan yang terjadi menjadi lebih besar.



Gambar 10. Grafik Simpangan Maksimum Arah X Ketiga Gempa

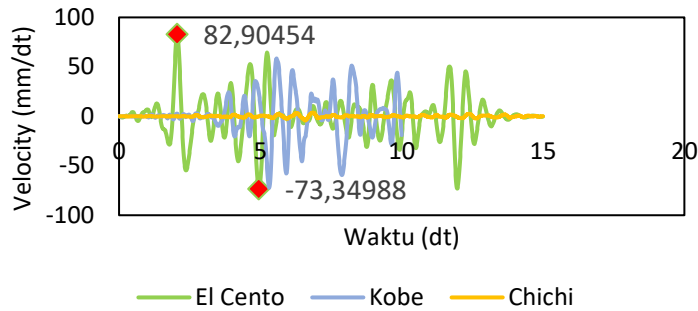


Gambar 12. Grafik Simpangan Maksimum Arah Y Ketiga Gempa

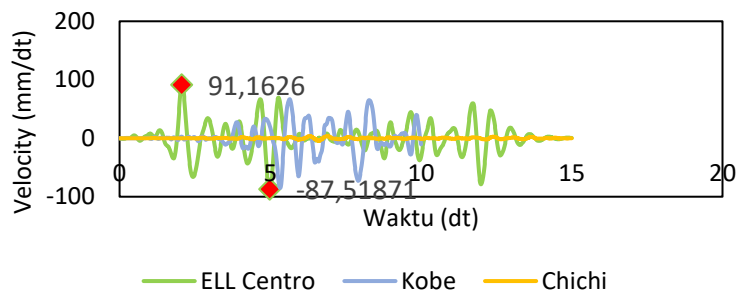


*Kecepatan*

Berikut ditampilkan perbandingan kecepatan getaran dari ketiga gempa. Kecepatan getaran tertinggi arah X terjadi pada gempa El Centro di detik 2.07 sebesar 91,163 mm/dt. Sedangkan untuk arah Y kecepatan getaran tertinggi terjadi pada gempa El Centro di detik 2.07 sebesar 91,163 mm/dt.



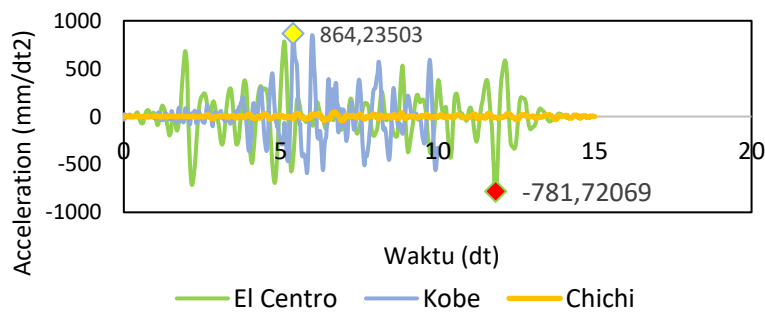
Gambar 13. Kurva Kecepatan Getaran Gempa Arah Y Ketiga Gempa



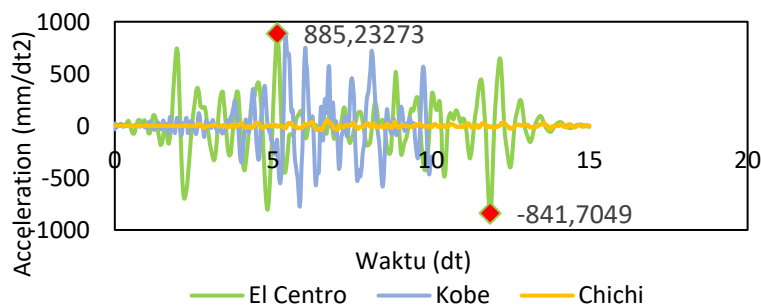
Gambar 14. Kurva Kecepatan Getaran Gempa Arah Y Ketiga Gempa

*Percepatan*

Dari hasil percepatan getaran ketiga gempa tersebut, percepatan maksimum arah X ada pada gempa Kobe di detik ke 5.4 sebesar 864,235 mm/dt<sup>2</sup>. Sedangkan pada arah Y Percepatan maksimum terjadi pada gempa El Centro di detik ke 5.14 sebesar 885,233 mm/dt<sup>2</sup>.



Gambar 15. Kurva Percepatan Getaran Gempa Arah X Ketiga Gempa



Gambar 16. Kurva Percepatan Getaran Gempa Arah Y Ketiga Gempa

Dari ketiga gempa tersebut kecepatan dan percepatan maksimum banyak terjadi pada gempa El-Centro. Semakin tinggi kecepatan dan percepatan getaran suatu bangunan berarti semakin tinggi perpindahan yang terjadi pada bangunan. Ini artinya kemungkinan kerusakan bangunan terjadi lebih besar jika struktur bangunan terkena gempa El-Centro dibanding dua gempa lainnya.

#### **SIMPULAN**

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisa dari bab – bab sebelumnya, dapat diambil kesimpulan berupa jawaban dari rumusan masalah yaitu sebagai berikut:

1. Gaya geser terbesar ada pada gempa El Centro sebesar -925,00 kN untuk arah X dan arah Y sebesar -916,292 kN.
2. Simpangan antar tingkat baik arah x maupun y yang terjadi pada ketiga gempa tidak melebihi simpangan izin berdasarkan SNI 1726-2012. Simpangan yang terbesar terjadi pada gempa El-Centro.
3. Kecepatan getaran lantai maksimum untuk gempa El Centro arah X sebesar 82,905 mm/dt dan arah Y sebesar 91,163 mm/dt. Kecepatan maksimum gempa Kobe arah X sebesar 58,528 mm/dt dan arah Y sebesar 66,731 mm/dt. Untuk gempa Chichi kecepatan maksimum arah X sebesar 3,691 mm/dt dan arah Y sebesar 3,766 mm/dt.
4. Percepatan getaran lantai maksimum untuk gempa El Centro arah X sebesar 782,795 mm/dt<sup>2</sup> dan arah Y sebesar 885,233 mm/dt<sup>2</sup>. Percepatan maksimum gempa Kobe arah X sebesar 864,235 mm/dt<sup>2</sup> dan arah Y sebesar 860,470 mm/dt<sup>2</sup>. Percepatan maksimum gempa Chichi arah X sebesar 48,064 mm/dt<sup>2</sup> dan arah Y sebesar 48,722 mm/dt<sup>2</sup>.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Ayuna, D. (2016) *Evaluasi Perilaku Struktur Akibat Gempa dengan Metode Time History Analysis Hotel Banda Aceh*. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Available at: [https://etd.unsyiah.ac.id/baca/notfound.php?biblio\\_id=19334](https://etd.unsyiah.ac.id/baca/notfound.php?biblio_id=19334).
- Chopra, A. . (1995) *Dynamics of Structures - Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Prentice Hall International, Inc.
- Hasdanita, F. (2014) *Evaluasi Perilaku Struktur Akibat Gempa Dengan Metode Time History Analysis DPRK Banda Aceh*. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh. Available at: <https://etd.unsyiah.ac.id/baca/index.php?id=9728&p>.
- Rompas, G. H. *et al.* (2015) 'Kestabilan Solusi Numerik Sistem Berderajat Kebebasan Tunggal Akibat Gempa dengan Metode Newmark', 3(1), pp. 1–7.
- Wibowo, A. S. (2011) *Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Riwayat Waktu*. Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Available at: <https://alumnisipil.ft.uns.ac.id/alumni/lists/129241>.