

ANALISIS KINERJA STRUKTUR PADA GEDUNG MENGUNAKAN METODE *TIME HISTORY* ANALYSIS

RHESTYKA ZAHRA KHARISMA, HERU JUDI H GULTOM

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung

Email: rhestykazk@gmail.com

ABSTRAK

Bandung merupakan kota terbesar di Provinsi Jawa Barat yang dikelilingi oleh pegunungan. Bila dilihat dari sudut pandang geologi, kawasan Lembang merupakan daerah yang rawan bencana karena diapit oleh gunung api aktif Tangkuban Perahu dan Patahan aktif Lembang dan dapat menyebabkan kerusakan struktur bangunan di daerah tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk meneliti kinerja struktur berdasarkan *base share*, *displacement*, dan *drift* dengan metode analisis riwayat waktu. Bangunan yang diteliti merupakan struktur beton bertulang. Setelah melakukan perhitungan deformasi dan simpangan antar lantai untuk seluruh data riwayat waktu, hasil menunjukkan bahwa struktur memenuhi syarat batas izin simpangan. Hasil gaya geser dasar gempa terbesar didapatkan dari data rekaman gempa yang memiliki percepatan pergerakan tanah terbesar. Hasil kontrol kinerja struktur dari ketiga riwayat gempa menyatakan bahwa tingkatan struktur gedung termasuk tingkatan *Immediate Occupancy* (IO) yang berarti tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

Kata kunci: struktur beton, analisis riwayat waktu, kinerja struktur.

ABSTRACT

Bandung is the biggest city in West Java Province that is surrounded by mountains. However, from a geological perspective, the Lembang area is disaster-prone because it's located between the Tangkuban Perahu volcano and the active Lembang Fault that could damage this area. Therefore, this study is needed to investigate the performance of the structure based on base share, displacement, and drift through the time history analysis method. The building is a reinforced concrete structure. After calculating the deformation and story drift for all time history data, the result shows that the structure qualifies permit limits. The result of the largest earthquake base shear was obtained from the earthquake recording data which had the largest ground movement acceleration. The result of structural performance control of these three earthquakes history reveals that the building's structure level is in Immediate Occupancy (IO) level thus there's no significant damage on the structure and the rigidity is the same as before the earthquake hits.

Keywords: concrete structure, time history analysis, structural performance.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bandung merupakan kota terbesar di Provinsi Jawa Barat yang dikelilingi oleh pegunungan, sehingga bentuk morfologi wilayahnya bagaikan sebuah mangkuk raksasa. Secara geografis kota ini terletak di tengah tengah provinsi Jawa Barat, berada pada ketinggian ± 768 m di atas permukaan laut. Terdapat satu daerah di kota Bandung yang terkenal akan pesona wisata karena suasananya yang tenang dan udaranya yang sejuk, daerah tersebut dikenal sebagai kawasan Lembang. Akan tetapi dilihat dari sudut pandang geologi, kawasan Lembang merupakan daerah yang rawan bencana karena diapit oleh gunung api Tangkuban Perahu dan Patahan Lembang yang masih aktif. Menurut tangkapan satelit Patahan Lembang melintang dari timur-barat sepanjang 22 km. Riset lain juga mengatakan bahwa panjang Patahan Lembang berada di antara 20 – 27 km. Kota Bandung berjarak 3 km dari jalur utama Patahan Lembang dan apabila terjadi gempa akibat Patahan Lembang pasti berpengaruh di wilayah Lembang, Kota Bandung, Purwakarta, dan Sumedang. Patahan Lembang yang masih aktif dengan catatan pergeseran laju rata-rata sekitar 0,3 – 1,4 cm/tahun dapat berakibatkan gempa. Menurut BMKG, Patahan Lembang dapat menyebabkan gempa berkekuatan sekitar 6,9 – 7 Skala Richter. Dengan ini penelitian dilakukan kinerja struktural berdasarkan *base share*, *displacement*, dan *drift* dengan analisis riwayat waktu apabila terjadi gempa akibat patahan lembang menggunakan analisis riwayat waktu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembebanan

Pembebanan yang digunakan merupakan pembebanan berdasarkan SNI 1727:2013 tentang beban perancangan bangunan Gedung dan Struktur, yaitu sebagai berikut:

1. Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi akibat pengguna atau penghuni suatu bangunan gedung atau struktur yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan. Beban hidup yang digunakan dalam penelitian ini diasumsikan seluruhnya adalah ruang kelas dengan beban hidup $1,92 \text{ kN/m}^2$ seperti yang ditunjukkan dalam SNI 1727-2013

2. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang sifatnya tetap dengan segala unsur tambahan atau bagian yang tidak terpisahkan dari gedung tersebut. Berat sendiri struktur, pelat, balok, kolom, dan dinding merupakan contoh dari beban mati. Untuk beban mati dari gedung yang diteliti adalah berikut:

Beton	=	24 kN/m^3
Baja	=	$78,5 \text{ kN/m}^3$

3. Beban Mati Tambahan (SIDL)

Beban mati tambahan adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen-elemen tambahan atau finishing yang bersifat permanen. Besaran beban mati tambahan suatu elemen dilakukan dengan meninjau berat satuan material berdasarkan volume dari elemennya. Berikut adalah beban mati tambahan dari gedung yang di teliti:

Keramik	=	$0,24 \text{ kN/m}^3$
Mortar	=	$0,21 \text{ kN/m}^3$
ME	=	$0,3 \text{ kN/m}^3$
Hebel ($t=125\text{mm}$)	=	$1,156 \text{ kN/m}^3$

4. Beban Gempa (EQ)

Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur yang diakibatkan dari pergerakan tanah karena adanya gempa bumi. Gaya-gaya dalam struktur yang terjadi oleh gerakan tanah ditentukan berdasarkan suatu analisa dinamik.

5. Beban Atap (Lr)

Beban atap adalah beban yang berada di atap bangunan sesuai dengan fungsi dari bangunannya.

2.2 Periode Getar Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2019 periode getar suatu bangunan dibatasi nilai maksimum dan nilai minimum dimana nilai-nilai tersebut berbeda antara arah x dan arah y bangunan sesuai dengan parameternya. Perhitungan dapat dihasilkan oleh **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** dengan syarat $Ta_{min} < T < Ta_{maks}$.

$$Ta_{min} = C_t \cdot h_n^x \quad \dots(1)$$

$$Ta_{maks} = C_u \cdot Ta_{min} C_t \cdot h_n^x \quad \dots(2)$$

Keterangan :

Ta = Periode fundamental pendekatan [detik],

C_t = Nilai parameter periode pendekatan,

x = Nilai parameter periode pendekatan,

h_n = Ketinggian struktur [m].

2.3 Koefisien Respon Seismik

Penentuan koefisien respon seismik suatu bangunan sama seperti penentuan periode getar bangunan yang terdapat batasan nilai minimum dan nilai maksimum berdasarkan arah bangunannya. Perhitungan koefisien respon seismik dapat dihasilkan oleh **Persamaan 3**, **Persamaan 4**, dan **Persamaan 5** dengan syarat $Cs_{min} < Cs < Cs_{maks}$.

$$Cs_{min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad \dots(3)$$

$$Cs_{maks} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad \dots(4)$$

$$Cs_{hit} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad \dots(5)$$

Keterangan :

Cs = Koefisien respons seismik [detik],

s_{DS} = Parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek [detik],

I_e = Faktor keutamaan gempa,

S_{D1} = Parameter percepatan respons spektral desai pada periode sebesar 1,0 detik [detik],

T = Periode fundamental pendekatan [detik],

R = Koefisien modifikasi respons.

2.4 Gaya Geser Dasar Seismik dan Penskalaan Gaya

Dalam SNI 1726-2019 nilai gaya geser dasar seismik harus ditentukan sesuai dengan **Persamaan 6**.

$$V_{statik} = Cs \cdot W \quad \dots(6)$$

Keterangan:

V = Gaya geser dasar seismik [Kg.detik],

Cs = Koefisien respons seismik [detik],

W = Berat seismik efektif [Kg],

Penskalaan gaya dilakukan apabila nilai V Dinamik lebih kecil daripada V Statik dengan menggunakan **Persamaan 7**.

$$\frac{v_{statik}}{v_{dinamik}} \times \frac{g \cdot I_e}{R} \quad \dots(7)$$

Keterangan:

- V_{statik} = Gaya geser dasar statik,
 $V_{dinamik}$ = Gaya geser dasar dinamik,
 g = Percepatan gravitasi [m/detik²],
 I_e = Faktor keutamaan gempa,
 R = Koefisien modifikasi respons.

2.5 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2019, gaya geser harus didistribusikan ke seluruh tinggi struktur di atas tingkat dasar dengan **Persamaan 9**:

$$F_x = C_{vs} \times V_s \quad \dots(8)$$

$$C_{vs} = \frac{w_i \cdot h_i^k}{\sum_{i=2}^n w_i \cdot h_i^k} \quad \dots(9)$$

Keterangan:

- F_x = Gaya seismik lateral di level-x [kN],
 C_{vs} = Faktor distribusi vertikal,
 V_s = Total gaya geser lateral seismik,
 w = Berat seismik efektif [kg],
 w_i = Tributari berat sampai tingkat-I [kg],
 h_i = Tinggi dari dasar sampai tingkat-I [m],
 k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur.

2.6 Simpangan Antar Lantai

Perhitungan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat masa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau dan harus memenuhi batas syarat simpangan izin. Untuk mendapatkan nilai Δ , digunakan **Persamaan 10**.

$$\delta x = \frac{C_d \cdot \delta x_e}{I_e} \quad \dots(10)$$

Keterangan:

- δx = Simpangan pusat masa di tingkat-x [mm],
 δx_e = Simpangan di tingkat-x [mm],
 C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral,
 I_e = Faktor keutamaan gempa.

2.7 Pengaruh P-Delta

Pergerakan lateral kolom akibat pengaruh beban aksial P dan horizontal displacement akan menimbulkan momen sekunder pada balok dan kolom. Stabilitas dari sistem struktur perlu diperiksa akibat adanya pengaruh P-delta seperti yang ditentukan oleh **Persamaan 11**. Koefisien stabilitas (θ) ditentukan oleh **Persamaan 12**, sama dengan atau kurang dari 0,1:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \leq 0,25 \quad \dots(11)$$

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \quad \dots(12)$$

Keterangan:

- θ = Koefisien stabilitas,
 P_x = Beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x,
 Δ = Simpangan antar tingkat desain [mm],
 I_e = Faktor keutamaan gempa,
 V_x = Gaya geser seismik yang bekerja antar tingkat x dan x-1,
 h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat x [m],
 C_d = Faktor pembesaran defleksi,

β = Rasio redaman viskos efektif dari sistem struktur.

2.8 Evaluasi Kinerja Struktur

Dari hasil analisis dilakukan evaluasi kinerja struktur untuk mengetahui apakah struktur aman atau tidak sesuai batas simpangan antar tingkat yang tercantum dalam SNI 1726:2019 dan level kinerja struktur sesuai dengan *Applied Technology Council* (ACT-40).

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja dimulai dengan membuat model rencana bangunan dan melakukan simulasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*), ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Kategori level kinerja struktur adalah:

- Operational*: Tidak ada kerusakan berarti pada struktur dan non-struktur (bangunan tetap berfungsi);
- Segera dapat dipakai (*IO/Immediate Occupancy*): tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa;
- Keselamatan penghuni terjamin (*LS/Life-Safety*): terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan. Komponen non-struktur masih ada tetapi tidak berfungsi;
- Terhindar dari keruntuhan total (*CP/Collapse Prevention*): kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non-struktur. Kekuatan struktur dan kekakuannya berkurang banyak, hamper runtuh. Kecelakaan akibat material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.

maksimal *total drift* dan maksimal *inelastic drift* dapat dihitung menggunakan **Persamaan 13** dan **Persamaan 14**.

$$\text{Maksimal total drift} = \frac{Dt}{H_{total}} \quad \dots(13)$$

$$\text{Maksimal inelastik drift} = \frac{Dt - D1}{H_{total}} \quad \dots(14)$$

Keterangan:

- Dt = Nilai displacement maximum atap [mm],
 $D1$ = Nilai displacement diatas penjepit lateral [mm],
 H_{total} = Tinggi total gedung [m].

Terdapat batasan rasio *drift* atap untuk berbagai macam tingkat kinerja struktur ditunjukkan pada **Tabel 1** berikut:

Tabel 1. Batasan Rasio Drift Atap Menurut ACT-40 (*Applied Technology Council, 1996*)

Parameter	Performance Level			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maksimum Total Drift	0.01	0.01 sd 0.02	0.02	0.33 (Vi/Pi)
Maksimum Inelastik Drift	0.005	0.005 s.d 0.015	No limit	No limit

(Sumber: ATC-40,1996)

3. METODE PENELITIAN

3.1 Struktur Gedung

Penelitian dilakukan di Gedung Fakultas Pendidikan Teknologi & Kejuruan (FPTK), Universitas Pendidikan Indonesia (UPI). Gedung ini menggunakan struktur beton bertulang dengan ketinggian 7 lantai. Fungsi utama dari bagunannya adalah fasilitas pendidikan. Untuk deskripsi gedung lebih lengkap, dapat dilihat pada **Tabel 2** dan bentuk 3D gedung dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Tabel 2. Deskripsi Gedung

Luas	10.079 m ²
Jumlah Lantai	1 lantai <i>basement</i> , 7 Lantai bangunan, 1 lantai atap, dan 1 lantai dak
Pondasi (<i>Bore Pile</i>)	Jumlah 176 titik kedalaman 22 m
Volume Beton	K-300 (<i>Bore Pile</i>) : 2139 m ³ K-350 (Struktur) : 6138 m ³
Volume Besi Beton	1477 ton
Volume Galian	6738 m ³
Mutu Beton	fc' 30



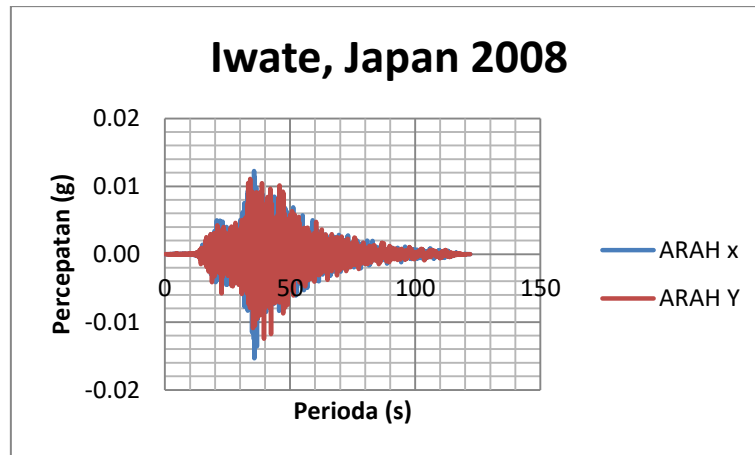
Gambar 1. Gedung FPTK-UPI
(Sumber : PT.Adhi Karya (Persero) Tbk., 2020)

3.2 Data Akselerogram

Metode penyederhanaan Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*) merupakan analisis untuk menentukan riwayat waktu respon dinamik struktur bangunan gedung yang berperilaku *linear* atau *non-linear* terhadap gerakan tanah akibat gempa. Dalam analisis riwayat waktu dibutuhkan beberapa data dari gempa yang diteliti, salah satunya adalah data akselerogram. Akselerogram dari gempa yang diteliti ditunjukkan oleh **Gambar 2**, **Gambar 3** dan **Gambar 4**.

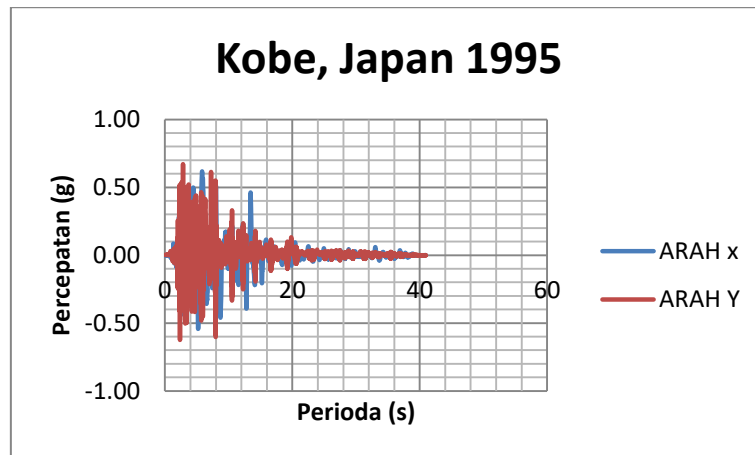
1. Akselerogram Gempa Iwate, Japan 2008

Magnitudo : 6,9 Skala Richter
Percepatan Puncak : 0,0048457 g
Waktu : 122 detik



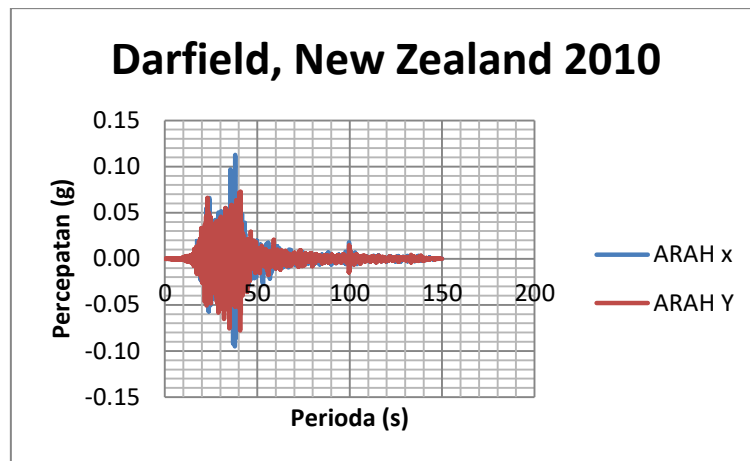
Gambar 2. Akselerogram gempa Iwate, Japan 2008

2. Akselerogram Gempa Kobe, Japan 1995
Magnitudo : 6,9 Skala Richter
Percepatan Puncak : 0,28423 g
Waktu : 40,96 detik



Gambar 3. Akselerogram gempa Kobe, Japan 1995

3. Akselerogram Gempa Darfield, New Zealand 2010
Magnitudo : 7 Skala Richter
Percepatan Puncak : 0,055753 g
Waktu : 150 detik



Gambar 4. Akselerogram gempa Darfield, New Zealand 2010

Tahap awal yang harus dilakukan adalah mengumpulkan data yang dibutuhkan, seperti data pembebanan, data gedung, dan data riwayat waktu. Tahap kedua melakukan permodelan struktur di *software* ETABS yang akan menghasilkan nilai *base shear*, *displacement*, dan *drift*. Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan sesuai dengan pedoman seperti SNI atau ACT-40 untuk mengetahui level kinerja struktur yang diteliti.

4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Gaya Geser Dasar Gempa

Setelah melakukan permodelan struktur menggunakan *software* ETABS, besarnya gaya gempa yang bekerja mempengaruhi gaya geser dasar gempa dan terjadi pada struktur dapat diketahui. Besar gaya geser dasar gempa yang terjadi akibat rekaman gempa yang diteliti dapat dilihat pada **Tabel 3** berikut:

Tabel 3. Gaya Geser Dasar Rekaman Gempa Yang Diteliti

Nama Gempa	X [kN]		Y [kN]	
	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum
Iwate, Japan	0,04272	0,04061	0,05344	0,04875
Kobe, Japan	1,98479	2,02334	1,84127	2,42259
Darfield, New Zealand	0,33455	0,37749	0,39049	0,40838

4.2 Deformasi Struktur

Nilai Δ total didapatkan dari hasil output ETABS (*Diaphragm Center of Mass Displacements*). Nilai Δ_{xe} didapat dari selisih antar lantai delta total. Perhitungan deformasi/perbesaran simpangan dilakukan untuk menentukan level kinerja struktur berdasarkan ATC-40. Perhitungan di tunjukan pada **Tabel 4**, **Tabel 5**, **Tabel 6**, **Tabel 7**, **Tabel 8**, dan **Tabel 9**:

Tabel 4. Deformasi dan Simpangan Antar Tingkat Iwate, Japan Arah X

Story	Load Case	Arah	Δ Total	Δ_{ye}	Cd	Ie	Δx	Deformasi	Tinggi Tingkat	Δ Izin	Cek
			[mm]	[mm]			[mm]				
7	Ex Max	X	0,00021	0,00001	5,5	1,5	0,00005	0,00076	4,2	42	OK
6	Ex Max	X	0,00020	0,00002	5,5	1,5	0,00008	0,00072	4,2	42	OK
5	Ex Max	X	0,00017	0,00003	5,5	1,5	0,00012	0,00063	4,2	42	OK

Tabel 4. Deformasi dan Simpangan Antar Tingkat Iwate, Japan Arah X lanjutan

Story	Load Case	Arah	$\Delta Total$	Δye	Cd	Ie	Δx	Deformasi	Tinggi Tingkat	$\Delta Izin$	Cek
			[mm]	[mm]			[mm]			[mm]	
4	Ex Max	X	0,00014	0,00004	5,5	1,5	0,00013	0,00051	4,2	42	OK
3	Ex Max	X	0,00010	0,00004	5,5	1,5	0,00014	0,00038	4,2	42	OK
2	Ex Max	X	0,00007	0,00004	5,5	1,5	0,00015	0,00024	4,5	45	OK
1	Ex Max	X	0,00002	0,00002	5,5	1,5	0,00009	0,00009	4,5	45	OK

Tabel 5. Deformasi dan Simpangan Antar Tingkat Iwate, Japan Arah Y

Story	Load Case	Arah	$\Delta Total$	Δye	Cd	Ie	Δy	Deformasi	Tinggi Tingkat	$\Delta Izin$	Cek
			[mm]	[mm]			[mm]			[mm]	
7	Ey Max	Y	0,00020	0,00001	5,5	1,5	0,00005	0,00075	4,2	42	OK
6	Ey Max	Y	0,00019	0,00002	5,5	1,5	0,00008	0,00070	4,2	42	OK
5	Ey Max	Y	0,00017	0,00003	5,5	1,5	0,00011	0,00061	4,2	42	OK
4	Ey Max	Y	0,00014	0,00003	5,5	1,5	0,00012	0,00050	4,2	42	OK
3	Ey Max	Y	0,00010	0,00004	5,5	1,5	0,00013	0,00038	4,2	42	OK
2	Ey Max	Y	0,00007	0,00004	5,5	1,5	0,00015	0,00024	4,5	45	OK
1	Ey Max	Y	0,00003	0,00003	5,5	1,5	0,00009	0,00009	4,5	45	OK

Tabel 6. Deformasi dan Simpangan Antar Tingkat Kobe, Japan Arah X

Story	Load Case	Arah	$\Delta Total$	Δye	Cd	Ie	Δx	Deformasi	Tinggi Tingkat	$\Delta Izin$	Cek
			[mm]	[mm]			[mm]			[mm]	
7	Ey Max	X	0,01100	0,00100	5,5	1,5	0,00005	0,00075	4,2	42	OK
6	Ey Max	X	0,01000	0,00100	5,5	1,5	0,00008	0,00070	4,2	42	OK
5	Ey Max	X	0,00900	0,00100	5,5	1,5	0,00011	0,00061	4,2	42	OK
4	Ey Max	X	0,00800	0,00200	5,5	1,5	0,00012	0,00050	4,2	42	OK
3	Ey Max	X	0,00600	0,00200	5,5	1,5	0,00013	0,00038	4,2	42	OK
2	Ey Max	X	0,00400	0,00300	5,5	1,5	0,00015	0,00024	4,5	45	OK
1	Ey Max	X	0,00100	0,00100	5,5	1,5	0,00009	0,00009	4,5	45	OK

Tabel 7. Deformasi dan Simpangan Antar Tingkat Kobe, Japan Arah Y

Story	Load Case	Arah	$\Delta Total$	Δye	Cd	Ie	Δy	Deformasi	Tinggi Tingkat	$\Delta Izin$	Cek
			[mm]	[mm]			[mm]			[mm]	
7	Ey Max	Y	0,01100	0,00000	5,5	1,5	0,00000	0,04033	4,2	42	OK
6	Ey Max	Y	0,01100	0,00200	5,5	1,5	0,00733	0,04033	4,2	42	OK
5	Ey Max	Y	0,00900	0,00100	5,5	1,5	0,00367	0,03300	4,2	42	OK
4	Ey Max	Y	0,00800	0,00200	5,5	1,5	0,00733	0,02933	4,2	42	OK
3	Ey Max	Y	0,00600	0,00200	5,5	1,5	0,00733	0,02200	4,2	42	OK
2	Ey Max	Y	0,00400	0,00200	5,5	1,5	0,00733	0,01467	4,5	45	OK

Tabel 7. Deformasi dan Simpangan Antar Tingkat Kobe, Japan Arah Y lanjutan

Story	Load Case	Arah	$\Delta Total$	Δye	Cd	Ie	Δy	Deformasi	Tinggi Tingkat	$\Delta Izin$	Cek
			[mm]	[mm]			[mm]			[mm]	
1	Ey Max	Y	0,00200	0,00200	5,5	1,5	0,00733	0,00733	4,5	45	OK

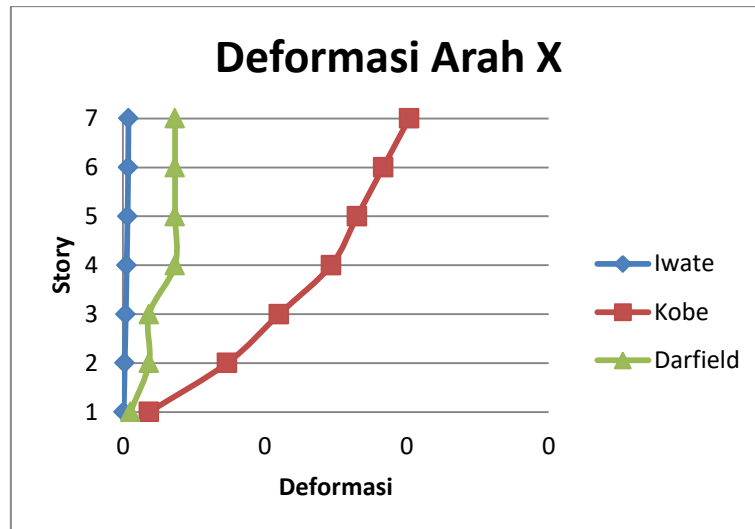
Tabel 8. Deformasi dan Simpangan Antar Tingkat Darfield, New Zealand Arah x

Story	Load Case	Arah	$\Delta Total$	Δye	Cd	Ie	Δx	Deformasi	Tinggi Tingkat	$\Delta Izin$	Cek
			[mm]	[mm]			[mm]			[mm]	
7	Ey Max	X	0,00200	0,00000	5,5	1,5	0,00733	0,00000	4,2	42	OK
6	Ey Max	X	0,00200	0,00000	5,5	1,5	0,00733	0,00000	4,2	42	OK
5	Ey Max	X	0,00200	0,00000	5,5	1,5	0,00733	0,00000	4,2	42	OK
4	Ey Max	X	0,00200	0,00100	5,5	1,5	0,00733	0,00367	4,2	42	OK
3	Ey Max	X	0,00100	0,00000	5,5	1,5	0,00367	0,00000	4,2	42	OK
2	Ey Max	X	0,00100	0,00072	5,5	1,5	0,00367	0,00263	4,5	45	OK
1	Ey Max	X	0,00028	0,00028	5,5	1,5	0,00104	0,00104	4,5	45	OK

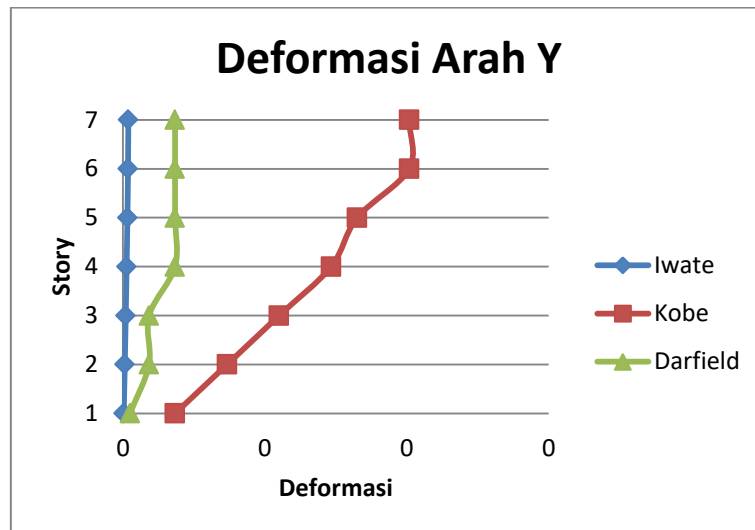
Tabel 9. Deformasi dan Simpangan Antar Tingkat Darfield, New Zealand Arah Y

Story	Load Case	Arah	$\Delta Total$	Δye	Cd	Ie	Δx	Deformasi	Tinggi Tingkat	$\Delta Izin$	Cek
			[mm]	[mm]			[mm]			[mm]	
7	Ey Max	Y	0,00200	0,00000	5,5	1,5	0,00733	0,00000	4,2	42	OK
6	Ey Max	Y	0,00200	0,00000	5,5	1,5	0,00733	0,00000	4,2	42	OK
5	Ey Max	Y	0,00200	0,00000	5,5	1,5	0,00733	0,00000	4,2	42	OK
4	Ey Max	Y	0,00200	0,00100	5,5	1,5	0,00733	0,00367	4,2	42	OK
3	Ey Max	Y	0,00100	0,00000	5,5	1,5	0,00367	0,00000	4,2	42	OK
2	Ey Max	Y	0,00100	0,00073	5,5	1,5	0,00367	0,00268	4,5	45	OK
1	Ey Max	Y	0,00027	0,00027	5,5	1,5	0,00098	0,00098	4,5	45	OK

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai akibat beban gempa Iwate, Kobe, dan Darfield dengan metode riwayat waktu telah memenuhi syarat simpangan izin antar lantai. Grafik Deformasi akibat gempa dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.



Gambar 5. Grafik Deformasi Akibat Gempa Arah X



Gambar 6. Grafik Deformasi Akibat Gempa Arah Y

4.3 Kinerja Struktur

Untuk mengetahui level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 diperlukan nilai simpangan yang diambil dari setiap analisis gempa riwayat waktu yaitu nilai pembesaran deformasi atau simpangan bagian atap (D_t) dan simpangan diatas penjepit lateral (D_1). Nilai *displacement maximum* atap (D_t) dan *displacement* diatas penjepit lateral (D_1) dapat dilihat pada **Tabel 10** dan untuk hasil perhitungan *level* kinerja dapat dilihat pada **Tabel 11**.

Tabel 10. Nilai *Displacement Maximum* Atap (D_t) dan *Displacement* Diatas Penjepit Lateral (D_1)

Nama Gempa	<i>Displacement maximum</i> atap (D_t)		<i>Displacement</i> diatas penjepit lateral (D_1)	
	X	Y	X	Y
Iwate, Japan	0,00076	0,00075	0,00009	0,00009
Kobe, Japan	0,04033	0,04033	0,00367	0,00733
Darfield, New Zealand	0,00733	0,00733	0,00104	0,00098

Tabel 11. Hasil Perhitungan *Performance Level*

Nama Gempa	<i>Max Total Drift</i>		<i>Max Inelastik Drift</i>	
	X	Y	X	Y
Iwate, Japan	0,0000000255	0,0000000249	0,0000000226	0,0000000218
Performance Level	<i>Immediate Occupancy</i>		<i>Immediate Occupancy</i>	
Kobe, Japan	0,0000013444	0,0000013444	0,0000012222	0,0000011000
Performance Level	<i>Immediate Occupancy</i>		<i>Immediate Occupancy</i>	
Darfield, New Zealand	0,0000002444	0,0000002444	0,0000002099	0,0000002117
Performance Level	<i>Immediate Occupancy</i>		<i>Immediate Occupancy</i>	

Sesuai dengan ACT-40 hasil perhitungan dari *max total drift* < 0,1 dan *max inelastic drift* < 0,005, yang diartikan bahwa struktur masuk kedalam kriteria kinerja *Immediate Occupancy* (IO) tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis riwayat waktu, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis struktur hasil permodelan menggunakan *software* ETABS V2018 telah memenuhi persyaratan dalam menahan beban yang berlaku pada struktur.
2. Simpangan antar lantai tidak melebihi simpangan izin.
3. Gempa Kobe, Japan menghasilkan nilai gaya geser dasar struktur yang lebih besar dibandingkan gempa Darfield dan Iwate karena nilai percepatan tanah puncak gempa Kobe lebih tinggi dibanding data riwayat gempa yang lain, walaupun waktu terjadi gempanya lebih kecil dibanding data riwayat gempa lain.
4. Hasil perhitungan kinerja struktur berdasarkan ATC- 40 berdasarkan analisis riwayat waktu untuk gempa Iwate, Kobe dan Darfield menunjukkan level kinerja *Immediate Occupancy* yang berartikan bangunan struktur yang direncanakan aman jika terjadi gempa, resiko korban jiwa tidak terlalu berarti saat terjadi gempa, kegagalan struktur saat gempa tidak terlalu berarti, struktur gedung tidak mengalami kerusakan dan dapat difungsikan kembali.

5.2 Saran

Dalam penelitian tugas akhir ini hanya menganalisis respon struktur berdasarkan ACT-40. Untuk itu penulis membeirikan saran yang mungkin bermanfaat bagi pengembangan studi selanjutnya, yaitu:

1. Evaluasi kinerja st ruktur dengan menggunakan analisis statik *pushover*.
2. Mendesain sistem struktur bangunan tahan gempa dengan menggunakan peredam gempa (*dampers*)
3. Menggunakan rekaman gempa lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

ATC-40, (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building Volume 1*. California: Applied Technology Council.

- Badan Standarisasi Nasional. (2012). SNI 1726:2019 tentang *Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI 1727-2013 tentang *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung dan Bangunan Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Karya, A., Cwp-, D. G., & Bandung, U. P. I. (2020). *Data Teknis Pekerjaan PT Adhi Karya (Persero) Tbk*.
- Khoeri, H. (2019). *Time History Analysis*. 28/03/2021. <https://hesa.co.id/time-history-analysis/>
- KumparanSains. (2019). *Waspada 'Ular Panjang' Bernama Sesar Lembang*. 28/03/2021. <https://kumparan.com/kumparansains/waspada-ular-panjang-bernama-sesar-lembang-1550893584097878907>
- Ghosh, S. K., & Fanella, D. A. (2003). *Seismic and Wind Design of Concrete Buildings: (2000 IBC, ASCE 7-98, ACI 318-99)*. International Code Council, INC.
- Paulay, T., & Priestley, N. (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. In *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* (Vol. 25). John Wiley & Sons, INC. <https://doi.org/10.5459/bnzsee.25.4.362>
- Hasdanita, F. (2014). *Evaluasi Perilaku Struktur Bangunan Beton Bertulang Akibat Gempa dengan Metode Time History Analysis*. https://etd.unsyiah.ac.id/index.php?p=show_detail&id=9728
- Purwanto, E., & Yanto, D. (2010). *Menentukan Level Kinerja Struktur Beton*. XI.
- Purwono, R. (2005). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. Surabaya, 2005.
- Imran, I., & Hendrik. (2019). *Perencanaan Struktur Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa*. 2010, 2019.
- Ananda, A. (2020). *Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Baja Bertingkat Dengan Analisis Riwayat Waktu*. Bandung, Indonesia.

