

## EVALUASI SIMPANGAN ANTAR LANTAI (*INTER STORY DRIFT*) PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN METODE RIWAYAT WAKTU

Fitry Hasdanita\*<sup>1</sup>, Delfian Masrura<sup>2</sup>, Fachruddin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Meulaboh

e-mail: \*<sup>1</sup>[fitryhasdanita@utu.ac.id](mailto:fitryhasdanita@utu.ac.id)

### Abstrak

Peristiwa gempa yang terjadi di Aceh secara horizontal dan vertikal terjadi pada 26 Desember 2004 sebesar 9,2 Mw, 11 April 2012 dengan 8,6 Mw, 23 Januari 2013 dengan 6,1 Mw dan Desember 2016 yang menyebabkan kerusakan serius pada bangunan dengan berbagai tipe pola keruntuhan. Ini merupakan faktor terpenting untuk evaluasi kerusakan bangunan dan desain seismik jika terjadi gempa. Simpangan antar lantai (*inter story drift*) menjadi faktor utama kerusakan bangunan akibat gempa. Nilai simpangan pada bangunan juga sebagai acuan untuk menentukan tingkat kerusakan pada suatu bangunan akibat gempa berdasarkan perencanaan berbasis kinerja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis simpangan antar lantai (*inter story drift*) pada bangunan bertingkat untuk mengetahui tingkat kerusakan bangunan akibat gempa, mengantisipasi atau melakukan upaya mitigasi pada saat terjadi gempa sehingga mengurangi kerugian material dan korban jiwa. Objek penelitian ini adalah gedung DPRA berlantai enam (6). Penelitian ini dianalisis dengan metode dinamis *time history analysis*. Hasil penelitian menunjukkan simpangan antar lantai maksimum sebesar 0,086 m akibat riwayat gempa Irpinia pada lantai 2 dalam arah X. Simpangan antar lantai maksimum arah Y sebesar 0,056 akibat gempa Irpinia. Nilai simpangan antar lantai maksimum memenuhi persyaratan SNI-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung yaitu 0,548 m. Sehingga Gedung DPRA Kota Banda Aceh aman terhadap kegagalan simpangan antar lantai.

Kata kunci: *Inter-story Drift*, Analisis Riwayat Waktu, Perencanaan Berbasis Kinerja,

### Abstract

*The earthquake occurred in Aceh horizontally and vertically occurred on 26 December 2004 of 9,2 Mw, 11 April 2012 with 8,6 Mw, 23 January 2013 with 6,1 Mw and December 2016 caused huge damage to buildings of various kinds collapse pattern. This is so importance to evaluated building damage and planning earthquake-resistant structures in anticipation of an earthquake. The damage caused by the earthquake was greatly influenced by the inter story drift that occurred in the building.. The Inter story drift is references to determined the level of damage of building due to an earthquake on based performances design. This research aims to analyze the inter-story drift in multi-story buildings to determine the level of building damage due to the earthquake. This aims to anticipate or carry out mitigation efforts when an earthquake occurs so as to reduce material losses and casualties. The object of this research is DPRA building which the six (6) storey. This research was analyzed using dynamic time history analysis method The results showed that the maximum floor drift was 0,086 m due to the history of the Irpinia earthquake on the 2nd floor in the X direction. The maximum floor drift in the Y direction was 0,056 due to the Irpinia earthquake. The maximum inter story drift according to SNI-1726-2019 about Procedures for Planning Earthquake Resistance for Building and Non-Building Structures is 0,548 m. So that the Banda Aceh City DPRA Building is safe from failure of inter story drift*

**Keywords :** *Inter-story Drift, Time History Analysis, Performances based Design*

---

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara maritim yang terletak pada tiga lempengan dunia atau biasa disebut *Ring of fire* hal ini menyebabkan jalur subduksi dan jalur patahan yang terus aktif, sehingga Sebagian besar wilayah Indonesia sangat aktif dan rawan terhadap seismik [1]. Baru Baru ini, data BMKG (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) menyebutkan gempa bumi pada Jumat tanggal 25 Februari 2022 pada pukul 08:39 WIB dengan Magnitude 6,2 di Timur Laut Pasaman, Sumatera Barat Indonesia. Pusat gempa berada di kedalaman 10 km dan menyebabkan kerusakan fatal pada bangunan dengan berbagai macam pola keruntuhan. Hal ini menjadi penyebab pentingnya perencanaan struktur yang mampu menahan beban seismik jika terjadi gempa [2]

Aceh berada pada salah satu segmentasi megathrust aktif yaitu Aceh-Andaman dan berpotensi menimbulkan gempa dengan intensitas tinggi [3]. Aceh salah satu provinsi paling barat yang berada pada zona tektonik yang sangat aktif karena ada sembilan lempeng kecil lainnya yang membentuk jalur kompleks selain tiga lempeng besar dunia. Peristiwa gempa yang terjadi di Aceh secara horizontal dan vertical terjadi pada 26 Desember 2004 sebesar 9,2 Mw, 11 April 2012 dengan 8,6 Mw, 23 Januari 2013 dengan 6,1 Mw dan Desember 2016 [4]. Gempa menyebabkan beban dinamis yang menimbulkan gaya yang berubah-ubah terhadap waktu, sehingga mengakibatkan kerusakan pada bangunan. Jika terjadinya gempa diharapkan bangunan mampu menerima gaya seismik pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan.

Simpangan antar lantai (*inter story drift*) menjadi faktor utama kerusakan bangunan akibat gempa. Kerusakan bangunan akibat gempa banyak menimbulkan kerugian baik materian dan korban jiwa. Nilai simpangan pada bangunan juga sebagai acuan untuk menentukan tingkat kerusakan pada suatu bangunan akibat gempa berdasarkan perencanaan berbasis kinerja. Struktur yang stabil ketika menerima beban gempa struktur tersebut akan berubah bentuk, mampu menahan gaya lateral yang terletak pada kekakuan kolom sehingga simpangan yang terjadi tidak melebihi syarat yang diizinkan [5].

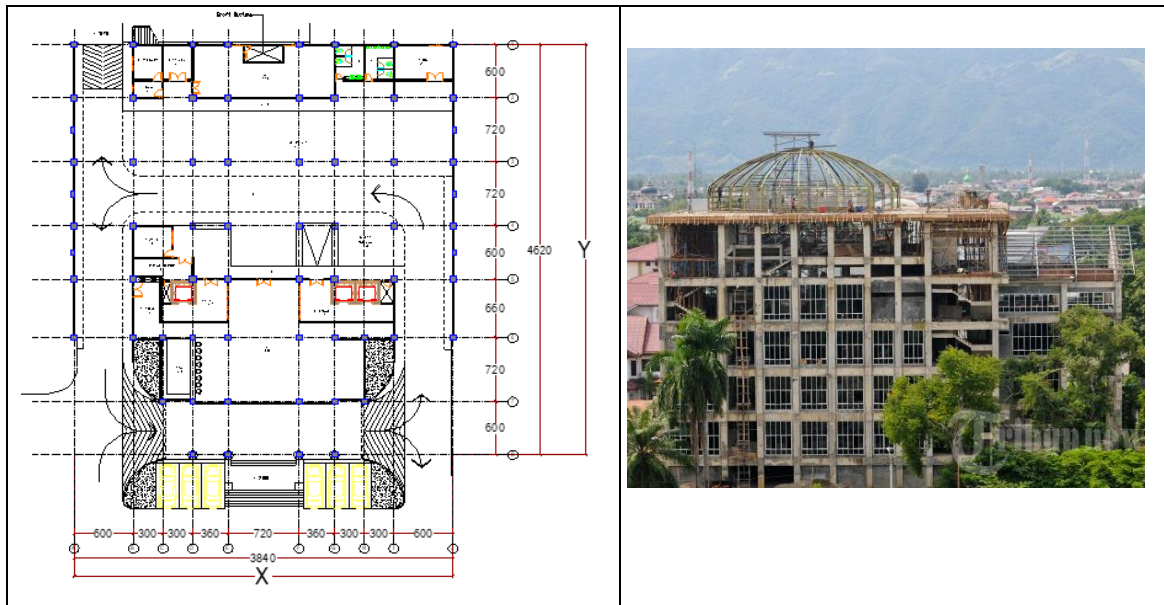
Objek penelitian adalah gedung Dewan Perwakilan Rakyat Aceh (DPRA) dengan enam (6) lantai. Penelitian ini menggunakan analisis dinamis riwayat waktu. Objek penelaitian dilimpahkan rekaman percepatan tanah akibat gempa yang telah terjadi. *Peak Ground Acceleration* (PGA) gempa masukan diskalakan sesuai dengan lokasi tanah tempat bangunan yang diteliti. Redaman gempa yang digunakan sebesar 5%. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis simpangan antar lantai (*inter story drift*) pada bangunan bertingkat untuk mengetahui tingkat kerusakan bangunan akibat gempa. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi atau melakukan upaya mitigasi pada saat terjadi gempa sehingga mengurangi kerugian materian dan korban jiwa.

## 2. METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini yaitu: pemodelan denah bangunan dengan aplikasi STERA 3D Ver. 11.2, pelimpahan beban gempa dengan data gempa yang telah ada, melakukan analisis riwayat waktu (*time history*). Adapun data riwayat gempa yang terdiri dari empat jenis rekaman gempa, yaitu data pergerakan tanah gempa El-Centro, Kobe, Chi-Chi dan Irpinia. Setelah dilakukan analisis diperoleh perilaku bangunan akibat gempa yaitu nilai simpangan antar lantai (*inter story drift*) berdasarkan nilai *inter story drift* di lakukan evaluasi untuk mengetahui tingkat kerusakan bagunanan.

## 2.1 Konfigurasi Bangunan

Objek penelitian ini adalah Gedung DPRK Kota Banda Aceh terletak kota Banda Aceh merupakan salah satu gedung bertingkat banyak yang ada di Aceh. Gedung ini terdiri dari 6 lantai dengan tinggi 27.5 m direncanakan berdasarkan aturan gempa SNI-1726-2007 dan aturan perencanaan beton SNI-2847-2019. Sekarang peraturan beban gempa dan perencanaan beton bertulang telah mengalami perubahan tahun 2019, sehingga perlu dilakukan analisis dan evaluasi simpangan antar lantai pada bangunan gedung tersebut. Gambar denah bangunan ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Denah bangunan lantai 1 dan tampak depan bangunan

Data konfigurasi dan dimensi komponen struktural objek penelitian adalah sebagai berikut:

1. Denah bangunan dimodelkan seperti gambar bestek yang telah diperoleh
2. Kolom terdiri dari 3 tipe yaitu  $K_1$ ,  $K_2$ , dan  $K_3$  dengan dimensi  $800 \times 800$ ;  $600 \times 600$ ; dan  $400 \times 600$ ;
3. Balok terdiri dari 2 jenis yaitu,  $BL_1$  dan  $BL_2$  dengan dimensi  $400 \times 800$  dan  $350 \times 750$
4. Pelat lantai dengan tebal 12 cm untuk semua tipe lantai

## 2. 2 Perencanaan Berbasis Kinerja

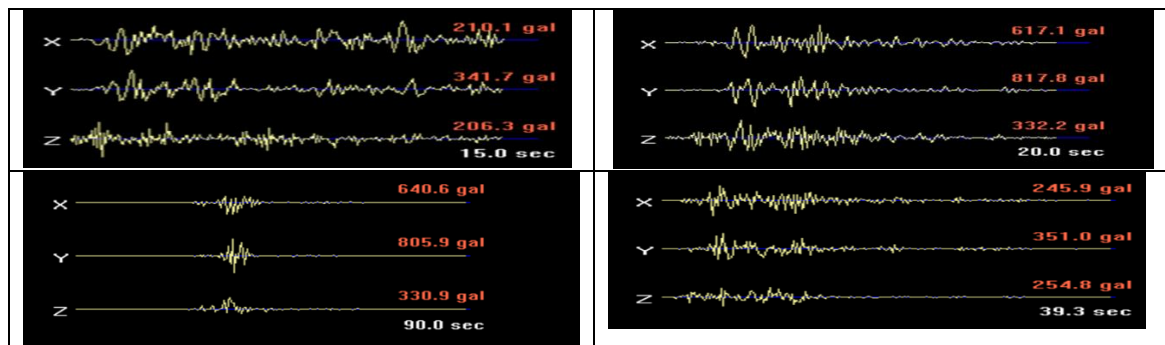
Pada umumnya, desain seismik berbasis kinerja adalah penentuan skema evaluasi yang memungkinkan dimensi komponen struktural dan nonstruktural sehingga tingkat perpindahan dan tingkat kemampuan yang berbeda. Struktur tidak boleh rusak diluar batas yang telah ditentukan. Perilaku bangunan selama gempa dengan intensitas berbeda ditetapkan secara kualitasif [6]. Inovasi perencanaan yang terbaru adalah *performance based seismic design*, dengan memanfaatkan teknik analisis nonlinear berbasis secara komptasi untuk menganalisis perilaku inelastis struktur dari data riwayat gerakan tanah (gempa) yang berbeda-beda, sehingga dapat diketahui kinerja pada kondisi kritis [7]. Perencanaan berbasis kinerja mengaju pada level kinerja struktur pada saat terjadi gempa yaitu: IO (*Immediate Occupancy*), LS (*Life-Safety*), CP (*Collapse Prevention*) [8]. Level kinerja struktur dianalisis berdasarkan nilai *interstory drift* [9] ditampilkan pada Tabel berikut:

**Tabel 1. Level Kinerja Bangunan Struktur Berdasarkan Nilai *Drift***

<i>Intersory Drift Limit</i>	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damege Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structral Stability</i>
<i>Drift of Maximum Total</i>	0,01	0,01 – 0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
<i>Drift of Maximum Inelatis</i>	0,005	0,005 – 0,0015	No Limit	No Limit

2. 3 Analisis Riwayat Waktu

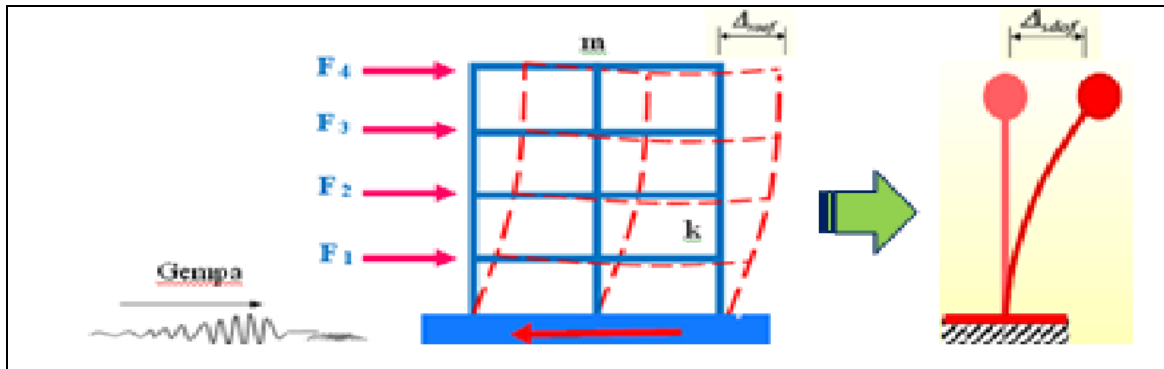
Analisis riwayat waktu adalah analisis respon dinamik suatu struktur bangunan dimana beban berupa percepatan getaran tanah diterapkan secara bertahap dan besarnya bervariasi dari waktu ke waktu. *Time history analysis* merupakan analisis dinamik yang menggabungkan rekaman gempa ke model struktur [10]. Gerakan gempa berupa gelombang akselerasi dengan amplitudo yang dimodifikasi berdasarkan wilayah frekuensi (*Frequency Zone*), sehingga sesuai akselerasi standar respon spektra. Gempa tipikal harus dipilih berdasarkan kondisi tanah dan topografi yang serupa dengan lokasi bangunan, sehingga dapat dilakukan modifikasi amplitude [11]. Pada penelitian ini, ada empat data *ground motion* yang harus digunakan. Gambar riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 2 Riwayat Gempa El- Centro, Kobe, Cji-Chi dan Irpinia  
 Sumber: <https://ngawest.berkeley.edu/> dan <https://peer.berkeley.edu/>

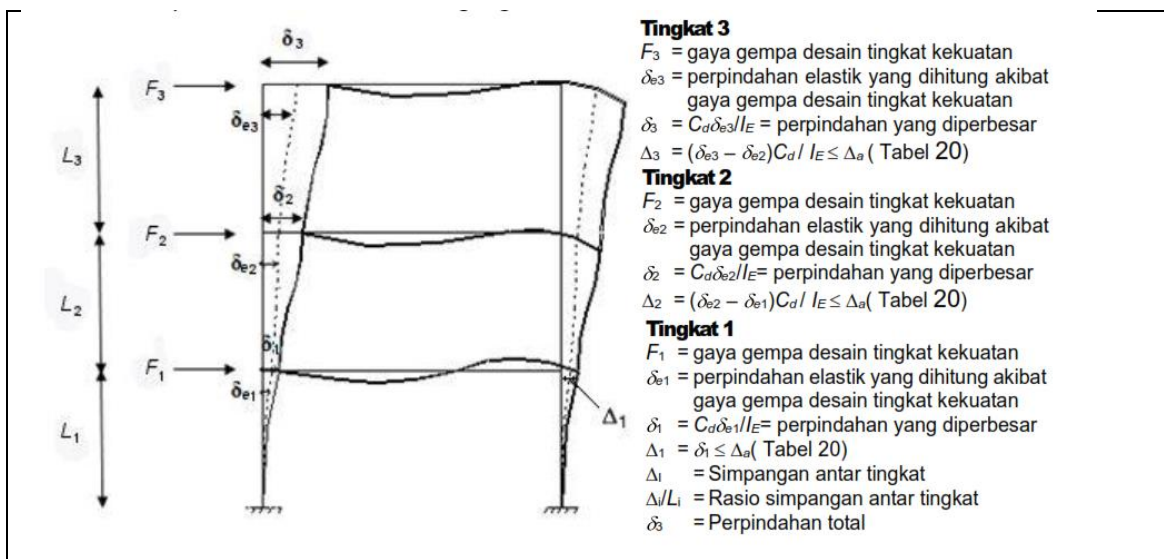
2.4 Simpangan Antar Lantai (*Intertory Drift*)

Gempa mempunyai besar, arah dan intensitas yang selalu berubah menurut waktu (*time varying*) sehingga menimbulkan respon dinamis pada struktur menurut fungsi waktu. Getaran yang acak tidak seperti beban statik pada umumnya, sehingga tidak mudah diketahui efek beban respon struktur. Getaran tanah yang diterima pondasi kemudian diteruskan ke struktur di atasnya, menyebabkan getaran pada bangunan sebagai gaya inersia. Intensitas gaya gempa berubah-ubah menurut waktu, mempengaruhi struktur atas menyebabkan goyangan dengan intensitas tertentu sehingga menimbulkan kerusakan pada bangunan [12]. Perilaku struktur akibat gempa dapat ditampilkan pada Gambar berikut:



Gambar 3. Perilaku struktur bangunan akibat gempa [12]

Distribusi getaran akibat gempa yang tidak seragam tingkat massa tingkat dan kekakuan lateral sepanjang struktur menyebabkan pergeseran seismik antar lantai (*inter story drift*) terutama pada bangunan tingkat banyak [13]. Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau seperti pada Gambar 4. Apabila tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di tingkat dasar berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya [14].



Gambar 4 . Simpangan Antar Tingkat (*Intertorey Drift*)

Sumber: SNI-1726-2019

### 2.5 Analisi Data

Analisis data dilakukan dengan bantuan aplikasi Structure Earhtquake Respon Analysis (STERA) 3D versi 11.2 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menghitung beban bangunan tiap lantai dan melakukan perhitungan kombinasi pembebanan ditampilkan pada tabel 1 dan 2 berikut berikut:

**Tabel 2. Luas dan Tinggi bangunan Tiap Lantai**

No.	Lantai	Tinggi Bangunan (m)	Luas Tiap Lantai (m <sup>2</sup> )
1	Lantai 1	3,2	1457,28
2	Lantai 2	4,5	1457,28
3	Lantai 3	4,5	1414,08
4	Lantai 4	4,5	1500,480
5	Lantai 5	4,5	1500,480
6	Lantai 6	6,2	1267,20

**Tabel 3. Perhitungan Kombinasi Pembebanan**

No.	Lantai	Beban Mati	Beban Hidup	Total
		(kN)	(kN)	(1,2 D + 1,6 L)
1	Lantai 1	13420,216	2090,34	19.449
2	Lantai 2	16482,795	2039,832	23.043
3	Lantai 3	18234,359	1910,082	24.937
4	Lantai 4	16985,972	1949,922	23.503
5	Lantai 5	18092,232	2122,317	25.106
6	Lantai 6	15670,964	1450,997	21.127

2. Melakukan pemodelan dengan bangunan
3. Melakukan input data dimensi komponen struktur dan mutu material bahan beton dan baja
4. Menginput data gempa berupa riwayat gempa yang pernah terjadi yang telah diskalakan
5. Melakukan analisis riwayat waktu
6. Melakukan running program untuk mengetahui nilai simpangan antar lantai (*inter story drift*)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Skala Intensitas Gempa

Evaluasi struktur bangunan gedung beton bertulang menggunakan metode analisis *nonlinear time history* (riwayat waktu non-linier), sehingga percepatan muka tanah asli dari gempa masukan harus diskalakan. [14] percepatan puncak di permukaan tanah tempat bangunan ditinjau diperoleh dengan menggunakan persamaan:

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

$$Skala\ gempa = \frac{PGAM}{PGAG} \times I_e \quad (2)$$

Dimana:

- $F_{PGA}$  = Koefisien untuk PGA
- PGA = Percepatan puncak muka tanah MCE<sub>G</sub> terpeta
- PGA = Percepatan puncak muka tanah MCEG terpeta

Hasil perhitungan skala gempa untuk masing-masing riwayat gempa disajikan pada Tabel 4 berikut:

**Tabel 4 Hasil Perhitungan Skala Gempa**

Percepatan Gempa	I	$F_{PGA}$	PGA Tanah Asli	PGA Tanah Aceh	$PGA_M$	Skala Gempa
			(g)	(g)	(g)	
Gempa El-Centro	1,25	1,0	0,342	0,636	0,636	2,325
Gempa Kobe	1,25	1,0	0,817	0,636	0,636	0,972
Gempa Chi-Chi	1,25	1,0	0,808	0,636	0,636	0,984
Gempa Irpinia	1,25	1,0	0,358	0,636	0,636	2,221

PGA tanah lokasi riwayat gempa terjadi berbeda dengan lokasi penelitian, maka dilakukan perhitungan skala gempa agar kondisi pergerakan tanah di lokasi penelitian sama dengan pergerakan tanah lokasi riwayat gempa.

### 3.2 Simpangan Antar Lantai (Inter Story Drift)

Hasil evaluasi nilai drift berdasarkan SNI-1726-2019. Nilai drift harus lebih kecil dari yang diizinkan sesuai dengan tingkat resiko lokasi bangunan seperti pada Tabel 5.

**Tabel 5 Batas Izin Simpangan Antar Lantai**

Struktur	Kategori Resiko		
	1 atau 2	3	4
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	0,025h	0,020 h	0,015h
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	0,010 h	0,010 h	0,010h
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007h	0,007h	0,007h
Semua struktur lainnya	0,020h	0,15h	0,010h

Objek penelitian berada dalam lokasi kategori II sehingga simpangan antar lantai izin adalah 0.020 h atau 2% dari tinggi bangunan sebelum tingkat yang ditinjau. Hasil simpangan antar lantai arah X dan Y disajikan pada Tabel-Tabel berikut:

**Tabel 6. Simpangan Antar lantai Arah X**

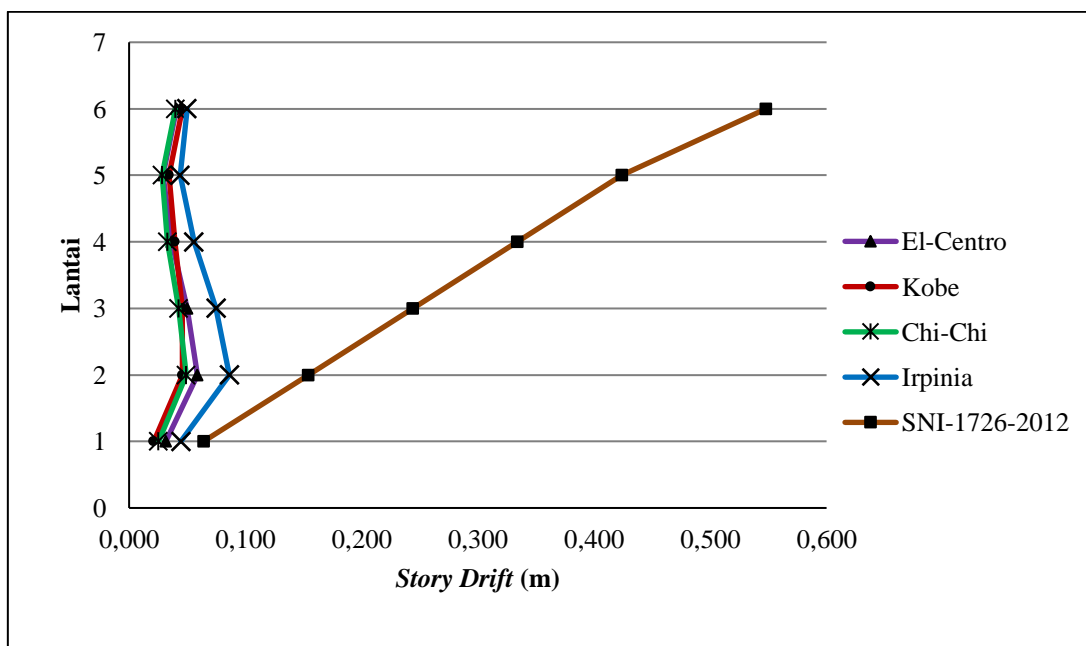
Lantai	Tinggi (m)	$\Delta$ Arah X				$\Delta$ Syarat 0,02h (m)	Keterangan Untuk Empat Data Gempa
		El-centro (m)	Kobe (m)	Chi-Chi (m)	Irpinia (m)		
6	27,4	0,041	0,046	0,040	0,050	0,548	Memenuhi syarat
5	21,2	0,029	0,034	0,028	0,044	0,424	Memenuhi syarat

4	16,7	0,037	0,039	0,033	0,056	0,334	Memenuhi syarat
3	12,2	0,050	0,046	0,043	0,075	0,244	Memenuhi syarat
2	7,7	0,059	0,046	0,049	0,086	0,154	Memenuhi syarat
1	3,2	0,031	0,021	0,025	0,045	0,064	Memenuhi syarat

**Tabel 7 Hasil Simpangan Antar lantai Arah Y**

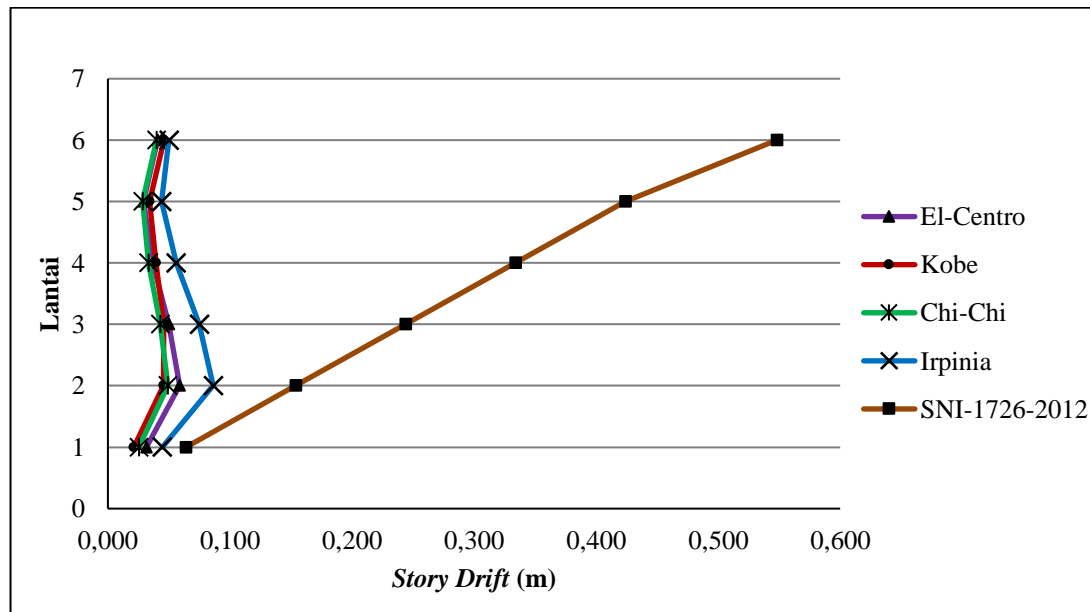
Lantai	Tinggi (m)	$\Delta$ Arah Y				$\Delta$ Syarat 0,02h (m)	Keterangan Untuk Empat Data Gempa
		El-centro	Kobe	Chi-Chi	Irpinia		
		(m)	(m)	(m)	(m)		
6	27,40	0,033	0,050	0,052	0,038	0,548	Memenuhi syarat
5	21,20	0,025	0,038	0,041	0,031	0,424	Memenuhi syarat
4	16,70	0,028	0,041	0,044	0,037	0,334	Memenuhi syarat
3	12,20	0,033	0,045	0,048	0,047	0,244	Memenuhi syarat
2	7,70	0,035	0,045	0,047	0,056	0,154	Memenuhi syarat
1	3,20	0,020	0,023	0,024	0,034	0,064	Memenuhi syarat

Dari hasil penelitian menunjukkan menunjukkan terjadinya ketidakberaturan kenaikan drift yang terjadi pada lantai 3, 4, dan 5. Pada lantai tersebut terjadi perbedaan letak dinding dan balok yang mengakibatkan perbedaan kekakuan. Perbedaan kekakuan juga terjadi pada lantai 6 dimana terjadi pengurangan jumlah kolom. Pada lantai yang mempunyai kekakuan yang besar mempunyai nilai *drift* yang kecil. Grafik hubungan tinggi bangunan dengan nilai simpangan antar lantai dapat dilihat pada Gambar berikut:



**Gambar 5 Grafik hubungan simpangan antar lanate dengan tinggi bangunan arah X**





Gambar 6 Grafik hubungan simpangan antar lanate dengan tinggi bangunan arah X

Gambar diatas menunjukkan nilai *story drift* mengalami peningkatan dari lantai 1 ke lantai 2, mengalami penurunan pada lantai 3 sampai 5 dan kembali mengalami peningkatan pada lantai 6. Hal ini terjadi dalam arah X maupun Y. Walaupun demikian, terlihat bahwa nilai *story drift* untuk semua beban gempa sangat kecil dibandingkan dengan syarat yang telah ditentukan oleh SNI-1726-2012 yaitu 2% dari tinggi bangunan sebelum tingkat  $x$ . Berdasarkan nilai *story drift* pada lantai 6, *top drift* yang terjadi pada gedung ini akibat beban gempa yang diberikan sudah memenuhi persyaratan SNI-1726-2019 yaitu sebesar 0,548 m.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan simpangan antar lantai maksimum sebesar 0.086 m akibat riwayat gempa Irpinia pada lantai 2 dalam arah X. Simpangan antar lantai maksimum arah Y sebesar 0.056 akibat gempa Irpinia. Nilai simpangan antar lantai maksimum memenuhi persyaratan SNI-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung yaitu 0.548 m. Sehingga Gedung DPRA Kota Banda Aceh aman terhadap kegagalan simpangan antar lantai.

#### 5. SARAN

1. Analisis riwayat waktu menggunakan riwayat gempa terbaru dengan kondisi topografi mendekati kondisi tanah tempat pelaksanaan pembangunan Gedung, seperti riwayat gempa Pidie (Aceh) atau Cianjur.
2. Evaluasi nilai simpangan antar lantai (*interstory drift*) dilakukan pada tahap perencanaan bangunan sehingga bisa merencanakan upaya mitigasi bencana lebih cepat dan tepat
3. Perlu dilakukan evaluasi perilaku struktur bangunan akibat gempa lainnya seperti geser dasar (*base shear*) dan *displacement*.
4. Perlu dilakukan tindak lanjut dan retrofiting pada bangunan yang mengalami kegagalan simpangan antar lantai.

---

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada keluarga, tim penelitian dan para pihak atas kerjasamanya yang baik dari awal penelitian sampai dengan selesai, sehingga penelitian ini dapat selesai tepat waktu dan dapat dipublikasikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. F. Achmad Ali Fikri, Syamsul Arifin, “Pengembangan Spektra Respon Elastis Gempa Mamuju Sebagai Rekomendasi Spektra Respon Untuk Bangunan Gedung Indonesia,” *J. Ilm. Indones. p-ISSN 2541-0849*, vol. 2, no. 8.5.2017, pp. 2003–2005, 2022.
- [2] R. M. H. F. Hidayat, “Pengaruh Dilatasi Terhadap Simpangan Antar Lantai Bangunan Tinggi Dengan Bentuk H,” vol. 4, no. 3, pp. 249–254, 2022.
- [3] C. Damayanti, A. K. Yamko, C. J. Souisa, W. Barends, and I. L. P. T. Naroly, “Pemodelan Segmentasi Mentawai-Pagai: Studi Kasus Gempa Megathrust di Indonesia,” *J. Geosains dan Remote Sens.*, vol. 1, no. 2, pp. 105–110, 2020, doi: 10.23960/jgrs.2020.v1i2.56.
- [4] M. Hasan, T. Saidi, M. Afifuddin, and B. Setiawan, “Journal of King Saud University – Engineering Sciences The assessment and strengthening proposal of building structure after the Pidie Jaya earthquake in December 2016,” *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 35, no. 1, pp. 12–23, 2023, doi: 10.1016/j.jksues.2021.02.007.
- [5] U. Khoirunnissa, R. Djakfar, and Y. Setiawan, “Analisis Dinamik Respon Struktur Gedung Beraturan Dan Ketidakberaturan Horizontal,” *Constr. Mater. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 59–68, 2020, doi: 10.32722/cmj.v2i1.2758.
- [6] M. Miguel and F. Perez, “Non-Linear Dynamic Modeling on Rc 5 Story Building in Managua City , Designed With the Nicaraguan Rnc-07 Building Code,” no. January, pp. 1–6, 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.17944.14088.
- [7] F. Hasdanita, M. Afifuddin, and M. Muttaqin, “Analisis Pushover Terhadap Respon Struktur Dengan Menggunakan Base Isolator,” *J. Arsip Rekayasa Sipil dan Perenc.*, vol. 1, no. 1, pp. 169–178, 2018, doi: 10.24815/jarsp.v1i1.10374.
- [8] D. Shapiro, C. Rojahn, L. D. Reaveley, J. R. Smith, and U. Morelli, “NEHRP Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings,” *Earthq. Spectra*, vol. 16, no. 1, pp. 227–239, 2000, doi: 10.1193/1.1586092.
- [9] A. Atc, “40, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings,” *Appl. Technol. Counc.*, vol. 1, p. 334, 1996.
- [10] I. G. G. Wiryadi, I. W. Giatmajaya, I. P. A. Putra Wirawan, and N. M. Trangipani, “Analisis Riwayat Waktu Perilaku Struktur Gedung SMA Negeri 9 Denpasar,” *J. Ilm. Kurva Tek.*, vol. 10, no. 2, pp. 43–52, 2021, doi: 10.36733/jikt.v10i2.3000.
- [11] Z. Abidin, S. Sangadji, and A. Supriyadi, “Analisis Dinamik Riwayat Waktu Nonlinier Skew Bridge,” *Matriks Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 378–385, 2018, doi: 10.20961/mateksi.v6i2.36579.
- [12] Y. Muntafi, “Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisis Pushover,” *Simp. Nas. RAPI XI FT UMS 2012*, pp. 68–75, 2012.
- [13] X. Lai, Z. He, and Y. Wu, “Elastic inter-story drift seismic demand estimate of super high-rise buildings using coupled flexural-shear model with mass and stiffness,” *Eng. Struct.*, vol. 226, no. September 2020, p. 111378, 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.111378.

- [14] Sni 1726:2019, “Sni 1726:2019,” *Tata Cara Perenc. Ketahanan Gempa Untuk Strukt. Bangunan Gedung dan Non Gedung*, no. 8, p. 254, 2019.