



# JURNAL

## FORUM TEKNIK SIPIL (ForTeks)

***Analisis Kinerja Struktur Pada Model Bangunan Setback Menggunakan Metode Time History Analysis***

*Kukuh Dwi Pangestu, Remigildus Cornelis, Elsy E. Hangge*

***Studi Penggunaan Balok Lintel Pada Bangunan Gedung Infilled Frame 2 Lantai Menggunakan Sap2000***

*Petrus Tobi Tukan, Partogi H. Simatupang, Elia Hunggurami*

***Debit Puncak Harian Tahunan Metode HSS Nakayasu dan Debit Terukur di DAS Muke Kabupaten TTS***

*Monica T. R. Utung, Judi K Nasjono, Elia Hunggurami*

***Analisis Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang Beraturan Dengan Penambahan Tingkat Menggunakan Struktur Baja***

*Hilario A. Kono, Partogi H. Simatupang, Ruslan Ramang*

***Studi Pengaruh Tangga pada Pemodelan Struktur Bangunan Beraturan Akibat Beban Gempa dengan Menggunakan Software Etabs***

*Jendrianus Hendro Takesan, Partogi H. Simatupang, Wilhelmus Bunganaen*

# ***Analisis Kinerja Struktur Pada Model Bangunan Setback Menggunakan Metode Time History Analysis***

## ***Analysis Structural Performance of the Setback Building Model Using Time History Analysis Method***

**Kukuh Dwi Pangestu<sup>1</sup>, Remigildus Cornelis<sup>2</sup>, Elsy E. Hangge<sup>3\*)</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

---

### **Article info:**

Kata kunci:

Kinerja ,Struktur, Setback, Time History

Keywords:

Performance, Structure, Setback, Time History

### **Article history:**

Received: 03-08-2021

Accepted: 17-08-2021

<sup>\*</sup>Koresponden email:

<sup>1</sup>[kukohpangestu@gmail.com](mailto:kukohpangestu@gmail.com)

<sup>2</sup>[remi\\_cor@yahoo.com](mailto:remi_cor@yahoo.com)

<sup>3</sup>[elsypauhangge@gmail.com](mailto:elsypauhangge@gmail.com)

### **Abstrak**

Bencana gempa bumi dapat menelan banyak korban jiwa. Karena itu dalam desain bangunan perlu diantisipasi apabila terjadi gempa bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui level kinerja dari sistem struktur *setback* dan sistem struktur *non setback* menggunakan metode *time history analysis*. Terdapat 3 model struktur yang dikaji yaitu struktur *non setback* dengan sistem struktur 6 lantai, dimana bentang terpanjang 20 m, bentang terpendek 15 m, dan tinggi setiap lantai 3,5 m, Sedangkan model *setback1*, *setback* di aplikasikan pada lantai 6 dan model *setback2*, *setback* diaplikasikan pada lantai 5 dan lantai 6. Hasil penelitian ini menunjukkan kapasitas penahan gempa lateral terbesar adalah bangunan *setback* satu lantai pada arah x (timur-barat), dengan perbedaan sebesar 1,07%, sedangkan pada arah y (utara-selatan) kapasitas penahan gempa terbesar adalah bangunan *non setback*, dengan perbedaan sebesar 4,79%. Level kinerja struktur yang dihasilkan dari bangunan *setback* dan *non setback* bervariasi, dari *immediate occupancy* sampai *damage control*.

### **Abstract**

Catastrophic earthquakes can cost many lives. Therefore, the design of earthquake-resistant buildings has become an obligation in designing a building in anticipation of an earthquake. This study aims to determine the performance level of the setback structural system and the non-setback structural system using the Time History Analysis method. There are 3 structural models studied, non-setback structures with 6 floors level, where the longest span is 20 m, the shortest span is 15 m, and the height of each floor is 3.5 m, while the setback1 model, setback system is applied to the 6th floor and setback2 model, setback system is applied to the 5th floor and 6<sup>th</sup> floor. The results of this study show that the largest lateral earthquake resistance capacity is a one-story setback building in the x (east-west) direction, with a difference of 1,07%, while in the y (north-south) direction the largest earthquake-resistant capacity is a non-setback building, with a difference of 4,79%. The level of structural performance resulting from the setback and non-setback buildings varies, from immediate occupancy to damage control.

---

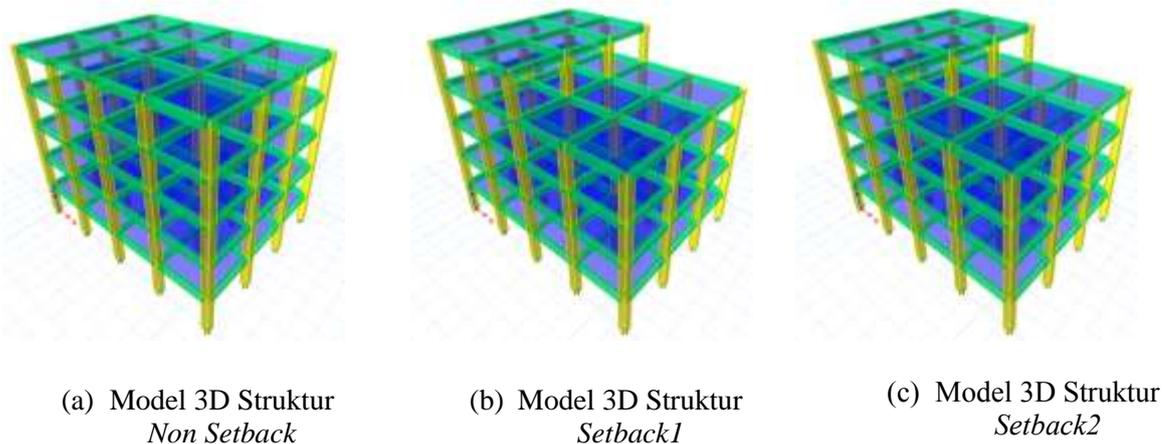
## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan mengalami gempa bumi. Untuk mengurangi resiko gempa terhadap bangunan bertingkat diperlukan desain struktur tahan gempa, dimana struktur tahan gempa adalah struktur yang tahan (tidak rusak dan tidak runtuh) apabila terlanda gempa (Tjokrodinuljo 2007). Metode terbaru yang digunakan dalam desain bangunan tahan gempa yaitu Metode Desain Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*) yang merupakan metode desain bangunan tahan gempa yang mengutamakan keamanan, kontrol pada deformasi dan kinerja yang harus memenuhi persyaratan tertentu (Tavio dan Usman 2018).

Perkembangan ilmu arsitektur yang cukup pesat berdampak pada bertambahnya model bangunan ireguler seperti bangunan *setback*. Bangunan *setback* memiliki perbedaan yang cukup signifikan dengan bangunan beraturan, karena terdapat daerah peralihan dari tingkat dengan kekakuan yang tinggi ke tingkat dengan kekakuan yang rendah (Efrida 2018). Dalam penelitian ini dilakukan analisis kinerja sistem struktur *setback* menggunakan metode *time history analysis* dengan bantuan *software ETABS V17*. Fungsi gedung sebagai perkantoran yang berlokasi di Kota Kupang.

## 2. Bahan dan Metode

Model struktur 3D bangunan *non setback* dan bangunan *setback* dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Model 3D Struktur Non Setback dan Setback

Penelitian dimulai dengan melakukan pengumpulan data dan informasi gedung yang terdiri dari *layout* bangunan, tinggi antar lantai, mutu bahan. Kemudian dilakukan perhitungan pembebanan pada bangunan (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan 1983). Setelah itu dilanjutkan dengan pemodelan struktur awal dan evaluasi kekutan struktur untuk penentuan dimensi penampang balok dan kolom yang memenuhi (*capacity ratio*  $\leq 1$ ). Apabila dimensi penampang balok dan kolom memenuhi pada tiga model struktur (model struktur *non setback*, model struktur *setback1*, dan model struktur *setback2*) dilakukan analisis statik ekuivalen dan pengecekan terhadap simpangan antar lantai (simpangan antar lantai  $\leq$  simpangan antar lantai ijin), kemudian dilakukan analisis dinamik *time history* dan dilakukan pengecekan terhadap gaya geser dasar ( $V_{dinamik} \geq 0,85V_{statik}$ ). Jika pengecekan tersebut sudah memenuhi maka dilakukan pendetailan pada elemen struktur (pelat, balok, dan kolom) untuk menentukan luas tulangan aktual yang terpasang (SNI 2847:2013), untuk selanjutnya dilakukan analisis *pushover* untuk model struktur *non setback*, model struktur *setback1*, dan model struktur *setback2*, kemudian dilanjutkan dengan evaluasi kinerja struktur menggunakan metode *ATC-40* untuk mendapatkan level kinerja struktur dari struktur yang dimodelkan.

2.1. Time History Analysis

Prosedur *time history analysis* adalah sebagai berikut :

1. Percepatan puncak permukaan tanah (PGA)  
Percepatan puncak permukaan tanah diperoleh dari desain spektra Indonesia (Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman 2011).
2. Pemilihan data akselerogram  
Respon spektrum akselerogram gempa aktual harus konvergen dengan respon spektrum elastik desain. Respon spektrum elastik desain diinput pada situs *Pasific Earthquake Engineering Research Center* untuk memperoleh data akselerogram (PEER 2021). Dengan program bantu *Seismosoft* akselerogram pilihan dapat dimodifikasi, sedemikian sehingga respon spektrum elastiknya benar-benar konvergen (toleransi 30%) dengan respon spektrum elastik desain (Anggen, Budi, dan Gunawan 2014).
3. Penskalaan percepatan puncak permukaan tanah

$$PGA_{M(diskalakan)} = F_{PGA} \times PGA (I_e/R) \tag{1}$$

4. Kontrol geser dasar  
Nilai geser dasar dari hasil analisis dinamik ( $V_{dinamik}$ ) harus lebih besar atau sama dengan 85% geser dasar analisis statik ( $0,85V_{statik}$ ) atau dituliskan  $V_{dinamik} \geq 0,85V_{statik}$ . Jika geser dasar hasil analisis *time history* lebih kecil atau  $V_{dinamik} < 0,85V_{statik}$ , maka percepatan gempa masukan harus dikali dengan  $(0,85V_{statik})/V_{dinamik}$  hingga memenuhi syarat (SNI 1726:2012).

2.2. Evaluasi Kinerja Struktur

Evaluasi Kinerja struktur menggunakan metode *ATC-40* (ATC-40 1996).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Chichi

Perbandingan perpindahan akibat gempa Chichi pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

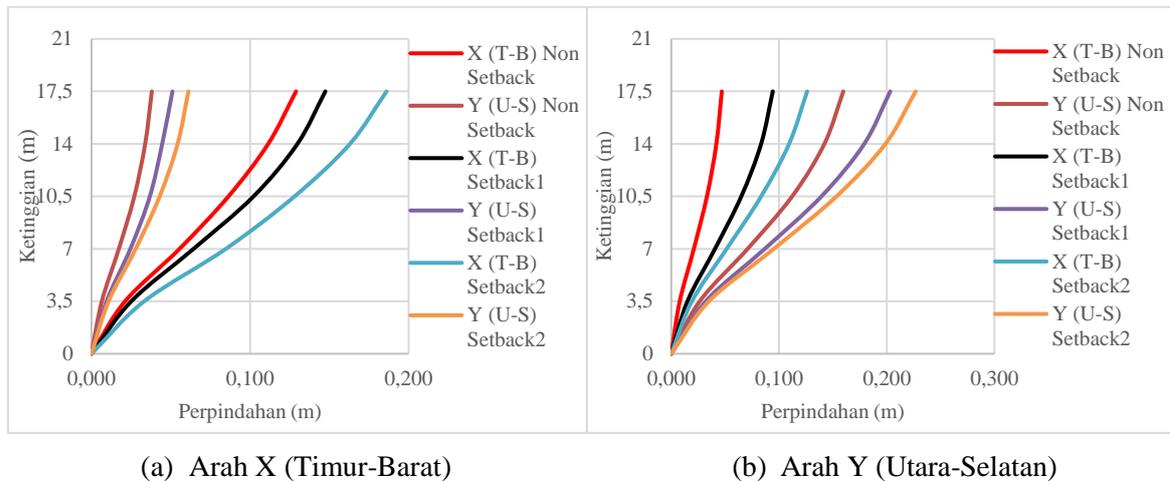
**Tabel 1.** Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Chichi Arah X (Timur-Barat)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0212	0,0065	0,0251	0,0095	0,0332	0,0108
Lantai 3	7,00	0,0556	0,0173	0,0644	0,0245	0,0848	0,0279
Lantai 4	10,50	0,0864	0,0270	0,1022	0,0368	0,1281	0,0430
Lantai 5	14,00	0,1115	0,0339	0,1299	0,0446	0,1630	0,0543
Lantai 6	17,50	0,1290	0,0381	0,1475	0,0511	0,1861	0,0612

**Tabel 2.** Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Chichi Arah Y (Utara-Selatan)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0079	0,0264	0,0150	0,0320	0,0191	0,0349
Lantai 3	7,00	0,0210	0,0709	0,0406	0,0868	0,0514	0,0953
Lantai 4	10,50	0,0331	0,1122	0,0650	0,1394	0,0834	0,1534
Lantai 5	14,00	0,0418	0,1422	0,0834	0,1791	0,1094	0,1988
Lantai 6	17,50	0,0469	0,1597	0,0942	0,2033	0,1262	0,2268

Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa Chichi pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Chichi

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa perpindahan terbesar pada masing-masing arah adalah bangunan yang memiliki *setback*, hal ini dikarenakan berkurangnya sistem penahan gaya lateral akibat adanya *setback* pada lantai atas, sehingga menyebabkan perpindahan semakin besar.

3.2. Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Imperial Valley

Perbandingan perpindahan akibat gempa Imperial Valley pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

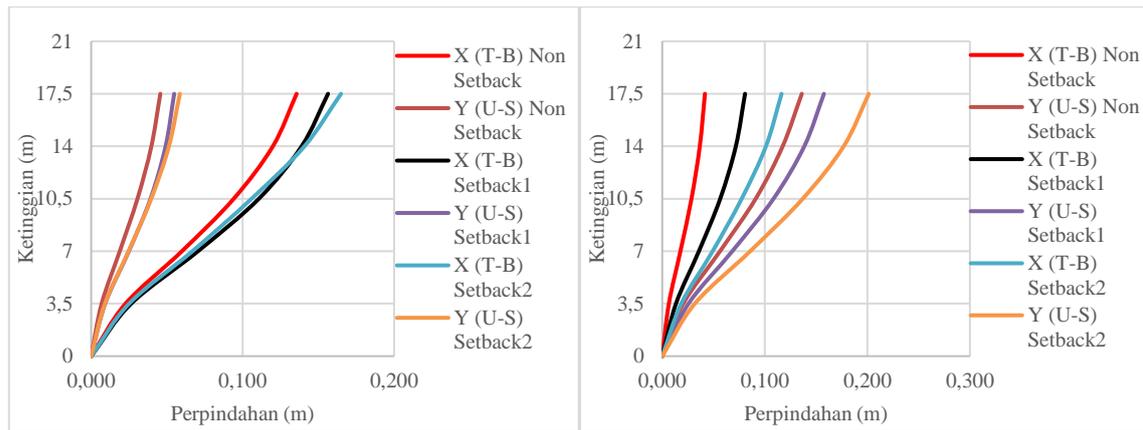
**Tabel 3.** Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Imperial Valley Arah X (Timur-Barat)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0227	0,0069	0,0264	0,0092	0,0250	0,0091
Lantai 3	7,00	0,0599	0,0188	0,0705	0,0249	0,0668	0,0247
Lantai 4	10,50	0,0941	0,0306	0,1107	0,0391	0,1059	0,0396
Lantai 5	14,00	0,1199	0,0397	0,1389	0,0491	0,1408	0,0513
Lantai 6	17,50	0,1356	0,0456	0,1564	0,0548	0,1649	0,0585

**Tabel 4.** Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Imperial Valley Arah Y (Utara-Selatan)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0065	0,0205	0,0134	0,0256	0,0185	0,0317
Lantai 3	7,00	0,0177	0,0563	0,0357	0,0683	0,0492	0,0858
Lantai 4	10,50	0,0285	0,0911	0,0565	0,1085	0,0775	0,1370
Lantai 5	14,00	0,0366	0,1174	0,0718	0,1385	0,1011	0,1770
Lantai 6	17,50	0,0469	0,1597	0,0942	0,2033	0,1262	0,2268

Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa Imperial Valley pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Gambar 3.



(a) Arah X (Timur-Barat) (b) Arah Y (Utara-Selatan)  
**Gambar 3.** Grafik Perpindahan Akibat Gempa Imperial Valley

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa perpindahan terbesar pada masing-masing arah adalah bangunan yang memiliki *setback*, hal ini dikarenakan berkurangnya sistem penahan gaya lateral akibat adanya *setback* pada lantai atas, sehingga menyebabkan perpindahan semakin besar.

3.3. Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Kobe

Perbandingan perpindahan akibat gempa Kobe pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6.

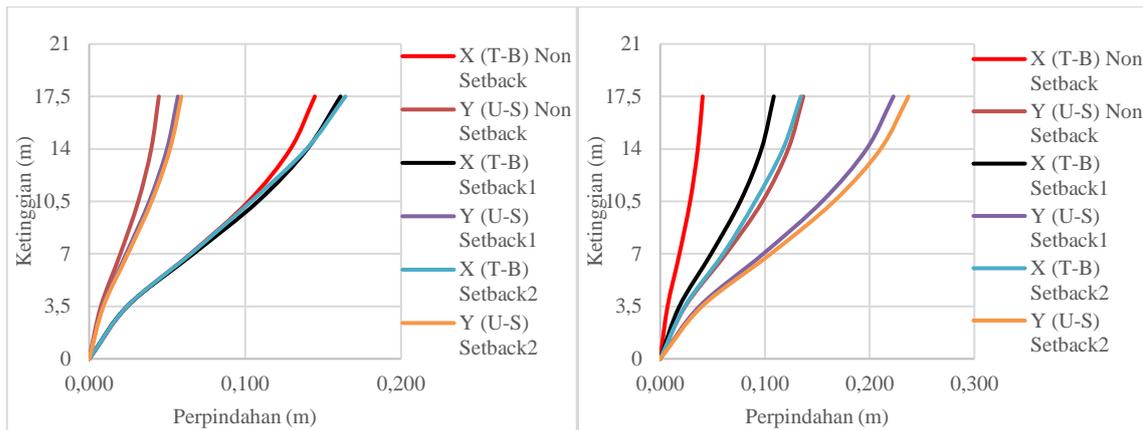
**Tabel 5.** Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Kobe Arah X (Timur-Barat)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0245	0,0075	0,0243	0,0086	0,0243	0,0091
Lantai 3	7,00	0,0649	0,0200	0,0668	0,0237	0,0651	0,0248
Lantai 4	10,50	0,1022	0,0315	0,1082	0,0385	0,1038	0,0401
Lantai 5	14,00	0,1291	0,0398	0,1399	0,0499	0,1394	0,0519
Lantai 6	17,50	0,1447	0,0447	0,1612	0,0569	0,1643	0,0591

**Tabel 6.** Perbandingan Perpindahan Akibat Gempa Kobe Arah Y (Utara-Selatan)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0070	0,0239	0,0183	0,0375	0,0234	0,0399
Lantai 3	7,00	0,0184	0,0628	0,0485	0,0983	0,0600	0,1055
Lantai 4	10,50	0,0285	0,0976	0,0765	0,1546	0,0907	0,1659
Lantai 5	14,00	0,0359	0,1223	0,0967	0,1971	0,1173	0,2105
Lantai 6	17,50	0,0405	0,1367	0,1085	0,2227	0,1344	0,2370

Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa Kobe pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Gambar 4.



(a) Arah X (Timur-Barat) (b) Arah Y (Utara-Selatan)

**Gambar 4.** Grafik Perpindahan Akibat Gempa Kobe

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa perpindahan terbesar pada masing-masing arah adalah bangunan yang memiliki *setback*, hal ini dikarenakan berkurangnya sistem penahan gaya lateral akibat adanya *setback* pada lantai atas, sehingga menyebabkan perpindahan semakin besar.

3.4. Perbandingan Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Chichi

Perbandingan simpangan antar lantai akibat gempa Chichi pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

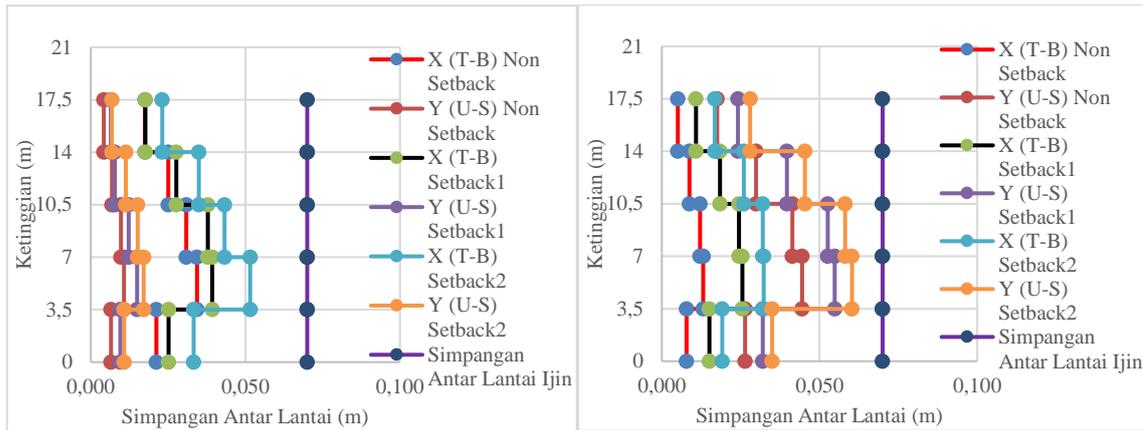
**Tabel 7.** Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Chichi Arah X (Timur-Barat)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0212	0,0065	0,0251	0,0095	0,0332	0,0108
Lantai 3	7,00	0,0344	0,0107	0,0393	0,0150	0,0516	0,0171
Lantai 4	10,50	0,0309	0,0097	0,0378	0,0123	0,0433	0,0151
Lantai 5	14,00	0,0250	0,0069	0,0276	0,0078	0,0349	0,0113
Lantai 6	17,50	0,0175	0,0042	0,0176	0,0065	0,0231	0,0068

**Tabel 8.** Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Chichi Arah Y (Utara-Selatan)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0079	0,0264	0,0150	0,0320	0,0191	0,0349
Lantai 3	7,00	0,0131	0,0445	0,0255	0,0548	0,0323	0,0603
Lantai 4	10,50	0,0121	0,0414	0,0244	0,0526	0,0320	0,0582
Lantai 5	14,00	0,0087	0,0299	0,0184	0,0397	0,0259	0,0454
Lantai 6	17,50	0,0051	0,0176	0,0108	0,0241	0,0168	0,0280

Grafik perbandingan simpangan antar lantai akibat gempa Chichi pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Gambar 5.



(a) Arah X (Timur-Barat)

(b) Arah Y (Utara-Selatan)

**Gambar 5.** Grafik Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Chichi

Dari grafik diatas menunjukan bahwa simpangan antar lantai yang terjadi pada bangunan *setback* dan *nonsetback* telah memenuhi syarat simpangan antar lantai pada SNI 1726:2012.

3.5. Perbandingan Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Imperial Valley

Perbandingan simpangan antar lantai akibat gempa Imperial Valley pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10.

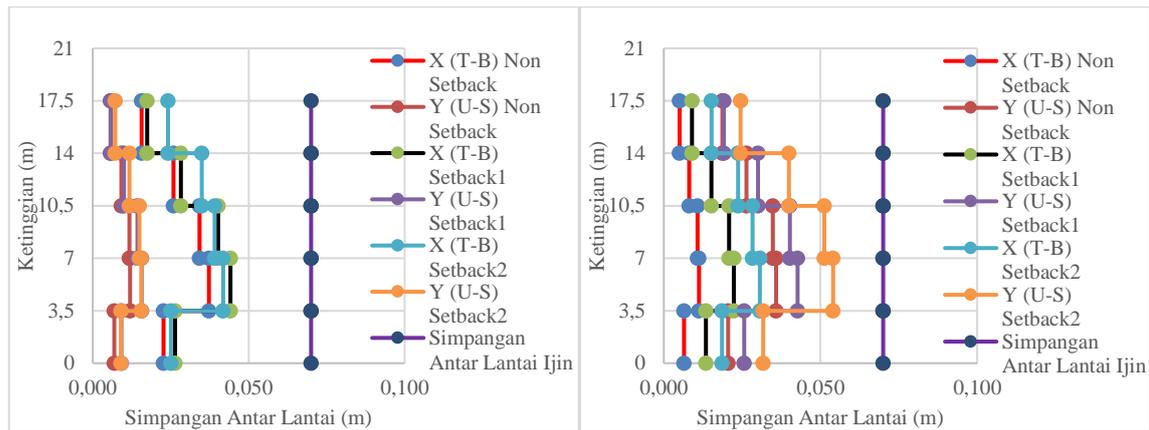
**Tabel 9.** Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Imperial Valley Arah X (Timur-Barat)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0227	0,0069	0,0264	0,0092	0,0250	0,0091
Lantai 3	7,00	0,0372	0,0119	0,0441	0,0157	0,0418	0,0156
Lantai 4	10,50	0,0342	0,0117	0,0402	0,0143	0,0390	0,0150
Lantai 5	14,00	0,0258	0,0092	0,0283	0,0100	0,0349	0,0117
Lantai 6	17,50	0,0157	0,0059	0,0174	0,0057	0,0241	0,0072

**Tabel 10.** Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Imperial Valley Arah Y (Utara-Selatan)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0065	0,0205	0,0134	0,0256	0,0185	0,0317
Lantai 3	7,00	0,0112	0,0358	0,0223	0,0427	0,0306	0,0540
Lantai 4	10,50	0,0108	0,0348	0,0208	0,0402	0,0283	0,0512
Lantai 5	14,00	0,0081	0,0263	0,0152	0,0300	0,0237	0,0399
Lantai 6	17,50	0,0050	0,0187	0,0090	0,0192	0,0152	0,0245

Grafik perbandingan simpangan antar lantai akibat gempa Imperial Valley pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Gambar 6.



(a) Arah X (Timur-Barat)

(b) Arah Y (Utara-Selatan)

**Gambar 6.** Grafik Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Imperial Valley

Dari grafik diatas menunjukan bahwa simpangan antar lantai yang terjadi pada bangunan *setback* dan *nonsetback* telah memenuhi syarat simpangan antar lantai pada SNI 1726:2012.

3.6. Perbandingan Simpangan Antar Lantai Akibat Kobe

Perbandingan simpangan antar lantai akibat gempa Kobe pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

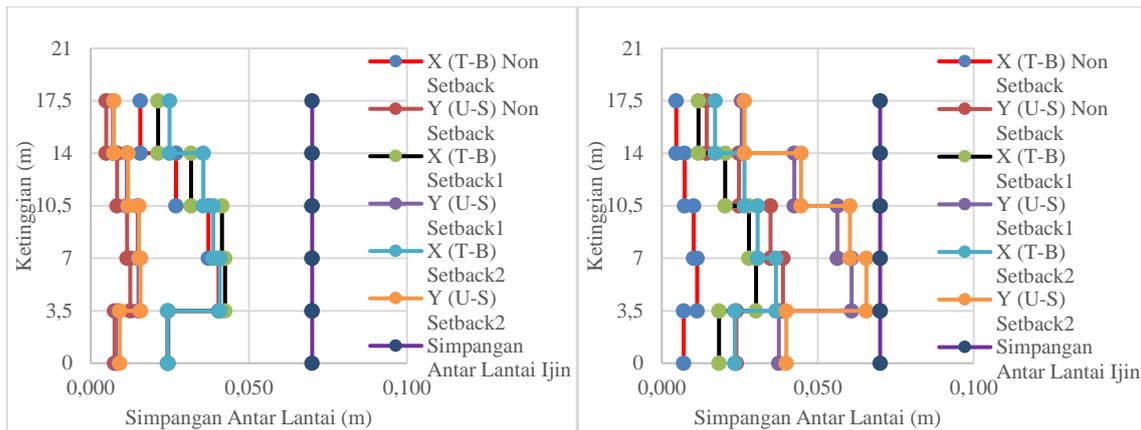
**Tabel 11.** Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Kobe Arah X (Timur-Barat)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0700	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0075	0,0700	0,0243	0,0086	0,0243	0,0091
Lantai 3	7,00	0,0125	0,0700	0,0425	0,0151	0,0408	0,0157
Lantai 4	10,50	0,0115	0,0700	0,0414	0,0148	0,0387	0,0152
Lantai 5	14,00	0,0083	0,0700	0,0317	0,0114	0,0355	0,0118
Lantai 6	17,50	0,0049	0,0700	0,0213	0,0070	0,0249	0,0073

**Tabel 12.** Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Kobe Arah Y (Utara-Selatan)

Lantai	Ketinggian (m)	Non Setback		Setback1		Setback2	
		$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)
Lantai 1	0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Lantai 2	3,50	0,0070	0,0239	0,0183	0,0375	0,0234	0,0399
Lantai 3	7,00	0,0113	0,0388	0,0302	0,0609	0,0366	0,0656
Lantai 4	10,50	0,0102	0,0349	0,0279	0,0563	0,0307	0,0604
Lantai 5	14,00	0,0073	0,0247	0,0203	0,0425	0,0265	0,0446
Lantai 6	17,50	0,0046	0,0144	0,0118	0,0256	0,0171	0,0265

Grafik perbandingan simpangan antar lantai akibat gempa Kobe pada bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Gambar 7.



(a) Arah X (Timur-Barat)

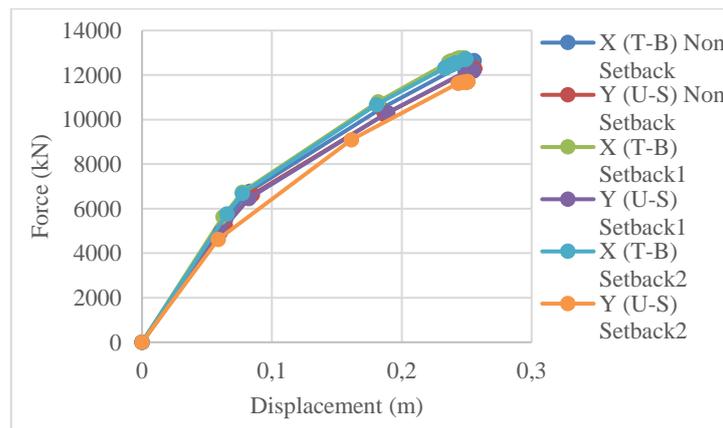
(b) Arah Y (Utara-Selatan)

**Gambar 7.** Grafik Simpangan Antar Lantai Akibat Gempa Kobe

Dari grafik diatas menunjukan bahwa simpangan antar lantai yang terjadi pada bangunan *setback* dan *nonsetback* telah memenuhi syarat simpangan antar lantai pada SNI 1726:2012.

3.7. *Perbandingan Kurva Kapasitas untuk Bangunan Non Setback dan Setback*

Perbandingan kurva kapasitas untuk bangunan *non setback*, *setback1* dan *setback2* dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Kurva Kapasitas

Persentase perbedaan kurva kapasitas bangunan *non setback* dan *setback* dapat di lihat pada Tabel 13.

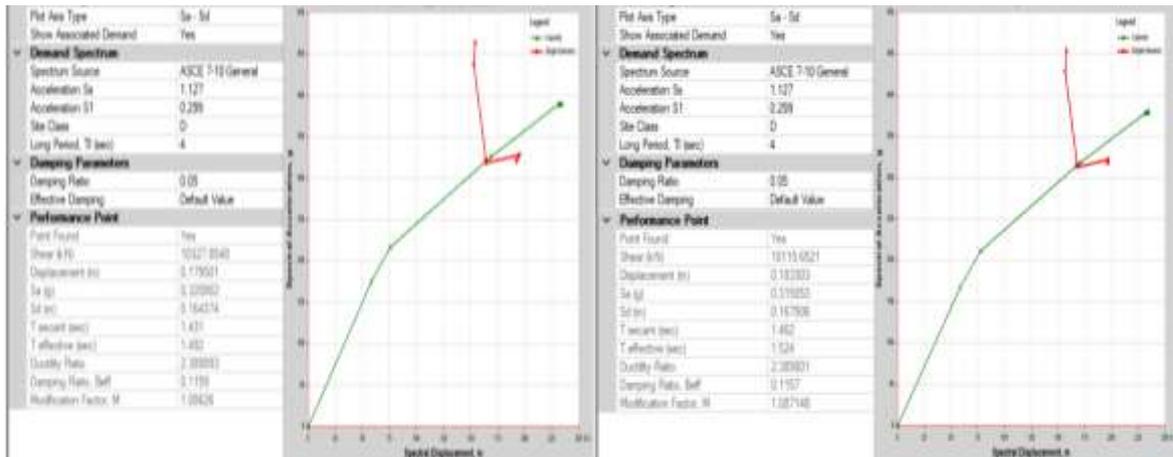
**Tabel 13.** Persentase Perbedaan Kurva Kapasitas *Non Setback* Dan *Setback*

Arah	<i>Setback1</i> (%)	<i>Setback2</i> (%)
X (Timur-Barat)	1,07	0,63
Y (Utara-Selatan)	-0,81	-4,79

Kapasitas penahan gempa lateral terbesar adalah bangunan *setback* satu lantai pada arah x (timur-barat), karena massa struktur yang lebih sedikit akibat perubahan geometri bangunan, sedangkan kekuatan penahan gaya lateral yang hampir sama dengan bangunan *non setback*. Pada arah y (utara-selatan) kapasitas penahan gempa terbesar adalah bangunan *non setback* karena penahan gaya lateral yang lebih banyak dibandingkan dengan bangunan *setback*. Meskipun demikian, kapasitas penahan gempa lateral dari bangunan *non setback* dan *setback* tidak berbeda jauh.

3.8. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Non Setback

Hasil spektrum kapasitas untuk bangunan non setback dapat di lihat pada Gambar 9.



(a) Arah x-x (Arah Bentang Terpanjang)

(b) Arah y-y (Arah Bentang Terpendek)

**Gambar 9.** Spektrum Kapasitas Bangunan Non Setback

- Drift Arah x-x (bentang terpanjang)

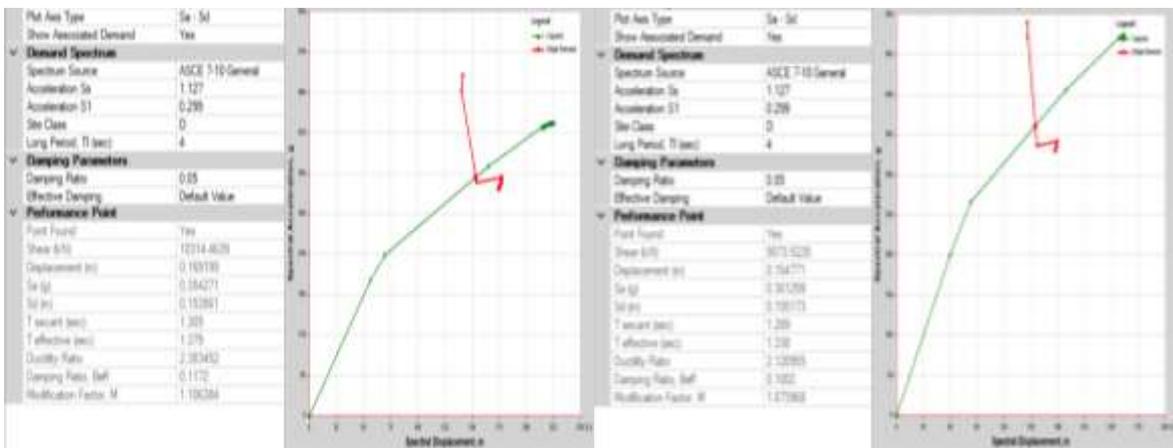
$$\begin{aligned}
 \text{Drift}_{x-x} &= \frac{\text{Displacement Arah } x-x}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{0,1795}{17,50} \\
 &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy}
 \end{aligned}$$

- Drift Arah y-y (bentang terpendek)

$$\begin{aligned}
 \text{Drift}_{y-y} &= \frac{\text{Displacement Arah } y-y}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{0,1833}{17,50} \\
 &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy}
 \end{aligned}$$

3.9. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Setback I

Hasil spektrum kapasitas untuk bangunan setback I dapat di lihat pada Gambar 10.



(a) Arah x-x (Arah Bentang Terpanjang, Terdapat Setback)

(b) Arah y-y (Arah Bentang Terpendek, Tanpa Setback)

**Gambar 10.** Spektrum Kapasitas Bangunan Setback

- Drift Arah x-x (bentang terpanjang, terdapat setback)

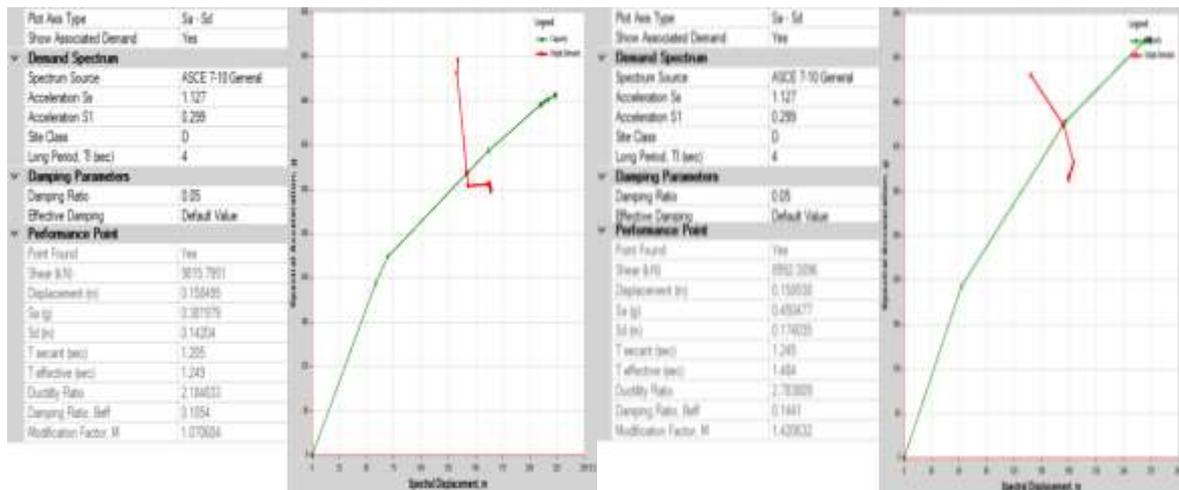
$$\begin{aligned}
 \text{Drift}_{x-x} &= \frac{\text{Displacement Arah } x-x}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{0,1691}{17,50} \\
 &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy}
 \end{aligned}$$

- Drift Arah y-y (bentang terpendek, tanpa setback)

$$\begin{aligned}
 \text{Drift}_{y-y} &= \frac{\text{Displacement Arah } y-y}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{0,1547}{17,50} \\
 &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy}
 \end{aligned}$$

3.10. Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Setback2

Hasil spektrum kapasitas untuk bangunan setback2 dapat di lihat pada Gambar 11.



(a) Arah x-x (Arah Bentang Terpanjang, Terdapat Setback)

(b) Arah y-y (Arah Bentang Terpendek,, Tanpa Setback)

**Gambar 11.** Spektrum Kapasitas Bangunan Setback

- *Drift* Arah x-x (bentang terpanjang, terdapat setback)
- *Drift* Arah y-y (bentang terpendek, tanpa setback)

$$\begin{aligned}
 \text{Drift}_{x-x} &= \frac{\text{Displacement Arah x-x}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{0,1584}{17,50} \\
 &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Drift}_{y-y} &= \frac{\text{Displacement Arah y-y}}{\text{Tinggi total bangunan}} \\
 &= \frac{0,1589}{17,50} \\
 &= 0,01 \dots \text{Immediate Occupancy}
 \end{aligned}$$

3.11. Perbandingan Kinerja Struktur

Perbandingan kinerja struktur pada model bangunan non setback, setback1, dan setback2 dapat di lihat pada Tabel 14.

**Tabel 14.** Perbandingan Kinerja Struktur

Model	Jenis Gempa	Displacement Lt Atap	Drift	Performance Level
<i>Non Setback</i>	<i>Pusover X</i> (Timur-Barat)	0,1795	0,010	IO
	<i>Pushover Y</i> (Utara-Selatan)	0,1833	0,010	IO
	Chichi X (Timur-Barat)	0,1290	0,007	IO
	Chichi Y (Utara-Selatan)	0,1597	0,009	IO
	Imperial Valley X (Timur-Barat)	0,1356	0,008	IO
	Imperial Valley Y (Utara-Selatan)	0,2014	0,012	DC
	Kobe X (Timur-Barat)	0,1564	0,009	IO
	Kobe Y (Utara-Selatan)	0,1367	0,008	IO
<i>Setback1</i>	<i>Pusover X</i> (Timur-Barat)	0,1691	0,010	IO
	<i>Pushover Y</i> (Utara-Selatan)	0,1547	0,009	IO
	Chichi X (Timur-Barat)	0,1415	0,008	IO
	Chichi Y (Utara-Selatan)	0,2033	0,012	DC
	Imperial Valley X (Timur-Barat)	0,1564	0,009	IO
	Imperial Valley Y (Utara-Selatan)	0,1577	0,009	IO
	Kobe X (Timur-Barat)	0,1612	0,009	IO
	Kobe Y (Utara-Selatan)	0,2227	0,013	DC

<i>Setback2</i>	<i>Pusover X</i> (Timur-Barat)	0,1584	0,009	IO
	<i>Pushover Y</i> (Utara-Selatan)	0,1589	0,009	IO
	<i>Chichi X</i> (Timur-Barat)	0,1861	0,011	DC
	<i>Chichi Y</i> (Utara-Selatan)	0,2268	0,013	DC
	<i>Imperial Valley X</i> (Timur-Barat)	0,1649	0,009	IO
	<i>Imperial Valley Y</i> (Utara-Selatan)	0,2014	0,012	DC
	<i>Kobe X</i> (Timur-Barat)	0,1643	0,009	IO
	<i>Kobe Y</i> (Utara-Selatan)	0,2370	0,014	DC

#### 4. Kesimpulan

Kapasitas penahan gempa lateral terbesar adalah bangunan *setback* satu lantai pada arah x (timur-barat), karena massa struktur yang lebih sedikit akibat perubahan geometri bangunan, sedangkan kekuatan penahan gaya lateral yang hampir sama dengan bangunan *non setback*. Pada arah y (utara-selatan) kapasitas penahan gempa terbesar adalah bangunan *non setback* karena penahan gaya lateral yang lebih banyak dibandingkan dengan bangunan *setback*. Meskipun demikian, kapasitas penahan gempa lateral dari bangunan *non setback* dan *setback* tidak berbeda jauh, dengan perbedaan terbesar pada masing-masing arah adalah 1,07% untuk arah x (timur-barat) dan 4,79% untuk arah y (utara-selatan). Tingkat kinerja yang didapatkan dari hasil analisis *pushover* adalah *immediate occupancy* untuk bangunan *non setback* dan *setback*, sedangkan hasil analisis *time history* terdapat variasi tingkat kinerja dari *immediate occupancy* sampai *damage control*.

#### Daftar Pustaka

- Anggen, Wandrianto S, Agus Setiya Budi, dan Purnawan Gunawan. 2014. "Analisis Dinamik Time History Menggunakan Etabs ( Studi Kasus : Hotel Di Daerah Karanganyar )." (September): 313–20.
- Applied Technology Council-40. 1996. *1 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California: Seismic Safety Commission.
- Badan Standarisasi Nasional. 2012. *SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Efrida, Rizki. 2018. "Pengaruh Setback Pada Bangunan Dengan Soft Story Terhadap Kinerja Struktur Akibat Beban Gempa." *Educational Building* 4(1): 62–69.
- Pacific Earthquake Engineering Research Center. 2021. "PEER Ground Motion Database." <https://ngawest2.berkeley.edu/> (Maret 7, 2021).
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman. 2011. "Desain Spektra Indonesia." [http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/](http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/) (Maret 1, 2021).
- Tavio, dan Wijaya Usman. 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*. ke-2. Yogyakarta: Andi.
- Tjokrodimuljo, Kardiyono. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM.

## ***Studi Penggunaan Balok Lintel Pada Bangunan Gedung Infilled Frame 2 Lantai Menggunakan Sap2000***

*Study Of The Use Of Lintel Beams In 2 Stories Infilled Frame Building By Using Sap2000*

**Petrus Tobi Tukan<sup>1</sup>, Partogi H. Simatupang<sup>2</sup>, Elia Hunggurami<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

---

**Article info:**

Kata kunci:

Balok Lintel, Bangunan Gedung  
*Infilled Frame*, SAP2000

Keywords:

Lintel Beams, Infilled Frame Buildings,  
SAP2000

**Article history:**

Received: 28-07-2021

Accepted: 07-08-2021

\*Koresponden email:

[obbytukan96@gmail.com](mailto:obbytukan96@gmail.com)

[simatupangpartogi@yahoo.com](mailto:simatupangpartogi@yahoo.com)

**Abstrak**

Pembangunan gedung bertingkat 2 lantai atau yang biasa disebut dengan gedung 2 lantai saat ini sudah sangat populer di Indonesia. Jenis dan tipe dari teknologi gedung bertingkat yang dikembangkan di dunia konstruksi juga cukup beragam, perkembangan ini juga tidak terlepas dariantisipasi dalam keadaan-keadaan pembebanan yang pun beragam. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian tentang penggunaan balok lintel pada bangunan gedung *infilled frame* 2 lantai. Analisis dilakukan dengan menggunakan *software* SAP2000. Model struktur dianalisis dengan membandingkan respon struktur antara gedung yang menggunakan sistem kerja balok lintel dan yang tidak menggunakan sistem kerja balok lintel, dimana beban yang diidealisasikan besarnya sama. Hasil dari analisis didapatkan perbandingan presentase nilai *base shear* antara bangunan gedung *infilled frame* 2 lantai yang menggunakan balok lintel dan tanpa balok lintel untuk arah x adalah 1,45% dan arah y adalah 1,13%, untuk presentase perbandingan nilai maksimum momen kolom adalah 0,30%, sedangkan untuk presentase perbandingan *drift lateral* arah x adalah 0,62% dan arah y adalah 0,09%.

**Abstract**

The two stories building construction or which is commonly called the two stories building these days is very popular in Indonesia. The type of multistories building technology that develop in the world of construction is very diverse, this development is can not be separated from the anticipation of the various of loading conditions. Based on that facts, the research of the use of lintel beams in 2 stories infilled frame buildings is conducted. The analysis can be done by using SAP2000 software. The structure model analyzed by comparing the structure responses between the building that use the lintel beams system and the other one is the building that don't use that system, where as the idealized loading is same. The result of the analysis obtained the percentage comparison on base shear value between 2 stories infilled frame building that use lintel beams system and the building that doesn't use the lintel beams system for x axis is 1,45% and y axis is 1,13% , and for the percentage comparison on maximum column moment value is 0,30% , while the percentage comparison on drift lateral value for x axis is 0,62% and y axis is 0,09%

---

**Kutipan:** Diisi oleh Editor

## 1. Pendahuluan

Pembangunan gedung bertingkat 2 lantai atau yang biasa disebut dengan gedung 2 lantai saat ini sudah sangat populer di Indonesia. Jenis dan tipe dari teknologi gedung bertingkat yang dikembangkan di dunia konstruksi juga cukup beragam, perkembangan ini juga tidak terlepas dariantisipasi dalam keadaan-keadaan pembebanan yang juga beragam. Salah satu beban yang cukup populer dalam dunia konstruksi adalah beban gempa, Indonesia sendiri memiliki 6 zona gempa yang berbeda berdasarkan kondisi besarnya skala gempa yang mungkin terjadi (Haryanto, 2011). Dalam salah satu teknologi bangunan bertingkat yakni *infilled frame* pun tidak terlepas dari adanya beban gempa yang mungkin akan membebani struktur, dalam *infilled frame* pun terkadang ditemui balok lintel yang mana balok tersebut adalah balok yang biasanya berada diatas kusen pintu maupun jendela. Balok lintel pada *infilled frame* inilah yang akan penulis tinjau dalam tulisan ini, yang akan dibantu dengan menggunakan aplikasi SAP2000 yang merupakan aplikasi pembantu penghitung kekuatan dan kelayakan struktur.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1. Balok Lintel

Balok lintel atau balok latei adalah balok yang terletak di atas kusen pintu atau jendela. Balok ini berfungsi menahan beban dari bagian atasnya agar beban tidak langsung diterima kusen pintu atau jendela. Dengan adanya konstruksi balok latei maka kusen pintu atau jendela akan tetap kokoh dan kuat serta tidak melengkung. Baik untuk kusen pintu atau jendela yang terbuat dari kayu ataupun kusen yang terbuat dari aluminium (Fepy Supriani, 2011).

### 2.2. Beban-Beban pada Struktur Gedung

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian - penyelesaian, mesin – mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung itu (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983). Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati (SNI 1727, 2013). Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983). Gempa bumi adalah peristiwa alam berupa getaran atau gerakan bergelombang pada kulit bumi yang ditimbulkan oleh tenaga dari dalam (Kamus Besar Bahasa Indonesia). Beban gempa adalah beban yang bekerja pada struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik itu gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut.

### 2.3. Kombinasi Pembebanan

Menurut Badan Standarisasi Nasional tahun 2013, dijelaskan bahwa struktur, komponen dan pondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi tersebut:

$$1,4D \quad (1)$$

Apabila hanya beban mati, beban hidup dan beban hidup atap atau beban salju atau beban hujan yang masuk dalam perhitungan :

$$1,2D + 1,6L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (2)$$

Apabila hanya beban mati, beban hidup atap atau beban salju atau beban hujan dan beban hidup atau beban angin yang masuk dalam perhitungan :

$$1,2D + 1,6 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W) \quad (3)$$

Apabila hanya beban mati, beban angin, beban hidup dan beban hidup atap atau beban salju atau beban hujan yang masuk dalam perhitungan :

$$1,2D + 1,0W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) \quad (4)$$

Apabila hanya beban mati, beban gempa, beban hidup dan beban salju yang masuk dalam perhitungan :

$$1,2D + 1,0E + L + 0,2S \quad (5)$$

Apabila hanya beban mati dan beban angin yang masuk dalam perhitungan :

$$0,9D + 1,0W \quad (6)$$

Apabila hanya beban mati dan beban gempa yang masuk dalam perhitungan :

$$0,9D + 1,0E \quad (7)$$

Keterangan :

D : Beban Mati

L : Beban Hidup

$L_r$  : Beban Hidup Atap

S : Beban Salju

R : Beban Hujan

W : Beban Angin

E : Beban Gempa

#### 2.4 Simpangan Lateral

Besarnya simpangan horisontal (*drift*) harus dipertimbangkan sesuai dengan peraturan yang berlaku, yaitu untuk kinerja batas layan struktur dan kinerja batas ultimit. Simpangan struktur dapat dinyatakan dalam bentuk *Drift Indeks*.

*Drift Indeks* dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Drift Indeks} = \frac{\Delta}{h} \quad (8)$$

Keterangan :

$\Delta$  = besar defleksi maksimum yang terjadi (m)

h = ketinggian struktur portal (m)

#### 2.5 System Applicatin and Prodcct in Data Processing (SAP) 2000

Program SAP 2000 sebagai salah satu program rekayasa teknik sipil yang berbeda dengan program komputer pada umumnya. Program ini digunakan untuk analisis dan desain struktur menggunakan konsep metode elemen hingga yang didukung dengan analisis statis, dinamis, linear, maupun non linear (Computers and Structures, 1997). Setelah analisis selesai dilakukan dan didapat hasil yang benar selanjutnya dapat langsung dilakukan desain untuk memperoleh dimensi profil atau tulangan baja yang mencukupi. Analisis ulang dan redesain dapat dilakukan dengan mudah dengan SAP 2000. Model struktur pada SAP 2000 dapat diidealisasikan dalam berbagai macam elemen, antara lain *joint* (titik), *frame* (batang), *shell* (pelat), sampai pada elemen *solid*. Misalnya balok dan kolom pada bangunan bertingkat dimodelkan sebagai elemen *frame*, pelat jembatan atau dinding geser sebagai *shell*, tubuh bendung dibagi – bagi dalam pias – pias kecil elemen *solid*, dan lain – lain.

#### 2.6 Jenis Data

Data sekunder yang dipakai dalam penelitian ini diambil dari publikasi hasil penelitian para pakar di dunia teknik sipil, peraturan-peraturan yang berlaku, dan buku-buku terutama yang berhubungan dengan tema penelitian ini. Adapun literatur yang digunakan dalam perancangan penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726, 2012)
- Persyaratan Beton Struktur untuk Bangunan Gedung (SNI 2847, 2013)
- Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983)
- Data *respon spectral* yang diambil dari (Puskim PU, 2011)

#### 2.7. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan dengan menggunakan aplikasi SAP2000 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Membuat pemodelan struktur gedung
- Menginput mutu bahan dan dimensi penampang
- Menginput beban-beban yang terdiri dari beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, dan kombinasi pembebanan

d. Menganalisis struktur

**3. Hasil dan Pembahasan**

3.1. *Base Shear (Gaya Geser Dasar)* (Shendkar et al., 2020)

**Tabel 1.** Perhitungan *Base Shear* (Gaya Geser Dasar)

**TABLE: Base Reactions**

OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY
Text	Text	Text	KN	KN
EX	LinRespSpec	Max	359,648	112,017
EY	LinRespSpec	Max	117,277	348,221

Dari Tabel 4.1 dapat diketahui nilai maksimum untuk *base shear* (gaya geser dasar) arah x adalah sebesar 359,648 KN sedangkan gaya geser dasar untuk arah y adalah sebesar 348,221 KN.

3.2. *Momen Kolom*

**Tabel 2.** Rekapitulasi Momen Kolom Maksimum Pada Portal Melintang dan Memanjang

Arah	Portal	Frame	Momen Maksimum (kNm)
Melintang	1-1	84	99,58
	2-2	118	74,22
	3-3	150	77,30
	4-4	182	67,72
Memanjang	A-A	74	76,12
	B-B	76	78,12
	C-C	80	99,19
	D-D	84	99,58
	E-E	87	67,95
	F-F	185	63,60

Berdasarkan tabel di atas diperoleh momen kolom maksimum portal melintang dan memanjang terjadi pada frame 84 dengan nilai momen kolom sebesar 99,58 kNm.

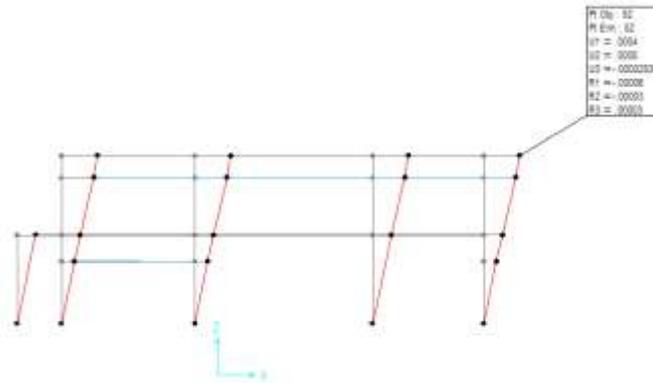
3.3. *Simpangan Lantai ( Drift Lateral)*(Kaputing et al., 2019) (Saiya et al., 2018)

3.3.1. *Portal 1-1*

**Tabel 3.** *Drift Lateral* Portal 1-1 Arah X dan Y Akibat Beban Kombinasi Terbesar

Lantai	Arah	Drift Lateral Maksimum (m)
Atap	x	0,000374
	y	0,000452
2	x	0,000214
	y	0,000213
1	x	0,000000
	y	0,000000

Dari tabel di atas didapatkan *drift lateral* maksimum akibat beban kombinasi untuk portal 1-1 arah x adalah 0,000374 m dan arah y adalah 0,000452 m. Diagram *drift lateral* akibat kombinasi beban terbesar pada portal 1-1 bangunan 2 lantai dengan balok lintel dapat dilihat pada gambar berikut.



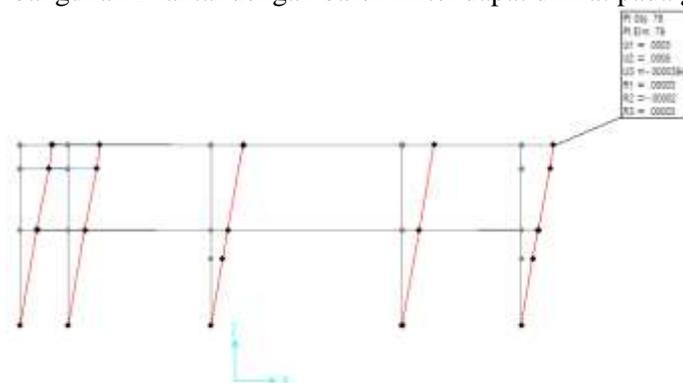
**Gambar 1.** Diagram *Drift Lateral* Portal 1-1 Bangunan 2 Lantai Dengan Balok Lintel

3.3.2. Portal 2-2

**Tabel 4.** *Drift Lateral* Portal 2-2 Arah X dan Y Akibat Beban Kombinasi Terbesar

Lantai	Arah	Drift Lateral Maksimum (m)
Atap	X	0,000285
	Y	0,000452
2	X	0,000157
	Y	0,000213
1	x	0,000000
	y	0,000000

Dari di atas didapatkan *drift lateral* maksimum akibat beban kombinasi untuk portal 2-2 arah x adalah 0,000285 m dan arah y adalah 0,000452 m. Diagram *drift lateral* akibat kombinasi beban terbesar pada portal 2-2 bangunan 2 lantai dengan balok lintel dapat dilihat pada gambar berikut.



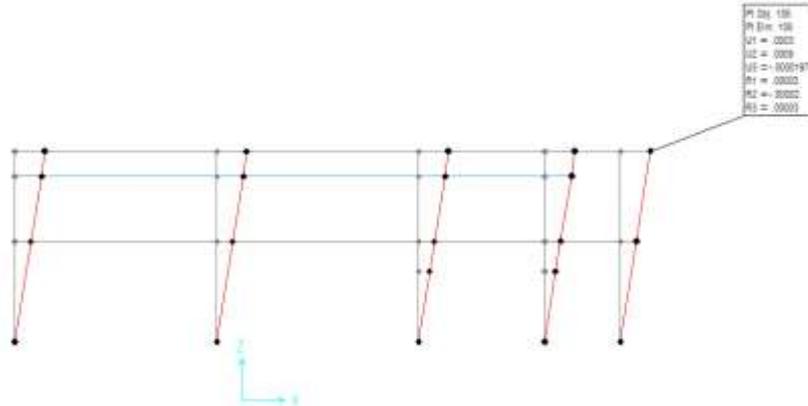
**Gambar 2.** Diagram *Drift Lateral* Portal 2-2 Bangunan 2 Lantai Dengan Balok Lintel

3.3.3. Portal 3-3

**Tabel 5.** *Drift Lateral* Portal 3-3 Arah X dan Y Akibat Beban Kombinasi Terbesar

Lantai	Arah	Drift Lateral Maksimum (m)
Atap	x	0,000329
	y	0,000533
2	x	0,000166
	y	0,000254
1	x	0,000000
	y	0,000000

Dari tabel di atas didapatkan *drift lateral* maksimum akibat beban kombinasi untuk portal 3-3 arah x adalah 0,000329 m dan arah y adalah 0,000533 m. Diagram *drift lateral* akibat kombinasi beban terbesar pada portal 3-3 bangunan 2 lantai dengan balok lintel dapat dilihat pada berikut.



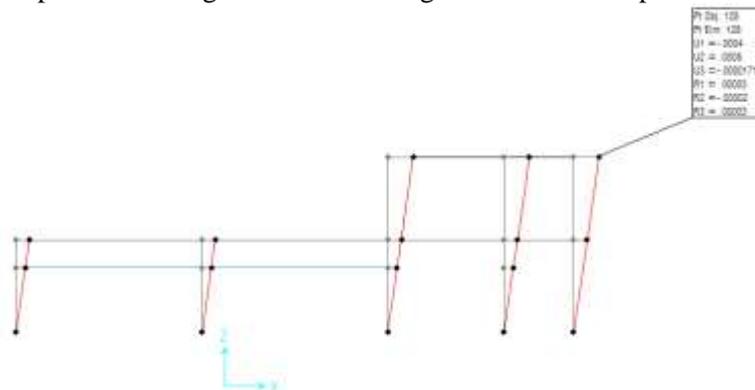
**Gambar 3.** Diagram *Drift Lateral* Portal 3-3 Bangunan 2 Lantai Dengan Balok Lintel

3.3.4. Portal 4-4

**Tabel 6.** *Drift Lateral* Portal 4-4 Arah X dan Y Akibat Beban Kombinasi Terbesar

Lantai	Arah	Drift Lateral Maksimum (m)
Atap	x	0,000401
	y	0,000533
2	x	0,000197
	y	0,000254
1	x	0,000000
	y	0,000000

Dari tabel di atas didapatkan *drift lateral* maksimum akibat beban kombinasi untuk portal 4-4 arah x adalah 0,000401 m dan arah y adalah 0,000533 m. Diagram *drift lateral* akibat kombinasi beban terbesar pada portal 4-4 bangunan 2 lantai dengan balok lintel dapat dilihat pada berikut.



**Gambar 4.** Diagram *Drift Lateral* Portal 4-4 Bangunan 2 Lantai Dengan Balok Lintel

3.4. Perbandingan Bangunan Dengan Balok Lintel dan Bangunan Tanpa Balok Lintel

3.4.1. Perbandingan Base Shear

**Tabel 7.** Perbandingan Bangunan Infilled Frame 2 Lantai Yang Menggunakan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

Bangunan	Arah	Base shear (KN)
Dengan Balok Lintel	x	359,648
	y	348,221
Tanpa Balok Lintel	x	349,359
	y	340,470

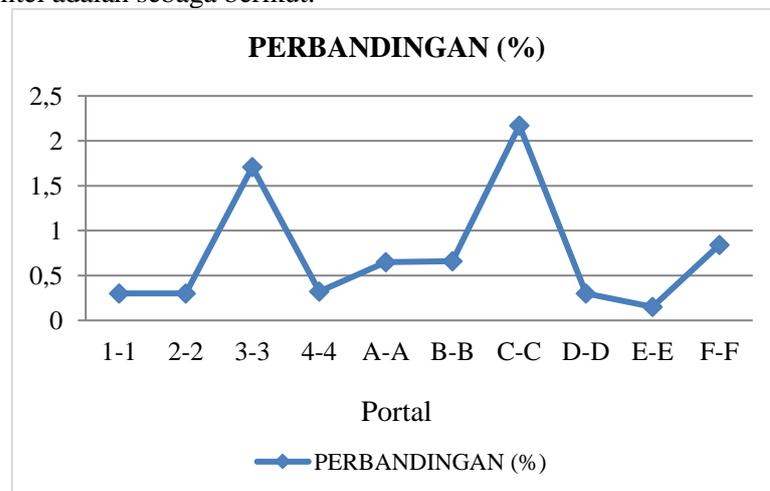
Dari tabel di atas dapat diketahui perbandingan *base shear* untuk bangunan *infilled frame 2* lantai yang menggunakan balok lintel untuk arah x adalah sebesar 359,648 KN dan tanpa balok lintel untuk arah x adalah sebesar 349,359 KN, sedangkan perbandingan *base shear* untuk bangunan *infilled frame 2* lantai yang menggunakan balok lintel untuk arah y adalah sebesar 348,221 KN dan tanpa balok lintel untuk arah y adalah sebesar 340,470 KN.

3.4.2. Perbandingan Momen Kolom

**Tabel 8.** Rekapitulasi Momen Kolom Maksimum Pada Portal Melintang dan Memanjang Untuk Bangunan *Infilled Frame 2* Lantai Tanpa Balok Lintel

Arah	Portal	Frame	Momen Maksimum (kNm)
Melintang	1-1	84	98,98
	2-2	118	73,77
	3-3	150	74,70
	4-4	182	68,16
Memanjang	A-A	74	75,13
	B-B	76	75,56
	C-C	80	94,97
	D-D	84	98,98
	E-E	87	68,16
	F-F	185	62,54

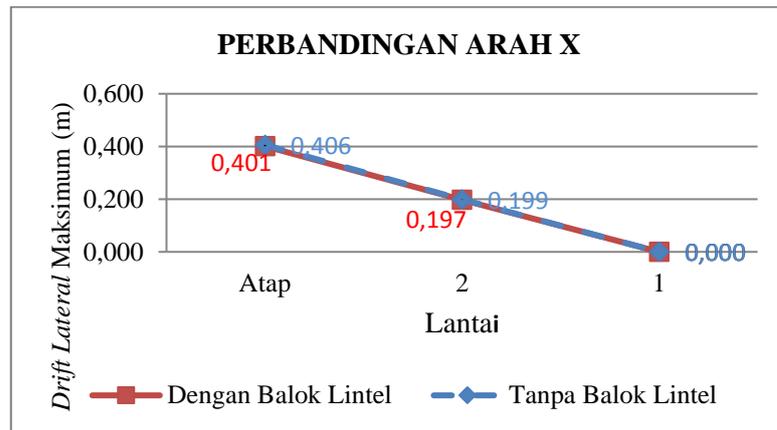
Berdasarkan tabel di atas diperoleh momen kolom maksimum portal melintang dan memanjang terjadi pada frame 84 dengan nilai momen kolom sebesar 98,98 kNm. Maka didapatkan perbandingan bangunan *infilled frame 2* lantai yang menggunakan balok lintel dan tanpa balok lintel adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Momen Kolom Maksimum Bangunan *Infilled Frame 2* Lantai Menggunakan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

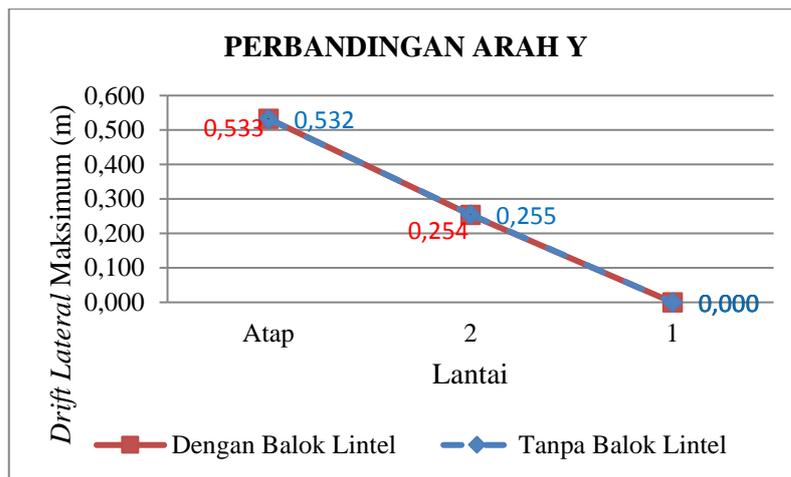
3.4.3. Perbandingan Drift Lateral

1. Portal 1-1



**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Nilai Maksimum *Drift Lateral* Arah X Portal 1-1 Bangunan *Infilled Frame* 2 Lantai Dengan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

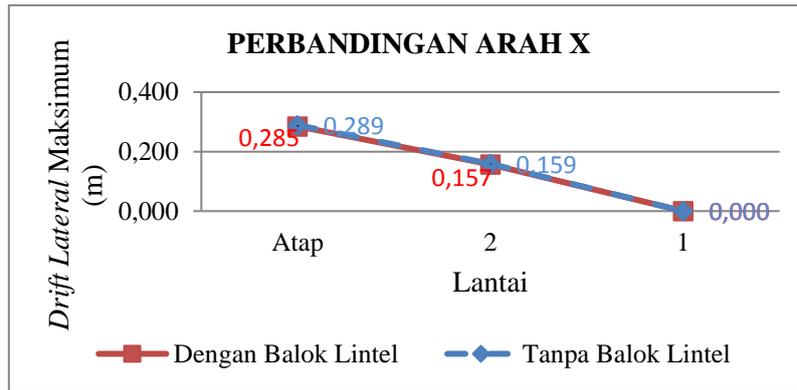
Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai maksimum *drift lateral* arah x portal 1-1 pada bangunan *infilled frame* 2 lantai dengan balok lintel adalah 0,3740 m sedangkan tanpa balok lintel adalah 0,379 m.



**Gambar 7.** Grafik Perbandingan Nilai Maksimum *Drift Lateral* Arah Y Portal 1-1 Bangunan *Infilled Frame* 2 Lantai Dengan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

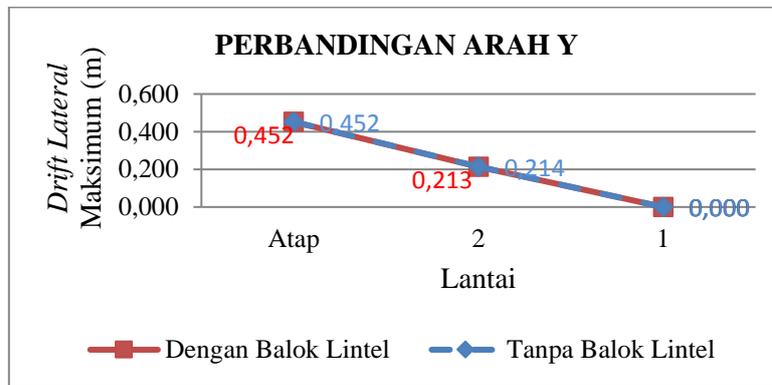
Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai maksimum *drift lateral* arah y portal 1-1 pada bangunan *infilled frame* 2 lantai dengan balok lintel adalah 0,452 m sedangkan tanpa balok lintel adalah 0,452 m.

2. Portal 2-2



**Gambar 8.** Grafik Perbandingan Nilai Maksimum *Drift Lateral* Arah X Portal 2-2 Bangunan *Infilled Frame 2* Lantai Dengan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

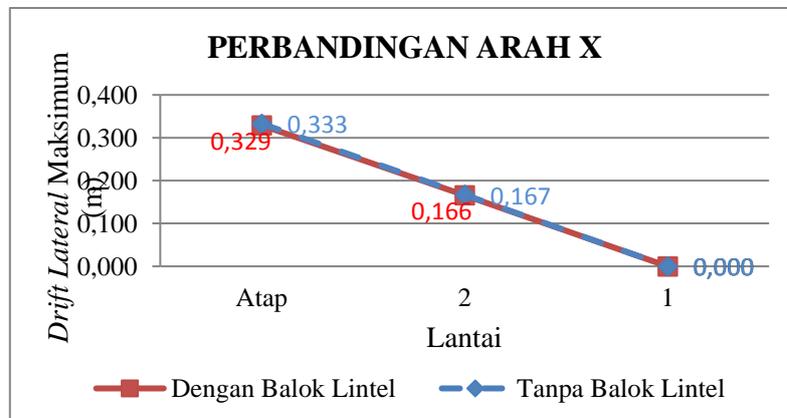
Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai maksimum *drift lateral* arah x portal 2-2 pada bangunan *infilled frame 2* lantai dengan balok lintel adalah 0,285 m sedangkan tanpa balok lintel adalah 0,289 m.



**Gambar 9.** Grafik Perbandingan Nilai Maksimum *Drift Lateral* Arah Y Portal 2-2 Bangunan *Infilled Frame 2* Lantai Dengan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

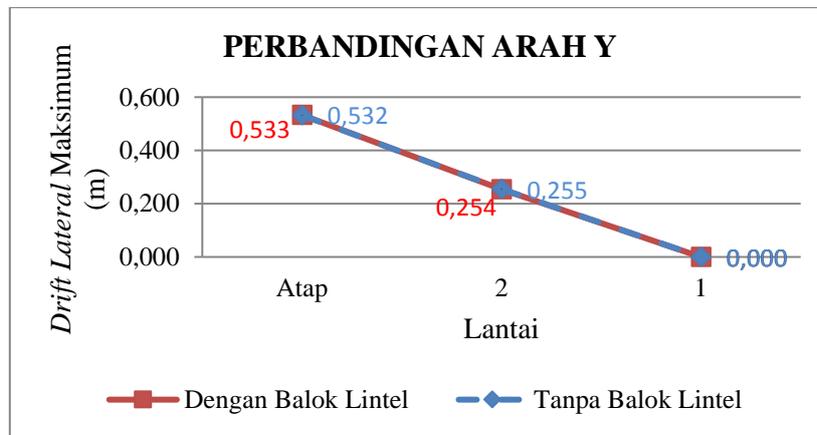
Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai maksimum *drift lateral* arah y portal 2-2 pada bangunan *infilled frame 2* lantai dengan balok lintel adalah 0,452 m sedangkan tanpa balok lintel adalah 0,452 m.

3. Portal 3-3



**Gambar 10.** Grafik Perbandingan Nilai Maksimum *Drift Lateral* Arah X Portal 3-3 Bangunan *Infilled Frame 2* Lantai Dengan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

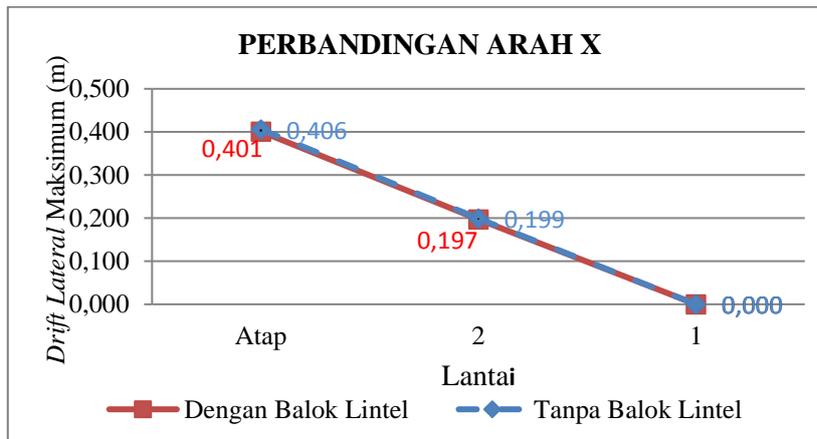
Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai maksimum *drift lateral* arah x portal 3-3 pada bangunan *infilled frame* 2 lantai dengan balok lintel adalah 0,329 m sedangkan tanpa balok lintel adalah 0,333 m.



**Gambar 11.** Grafik Perbandingan Nilai Maksimum *Drift Lateral* Arah Y Portal 3-3 Bangunan *Infilled Frame* 2 Lantai Dengan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

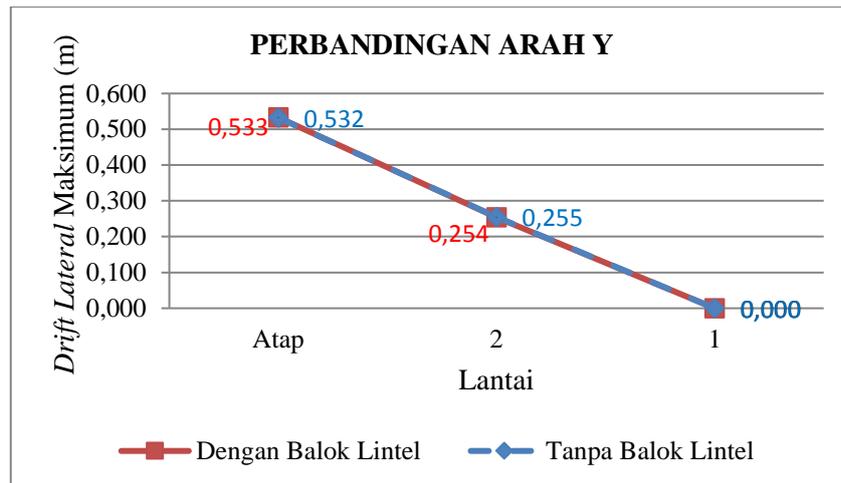
Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai maksimum *drift lateral* arah y portal 3-3 pada bangunan *infilled frame* 2 lantai dengan balok lintel adalah 0,533 m sedangkan tanpa balok lintel adalah 0,532 m.

4. Portal 4-4



**Gambar 11.** Grafik Perbandingan Nilai Maksimum *Drift Lateral* Arah X Portal 4-4 Bangunan *Infilled Frame* 2 Lantai Dengan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai maksimum *drift lateral* arah x portal 4-4 pada bangunan *infilled frame* 2 lantai dengan balok lintel adalah 0,401 m sedangkan tanpa balok lintel adalah 0,406 m.



**Gambar 12.** Grafik Perbandingan Nilai Maksimum *Drift Lateral* Arah Y Portal 4-4 Bangunan *Infilled Frame* 2 Lantai Dengan Balok Lintel dan Tanpa Balok Lintel

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai maksimum *drift lateral* arah y portal 4-4 pada bangunan *infilled frame* 2 lantai dengan balok lintel adalah 0,533 m sedangkan tanpa balok lintel adalah 0,532 m.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : Penggunaan balok lintel pada bangunan gedung *infilled frame* 2 lantai diperoleh nilai maksimum *base shear* arah x adalah 344,088 kN sedangkan arah y adalah 363,001 kN, nilai maksimum momen kolom adalah 99,58 kNm dan nilai maksimum *drift lateral* arah x adalah 0,000401 dan arah y adalah 0,000533, dan untuk bangunan gedung *infilled frame* 2 lantai tanpa menggunakan balok lintel diperoleh nilai maksimum *base shear* arah x adalah 336,425 dan arah y adalah 354,539, nilai maksimum momen kolom adalah 98,98 dan nilai maksimum *drift lateral* arah x adalah 0,000406 dan arah y adalah 0,000532. Sehingga didapatkan nilai presentase perbedaan *base shear* arah x adalah 1,45 % dan arah y adalah 1,13%, nilai presentase perbedaan momen kolom maksimum adalah 0.30 %, sedangkan nilai presentase perbedaan *drift lateral* arah x adalah 0.62 % dan arah y adalah 0.09 %.

##### 4.1. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

Bagi mahasiswa yang ingin melakukan atau melanjutkan penelitian serupa diharapkan untuk memperbaharui pembebanan gempa sesuai dengan SNI yang terbaru jika sudah ada RSNI terbaru, peneliti selanjutnya dapat menggunakan struktur bangunan gedung bertingkat lebih dari 2 lantai, dan peneliti selanjutnya dapat menggunakan struktur bangunan gedung real atau bangunan gedung yang sudah beroperasi.

##### Daftar Pustaka

- Computers and Structures, I. (1997). *SAP 2000 Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures, Tutorial Manual* SAP 2000 Integrated Finite Elements Analysis and Design of Structures, Tutorial Manual. University Venue Berkeley, California 94704 USA.
- Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Fepy Supriani. (2011). Analisis Tipikal Rumah di Kota Bengkulu dan Kesesuaian Rumah Tahan Gempa. *Inersia*, 2(2), 19–26.
- Haryanto, A. (2011). Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respon Spektrum. *Teknik Sipil Universitas*

*Sebelas Maret Surakarta.*

Kaputing, A. R. P., Simatupang, P. H., & Kumalawati, A. (2019). Respon Struktur Bangunan Beraturan 2 Dimensi Menggunakan Time History Gempa El-Centro. *Teknik Sipil, VIII*(1), 29–42.

Puskim PU. (2011). *Design Spectral*. Puskim PU. <http://puskim.pu.go.id>

Saiya, M. V., Intan, S., & V. Johannes. (2018). Perbandingan Respon Struktur Beraturan Dan Ketidakberaturan Horizontal Sudut Dalam akibat Gempa Dengan Menggunakan Analisis Statik Ekuivalen Dan Time History. *Manumata, 4*(2), 64–72.

Shendkar, M. R., Mandal, S., & Kumar, R. P. (2020). Effect of lintel beam on response reduction factor of RC-infilled frames. *CURRENT SCIENCE, 118*(7), 1077–1086.

SNI 1726. (2012). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. *SNI*.

SNI 1727. (2013). Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. *SNI*.

SNI 2847. (2013). Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. *SNI*.

## ***Debit Puncak Harian Tahunan Metode HSS Nakayasu dan Debit Terukur di DAS Muke Kabupaten TTS***

*Annual Peak Daily Discharge with Method of Nakayasu's Synthetic Unit Hydrographs and Measurable Discharge in Muke River Basin of South Central Timor Regency*

**Monica T. R. Utung<sup>1</sup>, Judi K Nasjono<sup>2</sup>, Elia Hunggurami<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

---

### **Article info:**

Kata kunci:

DAS Muke, debit puncak, hidrograf satuan sintetik

Keywords:

Muke watershed, peak discharge, synthetic unit hydrographs

### **Article history:**

Received: 03-08-2021

Accepted: 08-08-2021

\*Koresponden email:

trinandamonika@gmail.com

judi.nasjono@Staf.undana.ac.id

### **Abstrak**

Sungai Muke rawan terhadap banjir. Banjir terjadi disebabkan karena perubahan tata guna lahan akibat sistem perladangan yang berpindah-pindah. Pada sungai Muke, Perlu dilakukan analisis dalam pendugaan debit untuk mengetahui potensi air pada sungai Muke. Pada penelitian ini penulis melakukan perhitungan debit puncak menggunakan model perhitungan terukur dan terhitung. Perhitungan terukur menggunakan kurva debit dan terhitung dengan menggunakan metode hidrograf satuan sintetik yaitu Nakayasu. Hasil analisis untuk perhitungan debit pada sungai Muke menggunakan kurva debit diperoleh debit puncak terjadi pada tahun 2012 dengan  $Q_{maks} = 99,41 \text{ m}^3/\text{dtk}$  dan debit terkecil terjadi pada tahun 2010 dengan  $Q_{min} = 13,19 \text{ m}^3/\text{dtk}$ , hasil analisis untuk perhitungan debit pada sungai Muke menggunakan metode Nakayasu diperoleh debit puncak terjadi pada tahun 2010 dengan  $Q_{maks} = 184,74 \text{ m}^3/\text{dtk}$  dan debit terkecil terjadi pada tahun 2014 dengan  $Q_{min} = 94,33 \text{ m}^3/\text{dtk}$ .

### **Abstract**

*The Muke River is prone to flooding. flooding is caused by conversion in land use due to the migrating plantation system. In the Muke river, it is necessary to analyze the discharge estimation to determine the potential of water in the Muke river. In this study, the authors performed peak discharge calculation using measured calculation model and calculate. Measured calculations using discharge's curve and calculated by using hydrographic method of synthetic unit namely Nakayasu. The results of the analysis for the calculation of discharge on the Muke river using the discharge curve obtained that the peak discharge occurred in 2012 with  $Q_{max} = 99.41 \text{ m}^3/\text{s}$  and the smallest discharge occurred in 2010 with  $Q_{min} = 13.19 \text{ m}^3/\text{s}$ , the results of the analysis for the calculation of discharge on the Muke river using the Nakayasu method obtained peak discharge occurred in 2010 with  $Q_{max} = 184.74 \text{ m}^3/\text{s}$  and the smallest discharge occurred in 2014 with  $Q_{min} = 94.33 \text{ m}^3/\text{s}$ .*

---

**Kutipan:** Diisi oleh Editor

### **Pendahuluan**

DAS Muke ialah salah satu DAS yang terletak di pulau Timor Kecamatan Amanuban Selatan, Kabupaten TTS Propinsi NTT. DAS Muke mempunyai luas DAS 426,66 km<sup>2</sup> dengan panjang sungai induk 58,25 km. Sumber daya air yang ada dari DAS Muke dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat sekitar, baik digunakan untuk irigasi dan juga kebutuhan sehari-hari. Sungai Muke rawan terhadap banjir. Banjir hampir setiap tahun terjadi di sungai Muke, selain internal akibat alam, juga disebabkan karena perubahan tata guna lahan akibat sistem perladangan yang berpindah-pindah. Kondisi tersebut menimbulkan kerugian bagi masyarakat. Dalam penelitian ini akan digunakan model HSS Nakayasu dan debit pengukuran untuk perhitungan debit puncak yang berkaitan dengan pemanfaatan sumber daya air di wilayah daerah Muke. Berdasarkan uraian diatas, penulis merasa tertarik untuk melakukan penelitian dengan mengangkat topik penelitian berjudul “Debit Puncak Harian Tahunan Metode HSS Nakayasu dan Debit Terukur di DAS Muke Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS)”.

## Bahan dan Metode

### 2.1 Intensitas Curah Hujan (I)

Intensitas curah hujan didefinisikan sebagai ketinggian curah hujan yang terjadi pada kurun waktu dimana air hujan berkonsentrasi. Analisa curah hujan diproses berdasarkan data curah hujan yang telah terjadi pada tahun-tahun sebelumnya. Perhitungan curah hujan dipergunakan beberapa rumus empiris dalam hidrologi untuk menghitung intensitas curah hujan digunakan metode menurut Mononobe (Triatmodjo, 2008) yaitu :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \quad (1)$$

Keterangan :

I : Intensitas curah hujan untuk lamanya hujan t (mm/jam)

R<sub>24</sub> : Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

t<sub>c</sub> : Lamanya curah hujan (jam)

### 2.2 Koefisien Limpasan (C)

Nilai C untuk setiap kelas kelerengan dan penutupan lahan tersebut dipetakan dengan bantuan ArcGIS 10.3. Dengan demikian akan diperoleh dua peta nilai C, yaitu C berdasar kelas lereng dan penutupan lahan. Kedua peta tersebut kemudian ditumpang-susunkan (overlay). Untuk mengetahui kontribusi masing-masing unit lahan terhadap nilai C DAS Muke, maka pada setiap unit lahan dihitung nilai C tertimbang. Dengan GIS, C tertimbang masing-masing unit lahan dihitung menggunakan rumus (Wahyuningrum Nining, 2007):

$$C_{\text{tertimbang}} = \frac{C_{\text{rata}} * A}{A} \quad (2)$$

$$C_{\text{rata}} = \frac{C_{\text{slope}} + C_{\text{cover}}}{2} \quad (3)$$

Keterangan :

C<sub>tertimbang</sub> : Koefisien aliran permukaan tertimbang

C<sub>rata</sub> : Koefisien aliran permukaan rata-rata dari tiga kelas

C<sub>slope</sub> : Koefisien aliran permukaan berdasar kelas kelerengan

C<sub>cover</sub> : Koefisien aliran permukaan berdasar kelas penutupan lahan

a : luas unit lahan

A : luas DAS

### 2.3 Hidrograf Satuan Sintetik (HSS)

#### 2.3.1 HSS Nakayasu

Nakayasu (1950) telah menyelidiki hidrograf satuan di Jepang dan memberikan seperangkat persamaan untuk membentuk suatu hidrograf satuan sebagai berikut (Kamiana, 2012):

$$Q_p = \frac{C \times A \times R_0}{3,6 (0,3T_p + T_{0,3})} \quad (4)$$

$$T_p = t_g + 0,8 t_r \tag{5}$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \text{ untuk } L > 15 \text{ km} \tag{6}$$

$$t_g = 0,21 \times L^{0,7} \text{ untuk } L < 15 \text{ km} \tag{7}$$

nilai  $t_r$  diperoleh dari :

$$t_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g \tag{8}$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g \tag{9}$$

Keterangan :

$Q_p$  : Debit puncak banjir (m<sup>3</sup>/det)

$R_o$  : Hujan satuan (mm),tetapan

$C$  : koefisien pengaliran

$A$  : luas daerah tangkapan sampai outlet

$T_p$  : tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$  : waktu yang diperlukan penurunan debit, dari debit puncak sampai 30% dari debit puncak (jam)

$t_g$  : Waktu konsentrasi (jam)

$t_r$  : Waktu efektif (jam)

$\alpha$  : Koefisien, nilainya antara 1,5 – 3

$L$  : Panjang Sungai (km)

Untuk  $\alpha$  : 2 (daerah pengaliran biasa)

$\alpha$  : 1,5 (bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun cepat)

$\alpha$  : 3 (bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat)

1) Bagian lengkung naik (*rising limb*), mempunyai persamaan:

- ( $0 < t < T_p$ )

$$Q_t = Q_p \frac{t^{2,4}}{T_p} \tag{10}$$

Keterangan :

$Q_t$  : debit limpasan sebelum sampai puncak banjir (jam).

$t$  : Waktu (jam).

2) Bagian lengkung turun (*decreasing limb*) hidrograf satuan mempunyai persamaan:

- Jika  $T_p < t < (T_p + T_{0,3})$

$$Q = Q_p \times 0,3 \frac{t - T_p}{T_{0,3}} \tag{11}$$

- Jika  $T_p + T_{0,3} < t < (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q = Q_p \times 0,3 \frac{t - T_p + 0,5 \times T_{0,3}}{1,5 \times T_{0,3}} \tag{12}$$

- Jika  $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Q = Q_p \times 0,3 \frac{t - T_p + 1,5 \times T_{0,3}}{2 \times T_{0,3}} \tag{13}$$

## 2.4 Menilai Hasil Kalibrasi

### 2.4.1 Bias

Bias menunjukkan tingkat kesalahan volume aliran secara umum, yakni selisih antara debit terukur dan terhitung per tahun. Berikut adalah persamaan untuk menentukan nilai bias (Indarto, 2010):

$$\text{Bias} = \frac{\sum [Q_o - Q_M]}{n} \tag{14}$$

Keterangan:

Bias : Selisih antara debit terukur dan terhitung

$Q_o$  : Debit terukur (m<sup>3</sup>/det)

$Q_M$  : Debit terhitung (m<sup>3</sup>/det)

$n$  : Jumlah sampel

### 2.4.2 Relatif Bias

Relatif bias menggambarkan selisih dari perbedaan debit terukur dan terhitung dibandingkan dengan nilai debit terukur. Berikut adalah persamaan untuk menentukan nilai relatif bias (Indarto, 2010)

$$\text{Relatif Bias} = \frac{\sum [Q_o - Q_M]}{\sum Q_o} \tag{15}$$

Keterangan:

Relatif Bias : Selisih antara debit terukur dan terhitung

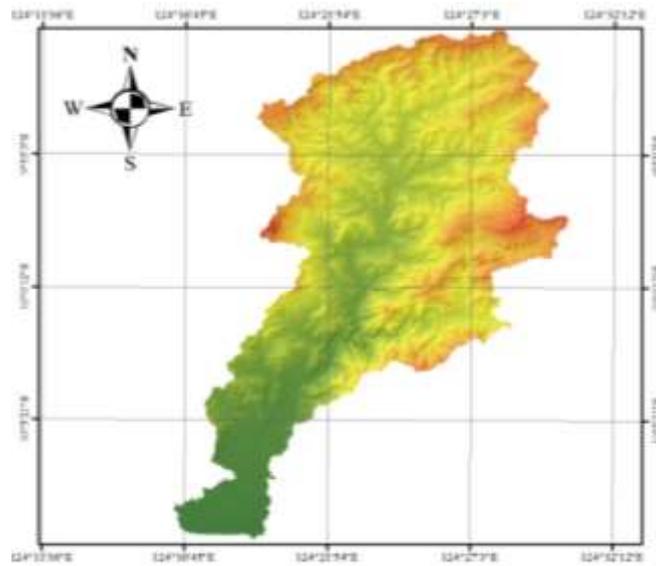
$Q_o$  : Debit terukur (m<sup>3</sup>/det)

$Q_M$  : Debit terhitung (m<sup>3</sup>/det)

**Hasil dan Pembahasan**

*3.1 Umum*

Sungai Muke dengan luas total DAS 426,66 km<sup>2</sup> terletak di pantai selatan Pulau Timor Kecamatan Amanuban Selatan Kabupaten TTS Propinsi NTT



Gambar 2.1 DAS Muke

*3.2 Analisis Curah Hujan*

Analisis curah hujan dilakukan pada batasan luas DAS Muke. Data curah hujan merupakan banyaknya curah hujan yang jatuh di suatu tempat, dimana akan mempengaruhi debit dan aliran permukaan sungai tersebut. Data curah hujan yang dipakai adalah data curah hujan 10 tahun (2009-2018) dari pos hujan Nifukani yang didapat dari Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II (BWS NT II).

**Tabel 1.** Data Curah Hujan Maksimum Tahunan Pos Hujan Nikufani

Tanggal	Curah hujan maks. (mm)
26 Des 2009	120
04 Mar 2010	141
27 Feb 2011	140
18 Mar 2012	100
02 Jan 2013	125
13 Apr 2014	72
28 Mar 2015	77
13 Mar 2016	112
21 Nov 2017	85

Tanggal	Curah hujan maks. (mm)
15 Des 2018	75

### 3.3 Debit Terukur

Perhitungan debit terukur menggunakan data pengukuran tinggi muka air sungai Muke dari tahun 2009-2018. Hasil rekapitulasi debit puncak dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 2.** Rekap Tinggi Muka Air Dan Debit puncak Sungai Muke

Tahun	TMA (m)	Q (m <sup>3</sup> /dtk)
2009	1,83	51,28
2010	0,90	13,19
2011	2,20	73,46
2012	2,57	99,41
2013	1,43	31,96
2014	1,33	27,81
2015	1,60	39,52
2016	2,17	71,30
2017	1,50	34,88
2018	1,17	21,54

### 3.4 Koefisien Limpasan (C)

#### 3.4.1 Kemiringan Lereng

Besarnya faktor kemiringan lereng yang ditentukan dengan menggunakan peta kemiringan lereng DAS Muke dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 3.** Perhitungan Kemiringan Lereng DAS Muke

Klasifikasi	Kelas Kemiringan (%)	C	Luas Area (A)	Persentase (%)
Datar	0 - 3	0,3	0,291	0,08
Landai	3 - 8	0,4	213,12	49,66
Agak curam	8 - 15	0,5	118,27	27,89
Curam	15 - 25	0,6	71,08	16,67
Sangat curam	> 25	0,7	23,89	5,69
Jumlah			426,660	100

#### 3.4.2 Tata guna Lahan

Dari hasil analisis peta diperoleh luasan masing-masing penggunaan lahan yang kemudian dikaitkan dengan koefisien limpasan yang ditetapkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.** Tata Guna Lahan Pada DAS Muke

No.	Tata Guna Lahan	Luas (A) Km <sup>2</sup>	C	Persentase (%)
1	Kebun	18,53	0,4	4,34
2	Ladang	4,02	0,5	19,25
3	Pemukiman	7,99	0,9	0,97
4	Semak belukar	259,73	0,3	60,88
5	Sawah	3,29	0,2	0,77
6	Alang-alang	16,61	0,3	3,89
7	Hutan kering	31,36	0,5	7,35

No.	Tata Guna Lahan	Luas (A) Km <sup>2</sup>	C	Persentase (%)
8	Hutan basah (rawa)	2,92	0,2	0,68
9	Sungai	82,12	0,2	1,87
Total		426,66	3,5	100

### 3.4.3 Gabungan Kemiringan Lereng dan Tataguna Lahan

Pada bagaian sebelumnya dijelaskan bahwa untuk mendapatkan nilai koefisien limpasan (C), dianalisis dengan aplikasi GIS yakni menggabungkan peta kemiringan lereng dan peta tata guna lahan. Hasil hitungan luasan untuk tiap kelas lereng menggunakan program ArcGIS dapat dilihat pada Tabel 4.6.

**Tabel 5.** Hasil Perhitungan Koefisien Limpasan dengan Menggabungkan Kelas Kemiringan Lereng dan Penutup Lahan.

kelas kemiringan lereng	luasan	C	Tutupan Lahan	C	Total luasan	C rerata	C tertimbang
0-3	0.29	0.3	Perkebunan/Kebun	0.4	0.01	0.35	4.87E-06
			Permukiman dan Tempat Kegiatan	0.9	0.01	0.60	1.49E-05
			Sungai	0.2	0.02	0.25	1.06E-05
			Semak Belukar	0.3	0.08	0.30	5.38E-05
			Sawah Tadah Hujan	0.2	0.03	0.25	1.47E-05
			Padang Rumput	0.3	0.00	0.30	2.71E-06
			Hutan Rimba	0.5	0.06	0.40	5.66E-05
			Hutan Bakau	0.2	0.03	0.25	1.85E-05
			Tegalan/Ladang	0.5	0.05	0.40	4.81E-05
3-8	213.12	0.4	Perkebunan/Kebun	0.4	8.17	0.40	7.67E-03
			Permukiman dan Tempat Kegiatan	0.9	3.71	0.65	5.67E-03
			Sungai	0.2	7.39	0.30	5.21E-03
			Semak Belukar	0.3	115.30	0.35	9.48E-02
			Sawah Tadah Hujan	0.2	3.23	0.30	2.27E-03
			Padang Rumput	0.3	9.97	0.35	8.20E-03
			Hutan Rimba	0.5	24.02	0.45	2.54E-02
			Hutan Bakau	0.2	2.85	0.30	2.01E-03
			Tegalan/Ladang	0.5	37.58	0.45	3.97E-02
8-15	118.27	0.5	Perkebunan/Kebun	0.4	4.92	0.45	5.20E-03
			Permukiman dan Tempat Kegiatan	0.9	0.20	0.70	3.35E-04
			Sungai	0.2	0.33	0.35	2.71E-04
			Semak Belukar	0.3	84.28	0.40	7.92E-02
			Sawah Tadah Hujan	0.2	0.01	0.35	1.11E-05
			Padang Rumput	0.3	4.25	0.40	3.99E-03
			Hutan Rimba	0.5	4.42	0.50	5.19E-03
			Tegalan/Ladang	0.5	19.82	0.50	2.33E-02
15-25	71.08	0.6	Perkebunan/Kebun	0.4	3.85	0.50	4.52E-03

kelas kemiringan lereng	luasan	C	Tutupan Lahan	C	Total luasan	C rerata	C tertimbang
15-25	71.08	0.6	Permukiman dan Tempat Kegiatan	0.9	0.05	0.75	8.34E-05
			Sungai	0.2	0.18	0.40	1.68E-04
			Semak Belukar	0.3	45.80	0.45	4.84E-02
			Padang Rumput	0.3	1.61	0.45	1.70E-03
			Hutan Rimba	0.5	2.00	0.55	2.58E-03
			Tegalan/Ladang	0.5	17.57	0.55	2.27E-02
			Perkebunan/Kebun	0.4	1.52	0.55	1.96E-03
> 25	23.89	0.7	Permukiman dan Tempat Kegiatan	0.9	0.00	0.80	3.18E-06
			Sungai	0.2	0.07	0.45	7.69E-05
			Semak Belukar	0.3	13.95	0.50	1.64E-02
			Padang Rumput	0.3	0.70	0.50	8.27E-04
			Hutan Rimba	0.5	0.78	0.60	1.10E-03
			Tegalan/Ladang	0.5	6.86	0.60	9.67E-03
			Σ				426.66

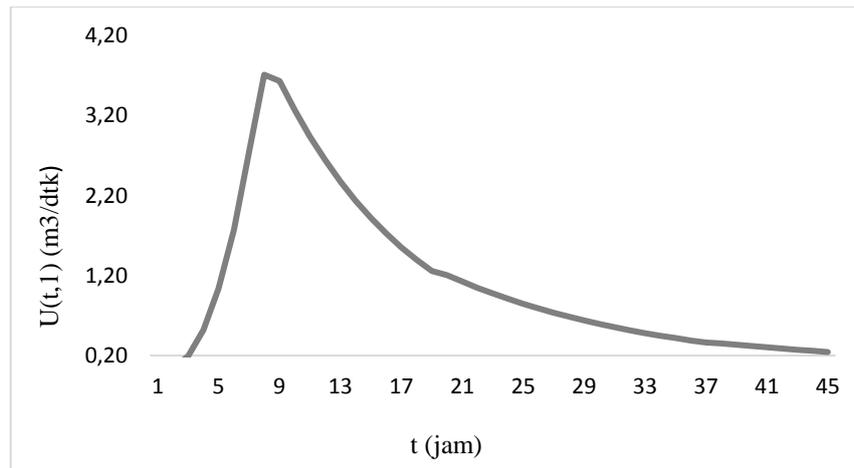
### 3.5 Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu

Konsep hidrograf satuan, yang banyak digunakan untuk melakukan transformasi dari hujan menjadi debit aliran. Konsep ini diperkenalkan pada tahun 1932 oleh Sherman (Subramanya, 1984). Data yang diperlukan untuk menurunkan hidrograf satuan terukur di DAS yang ditinjau adalah data hujan otomatis dan pencatatan debit di titik pengamatan tertentu. Namun jika data hujan yang diperlukan untuk menyusun hidrograf satuan terukur tidak tersedia digunakan analisis hidrograf banjir sintesis.

Parameter yang diperlukan dalam metode Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu sebagai berikut :

- Luas DAS (A) : 426,66 km<sup>2</sup>
- Panjang Sungai (L) : 58,25 km
- Hujan Efektif (R0) : 1 mm (tetapan)
- Parameter hidrograf (α) : 3
- Koefisien Limpasan (C) : 0,42

Berdasarkan perhitungan kemudian dibuat grafik yang menggambarkan bentuk hidrograf Nakayasu untuk hujan 1 mm, seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Hidrograf Nakayasu untuk Hujan 1 mm

3.5.1 Menghitung HSS Nakayasu Akibat Hujan

Perhitungan dilakukan menggunakan 2 cara. Cara pertama besarnya curah hujan dihitung menggunakan curah hujan pada jam pertama sedangkan cara kedua perhitungan dilakukan sampai jam ke 3. Selanjutnya besarnya curah hujan hasil perhitungan dari kedua cara dibandingkan dan dilihat besarnya perbedaan debit yang terjadi akibat pengaruh parameter curah hujan dalam perhitungan debit. Sebagai contoh perhitungan menggunakan data dari tahun 2009, yaitu :

1) Curah untuk konversi waktu 1 jam

Perhitungan besarnya curah hujan dapat dihitung, sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t_c} \right)^{2/3}$$

$$I = \frac{120}{24} \times \left( \frac{24}{t} \right)^{2/3}, t = 1 \text{ jam}$$

$$= \frac{120}{24} \times \left( \frac{24}{1} \right)^{2/3}$$

$$= 41,65 \text{ mm}$$

Perhitungan  $Q_a$ ,  $Q_{t1}$ ,  $Q_{t2}$ , dan  $Q_{t3}$  dari tahun 2009-2018 akibat hujan yang menghasilkan hidrograf satuan Nakayasu, Pada Tabel 4.9 ditampilkan hasil rekapitulasi perhitungan debit hidrograf satuan sintetik Nakayasu untuk konversi waktu 1 jam.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Debit puncak HSS Nakayasu untuk konversi waktu 1 jam

No	Tahun	Debit puncak (m <sup>3</sup> /dtk)
1	2009	157.22
2	2010	184.74
3	2011	183.43
4	2012	131.02
5	2013	163.77
6	2014	94.33
7	2015	100.88
8	2016	146.74
9	2017	111.37
10	2018	98.265

## 2) Curah hujan untuk konversi waktu 3 jam

Besarnya curah hujan untuk jam pertama telah dihitung pada langkah kerja diatas, sedangkan langkah perhitungan untuk jam ke 2 sampai jam ke 3 sama seperti langkah perhitungan untuk jam pertama di atas. Hasil dari perhitungan dari jam 1 sampai jam ke 3 diperlihatkan pada Tabel 4.10.

**Tabel 7.** Besar Curah Hujan Jam-Jaman Tahun 2009

Jam	Hujan
1	41,65
2	26,23
3	20,01

Perhitungan besarnya curah hujan dilakukan sampai pada jam ke 3, dikarenakan total hujan yang terjadi mendekati curah hujan harian maksimum yang terjadi pada tahun tersebut. Perhitungan besarnya debit akibat hujan dilanjutkan pada langkah berikutnya.

**Tabel 8.** Besar Curah Hujan Jam-Jaman Tahun 2009-2018

Tahun	Rmax	Konveksi jam-jaman			Total
		1	2	3	
2009	120	41.646	26.229	20.014	87,89
2010	141	48.934	30.819	23.516	103,27
2011	140	48.587	30.601	23.350	102,54
2012	100	34.705	21.858	16.678	73,24
2013	125	43.381	27.322	20.848	91,55
2014	72	24.987	15.737	12.008	52,73
2015	77	26.723	16.830	12.842	56,40
2016	112	38.869	24.481	18.680	82,03
2017	85	29.499	18.579	14.176	62,25
2018	75	26.029	16.393	12.509	54,93

Perhitungan  $Q_a$ ,  $Q_{t1}$ ,  $Q_{t2}$ , dan  $Q_{t3}$  dari tahun 2009-2018 akibat hujan yang menghasilkan hidrograf satuan Nakayasu, Pada Tabel 4.12 ditampilkan hasil rekapitulasi perhitungan debit hidrograf satuan sintetik Nakayasu untuk konversi waktu 3 jam.

**Tabel 9.** Rekapitulasi Debit Puncak HSS Nakayasu untuk konveksi waktu 3 jam

No	Tahun	Debit Puncak (m <sup>3</sup> /dtk)
1	2009	305.89
2	2010	359.43
3	2011	356.88
4	2012	254.91
5	2013	318.64
6	2014	183.54
7	2015	196.28
8	2016	285.50
9	2017	216.68
10	2018	191.184

Berdasarkan perhitungan debit maksimum menggunakan kedua cara di atas dapat dilihat bahwa perbedaan debit yang terjadi sangatlah besar, dimana hasil perhitungan debit yang menggunakan parameter curah hujan untuk konversi waktu 1 jam mendekati hasil perhitungan debit menggunakan kurva debit terukur sungai Muke, sedangkan hasil perhitungan debit yang menggunakan parameter curah hujan untuk konversi waktu sampai pada jam ke-3 menampilkan perbandingan debit yang sangat besar dengan kurva debit terukur sungai Muke.

### 3.6 Analisis Hasil Kalibrasi

Berdasarkan hasil analisis nilai statistik debit puncak terukur dan terhitung Sungai Muke tahun 2009 – 2018 diperoleh selisih antara debit terukur dan terhitung Metode Nakayasu Sungai Muke adalah 90,74 m<sup>3</sup>/dtk, dan nilai relatif bias berturut-turut (tingkat kesesuaian selisih antara debit terukur dan terhitung Nakayasu adalah -1,95.

### 3.7 Pembahasan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan ada dua faktor yang mempengaruhi besarnya debit aliran yang terjadi pada DAS Muke yaitu curah hujan dan tinggi muka air. Pada Tabel 4.18 akan ditunjukkan pengaruh curah hujan dan tinggi muka air terhadap debit yang terjadi.

**Tabel 10.** Nilai Curah Hujan, Tinggi Muka Air, dan Debit puncak Sungai Muke Tahun 2009-2018

Tahun	Curah Hujan (mm)	TMA (m)	Debit puncak (m <sup>3</sup> /dtk)	
			Terukur	Nakayasu
2009	120	1,83	51,28	157.22
2010	141	0,90	13,19	184.74
2011	140	2,20	73,46	183.43
2012	100	2,57	99,41	131.02
2013	125	1,43	31,96	163.77
2014	72	1,33	27,81	94.33
2015	77	1,60	39,52	100.88
2016	112	2,17	71,30	146.74
2017	85	1,50	34,88	111.37
2018	75	1,17	21,54	98.265

Debit puncak terukur sungai Muke hasil olahan data tinggi muka air yang terbesar yaitu pada tahun 2012 dengan  $Q_{maks} = 99,41$  m<sup>3</sup>/dtk, sedangkan nilai debit puncak yang terkecil yaitu pada tahun 2010 dengan  $Q_{min} = 13,19$  m<sup>3</sup>/dtk, debit puncak hasil analisis HSS Nakayasu pada DAS Muke menghasilkan nilai debit puncak terbesar yaitu terjadi pada tahun 2010 dengan  $Q_{maks} = 184,74$  m<sup>3</sup>/dtk, sedangkan nilai debit puncak yang terkecil terjadi pada tahun 2014 dengan  $Q_{min} = 94,33$  m<sup>3</sup>/dtk.

Berdasarkan hasil analisis nilai statistik debit puncak terukur dan terhitung Sungai Muke tahun 2009 – 2018 diperoleh selisih antara debit terukur dan terhitung Metode Nakayasu Sungai Muke adalah 90,74 m<sup>3</sup>/dtk, dan nilai relatif bias berturut-turut (tingkat kesesuaian selisih antara debit terukur dan terhitung Nakayasu) adalah -1,95.

### Kesimpulan

Debit puncak pada persamaan kurva debit yang terbesar terjadi pada tahun 2012 sebesar 99,41 m<sup>3</sup>/dtk dan yang terkecil terjadi pada tahun 2010 sebesar 13,19 m<sup>3</sup>/dtk. Hasil analisis debit puncak perhitungan dengan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu diperoleh debit puncak terjadi pada tahun 2010 sebesar 184,74 m<sup>3</sup>/dtk dan yang terkecil terjadi pada tahun 2014 sebesar 94,33 m<sup>3</sup>/dtk. Hasil analisis Bias antara debit terukur dan terhitung Metode Nakayasu adalah 90,74 m<sup>3</sup>/dtk. Berdasarkan hasil analisis nilai statistik debit puncak terukur dan terhitung Sungai Muke tahun 2009 – 2018 diperoleh nilai relatif bias berturut-turut (tingkat kesesuaian selisih antara debit terukur dan terhitung Nakayasu) adalah -1,95. Selisih tingkat kesalahan debit puncak terukur dan terhitung adalah kurang dari 0,36 dengan interpretasi yang tidak memuaskan serta memiliki nilai bias yang besar, maka metode Nakayasu tidak dapat digunakan /diterapkan pada Sungai Muke.

Disarankan untuk pemeliharaan pos ukur tinggi muka air, sehingga tidak terjadi kesalahan pengamatan dan penyajian data serta memasang stasiun pos hujan pada DAS tersebut untuk menghitung curah hujan yang terjadi pada DAS, agar membantu dalam perhitungan debit dan perencanaan irigasi, serta ketersediaan stasiun pos hujan di lokasi tempat penulis melakukan penelitian agar membantu dalam perhitungan debit kedepannya dengan lebih akurat.

### Ucapan terima kasih

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, tugas akhir tidak dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Dr. Judi K Nasjono, ST., MT sebagai dosen pembimbing I dan Bapak Elia Hunggurami, ST., M.Eng sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama menempuh pendidikan di Teknik Sipil Undana, seluruh pengajar dan pegawai Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nuca Cendana khususnya Program Studi Teknik Sipil, keluarga tercinta, Teman-teman angkatan 2014 serta semua pihak yang tidak disebutkan satu persatu untuk segala bentuk dukungan dan doa .

### Daftar Pustaka

- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah dan Air. Bogor*: Institut Pertanian Bogor.
- Asdak,Chay, 2002, *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Indarto. 2010. *Hidrologi; Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Kamiana. 2012. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Natakusumah, D.K., Hatmoko, W., Harlan, D. 2011 *Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya*. Institut Teknologi Bandung
- Seyhan, E. 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi* Terjemahan S. Subagyo. Penerbit: Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Sri Harto Br, 2000. *Hidrologi : Teori, Masalah, Penyelesaian*. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Subramanya, K, 1984, *Engineering Hydrology*, New Delhi: McGraw-Hill.
- Triatmodjo, B, 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta.
- Wahyuningrum Nining, dkk. 2007. *Aplikasi Sistem Informasi Geografis Untuk Perhitungan Koefisien Aliran Permukaan: Studi Kasus Sub DAS Ngunut I Jawa Tengah*, Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, Vol. IV, No. 6: 561-571.

# ***Analisis Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang Beraturan Dengan Penambahan Tingkat Menggunakan Struktur Baja***

## ***Performance Analysis Of Reinforced Concrete Frame Structure With Additional Level Using Steel Structure***

**Hilario A. Kono<sup>1</sup>, Partogi H. Simatupang<sup>2</sup>, Ruslan Ramang<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

---

### **Article info:**

Kata kunci:

Kinerja, Struktur gabungan beton-baja, beraturan, response spectrum

Keywords:

Performance, concrete-steel combined structure, uniform, response spectrum

### **Article history:**

Received: 03-08-2021

Accepted: 08-08-2021

<sup>\*</sup>Koresponden email:

hilariokono16@gmail.com

simatupangpartogi@yahoo.com

### **Abstrak**

Perubahan rencana pada pembangunan bertahap suatu struktur bangunan dapat terjadi dengan pertimbangan operasional bangunan dan keuangan pemilik. Tujuan Penelitian ini adalah mengetahui level kinerja dari struktur rangka beton bertulang dengan penambahan tingkat menggunakan struktur baja dengan variasi bentang yang berbeda. Hasil dari analisis tersebut digunakan untuk mengetahui seberapa besar simpangan antar tingkat dan mengontrol level kinerja struktur. Kesimpulan dari penelitian menunjukkan bahwa level kinerja dari model struktur yang dianalisis adalah immediate occupancy (IO) dengan nilai total drift ratio dan interstorey drift ratio dari struktur gedung awal (C3S0) pada arah x dan arah y sebesar 0,0004, dan untuk variasi struktur gedung dengan penambahan tingkat menggunakan struktur baja (C3S1, C3S2, C5S1, C5S2, C7S1, C7S2) pada arah x berkisar dari 0,0005-0,0007 dan pada arah y berkisar dari 0,0010-0,0024.

### **Abstract**

The change of plans on gradually development in building structure can be occur with building operational consideration and owner financial. The purpose of this study was to determine the level of performance of the reinforced concrete frame structure with additional levels using steel structures with different span variations. The results of the analysis are used to determine how big the deviation is between levels and to control the level of structure performance. The conclusion of the study shows that the performance level of the structural model analyzed is immediate occupancy (IO) with a total drift ratio and interstorey drift ratio value of the initial building structure (C3S0) in the x direction and y direction of 0.0004, and for variations in building structure with the addition of levels using steel structures (C3S1, C3S2, C5S1, C5S2, C7S1, C7S2) in the x direction ranging from 0.0005-0.0007 and in the y direction ranging from 0.0010-0.0024.

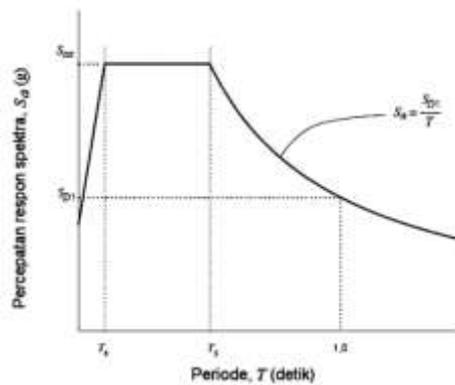
**1. Pendahuluan**

Perubahan rencana pada pembangunan bertahap suatu struktur bangunan dapat terjadi dengan pertimbangan operasional bangunan dan keuangan pemilik. Perubahan tersebut dapat berupa penambahan jumlah tingkat (lantai), penambahan bentang pada struktur bangunan, serta bahan utama yang digunakan sebagai komponen struktur bangunan tersebut. Struktur bangunan yang dianalisis merupakan struktur bangunan gedung 2 tingkat (lantai). Dari model struktur bangunan tersebut, selanjutnya divariasikan menjadi struktur bangunan gedung 2 tingkat (lantai) dengan 5 bentang dan struktur bangunan gedung 2 tingkat (lantai) dengan 7 bentang. Analisis struktur dilakukan dengan analisis dinamik *response spectrum* menggunakan aplikasi SAP2000 dan level kinerja struktur ditentukan berdasarkan ketentuan yang diatur pada *ATC-40* (Applied Technology Council, 1996).

**2. Bahan dan Metode**

*2.1. Analisis Dinamik Response Spectrum*

Metode *response spectrum* merupakan salah satu analisis beban gempa dinamik sesuai (SNI-1726, 2012). Analisis beban gempa *response spectrum* menggunakan spektrum respons desain dalam pembebanan gempa. Grafik *response spectrum* merupakan hasil plot nilai tanggapan (*response*) maksimum terhadap fungsi beban tertentu untuk semua sistem derajat kebebasan tunggal yang memungkinkan. Absis dari grafik tersebut berupa frekuensi (atau perioda/waktu) dan ordinat berupa nilai *respons* maksimum (Paz, 1985). *Response spectrum* desain diperlukan sehingga kurva spektrum respon desain harus dikembangkan dengan mengacu pada Gambar 1.



**Gambar 1.** *Response Spectrum* Desain

*2.2. Gaya Geser Dasar (Base Shear)*

Berdasarkan “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” (SNI-1726, 2012) mengenai skala gaya, gaya geser dasar dari hasil analisis dinamik *response spectrum* harus lebih besar dari 85% gaya geser dasar statik atau  $V_D > 85\% V_S$ . Apabila nilai  $V_D < 85\% V_S$ , maka ordinat *response spectrum* harus dikalikan dengan skala gaya.

$$F_s = \frac{85\% V_S}{V_D} \tag{1}$$

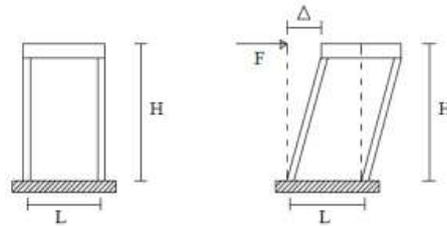
Di mana :

- F<sub>s</sub> : Faktor skala gaya,
- V<sub>s</sub> : Gaya geser dasar statik (kN),
- V<sub>D</sub> : Gaya geser dasar dinamis (kN)

*2.3. Perpindahan (Displacement)*

Perpindahan atau defleksi lateral merupakan pergerakan dari sebuah struktur bangunan secara horizontal akibat dari beban seperti beban angin, beban gempa, dan lain-lain yang mengakibatkan simpangan antar lantai (*interstorey drift*). Hal-hal yang mempengaruhi besarnya defleksi lateral ini

ialah pembebanan, jenis material, kekuatan material dan jenis tumpuan. Bentuk perpindahan atau defleksi lateral yang terjadi akibat pembebanan horizontal dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Bentuk Defleksi Lateral

**2.4. Simpangan Antar Tingkat (Interstorey Drift)**

Simpangan antar tingkat (*Interstorey drift*) adalah suatu perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau dapat dikatakan simpangan mendatar tiap-tiap tingkat bangunan. Berdasarkan (SNI-1726, 2012), penentuan simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau.

$$\Delta_x = \frac{C_d \times \delta_{ex}}{I_e} \tag{2}$$

Di mana :

- $\Delta$  : Simpangan antar tingkat (m),
- $\delta_{ex}$  : Perbedaan defleksi yang ditentukan dengan analisis elastik (m),
- $C_d$  : Faktor pembesaran defleksi,
- $I_e$  : Faktor keutamaan gempa

**2.5. Applied Technology Council 40 (ATC-40)**

Batasan rasio simpangan antar tingkat untuk berbagai macam level kinerja struktur bangunan berdasarkan (*Applied Technology Council, 1996*) ditampilkan dalam Tabel 1.

**Tabel 1.** Batas Rasio Simpangan Berbagai Level Kinerja Menurut ATC-40

Drift Limit Ratio	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Total drift ratio	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33
Interstorey drift ratio	0,005	0,005-0,015	No.Limit	No. Limit

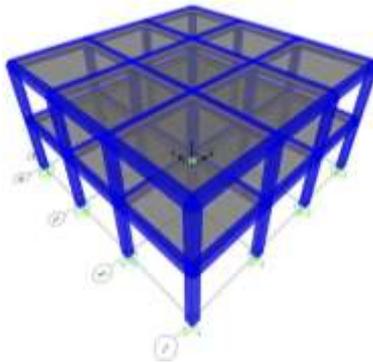
**2.6. Sumber Data**

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder yang diambil dari publikasi hasil penelitian para pakar di dunia teknik sipil, peraturan-peraturan yang berlaku, dan buku-buku terutama yang berhubungan dengan judul penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

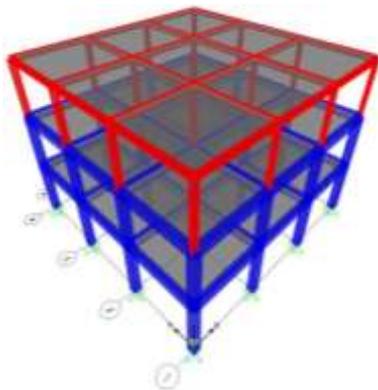
- a. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-1726, 2012).
- b. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI-2847, 2013)
- c. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI-1729, 2002)
- d. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (Stensil, 1983)
- e. Penentuan Level Kinerja Struktur Gedung *ATC-40* (*Applied Technology Council, 1996*)
- f. Data gempa response spectrum kota Kupang yang diambil dari website <http://puskim.pu.go.id> (PuskimPU, 2011)

**2.7. Pemodelan Struktur**

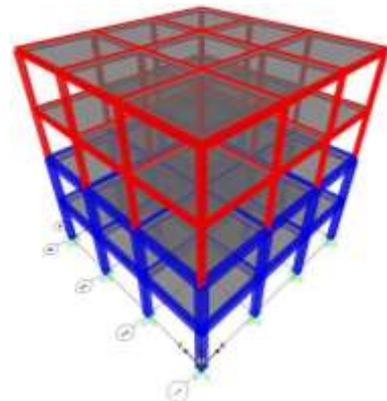
Pemodelan struktur yang dianalisis dibuat dalam bentuk 3 dimensi (3D) di mana struktur yang berwarna biru merupakan struktur beton bertulang dan struktur yang berwarna merah merupakan struktur baja seperti terlihat pada Gambar 3. sampai dengan Gambar 9.



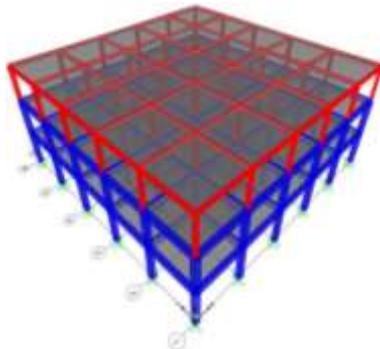
**Gambar 3.** Modelan Struktur C3S0



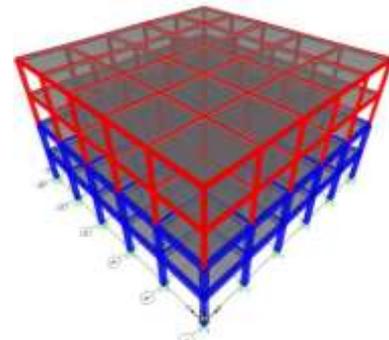
**Gambar 4.** Model Struktur C3S1



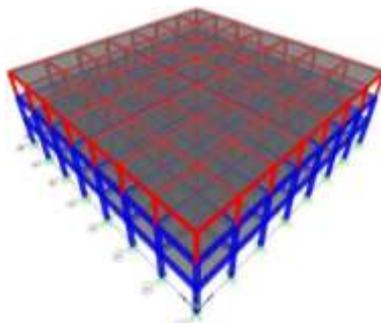
**Gambar 5.** Model Struktur C3S2



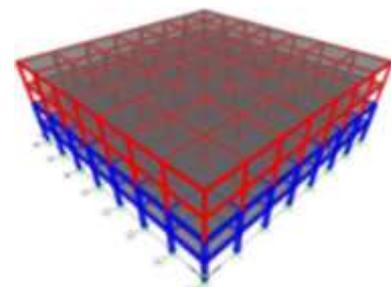
**Gambar 6.** Model Struktur C5S1



**Gambar 7.** Model Struktur C5S



**Gambar 8.** Model Struktur C7S1



**Gambar 9.** Model Struktur C7S2

2.8. *Metode Analisis*

Secara umum teknik analisis data dilakukan dengan menggunakan aplikasi SAP2000 dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Beban mati akibat berat sendiri struktur akan dihitung secara otomatis dalam aplikasi SAP2000, sehingga beban-beban yang diidealisasikan dan diperhitungkan hanya beban mati tambahan dan beban hidup yang nilainya akan diinput ke dalam aplikasi SAP2000.
- b. Membuat pemodelan struktur gedung secara 3 dimensi (3D) dengan aplikasi SAP2000 berupa kolom, balok, pelat, dan jenis perletakan.
- c. Menginput mutu bahan (beton, baja tulangan, dan baja struktural) serta dimensi penampang kolom, balok, dan pelat lantai.
- d. Menginput beban mati tambahan, beban hidup dan beban gempa ke dalam aplikasi SAP2000.
- e. Membuat kombinasi pembebanan dengan aplikasi SAP2000, dimana persamaan-persamaan kombinasi pembebanan mengacu pada (SNI-1726, 2012) Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- f. Menganalisis model struktur bangunan dengan aplikasi SAP2000 sehingga diperoleh nilai respon struktur berupa nilai gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan (*displacement*).

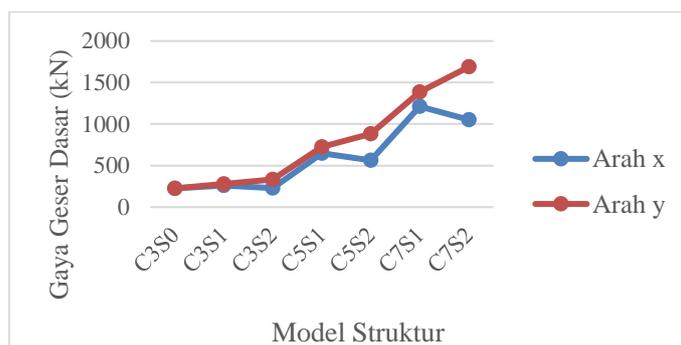
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. *Gaya Geser Dasar ( Base Shear )*

Gaya geser dasar akibat beban gempa yang diperoleh dari hasil analisis struktur beton bertulang dengan penambahan tingkat menggunakan struktur baja dengan beberapa variasi pemodelan struktur ditampilkan dalam Tabel 2. Dan Gambar 10.

**Tabel 2.** Perhitungan Gaya Geser Dasar Terbesar

Model Struktur	Gaya Geser Dasar (kN)	
	$V_{Dx}$	$V_{Dy}$
C3S0	225,713	225,713
C3S1	259,977	277,714
C3S2	228,516	334,423
C5S1	649,409	726,265
C5S2	564,565	881,319
C7S1	1211,730	1386,817
C7S2	1049,901	1688,689



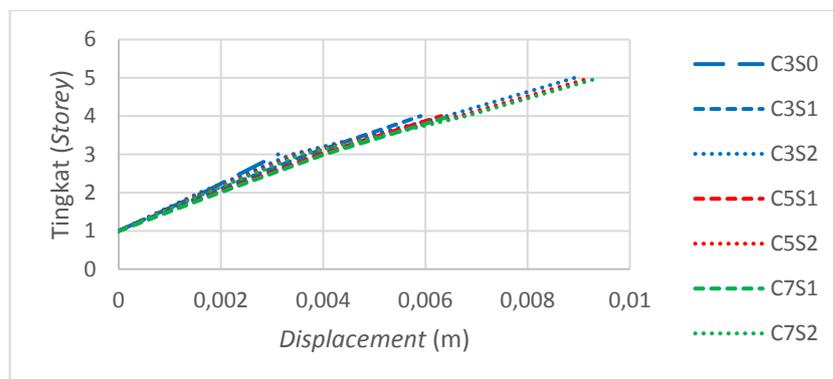
**Gambar 10.** Grafik Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

3.2. *Perpindahan ( Displacement )*

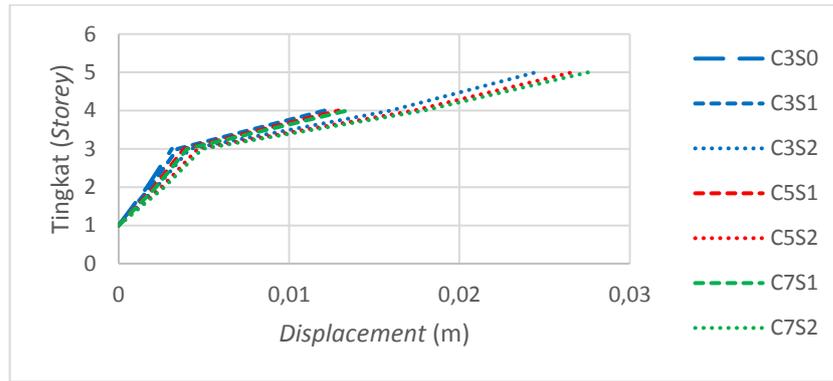
Nilai perpindahan (*displacement*) pada setiap tingkat struktur akibat beban kombinasi terbesar yang diperoleh dari hasil analisis struktur dengan analisis *response spectrum* menggunakan aplikasi SAP2000, ditampilkan dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Perhitungan Perpindahan (*Displacement*) Akibat Beban Kombinasi Terbesar

Model Struktur	Tingkat ( <i>Storey</i> )	Kombinasi Beban ( <i>Load Combination</i> )	Perpindahan ( <i>Displacement</i> )	
			$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)
C3S0	Atap	Envelope	0,0031	0,0031
	2	Envelope	0,0017	0,0017
	1	Envelope	0,0000	0,0000
C3S1	Atap	Envelope	0,0059	0,0121
	3	Envelope	0,0037	0,0035
	2	Envelope	0,0018	0,0018
C3S2	Atap	Envelope	0,0089	0,0245
	4	Envelope	0,0064	0,0160
	3	Envelope	0,0034	0,0042
C5S1	Atap	Envelope	0,0016	0,0022
	2	Envelope	0,0016	0,0022
	1	Envelope	0,0000	0,0000
C5S2	Atap	Envelope	0,0063	0,0129
	3	Envelope	0,0039	0,0038
	2	Envelope	0,0019	0,0021
C7S1	Atap	Envelope	0,0000	0,0000
	1	Envelope	0,0000	0,0000
	1	Envelope	0,0000	0,0000
C7S2	Atap	Envelope	0,0092	0,0266
	4	Envelope	0,0067	0,0173
	3	Envelope	0,0035	0,0047
C5S1	Atap	Envelope	0,0017	0,0025
	2	Envelope	0,0017	0,0025
	1	Envelope	0,0000	0,0000
C7S1	Atap	Envelope	0,0065	0,0134
	3	Envelope	0,0040	0,0040
	2	Envelope	0,0020	0,0022
C7S2	Atap	Envelope	0,0000	0,0000
	1	Envelope	0,0000	0,0000
	1	Envelope	0,0000	0,0000



**Gambar 11.** Grafik Perpindahan (*Displacement*) Arah x



Gambar 12. Grafik Perpindahan (Displacement) Arah y

3.3. Simpangan Antar Tingkat (Interstorey Drift)

Nilai simpangan antar tingkat yang dihitung ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi nilai simpangan ijin ( $\Delta_a$ ) yaitu sebesar  $0,020h$  (SNI-1726, 2012). Perhitungan nilai simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta_x = \frac{C_d \times (\delta_{ex})}{I_e} < 0,020h \tag{3}$$

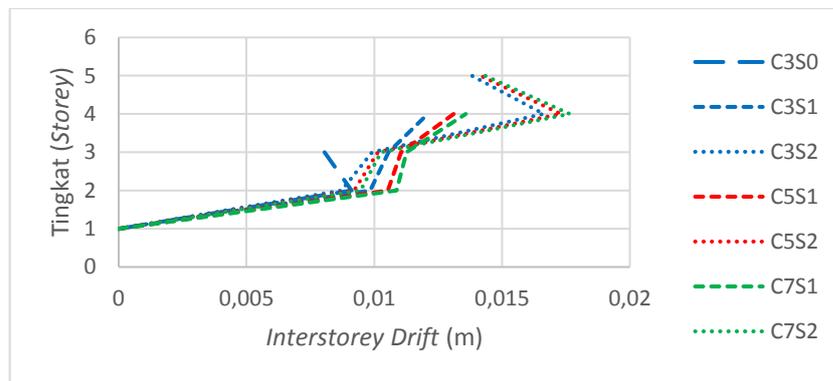
Di mana :

- $\Delta$  : Simpangan antar tingkat (m)
- $\delta_{ex}$  : Perbedaan defleksi yang terjadi (m)
- $C_d$  : Faktor pembesaran defleksi (5,5)
- $I_e$  : Faktor keutamaan gempa (1)
- $h$  : Tinggi tingkat (m)

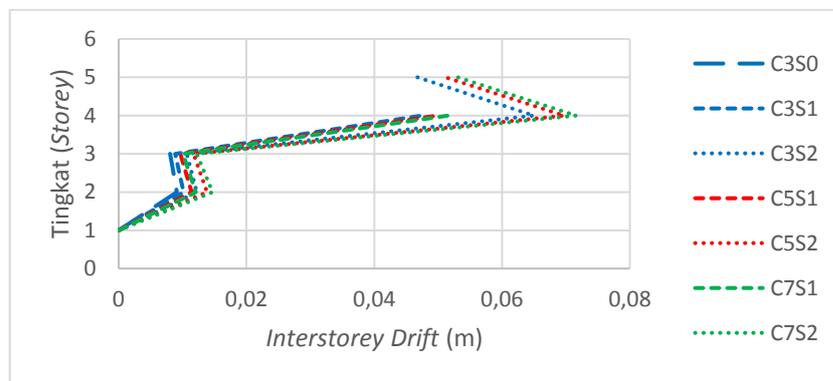
Tabel 4. Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (Interstorey Drift) Akibat Beban Kombinasi Terbesar

Model Struktur	Tingkat	Tinggi Tingkat H (m)	Simpangan Antar Tingkat ( $\Delta$ )		Simpangan Ijin $\Delta_a$ (m)
			$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	
C3S0	Atap	4,00	0,0081	0,0081	0,08
	2	4,00	0,0091	0,0091	0,08
	1	0,00	0,0000	0,0000	0,00
C3S1	Atap	4,00	0,0121	0,0474	0,08
	3	4,00	0,0106	0,0089	0,08
	2	4,00	0,0098	0,0102	0,08
C3S2	1	0,00	0,0000	0,0000	0,00
	Atap	4,00	0,0138	0,0468	0,08
	4	4,00	0,0166	0,0650	0,08
C5S1	3	4,00	0,0099	0,0107	0,08
	2	4,00	0,0087	0,0122	0,08
	1	0,00	0,0000	0,0000	0,00
C5S2	Atap	4,00	0,0131	0,0499	0,08
	3	4,00	0,0111	0,0096	0,08
	2	4,00	0,0105	0,0114	0,08
C7S1	1	0,00	0,0000	0,0000	0,00
	Atap	4,00	0,0142	0,0511	0,08
	4	4,00	0,0173	0,0697	0,08
	3	4,00	0,0101	0,0117	0,08
	2	4,00	0,0092	0,0139	0,08
C7S2	1	0,00	0,0000	0,0000	0,00
	1	0,00	0,0000	0,0000	0,00

Model Struktur	Tingkat	Tinggi Tingkat H (m)	Simpangan Antar Tingkat ( $\Delta$ )		Simpangan Ijin $\Delta_a$ (m)
			$\Delta_x$ (m)	$\Delta_y$ (m)	
C7S1	Atap	4,00	0,0136	0,0517	0,08
	3	4,00	0,0113	0,0100	0,08
	2	4,00	0,0109	0,0121	0,08
	1	0,00	0,0000	0,0000	0,00
C7S2	Atap	4,00	0,0143	0,0530	0,08
	4	4,00	0,0176	0,0716	0,08
	3	4,00	0,0103	0,0122	0,08
	2	4,00	0,0095	0,0147	0,08
	1	0,00	0,0000	0,0000	0,00



Gambar 13. Grafik Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) Arah x



Gambar 14. Grafik Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*) Arah y

Tabel 5. Persentase Perbedaan Nilai Simpangan Antar Tingkat Variasi Model Struktur Dengan Model Struktur Awal Bangunan Gedung

Arah	Perbedaan Simpangan Antar Tingkat Maksimum (%)					
	Model C3S1 dengan Model C3S0	Model C3S2 dengan Model C3S0	Model C5S1 dengan Model C3S0	Model C5S2 dengan Model C3S0	Model C7S1 dengan Model C3S0	Model C7S2 dengan Model C3S0
X	50%	72%	63%	76%	69%	78%
Y	489%	481%	520%	535%	542%	559%

3.4. Level Kinerja Struktur Gedung

Nilai batas rasio simpangan dari setiap model struktur dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$Total\ drift\ ratio = \frac{\delta_{maks}}{H_{total}} \tag{4}$$

$$Interstorey\ drift\ ratio = \frac{\delta_{maks} - \delta_{maks-1}}{H_{total} - H_{total-1}} \tag{5}$$

Di mana :

$\delta_{maks}$  : Nilai perpindahan terbesar (m)

$\delta_{maks-1}$  : Nilai perpindahan pada lantai dibawah lantai yang memiliki perpindahan terbesar (m)

$H_{total}$  : Total ketinggian struktur (m)

$H_{total-1}$  : Total ketinggian lantai dibawahnya (m)

a. Model struktur C3S0

Perhitungan nilai rasio batas simpangan antar tingkat untuk model struktur C3S0 dengan tinggi total gedung 8,00 m adalah sebagai berikut:

a) Rasio simpangan total (*Total drift ratio*)

$$Total\ drift\ ratio\ arah\ x = \frac{0,0031\ m}{8,00\ m} = 0,0004 (< 0,01)$$

$$Total\ drift\ ratio\ arah\ y = \frac{0,0031\ m}{12,00\ m} = 0,0004 (< 0,01)$$

b) Rasio simpangan antar tingkat (*Interstorey drift ratio*)

$$Interstorey\ drift\ ratio\ arah\ x = \frac{(0,0031 - 0,0017)\ m}{(8,00 - 4,00)\ m} = 0,0004 (< 0,005)$$

$$Interstorey\ drift\ ratio\ arah\ y = \frac{(0,0031 - 0,0017)\ m}{(8,00 - 4,00)\ m} = 0,0004 (< 0,005)$$

Dari nilai rasio simpangan yang diperoleh dari perhitungan di atas, maka level kinerja model struktur C3S0 adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

b. Model struktur C3S1

Perhitungan nilai rasio batas simpangan antar tingkat untuk model struktur C3S1 dengan tinggi total gedung 12,00 m adalah sebagai berikut:

a) Rasio simpangan total (*Total drift ratio*)

$$Total\ drift\ ratio\ arah\ x = \frac{0,0059\ m}{12,00\ m} = 0,0005 (< 0,01)$$

$$Total\ drift\ ratio\ arah\ y = \frac{0,0121\ m}{12,00\ m} = 0,0010 (< 0,01)$$

b) Rasio simpangan antar tingkat (*Interstorey drift ratio*)

$$Interstorey\ drift\ ratio\ arah\ x = \frac{(0,0059 - 0,0037)\ m}{(12,00 - 8,00)\ m} = 0,0005 (< 0,005)$$

$$Interstorey\ drift\ ratio\ arah\ y = \frac{(0,0121 - 0,0035)\ m}{(12,00 - 8,00)\ m} = 0,0022 (< 0,005)$$

Dari nilai rasio simpangan yang diperoleh dari perhitungan di atas, maka level kinerja model struktur C3S1 adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

c. Model struktur C3S2

Perhitungan nilai rasio batas simpangan antar tingkat untuk model struktur C3S2 dengan tinggi total gedung 16,00 m adalah sebagai berikut:

a) Rasio simpangan total (*Total drift ratio*)

$$Total\ drift\ ratio\ arah\ x = \frac{0,0089\ m}{16,00\ m} = 0,0006 (< 0,01)$$

$$Total\ drift\ ratio\ arah\ y = \frac{0,0245\ m}{16,00\ m} = 0,0015 (< 0,01)$$

b) Rasio simpangan antar tingkat (*Interstorey drift ratio*)

$$Interstorey\ drift\ ratio\ arah\ x = \frac{(0,0089 - 0,0064)\ m}{(16,00 - 12,00)\ m} = 0,0006 (< 0,005)$$

$$\text{Interstorey drift ratio arah y} = \frac{(0,0245-0,0160) \text{ m}}{(16,00-12,00) \text{ m}} = 0,0021 (< 0,005)$$

Dari nilai rasio simpangan yang diperoleh dari perhitungan di atas, maka level kinerja model struktur C3S2 adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

d. Model struktur C5S1

Perhitungan nilai rasio batas simpangan antar tingkat untuk model struktur C5S1 dengan tinggi total gedung 12,00 m adalah sebagai berikut:

a) Rasio simpangan total (*Total drift ratio*)

$$\text{Total drift ratio arah x} = \frac{0,0063 \text{ m}}{12,00 \text{ m}} = 0,0005 (< 0,01)$$

$$\text{Total drift ratio arah y} = \frac{0,0129 \text{ m}}{12,00 \text{ m}} = 0,0011 (< 0,01)$$

b) Rasio simpangan antar tingkat (*Interstorey drift ratio*)

$$\text{Interstorey drift ratio arah x} = \frac{(0,0063-0,0039) \text{ m}}{(12,00-8,00) \text{ m}} = 0,0006 (< 0,005)$$

$$\text{Interstorey drift ratio arah y} = \frac{(0,0129-0,0038) \text{ m}}{(12,00-8,00) \text{ m}} = 0,0023 (< 0,005)$$

Dari nilai rasio simpangan yang diperoleh dari perhitungan di atas, maka level kinerja model struktur C5S1 adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

e. Model struktur C5S2

Perhitungan nilai rasio batas simpangan antar tingkat untuk model struktur C5S2 dengan tinggi total gedung 16,00 m adalah sebagai berikut:

a) Rasio simpangan total (*Total drift ratio*)

$$\text{Total drift ratio arah x} = \frac{0,0092 \text{ m}}{16,00 \text{ m}} = 0,0006 (< 0,01)$$

$$\text{Total drift ratio arah y} = \frac{0,0266 \text{ m}}{16,00 \text{ m}} = 0,0017 (< 0,01)$$

b) Rasio simpangan antar tingkat (*Interstorey drift ratio*)

$$\text{Interstorey drift ratio arah x} = \frac{(0,0092-0,0067) \text{ m}}{(16,00-12,00) \text{ m}} = 0,0006 (< 0,005)$$

$$\text{Interstorey drift ratio arah y} = \frac{(0,0266-0,0173) \text{ m}}{(16,00-12,00) \text{ m}} = 0,0023 (< 0,005)$$

Dari nilai rasio simpangan yang diperoleh dari perhitungan di atas, maka level kinerja model struktur C5S2 adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

f. Model struktur C7S1

Perhitungan nilai rasio batas simpangan antar tingkat untuk model struktur C7S1 dengan tinggi total gedung 12,00 m adalah sebagai berikut:

a) Rasio simpangan total (*Total drift ratio*)

$$\text{Total drift ratio arah x} = \frac{0,0065 \text{ m}}{12,00 \text{ m}} = 0,0005 (< 0,01)$$

$$\text{Total drift ratio arah y} = \frac{0,0134 \text{ m}}{12,00 \text{ m}} = 0,0011 (< 0,01)$$

b) Rasio simpangan antar tingkat (*Interstorey drift ratio*)

$$\text{Interstorey drift ratio arah x} = \frac{(0,0065-0,0040) \text{ m}}{(12,00-8,00) \text{ m}} = 0,0006 (< 0,005)$$

$$\text{Interstorey drift ratio arah y} = \frac{(0,0134-0,0040) \text{ m}}{(12,00-8,00) \text{ m}} = 0,0023 (< 0,005)$$

Dari nilai rasio simpangan yang diperoleh dari perhitungan di atas, maka level kinerja model struktur C7S1 adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

g. Model struktur C7S2

Perhitungan nilai rasio batas simpangan antar tingkat untuk model struktur C7S2 dengan tinggi total gedung 16,00 m adalah sebagai berikut:

- a) Rasio simpangan total (*Total drift ratio*)
- $$\text{Total drift ratio arah x} = \frac{0,0094 \text{ m}}{16,00 \text{ m}} = 0,0006 (< 0,01)$$
- $$\text{Total drift ratio arah y} = \frac{0,0276 \text{ m}}{16,00 \text{ m}} = 0,0017 (< 0,01)$$
- b) Rasio simpangan antar tingkat (*Interstorey drift ratio*)
- $$\text{Interstorey drift ratio arah x} = \frac{(0,0094-0,0068) \text{ m}}{(16,00-12,00) \text{ m}} = 0,0007 (< 0,005)$$
- $$\text{Interstorey drift ratio arah y} = \frac{(0,0276-0,0179) \text{ m}}{(16,00-12,00) \text{ m}} = 0,0024 (< 0,005)$$

Dari nilai rasio simpangan yang diperoleh dari perhitungan di atas, maka level kinerja model struktur C7S2 adalah *Immidiata Occupancy (IO)*.

**Tabel 6.** Rekapitulasi Nilai Batas Rasio Simpangan Total Setiap Model Struktur

Model Struktur	<i>Total Drift Ratio</i>		<i>Total Drift Ratio ATC-40</i>				Level Kinerja Struktur
	X	y	IO	DC	LS	SS	
C3S0	0,0004	0,0004					IO
C3S1	0,0005	0,0010					IO
C3S2	0,0006	0,0015					IO
C5S1	0,0005	0,0011	0,01	1,01-0,02	0,02	0,33	IO
C5S2	0,0006	0,0017					IO
C7S1	0,0005	0,0011					IO
C7S2	0,0006	0,0017					IO

**Tabel 7.** Rekapitulasi Nilai Batas Rasio Simpangan Antar Tingkat Setiap Model Struktur

Model Struktur	<i>Interstorey Drift Ratio</i>		<i>Interstorey Drift Ratio ATC-40</i>				Level Kinerja Struktur
	X	y	IO	DC	LS	SS	
C3S0	0,0004	0,0004					IO
C3S1	0,0005	0,0022					IO
C3S2	0,0006	0,0021					IO
C5S1	0,0006	0,0023	0,005	0,005-0,015	No Limit	No Limit	IO
C5S2	0,0006	0,0023					IO
C7S1	0,0006	0,0023					IO
C7S2	0,0007	0,0024					IO

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa level kinerja dari semua model struktur yang dianalisis adalah *immediate occupancy (IO)*. Akibat penambahan tingkat menggunakan struktur baja (C3S1, C3S2, C5S1, C5S2, C7S1, C7S2), nilai gaya geser dasar pada model struktur awal (C3S0) bernilai sama pada arah x dan arah y sebesar 225,713 kN, sedangkan pada variasi model struktur dengan penambahan tingkat menggunakan struktur baja (C3S1, C3S2, C5S1, C5S2, C7S1, C7S2) pada arah x berkisar antara 259,997 kN-1049 kN dan pada arah y berkisar antara 277,713 kN-1688,689 kN. Nilai perpindahan (*displacement*) maksimum pada model struktur awal (C3S0) bernilai sama pada arah x dan arah y sebesar 0,0031 m, sedangkan pada variasi model struktur dengan penambahan tingkat menggunakan struktur baja (C3S1, C3S2, C5S1, C5S2, C7S1, C7S2) pada arah x berkisar antara 0,0059 m - 0,0094 m dan pada arah y berkisar antara 0,0121 m - 0,0276 m. Nilai simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) maksimum pada model struktur awal (C3S0) bernilai sama pada arah x dan arah y sebesar 0,0081 m, sedangkan pada variasi model struktur dengan penambahan tingkat menggunakan struktur baja (C3S1, C3S2, C5S1, C5S2, C7S1, C7S2) pada arah x berkisar antara 0,0468 m - 0,0530 m dan pada arah y berkisar antara 0,0121 m - 0,0143 m. Dari nilai rasio simpangan

yang diperoleh dari perhitungan di atas, maka level kinerja model struktur C7S2 adalah *Immediate Occupancy (IO)*.

#### 4.1. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis menyarankan bagi mahasiswa yang ingin melakukan atau melanjutkan penelitian serupa diharapkan untuk memperbaharui pembebanan gempa sesuai dengan SNI yang terbaru jika sudah ada RSNI terbaru. Metode analisis yang digunakan bisa ditambah dan dibandingkan dengan metode yang dipakai sekarang misalnya metode *time history*. Peneliti selanjutnya dapat menggunakan struktur bangunan gedung real atau bangunan gedung yang sudah beroperasi.

#### Ucapan terima kasih

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, tugas akhir tidak dapat terselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Dr. Partogi H. Simatupang, ST, MT dan Bapak Dr. Ruslan Ramang, ST, M.Si sebagai dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama menempuh pendidikan di Teknik Sipil Undana, seluruh pengajar dan pegawai Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana khususnya Program Studi Teknik Sipil, Keluarga tercinta, Teman-teman angkatan 2014 serta semua pihak yang tidak disebutkan satu persatu untuk segala bentuk dukungan dan doa.

#### Daftar Pustaka

- Applied Technology Council. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, CA: Applied Technology Council. Seismic Safety Commission, (1 November 1996), 334.
- Paz, Octavio. 1985. *The labyrinth of solitude; The other Mexico; Return to the labyrinth of solitude; Mexico and the United States; The philanthropic ogre*. Vol. 13. Grove Press.
- PuskimPU. (2011). *Desain Spektra Indonesia*. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Permukiman. [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Oyewxi5utRMJ:puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain\\_spektra\\_indonesia\\_2011/+&cd=1&hl=id&ct=clnk&gl=id&client=firefox-b-d](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Oyewxi5utRMJ:puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/+&cd=1&hl=id&ct=clnk&gl=id&client=firefox-b-d) (accessed 11 November 2019).
- SNI-1726. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI-1729. 2002. *Tata Cara Perencanaan Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional Nasional.
- SNI-2847. 2013. *Persyaratan Beton Bertulang Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Stensil. 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Bandung: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Sudarsana, I K. 2017. "Evaluasi Kinerja Struktur Rangka Beton Bertulang Tidak Beraturan Dengan Penambahan Tingkat Menggunakan Struktur Baja." Bali: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana. *Jurnal Spektran*, 6(2), 246.
- Yuskar, L. and Prabowo, A. 2016. "Tinjauan Nilai Faktor Modifikasi Respon (R) dan Faktor Kuat Lebih ( $\Omega_0$ ) pada Struktur Gabungan Rangka Baja dan Rangka Beton Bertulang dengan Analisis Pushover." Jakarta.: Himpunan Ahli Konstruksi Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 23(1), 75–88.

# ***Studi Pengaruh Tangga pada Pemodelan Struktur Bangunan Beraturan Akibat Beban Gempa dengan Menggunakan Software Etabs***

*Study of the Effect of Stairs on Modeling Regular Building Structures Due to Earthquake Loads Using Etabs Software*

Jendrianus Hendro Takesan<sup>1</sup>, Partogi H. Simatupang<sup>2</sup>, Wilhelmus Bunganaen<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Progran Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

<sup>2</sup>International Graduate School for Water and Development, XYZ University, Delft, 3456, The Netherlands

<sup>3</sup>Department of the Environment and Energy, ABC University, Tokyo, 1234, Japan

## **Article info:**

Kata kunci:

Tangga, Base Shear, Gaya Dalam, Displacement

Keywords:

Stairs, Base Shear, Inner Force, Displacement

## **Article history**

Received: 04-08-2021

Accepted: 10-08-2021

\*Koresponden email:

[takesanhendrooo@gmail.com](mailto:takesanhendrooo@gmail.com)

[partogihsimatupang@gmail.com](mailto:partogihsimatupang@gmail.com)

## **Abstrak**

Dalam mendesain dan menganalisis struktur gedung menggunakan software, seringkali tangga itu ditiadakan, sehingga kurang diketahui bagaimana perbedaan dan dampak dari masing-masing respon struktur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dampak dan perbedaan dari struktur gedung yang didesain menggunakan software. Metode yang digunakan adalah analisis respon spektrum berdasarkan SNI 2019. Struktur gedung didesain menjadi 3 jenis, yaitu struktur gedung tanpa tangga, struktur gedung tanpa tangga dengan void, dan struktur gedung dengan tangga. Dalam penelitian ini analisis strukturnya menggunakan Software Etabs 2016. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan dari 3 jenis struktur yang telah dianalisis, yaitu pada gaya geser dasarnya. Model 3 memiliki nilai yang lebih besar dari model 1 dan model 2 (Model 3: 2521,7 kN > Model 1: 1713,5 kN > Model 2: 1661,04 kN). Kemudian untuk gaya dalamnya juga menunjukkan perbedaan yang cukup besar, hal ini akan berpengaruh pada jumlah tulangan-tulangannya. Dan yang terakhir untuk nilai perpindahan, pada gedung tanpa tangga menunjukkan nilai perpindahan yang lebih besar daripada gedung dengan tangga, hal ini disebabkan oleh tangga yang mengakibatkan nilai kekakuan menjadi lebih besar dari nilai perpindahannya. Perbedaan juga ada pada gedung pertama yang memiliki nilai perpindahan yang lebih besar dari gedung kedua, hal ini disebabkan karena terdapat bukaan void pada gedung kedua.

## **Abstract**

In designing and analyzing building structures using software, stairs are often omitted, so it is not known how the differences and the impact of each structure response are. Therefore, this study aims to obtain the impact and differences of building structures designed using software. The method used is spectrum response analysis based on SNI 2019. The building structure is designed into 3 types, namely the building structure without stairs, the building structure without stairs with voids, and the building structure with stairs. In this study, the structural analysis used Etabs 2016 Software. Based on the results of the study, it can be seen that there are differences from the 3 types of structures that have been analyzed, namely in the basic shear force. Structure 3 has a greater value than structure 1 and structure 2 (structure 3: 2521.7 kN > structure 1: 1713.5 kN > structure 2: 1661.04 kN). Then for the internal force also shows a large enough difference, this will affect the number of reinforcements. And lastly for the displacement value, the building without stairs shows a larger displacement value than the building with stairs, this is due to the stairs causing the stiffness value to be greater than the displacement value. The difference also exists in the first building which has a higher displacement value than the second building, this is because there are void openings in the second building.

**Kutipan:** Jendrianus, Partogi, Wilhelmus: *Studi Pengaruh Tangga pada Pemodelan Struktur Bangunan Beraturan Akibat Beban Gempa dengan Menggunakan Software Etabs*

## 1. Pendahuluan

Semakin tinggi suatu bangunan maka resiko kerusakan akibat gempa akan semakin besar, ini berlaku untuk struktur bangunan beraturan dan tidak beraturan. Pada zaman yang semakin canggih ini, para perencana banyak dibantu dengan berbagai software-software yang dapat menganalisis struktur, baik itu struktur beraturan maupun tak beraturan, struktur bangunan yang didesain menggunakan software dianalisis dengan meninjau bebna mati, beban hidup dan juga bebna gempa berdasarkan ketentuan pada Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726-2019) dan pengaruh gempa rencana pada bangunan gedung beraturan dapat ditinjau sebagai pengaruh beban gempa statis.

Dalam menganalisis struktur gedung menggunakan software seringkali tangga ditiadakan dalam proses perhitungan dan proses desain, hal ini menyebabkan kita kurang mengetahui bagaimana perbedaan dan dampak jika ada tangga atau tidak, dari masing-masing gaya geser dasar (Base Shear), drift lateral, gaya dalam dan jumlah tulangan yang digunakan untuk menahan guncangan akibat beban gempa.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah shop drawing, shop drawing adalah gambar teknik lapangan yang digunakan sebagai acuan pelaksanaan penelitian ini. Deskripsi gedung yang akan dipakai yaitu jenis stuktur, fungsi gedung, luas total gedung, tinggi gedung, jumlah lantai gedung.

#### 3.1.1 Data Sekunder

##### 1. Data Material

Untuk mutu beton ( $f_c'$ ), mutu baja tulangan longitudinal ( $f_y'$ ) dan tulangan sengkang ( $f_{ys}$ ) yang dipakai adalah sebagai berikut:

##### a. Mutu Beton ( $f_c'$ )

K-300 = 300 kg/cm<sup>2</sup>, karena 1 Mpa = 10 kg/cm<sup>2</sup>, maka mutu beton tersebut adalah:

$$300 \text{ kg kg/cm}^2 = 30 \text{ Mpa.}$$

##### b. Mutu Baja Tulangan Longitudinal ( $f_y'$ )

$$F_y' = 400 \text{ Mpa.}$$

##### c. Mutu Baja Tulangan Sengkang ( $f_{ys}$ )

$$f_{ys} = 240 \text{ Mpa.}$$

##### 2. Data Denah

Berikut disajikan tabel deskripsi gedung yang ditinjau:

**Tabel 1.** Deskripsi Struktur Gedung

No	Deskripsi gedung	Keterangan
1	Jenis struktur	Beton Bertulang
2	Fungsi gedung	Inspektorat/Perkantoran
3	Luas total gedung	24 m x 18 m
4	Tinggi gedung	5 m/lantai
5	Jumlah lantai gedung	4

## 2.2 Analisis Struktur

Berdasarkan data tersebut akan dilakukan analisis struktur sebagai berikut:

1. Pemodelan struktur open frame secara 3D pada software Etabs.
2. Menentukan dan menghitung jenis beban yang bekerja pada struktur.
3. Menghitung dan menentukan kurva respon spektrum.
4. Memasukan dan menganalisis kurva respon spektrum tiga model struktur pada software etabs.

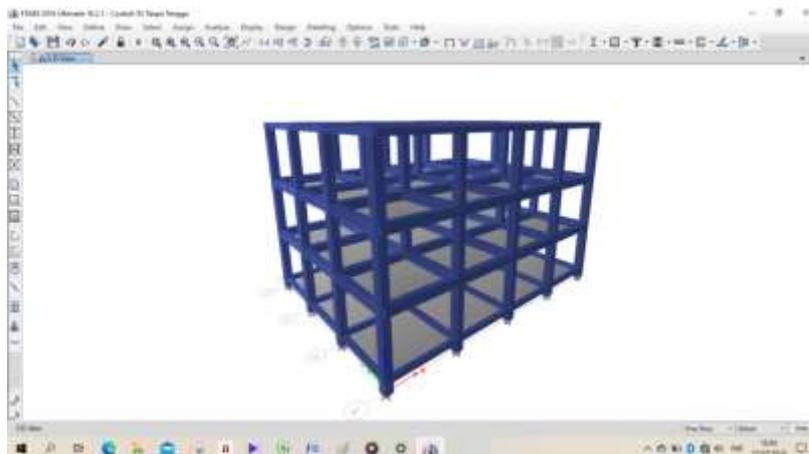
## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Pemodelan Struktur

Struktur gedung akan dimodelkan menggunakan Software Etabs menjadi 3 model gedung.

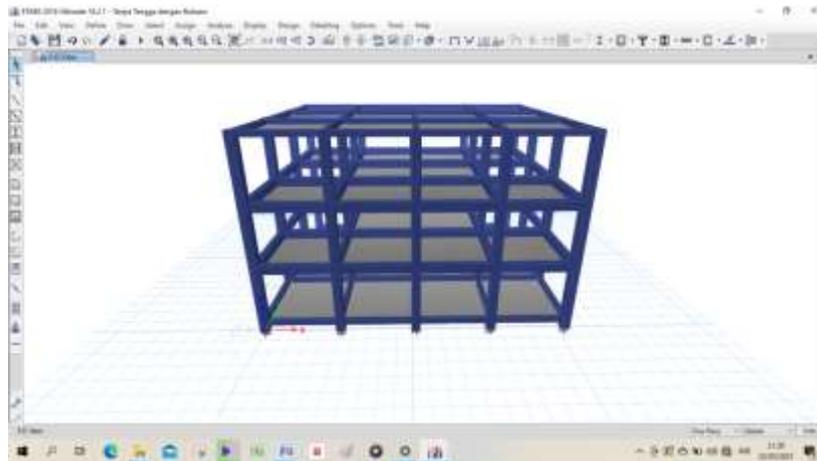
#### 3.1.1 Gedung tanpa tangga

Hasil pemodelan gedung pertama dapat dilihat pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Model Gedung tanpa Tangga

#### 3.1.2 Gedung tanpa tangga dengan bukaan void

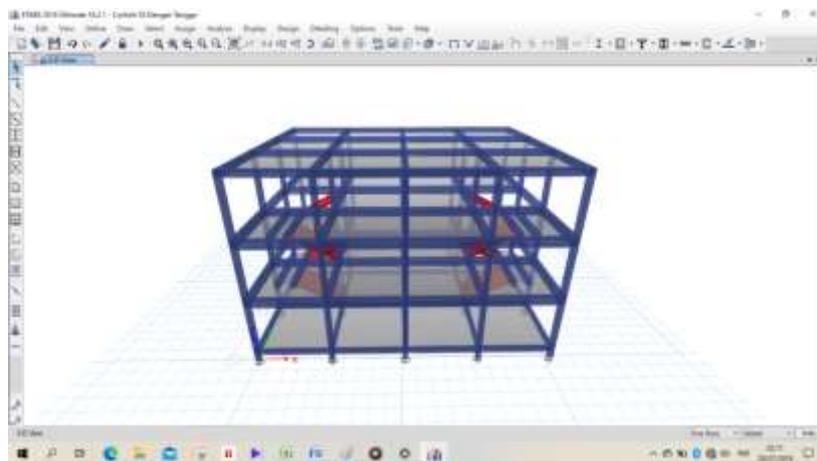
Hasil pemodelan gedung kedua dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Model Gedung tanpa Tangga dengan Bukaan Void

### 3.1.3 Gedung dengan tangga

Hasil pemodelan gedung ketiga dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Model Gedung dengan Tangga

## 3.2 Beban Mati dan Beban Hidup

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, pada tabel 3.1 point c menjelaskan bahwa beban hidup pada lantai gedung sekolah, ruang kuliah, kantor, dll adalah  $250 \text{ kg/m}^2$ , kemudian untuk tangga terdapat pada point h Tabel 3.1, yaitu sebesar  $300 \text{ kg/m}^2$ , sedangkan beban hidup untuk atap gedung digunakan  $100 \text{ kg/m}^2$ , diperoleh dari pasal 3.2 PPIUG point 1. Untuk beban mati diambil dari berat sendiri struktur.

## 3.3 Menentukan Kurva Respon Spektrum

### 3.3.1 Menentukan Kelas Situs

Berdasarkan kondisi tanah di Kota Kupang, maka mahasiswa bersama dosen pembimbing menyepakati untuk mengambil kelas situs untuk Kota Kupang, yaitu Tanah Keras (SC). Kelas situs SC ini diperoleh dari Tabel 5 Klasifikasi Situs pada SNI 1726-2019.

### 3.3.2 Menentukan Koefisien Situs

Dalam menentukan koefisien situs, maka yang dibutuhkan adalah kelas situs, nilai  $S_S$  dan nilai  $S_I$ . Nilai  $S_S$  dan nilai  $S_I$  diperoleh dari website PUSKIM, hasilnya sebagai berikut:

$$S_S = 1,0039 \quad (1)$$

$$S_I = 0,3820 \quad (2)$$

Sehingga berdasarkan kelas situs SC, nilai  $S_S$  dan nilai  $S_I$  di atas, maka diperoleh nilai  $F_a$  sebesar 1,2 dan nilai  $F_v$  sebesar 1,5. Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  diperoleh dari Tabel 6 Koefisien Situs  $F_a$  dan Tabel 7 Koefisien Situs  $F_v$  dari SNI 1726-2019.

### 3.3.3 Menghitung Nilai $S_{MS}$ dan $S_{M1}$

Setelah diperoleh nilai  $F_a$  dan  $F_v$  di atas, selanjutnya dua nilai tersebut digunakan untuk menghitung parameter respon spektrum persepatan pada periode pendek 0,2 detik ( $S_{MS}$ ) dan pada periode 1 detik ( $S_{M1}$ ), yang ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_S \text{ (Sumber SNI 1726-2019)} & (3) \\ &= 1,2 \times 1,0039 \\ &= 1,2047 \text{ m/dtk}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_I \text{ (Sumber SNI 1726-2019)} & (4) \\ &= 1,5 \times 0,3820 \\ &= 0,5730 \text{ m/dtk}^2 \end{aligned}$$

### 3.3.4 Menghitung Nilai $S_{DS}$ dan $S_{D1}$

Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0,2 detik ( $S_{DS}$ ) dan untuk periode 1 detik ( $S_{D1}$ ), sehingga perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \text{ (Sumber SNI 1726-2019)} & (5) \\ &= \frac{2}{3} \times 1,2047 \\ &= 0,80 \text{ m/dtk}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \text{ (Sumber SNI 1726-2019)} & (6) \\ &= \frac{2}{3} \times 0,5730 \\ &= 0,38 \text{ m/dtk}^2 \end{aligned}$$

### 3.3.5 Rekapitan

Dari semua nilai yang telah ditentukan di atas, maka dilakukan rekapitan nilai-nilai dari parameter-parameter di atas, rekapannya ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Rekap Parameter-Parameter Respon Spektrum Desain

No	Parameter-Parameter	Nilai
1	$S_s$	1,0039
2	$S_1$	0,382
3	$F_a$	1,2
4	$F_v$	1,5
5	$S_{MS}$	1,2047
6	$S_{M1}$	0,5730
7	$S_{DS}$	0,80
8	$S_{D1}$	0,38

Berdasarkan rekap parameter-parameter di atas, maka dapat ditentukan nilai  $T_0$ ,  $T_s$  dan juga Periode Panjang Peta Transisi ( $T_L$ ). Perhitungannya adalah sebagai berikut:

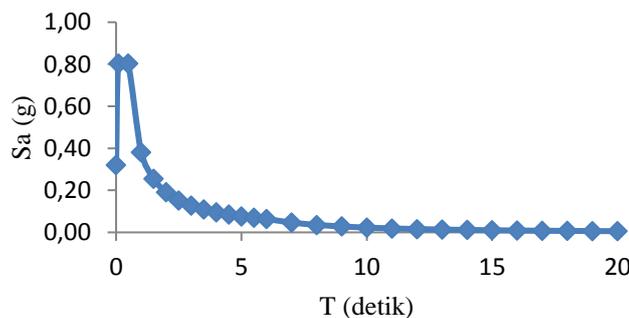
$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times \frac{SD1}{SDS} \quad (\text{Sumber SNI 1726-2019}) \quad (7) \\
 &= 0,2 \times \frac{0,38}{0,80} \\
 &= 0,0951 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{SD1}{SDS} \quad (\text{Sumber SNI 1726-2019}) \quad (8) \\
 &= \frac{0,38}{0,80} \\
 &= 0,4756 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$T_L = 6$  detik,  $T_L$  diperoleh dari peta 20, SNI 1726-2019, Hal.238, untuk wilayah NTT terkhususnya Kota Kupang.

### 3.3.6 Grafik Rekap Respon Spektrum

Nilai-nilai hasil perhitungan di atas direkap menjadi grafik rekap hubungan antara Periode ( $T$ ) dan Respon Spektrum Percepatan ( $S_a$ ). Grafik rekap dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Grafik Hubungan Periode ( $T$ ) dan Respons Spektra Percepatan ( $S_a$ )

### 3.4 Membandingkan Gaya Geser Dasar (Base Shear), Gaya Dalam Momen dan Perpindahan (Displacement) pada Ketiga Jenis Struktur Gedung.

Setelah ketiga jenis struktur dimodelkan, kemudian ditentukannya beban-beban yang membebani struktur-struktur tersebut, ketiga struktur tersebut kemudian akan dianalisis menggunakan Software Etabs. Dari hasil analisis dilakukan perbandingan antara gaya geser dasar, gaya dalam momen dan simpangannya untuk diambil kesimpulan.

#### 3.4.1 Gaya Geser Dasar (Base Shear)

##### 1. Gaya geser dasar pada gedung tanpa tangga

Base shear diperoleh dari hasil analisis menggunakan Etabs 2016. Nilai base shear diperlihatkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil Gaya Geser Dasar (Base Shear) Gedung tanpa Tangga

No	Beban (Load)	Arah memanjang (x)	Arah melintang (y)
		kN	kN
1	Selimut Max	1713,4874	1656,186
2	Selimut Min	-1713,4874	-1656,186

Tabel 3 menunjukkan nilai gaya geser dasar arah memanjang (x) dan arah melintang (y) pada struktur gedung tanpa tangga, dengan nilai hasil analisisnya adalah arah memanjang sebesar 1713,4874 kN dan arah melintang sebesar 1656,186 kN.

##### 2. Gaya geser dasar pada gedung tanpa tangga dengan bukaan void

Hasil analisis Base Shear gedung ini juga diperoleh dari software Etabs. Nilai Base Shear diperlihatkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil Gaya Geser Dasar Gedung tanpa Tangga dengan Bukaan Void

No	Beban (Load)	Arah memanjang (x)	Arah melintang (y)
		kN	kN
1	Selimut Max	1661,0388	1607,6522
2	Selimut Min	-1661,0388	-1607,6522

Tabel 4 menunjukkan nilai gaya geser dasar arah memanjang (x) dan arah melintang (y) pada struktur gedung tanpa tangga dengan bukaan void, dengan nilai hasil analisisnya adalah arah memanjang sebesar 1661,0388 kN dan arah melintang sebesar 1607,6522 kN.

##### 3. Gaya geser dasar pada gedung tanpa tangga dengan bukaan void

Nilai Base Shear diperlihatkan pada Tabel 5.

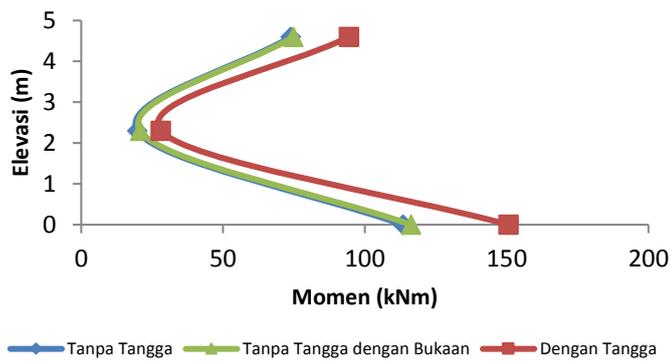
**Tabel 5.** Hasil Gaya Geser Dasar Gedung dengan Tangga

No	Beban (Load)	Arah memanjang (x)	Arah melintang (y)
		kN	kN
1	Selimut Max	2521,6983	2521,6983
2	Selimut Min	-2521,6983	-2521,6983

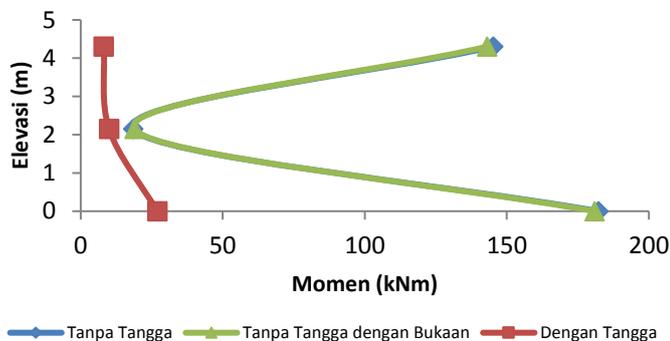
Tabel 5 menunjukkan nilai gaya geser dasar arah memanjang (x) dan arah melintang (y) pada struktur gedung dengan tangga, dengan nilai hasil analisisnya adalah arah memanjang sebesar 2521,6983 kN dan arah melintang sebesar 2521,6983 kN.

3.4.2 Gaya Dalam Momen pada Struktur Kolom ( $M_{KOLOM}$ )

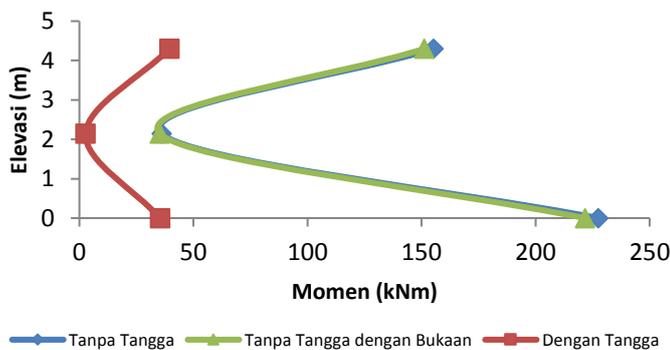
Kolom yang akan ditinjau adalah kolom yang terdapat pada pertemuan portal 2 (Mamanjang) atau kolom yang memiliki C10 pada struktur tersebut. Berdasarkan hasil analisis dari ketiga jenis tabel, maka bisa diperoleh grafik hubungan momen dan elevasi untuk masing-masing kolom per lantai gedung. Grafiknya ditampilkan pada Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.



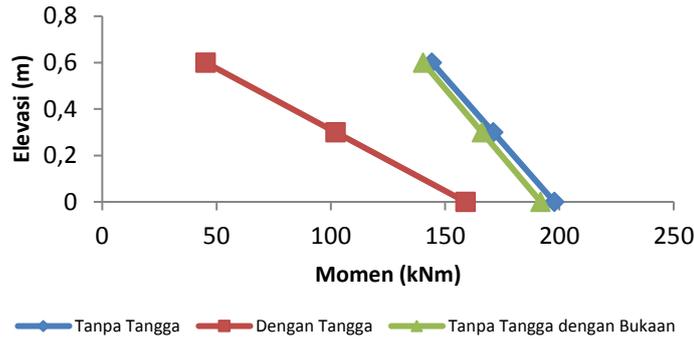
Gambar 5. Grafik Hubungan Momen (M) dan Elevasi (h) untuk Kolom Lantai 3



Gambar 6. Grafik Hubungan Momen (M) dan Elevasi (h) untuk Kolom Lantai 2



Gambar 7. Grafik Hubungan Momen (M) dan Elevasi (h) untuk Kolom Lantai 1



**Gambar 8.** Grafik Hubungan Momen (M) dan Elevasi (h) untuk Kolom Lantai Dasar

Dari grafik-grafik di atas dapat diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan gaya dalam momen pada ketiga jenis struktur yang cukup besar, hal ini berpengaruh pada penempatan jumlah tulangan pada kolom, jika acuan penempatan jumlah tulangan yang didesain menggunakan struktur tanpa tangga sedangkan pada saat di lapangan tangga sangat berpengaruh pada struktur, maka penempatan tulangan tersebut menjadi salah dan dapat mengalami kegagalan struktur

3.4.3 *Simpangan (Displacement) antar Lantai Struktur*

1. *Simpangan (Displacement) antar lantai struktur gedung tanpa tangga*

Simpangan antar lantai diperoleh dari hasil analisis menggunakan Etabs 2016. Nilai-nilainya dapat ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Nilai Simpangan Gedung tanpa Tangga

No	Story	Diap.	Load Case/Combo	UX (mm)	UY (mm)	RZ (rad)	Point	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	Story4	D4	Selimut Max	18,191	18,752	0,00019	110	12,0485	9	16
2	Story3	D3	Selimut Max	13,337	13,833	0,00014	112	12,0361	9	11
3	Story2	D2	Selimut Max	7,186	7,602	0,000077	114	12,0361	9	6
4	Story1	D1	Selimut Max	0,35	0,419	0,000004	129	12,0474	9,0439	1

2. *Simpangan (Displacement) antar lantai struktur gedung tanpa tangga dengan bukaan void*

Simpangan antar lantai diperoleh dari hasil analisis menggunakan Etabs 2016. Nilai-nilainya dapat ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Hasil Nilai Simpangan Gedung tanpa Tangga dengan Bukaannya Void

No	Story	Diap.	Load Case/Combo	UX (mm)	UY (mm)	RZ (rad)	Point	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	Story4	D4	Selimut Max	17,972	18,507	0,000186	110	12,0485	9	16
2	Story3	D3	Selimut Max	13,062	13,531	0,000135	112	12	9	11
3	Story2	D2	Selimut Max	6,996	7,397	0,000074	114	12	9	6
4	Story1	D1	Selimut Max	0,339	0,407	0,000004	129	12,0474	9,0439	1

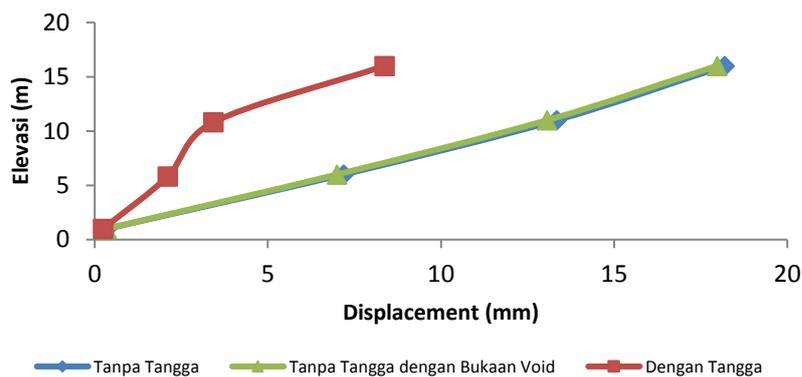
3. Simpangan (*Displacement*) antar lantai struktur gedung dengan tangga

Simpangan antar lantai diperoleh dari hasil analisis menggunakan Etabs 2016. Nilai-nilainya dapat ditunjukkan pada Tabel 8.

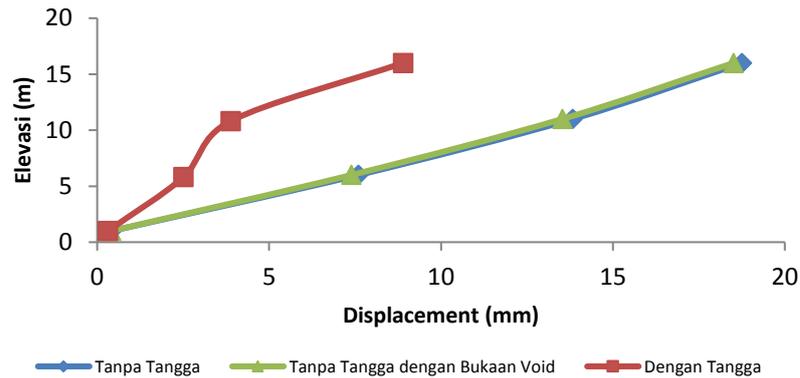
**Tabel 8.** Hasil Nilai Simpangan Gedung tanpa Tangga dengan Bukaannya Void

No	Story	Diap	Load Case/Combo	UX (mm)	UY (mm)	RZ (rad)	Point	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	Story4	D4	Selimut Max	8,372	8,895	0,000203	110	12,0485	9	16
2	Story3	D3	Selimut Max	3,425	3,88	0,000162	112	12	9,0305	10,8086
3	Story2	D2	Selimut Max	2,107	2,508	0,000119	114	12	9	5,8155
4	Story1	D1	Selimut Max	0,242	0,313	0,000001	129	12,0461	8,9582	1

Berdasarkan tabel-tabel di atas, maka bisa diperoleh grafik hubungan antara nilai *displacement* dan elevasi untuk masing-masing lantai gedung, baik arah x dan arah y. Grafiknya bisa dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



**Gambar 9.** Grafik Hubungan *Displacement* dan Elevasi (h) antar Lantai Struktur untuk Arah x



**Gambar 10.** Grafik Hubungan *Displacement* dan Elevasi (h) antar Lantai Struktur untuk Arah y

Kedua grafik di atas menunjukkan hasil bahwa terdapat perbedaan pada *displacement* ketiga gedung tersebut, nilai-nilai simpangan antar lantai biasa digunakan oleh perencana struktur untuk dapat menentukan batas layan setiap struktur. Jika memperhatikan kedua grafik perpindahan di atas, maka didapatkan bahwa nilai *displacement* untuk gedung tanpa tangga lebih besar dibandingkan dengan struktur gedung dengan tangga, hal ini diakibatkan oleh tangga yang membuat nilai kekakuan pada struktur gedung dengan tangga menjadi besar dan nilai *displacement*nya menjadi kecil.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat diperoleh bahwa untuk nilai gaya geser dasar terdapat perbedaan dari ketiga jenis struktur yang telah didesain, dimana nilai *base shear* pada gedung dengan tangga lebih besar dibandingkan dengan nilai gaya geser dasar untuk gedung tanpa tangga dan gedung tanpa tangga dengan bukaan void. Dan juga pada gedung tanpa tangga memiliki nilai gaya geser dasar yang lebih besar daripada gedung tanpa tangga dengan bukaan void ( $2521,6983 > 1713,4874 > 1661,0388$ ). Untuk struktur tanpa tangga memiliki nilai persentase kenaikan *base shear* yang dibandingkan dengan struktur tanpa tangga dengan bukaan void sebesar 3,16%, sedangkan untuk struktur gedung dengan tangga memiliki nilai persentase kenaikan *base shear* yang dibandingkan dengan struktur gedung tanpa tangga sebesar 47,17%.

Kemudian untuk gaya dalamnya, juga menunjukkan perbedaan yang cukup besar, hal ini berpengaruh pada jumlah tulangan utama dan sengkang yang digunakan pada struktur gedung yang akan didesain. Dan yang terakhir untuk nilai perpindahan dari ketiga struktur yang ditinjau, juga menunjukkan perbedaannya yaitu pada gedung tanpa tangga memiliki nilai perpindahan yang lebih besar dari pada nilai perpindahan untuk gedung dengan tangga, hal ini disebabkan oleh karena tangga pada gedung tersebut mengakibatkan nilai kekakuan menjadi lebih besar daripada nilai perpindahannya. Perbedaan juga terdapat pada gedung model 1 dan model 2 dimana gedung tanpa tangga memiliki nilai *displacement* yang lebih besar dari gedung tanpa tangga dengan bukaan void, hal ini disebabkan karena gedung tanpa tangga dengan void mengalami kehilangan massa akibat

lubang bukaan yang ada pada gedung tersebut, sehingga semakin besar bukaan void maka semakin kecil nilai simpangan atau *displacement*-nya.

### Daftar Pustaka

Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 1726-2019*. Jakarta: BSN.

Gustav, Lodoviko Oswaldo. (2017). Studi Parametrik Balok Tinggi pada Elemen Beton Bertulang Menggunakan Trajektori Tegangan dari Metode Penunjang dan Pengikat (*Strut and Tie*). Skripsi Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana. Kupang.

Harsoyo, Yoga Aprianto. (2016). Pengaruh Pemodelan Elemen Tangga pada Gedung Beton Bertulang Terhadap Beban Gempa: Studi Kasus Gedung Hotel Tajem *Paradise City* Yogyakarta 5 Lantai. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol.19, No.2, 142-147.

Matondang, Zulkifli & Mulyana, Rachmat. (2012). *Konstruksi Bangunan Gedung*. Medan: *Unved press*.

Paz, M. dan Leigh, W. (2004). *Struktural Dynamics : Theory and Computation*. *Kluwer Academic Publishers* : London.

PPIUG. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983*. Bandung: Penerbit Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.

Priyono, Aris. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai dengan Analisis Respons Spektrum Ditinjau pada *Drift* dan *Displacement* menggunakan Software ETABS. e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/September 2014/534.

Purba, Hotma L. (2014). Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat Beraturan dan Ketidak Beraturan Horizontal Sesuai SNI 03-1726-2012. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan* Vo. 2, No. 4, Desember 2014.

Purnomo, Edy. (2014). Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus : Bangunan Hotel di Semarang. e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/Desember 2014/569.

Santoso, Edy, Widiyantoro, Sri, Sukanta, I Nyoman. (2011). Studi Hazard Seismik dan Hubungannya dengan Intensitas Seismik di Pulau Sumatera dan Sekitarnya. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Volume 12 Nomor 2, 129-136.