

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. Kono¹, Partogi H. Simatupang², Ruslan Ramang^{3*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 65145, Indonesia

³ 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

^{*}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.

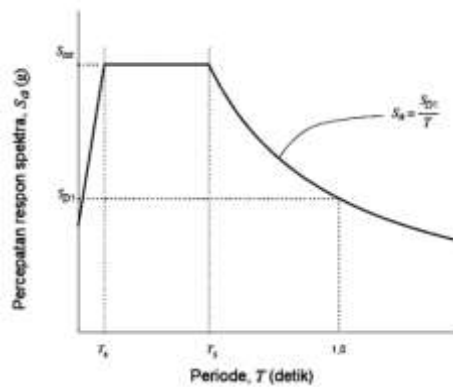
1. Pendahuluan

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 periode/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.

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

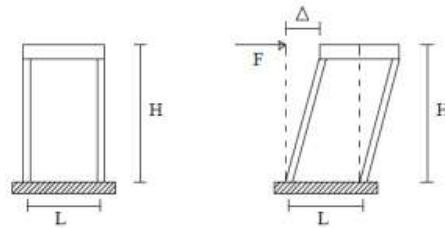
Di mana :

- F_s : Faktor skala gaya,
- V_s : Gaya geser dasar statik (kN),
- V_D : 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 (Δ) 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 :

- Δ : Simpangan antar tingkat (m),
- δ_{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

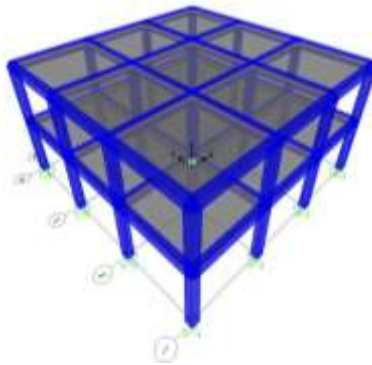
2.6. Sumber Data

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 :

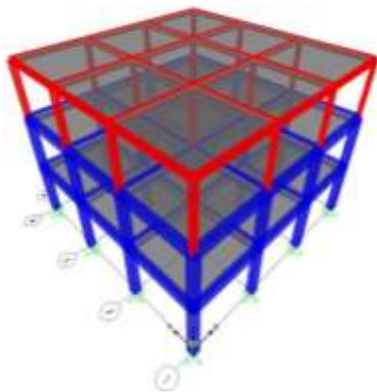
- a. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-1726, 2012).
- b. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI-2847, 2013)
- c. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI-1729, 2002)
- d. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk 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

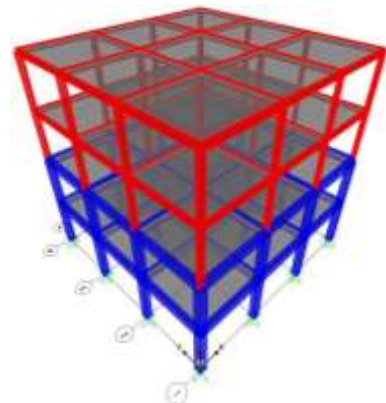
Pemodelan struktur yang dianalisis dibuat dalam bentuk 3 dimensi (3D) di mana struktur yang berwarna biru merupakan struktur beton bertulang dan struktur yang berwarna merah merupakan struktur baja seperti terlihat pada Gambar 3. sampai dengan Gambar 9.



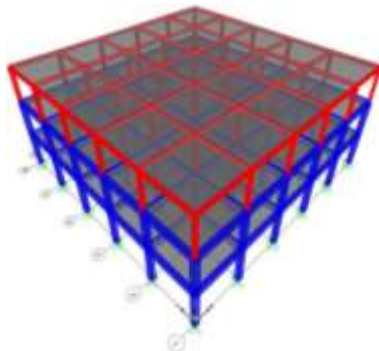
Gambar 3. Modelan Struktur C3S0



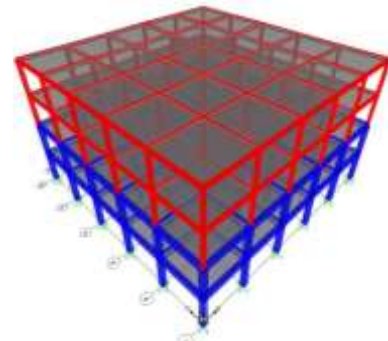
Gambar 4. Model Struktur C3S1



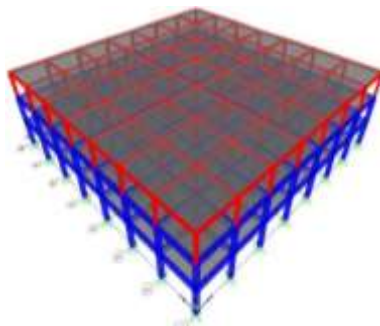
Gambar 5. Model Struktur C3S2



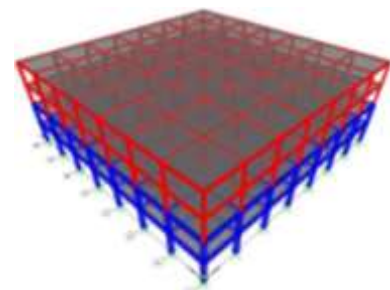
Gambar 6. Model Struktur C5S1



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*).

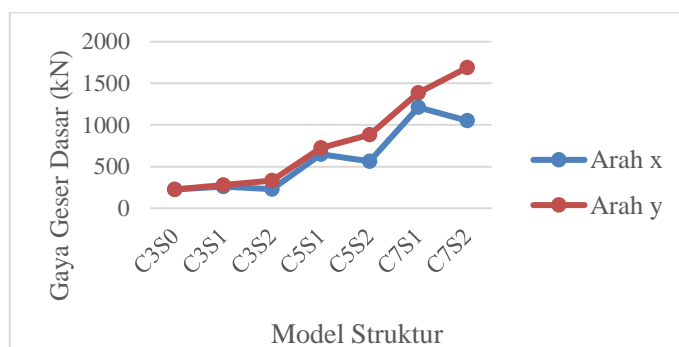
3. Hasil dan Pembahasan

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



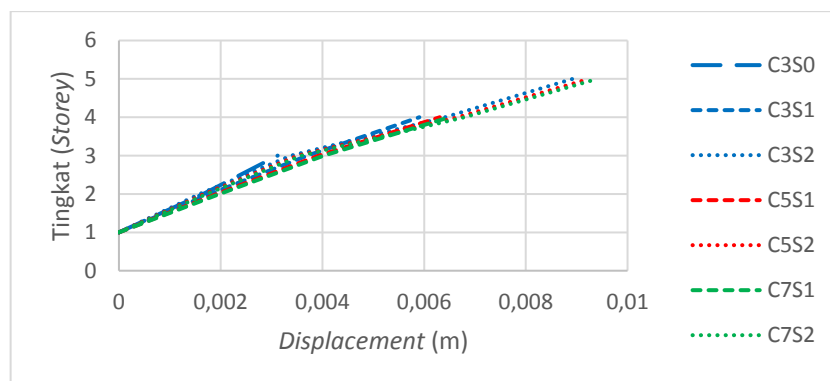
Gambar 10. Grafik Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

3.2. *Perpindahan (Displacement)*

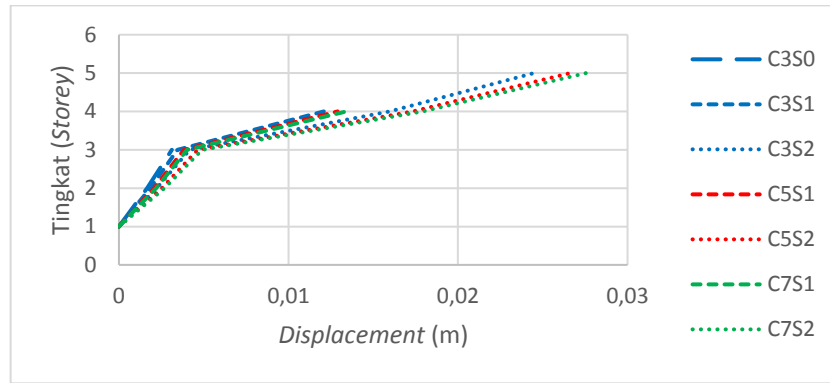
Nilai perpindahan (*displacement*) pada setiap tingkat struktur akibat beban kombinasi terbesar yang diperoleh dari hasil analisis struktur dengan analisis *response spectrum* menggunakan aplikasi SAP2000, ditampilkan dalam Tabel 3.

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>)		
			δ_x (m)	δ_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	
	1	Envelope	0,0000	0,0000	
	C3S2	Atap	Envelope	0,0089	0,0245
		4	Envelope	0,0064	0,0160
3		Envelope	0,0034	0,0042	
	2	Envelope	0,0016	0,0022	
	1	Envelope	0,0000	0,0000	
	C5S1	Atap	Envelope	0,0063	0,0129
3		Envelope	0,0039	0,0038	
2		Envelope	0,0019	0,0021	
	1	Envelope	0,0000	0,0000	
	C5S2	Atap	Envelope	0,0092	0,0266
		4	Envelope	0,0067	0,0173
3		Envelope	0,0035	0,0047	
	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	
	1	Envelope	0,0000	0,0000	
	C7S2	Atap	Envelope	0,0094	0,0276
		4	Envelope	0,0068	0,0179
3		Envelope	0,0036	0,0049	
	2	Envelope	0,0017	0,0027	
	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 (Δ) tidak boleh melebihi nilai simpangan ijin (Δ_a) yaitu sebesar $0,020h$ (SNI-1726, 2012). Perhitungan nilai simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) menggunakan persamaan berikut:

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

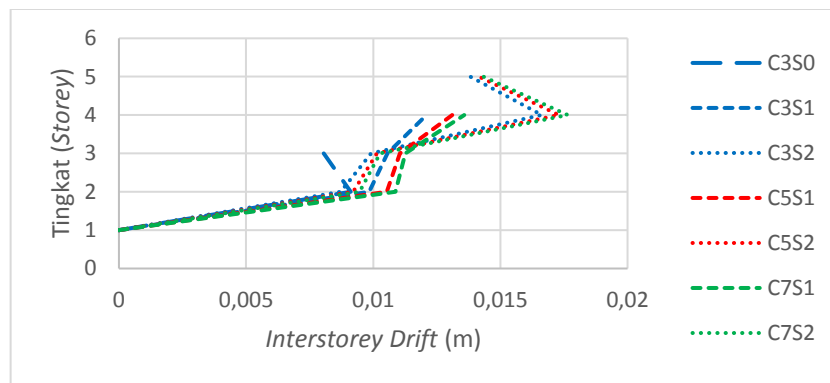
Di mana :

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

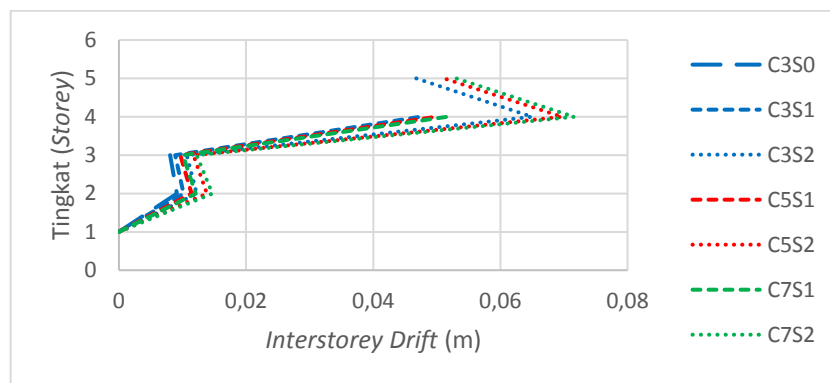
Tabel 4. Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (Interstorey Drift) Akibat Beban Kombinasi Terbesar

Model Struktur	Tingkat	Tinggi Tingkat H (m)	Simpangan Antar Tingkat (Δ)		Simpangan Ijin Δ_a (m)
			Δ_x (m)	Δ_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 (Δ)		Simpangan Ijin Δ_a (m)
			Δx (m)	Δy (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 :

δ_{maks} : Nilai perpindahan terbesar (m)

δ_{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 *Immidiante 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 Commisionsion, (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 (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 (Ω_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.