



## Perilaku Dinamis dari Penggunaan *Bracing* X Dua Tingkat pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis *Time History*

I Gede Gegiranang Wiryadi, I Ketut Diartama Kubon Tubuh\*, I Putu Agus Putra Wirawan,  
I Gede Eko Wiman Diangga.

Universitas Mahasaraswati Denpasar, Denpasar

\*Corresponding author, email address: [diartamakubon@unmas.ac.id](mailto:diartamakubon@unmas.ac.id)

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received: 1 Februari 2024

Revised: 1 April 2024

Accepted: 25 April 2024

Available Online: 30 April 2024

#### Kata Kunci:

*Bracing*, Analisis Riwayat Waktu, Simpangan, Gaya Geser Dasar.

#### Keywords:

*Bracing*, *Time History* Analysis, Displacement, Base Shear.

### ABSTRAK

Penggunaan struktur elemen langsing masih banyak digunakan sehingga menyebabkan kekakuan struktur menjadi lebih kecil dan deformasi lateral akan menjadi besar. Salah satu cara yang dapat dilakukan agar struktur menjadi lebih kaku adalah dengan menambahkan *bracing*. Penambahan *bracing* akan mengubah tingkat daktilitas struktur menjadi lebih baik dibandingkan tanpa adanya *bracing*. Penelitian ini mengamati perilaku dinamis struktur gedung dengan *bracing* terhadap gaya gempa metode Time History yang menggunakan rekaman gempa Sumatera Barat tahun 2007. Dengan menggunakan software SAP2000, hasil rasio simpangan struktur dengan *bracing* terhadap open frame untuk gedung berlantai 4 bervariasi dalam tiap lantai dengan rentang 36%-49% untuk arah X dan 39%-50% untuk arah Y. Untuk gedung berlantai 6, memiliki rentang 58%-77% untuk arah X dan 58%-82% untuk arah Y. Sedangkan gedung berlantai 8, memiliki rentang 66%-75% untuk arah X dan 65%-85% untuk arah Y. Gaya geser dasar yang didapat pada gedung 4 lantai dari struktur open frame (OF) arah X, OF arah Y, *bracing* arah X, dan *bracing* arah Y adalah sebesar, berturut-turut, 705 kN, 624 kN, 944 kN, dan 864 kN. Pada gedung 6 lantai, gaya geser dasar struktur OF arah X, OF arah Y, *bracing* arah X, dan *bracing* arah Y adalah sebesar, berturut-turut, 524 kN, 461 kN, 901 kN, dan 902 kN. Sedangkan pada gedung 8 lantai adalah, dengan urutan yang sama, 353 kN, 338 kN, 863 kN, dan 793 kN. Hasil menunjukkan penggunaan *bracing* X dua tingkat dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan, dan kemampuan kolom dalam menahan gaya geser dan gaya aksial. Hal ini dilihat dari simpangan yang lebih kecil dan gaya geser dasar yang lebih besar terhadap struktur OF.

### ABSTRACT

The use of slender structures is still widely used, causing the stiffness of the structure to be smaller and the lateral deformation will be large. One way that can be done to make the structure more stiffened is to add *bracing*. The addition of *bracing* will change the ductility level of the structure to be better than without *bracing*. This study observes the dynamic behavior of building structures with *bracing* to seismic forces using the Time History method using earthquake records from West Sumatra. The goal to be achieved is to find out how the use of two-level X *bracing* affects the dynamic behavior of a 4-, 6-, and 8-storey building by analyzing time history with recordings of the West Sumatra earthquake in 2007. By using SAP2000 software, the results of the story displacement ratio with *bracing* to open frame for 4-storey buildings vary in each floor with a range of 36% -49% for the X direction and 39% -50% for the Y direction. For a 6-storey building, it has a range of 58% -77% for the X direction and 58%-82% for the Y direction. Meanwhile, an 8-storey building has a range of 66%-75% for the X direction and 65%-85% for the Y direction. The base shear force obtained in building

4 floor of open frame structure (OF) in X direction, Y direction OF, X direction bracing, and Y direction bracing are 705 kN, 624 kN, 944 kN, and 864 kN respectively. In a 6-storey building, the base shear forces of the OF structure in the X direction, OF Y direction, the X direction bracing, and the Y direction bracing are 524 kN, 461 kN, 901 kN, and 902 kN, respectively. Meanwhile, in an 8-storey building, they are, in the same order, 353 kN, 338 kN, 863 kN, and 793 kN. The results show that the use of two-level X bracing can increase the strength, stiffness, and ability of the column to bear shear and axial forces. This can be seen from the smaller displacement and greater base shear force against the OF structure.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

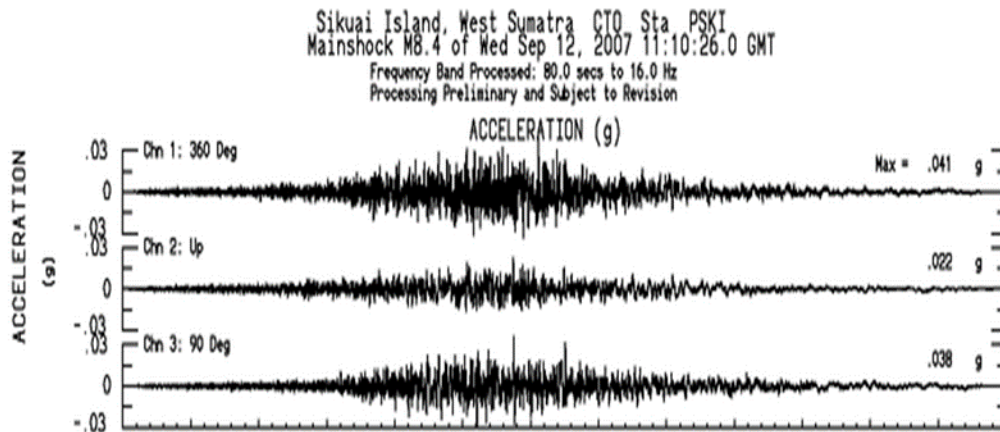
## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan struktur langsing masih banyak digunakan, sehingga kekakuan struktur menjadi lebih kecil dan deformasi lateral akan menjadi besar. Perlu adanya perencanaan bangunan dengan menggunakan prinsip Teknik yang benar, detail konstruksi yang baik dan praktis maka kerugian harta benda atau kerusakan pada bangunan dapat berkurang. Salah satu penyebab keruntuhan bangunan adalah ketidakstabilan struktur. Pada struktur yang stabil, deformasi yang terjadi akibat dari pembebanan umumnya kecil dan bentuk struktur mempunyai kecenderungan kembali ke bentuk semula apa bila beban dihilangkan. Stabilitas pada struktur merupakan hal dasar yang harus terpenuhi untuk menjaga bangunan tetap berdiri. Struktur yang tidak stabil, apabila menerima beban maka struktur tersebut mengalami perubahan bentuk yang lebih besar dibandingkan struktur yang stabil. Hal ini menunjukkan semakin tinggi rasio kelangsingan struktur maka kekakuan struktur mengalami penurunan [1]. Salah satu cara yang dapat dilakukan agar struktur menjadi lebih stabil dengan menambahkan atau mengombinasikan struktur rangka penahan momen dengan *bracing*. Dengan penambahan *bracing* maka tingkat daktilitas struktur dapat berubah menjadi lebih baik dibandingkan tanpa adanya *bracing* [2]. Terdapat beberapa tipe *bracing* yaitu Z, V,  $\Lambda$ , dan X. Di antara beberapa tipe *bracing* tersebut, struktur dengan *bracing* tipe X memiliki nilai momen lentur pada elemen struktur terkecil dibandingkan tipe *bracing* lainnya [3]. Penggunaan *bracing* X dua tingkat dapat menghindari ketidakstabilan dan sendi plastis pada balok dan kolom, sehingga kekakuan struktur menjadi besar dan deformasi lateral akan menjadi kecil [4]. Terkait dengan permasalahan tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan *bracing* X dua tingkat terhadap perilaku dinamis pada suatu gedung bertingkat 4, 6, dan 8 lantai dengan analisis beban gempa *time history*.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1. *Time history analysis*

Beban gempa merupakan fungsi dari waktu, sehingga respons yang terjadi pada struktur gedung juga tergantung dari waktu pembebanan. Akibat beban gempa rencana, struktur akan tetap berperilaku inelastik untuk analisis non linear dan berperilaku inelastik untuk analisis non linier. Biasanya analisis *time history* atau riwayat waktu lebih sering digunakan untuk kondisi non linear, namun tidak jarang juga digunakan untuk kondisi linear saja. Untuk mendapatkan respons struktur akibat pembebanan dari rekam *accelerogram*, penggunaan modal analisis tidak dapat dilakukan. Integrasi numerik langsung dengan memperhatikan struktur sebagai persamaan *couple* adalah dasar dari analisis *Time History* dengan metode integrasi yang umumnya digunakan adalah metode Newmark. *Accelerogram* merupakan perekaman akselerasi gerakan dasar bumi pada saat gempa terjadi [5].



**Gambar 1.** Riwayat waktu gempa Sumatera Barat

## 2.2. Metode Newmark linier

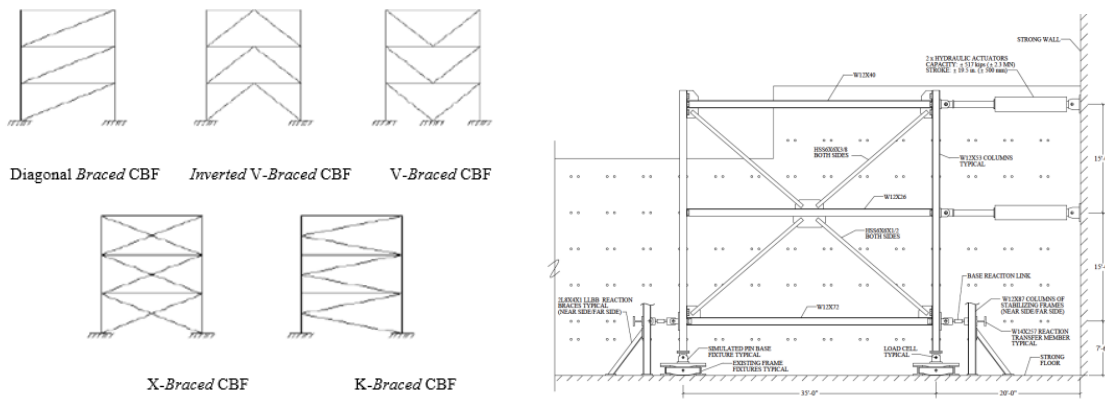
Metode Newmark merupakan salah satu prosedur numerik yang biasa digunakan untuk menganalisis respons struktur terhadap beban gempa. Metode ini mempunyai dua parameter penting yaitu  $\beta$  dan  $\gamma$ , yang menetapkan variasi dari percepatan terhadap selang waktu dan menentukan karakteristik kestabilan dan akurasi dari metode tersebut. Apabila dipakai nilai  $\gamma = 1/2$  dan  $\beta = 1/4$ , artinya digunakan prinsip metode percepatan rata-rata. Sedangkan apabila dipakai nilai  $\gamma = 1/2$  dan  $\beta = 1/6$ , maka digunakan prinsip metode percepatan linear. Dan seperti metode numerik yang lain pada umumnya, kedua prinsip ini masing-masing juga mempunyai tingkat kestabilan dan akurasi yang berbeda-beda [6].

## 2.3. Faktor redaman (*damping ratio*)

Redaman adalah peristiwa pelepasan energi oleh struktur yang disebabkan oleh berbagai macam sebab. Beberapa dari penyebab tersebut yaitu pelepasan energi oleh gesekan alat penyambung maupun sistem dukungan, pelepasan energi karena gerakan antar molekul dalam material, pelepasan energi oleh gesekan dengan udara, serta pada respons elastik pelepasan energi pun terjadi karena rotasi sendi plastis. Redaman akan mengurangi respons struktur karena ia berfungsi untuk melepaskan energi [7].

## 2.4. *Bracing*

*Bracing* merupakan elemen struktur penahan gaya lateral. Elemen ini berupa batang yang dipasang pada portal struktur. Karakteristik dari elemen ini adalah dominasi aksial yang terjadi ketika gaya lateral terjadi. Di mana pada saat gempa terjadi, gaya lateral yang diterima oleh struktur akan diteruskan pada elemen *bracing* ini sebagai gaya-gaya aksial. Sistem rangka *bracing* yang digunakan yaitu sistem rangka *bracing* konsentrik [8]. Sistem rangka *bracing* konsentrik yaitu kekakuan sistem ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Penyerapan energi pada sistem ini dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada pelat buhul. Sistem ini daktilitasnya kurang begitu baik sehingga kegagalannya ditentukan oleh tekuk *bracing* [3].



**Gambar 2.** Berbagai jenis rangka *bracing* konsentrik dan sistem *bracing* X dua tingkat

Keunggulan dari penggunaan rangka *bracing* konsentrik dalam desain baja seismik adalah faktor R tinggi dan kontrol terhadap drift yang sederhana. Namun penggunaan dari sistem ini sering kali dihindari karena mengharuskan balok untuk dirancang terhadap gaya yang tidak seimbang yang timbul akibat redistribusi gaya-gaya dalam. Tetapi *bracing* X dua tingkat merupakan alternatif yang dapat digunakan, yang mana *bracing* pada tingkat atas yang menahan tarik akan menahan gaya tidak seimbang pada balok sehingga penampang balok menjadi lebih kecil [9].

## 2.5. Rekaman Gempa Nias

Pulau Sumatra merupakan salah satu wilayah tektonik aktif. Subduksi yang terjadi antara lempeng Indo-Australia terhadap Eurasia menyebabkan oblique konvergen muncul. Oblique konvergen dibagi menjadi dua komponen, yaitu komponen dip-slip yang terdapat di zona subduksi antara lempeng, dan komponen strike-slip di sesar besar Sumatera [10]. Zona subduksi Sumatra merupakan jalur gempa bumi di Indonesia yang paling banyak menyerap dan mengeluarkan energi gempa bumi dengan magnitudo  $M_w \geq 8$  SR, sehingga berpotensi menimbulkan tsunami (Newcomb dan McCann 1987). Salah satu segmen yang berada persis di atas zona megathrust (sumber gempa zona subduksi) dan pernah menimbulkan gempa bumi sampai membangkitkan tsunami adalah Nias dan Mentawai yang terletak di wilayah barat Sumatera. Gempa bumi Nias yang mengakibatkan tsunami terjadi pada 12 september 2007 dengan magnitudo  $M_w$  8,4 [11].

## 2.6. Analisis Dinamik

Analisis dinamik dilakukan pada perancangan struktur bangunan tingkat tinggi atau struktur dengan bentuk atau konfigurasi yang tidak teratur. Analisis dinamik dapat dilakukan dengan cara elastis maupun inelastis. Pada cara elastis dibedakan menjadi Analisis Ragam Riwayat Waktu (Time History Modal Analysis), dimana pada cara ini diperlukan rekaman percepatan gempa dan Analisis Ragam Spektrum Respon (Respons Spectrum Modal Analysis), dimana pada cara ini respon maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana atau Design Spectra [12].

## 2.7. Gempa Rencana, Faktor Keutamaan dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

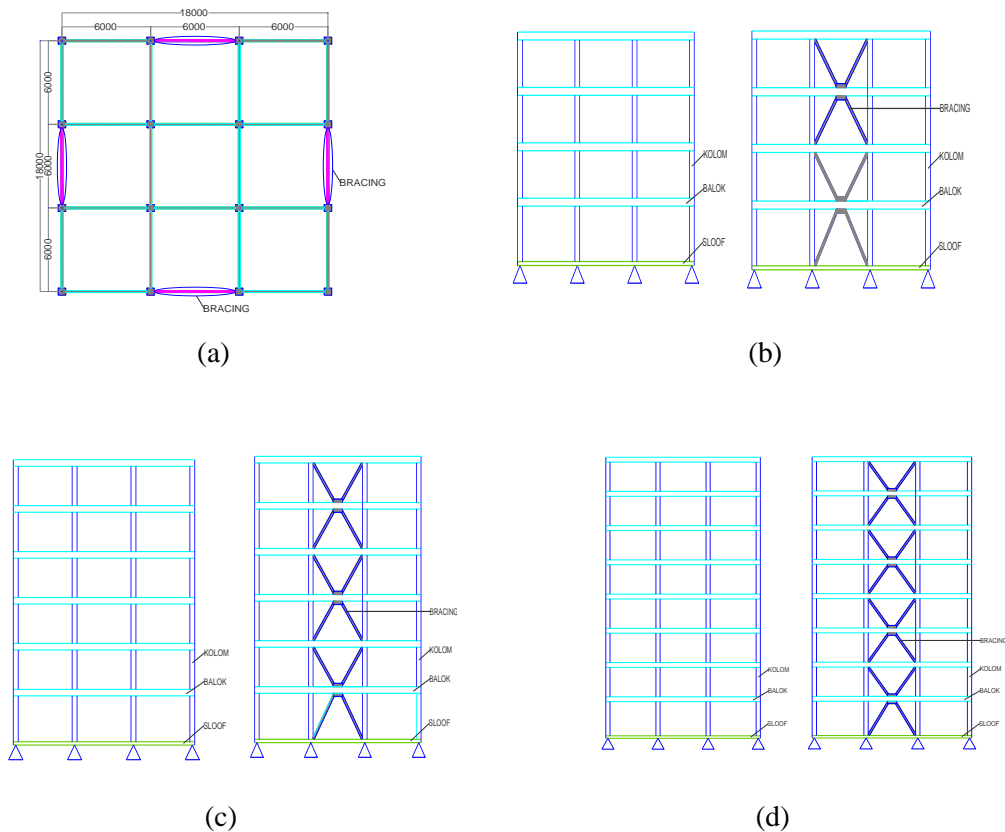
Dalam BSN, (2019) gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 %. Gempa rencana yang mempunyai peluang 2 % ( $R_n$  2 % dari periode 50 tahun dan pengaruh beban gempa dengan perilaku dinamis. Kategori risiko struktur bangunan dengan faktor keutamaan gempa rencana harus dikalikan dengan koefisien faktor keutamaan gempa  $I_e$  berdasarkan kategori resiko [13]

### 3. METODE PENELITIAN

Desain dilakukan untuk merencanakan sebuah struktur menggunakan sistem beton bertulang dengan penambahan *bracing*. Bangunan merupakan struktur gedung bertingkat 4, 6 dan 8 lantai yang berfungsi sebagai Hotel dengan tinggi tiap lantai 3,5 m dan luas bangunan 18 m x 18 m berlokasi di Denpasar. Proses struktur dimodelkan secara 3D pada program SAP2000 dengan beberapa tahapan yaitu: menentukan bentuk struktur, menginput jenis material, mendefinisikan elemen property, mendefinisikan beban pada struktur, pengerjaan beban pada struktur, serta mendefinisikan kombinasi beban.

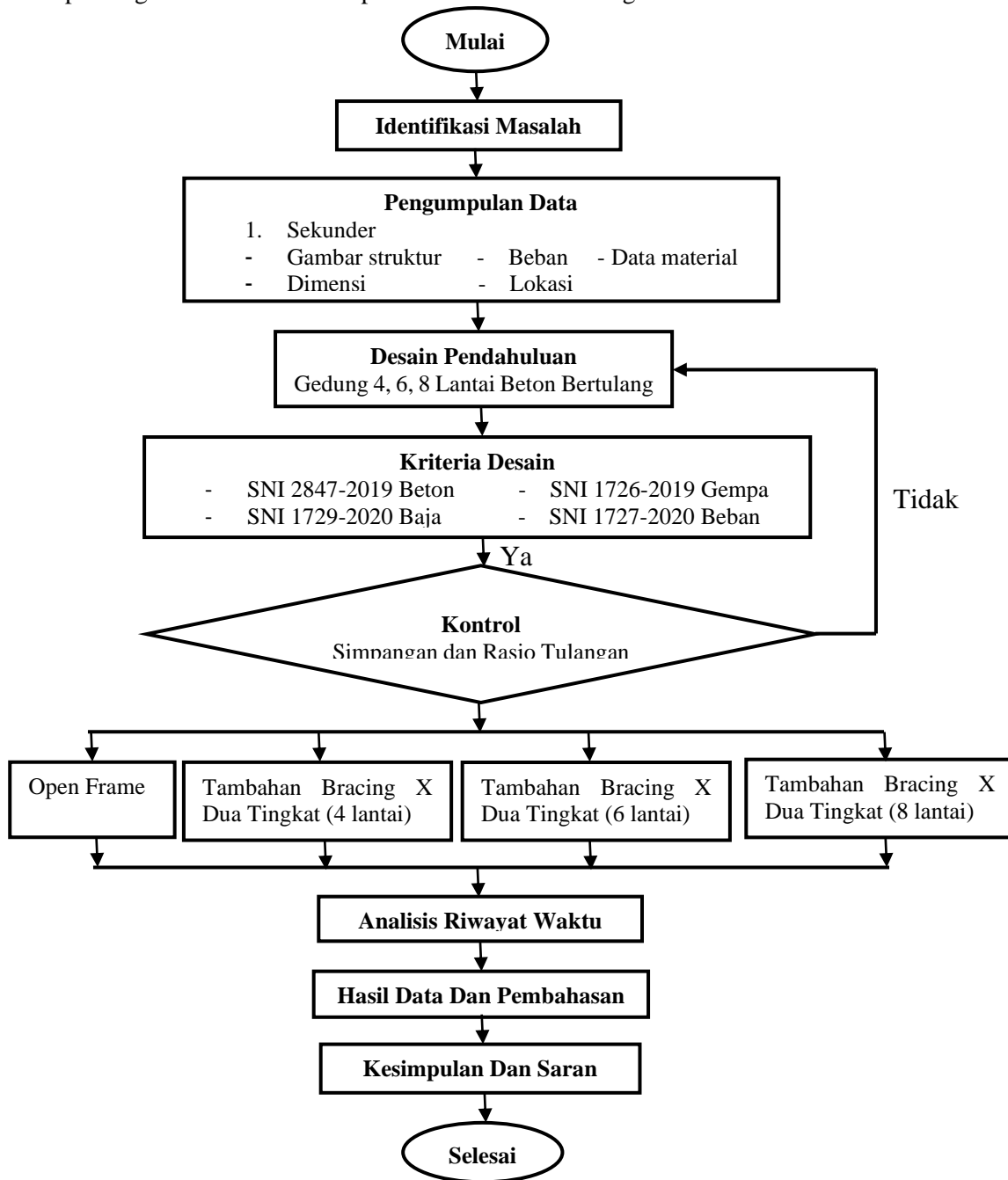
Data material yang akan digunakan dalam pemodelan sistem struktur tersebut meliputi mutu beton  $f'c = 30$  Mpa untuk balok, kolom, pelat lantai dan atap [14]. Untuk material batang diagonal *bracing* x dengan mutu baja  $f_y = 240$  Mpa dan  $f_u = 370$  Mpa [15].

Dimensi elemen struktur gedung 4, 6 dan 8 lantai sebagai berikut :



**Gambar 3.** Rancangan geometri struktur model-model. (a) Denah tipikal tiap lantai, (b) Potongan gedung lantai 4 OF (kiri) dan *bracing* (kanan), (c) Potongan gedung lantai 6 OF (kiri) dan *bracing* (kanan). (d) Potongan gedung lantai 8 OF (kiri) dan *bracing* (kanan).

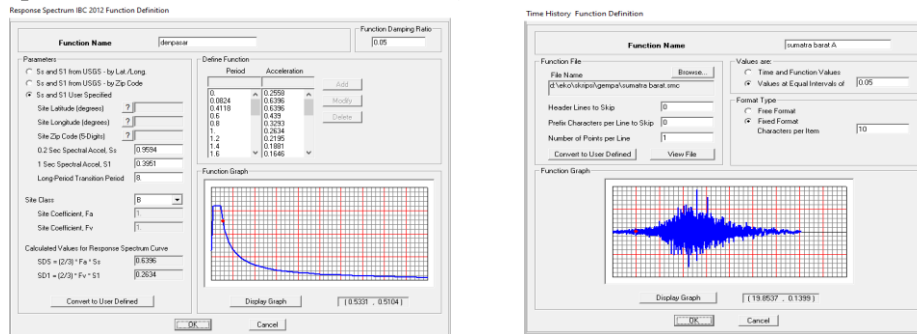
Adapun bagan alir desain dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.** Bagan Alir Penelitian

Pada pemodelan struktur semua model gedung diasumsikan menggunakan perletakan sendi, untuk ujung *bracing* yang menjadi pertemuan antara balok dan kolom di release terhadap momen 22 dan momen 33 sedangkan *joint* balok dan kolom kaku. Setelah pemodelan 3D pada SAP2000 selesai, maka dilakukan *input* beban-beban seperti beban mati (*dead load*), beban mati tambahan (*super dead load*), beban hidup (*live load*) dan beban gempa. Beban hidup dengan asumsi fungsi bangunan sebagai hotel adalah sebesar 4,79 kN/m<sup>2</sup> untuk plat lantai dan 0,96 kN/m<sup>2</sup> untuk pelat atap [16]. Beban mati yang bekerja adalah sesuai dengan dimensi struktur yaitu berat sendiri struktur. Untuk beban mati akibat berat sendiri dihitung oleh *software* SAP2000 berdasarkan dimensi elemen struktur yang digambar, yaitu dengan cara *input* 1 pada *Self Weight Multiplier* beban mati (*dead load*) di *Define Load Pattern*. Beban mati tambahan (*Super Dead*

*Load*) yaitu beban tambahan yang bukan termasuk elemen struktur seperti finishing lantai, dinding, partisi, dan lainnya dihitung berdasarkan berat satuan. Adapun beban mati tambahan diinput sesuai dengan Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung 1978 pasal 2.1 [17], sebesar 145 kg/m<sup>2</sup> pada pelat lantai yang meliputi berat spesi, berat penutup lantai, berat penggantung, berat plafond dan instalasi MEP. Sedangkan pada pelat atap sebesar 121 kg/m<sup>2</sup>. Selanjutnya dilakukan analisis *respons spektrum* dengan asumsi gedung berlokasi di Denpasar dengan *site class* = B (batuan), nilai  $S_s = 0,9594$  dan nilai  $S_1 = 0,3951$  [18] Analisis beban dinamik dapat dilakukan dengan mendefinisikan beban gempa *time history* menggunakan rekaman gempa Sumatera Barat [19]. Pengaturan data *time history* dilakukan dengan mendefinisikan beban rekaman gempa, pengaturan data *load case*, pemilihan beban-beban yang akan diberikan pada model, dan melakukan *run analysis*.



**Gambar 5.** *Input Response Spektrum Analysis* lokasi Denpasar (kiri) dan *Define time history functions* gempa Sumatera Barat

Dalam pengaturan ini akan, di-*input file* rekaman gempa dengan menu *Browser*, dan pengaturan lainnya disesuaikan dengan format data rekaman gempanya. Selanjutnya yang di-*input* adalah *damping* atau redaman. Metode yang digunakan untuk menentukan damping pada penelitian ini adalah metode Newmark. Damping akan dihitung dengan besaran *Circle Frequency* untuk mendapatkan  $\alpha$  dan  $\beta$  yang digunakan untuk mencari *Proportional Damping* dengan menggunakan Microsoft Excel. Nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  tersebut juga yang di-*input* dalam *Damping Parameters* dengan *Specify Damping by Frequency* [20] .

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi penampang adalah ukuran elemen struktur yang diperoleh dari hasil desain dan analisis dengan menggunakan aplikasi *SAP2000*. Tahap ini dilaksanakan secara berulang-ulang (*trial and error*). Berikut merupakan dimensi penampang dari model struktur *open frame* (OP) dan *bracing* pada gedung 4,6, dan 8 lantai setelah dilakukan *trial and error*.

**Tabel 1** Dimensi elemen struktur model-model gedung 4,6, dan 8 lantai

Gedung	Lantai	Kolom (mm)	Balok Induk (mm)	Balok Anak (mm)	Pelat (mm)	Bracing (mm)
4 Lantai	4	300×650	250×550	150×300	100	H 200×200×8×12
	3	300×650	300×600	200×400	120	
	2	350×650	300×600	200×400	120	H 200×200×8×12
	1	350×650	300×600	200×400	120	
6 Lantai	6	300×600	250×550	150×300	100	H 200×200×8×12
	5	300×600	300×600	200×400	120	
	4	300×650	300×600	200×400	120	H 200×200×8×12
	3	300×650	300×600	200×400	120	
	2	350×650	300×600	200×400	120	H 200×200×8×12
8 Lantai	8	300×600	250/550	150×300	100	H 200×200×8×12
	7	300×600	300×600	200×400	120	
	6	300×650	300×600	200×400	120	H 200×200×8×12

Gedung	Lantai	Kolom (mm)	Balok Induk (mm)	Balok Anak (mm)	Pelat (mm)	Bracing (mm)
	5	300×650	300×600	200×400	120	
	4	350×650	300×600	200×400	120	H 200×200×8×12
	3	350×650	300×600	200×400	120	
	2	350×650	300×600	200×400	120	H 200×200×8×12
	1	350×650	300×600	200×400	120	

#### 4.1 Gaya Geser Dasar

Berikut merupakan gaya geser dasar dari hasil analisis *respons spektrum* dan *time history* dari model struktur *open frame* (OP) dan *bracing* pada gedung 4,6, dan 8 lantai.

**Tabel 2.** Gaya geser dasar

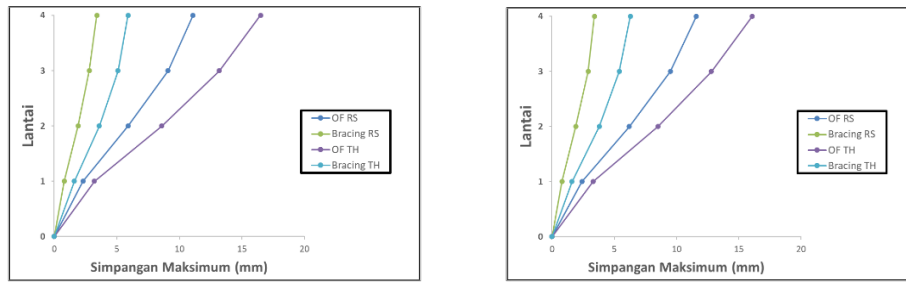
Gedung	Model Struktur	Arah	RS (kN)	TH (kN)
Lantai 4	<i>Open Frame</i> (OP)	X	321	705
		Y	314	624
	<i>Bracing</i>	X	494	944
		Y	496	865
Lantai 6	<i>Open Frame</i> (OP)	X	334	524
		Y	324	461
	<i>Bracing</i>	X	544	902
		Y	545	920
Lantai 8	<i>Open Frame</i> (OP)	X	273	353
		Y	266	338
	<i>Bracing</i>	X	546	863
		Y	541	793

Gaya geser dasar dengan analisis *respons spektrum* pada bangunan gedung 4 lantai bangunan *open frame* arah X sebesar 321 kN/m, untuk arah Y sebesar 314 kN/m. Sedangkan untuk bangunan dengan *bracing* arah X sebesar 494 kN/m, untuk arah Y sebesar 496 kN/m, pada bangunan gedung 6 lantai bangunan *open frame* arah X sebesar 334 kN/m, untuk arah Y sebesar 324 kN/m, sedangkan untuk bangunan dengan *bracing* arah X sebesar 544 kN/m, untuk arah Y sebesar 545 kN/m, pada bangunan gedung 8 lantai bangunan *open frame* arah X sebesar 273 kN/m, untuk arah Y sebesar 266 kN/m. Sedangkan untuk bangunan dengan *bracing* arah X sebesar 546 kN/m, untuk arah Y sebesar 541 kN/m. Dari hasil yang ada menunjukkan gaya geser dasar struktur dengan *bracing* lebih besar dibandingkan gaya geser dasar bangunan *open frame*. Gaya geser dasar dengan analisis *time history* pada bangunan Gedung 4 lantai bangunan *open frame* arah X sebesar 705 kN/m, untuk arah Y sebesar 624 kN/m. Sedangkan untuk bangunan dengan *bracing* arah X sebesar 944 kN/m, untuk arah Y sebesar 864 kN/m, Pada bangunan Gedung 6 lantai bangunan *open frame* arah X sebesar 524 kN/m, untuk arah Y sebesar 461 kN/m, Sedangkan untuk bangunan dengan *bracing* arah X sebesar 901 kN/m, untuk arah Y sebesar 902 kN/m, Pada bangunan Gedung 8 lantai bangunan *open frame* arah X sebesar 353 kN/m, untuk arah Y sebesar 338 kN/m. Sedangkan untuk bangunan dengan *bracing* arah X sebesar 863 kN/m, untuk arah Y sebesar 793 kN/m. Dari hasil yang ada menunjukkan gaya geser dasar struktur dengan *bracing* lebih besar dibandingkan gaya geser dasar bangunan *open frame*.

#### 4.2 Simpangan Maksimum

Berikut ini merupakan perbandingan simpangan struktur bangunan *open frame* dengan struktur bangunan dengan *bracing* untuk gedung 4, 6 dan 8 lantai seperti pada **Gambar.5**





**Gambar 6** Grafik simpangan maksimum arah X (kiri) dan arah Y (kanan) lantai 4

**Tabel 3.** Simpangan maksimum arah X lantai 4

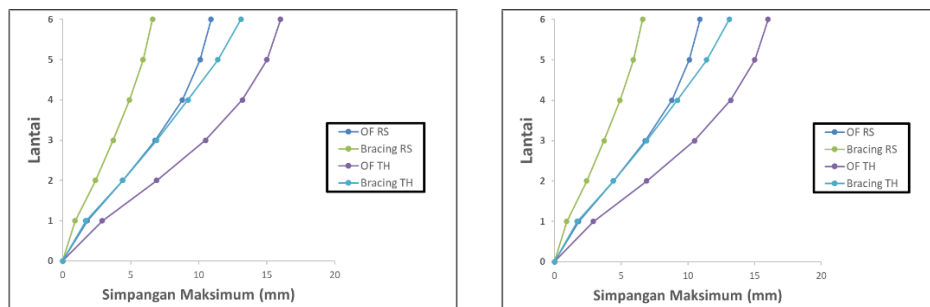
Lantai	OF X		Rasio	Bracing X		Rasio	Rasio (bracing/OF)*100%	
	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH	(RS/TH)*100%	RS	TH
4	11,1	16,5	67%	3,4	5,9	57%	30%	36%
3	9,1	13,2	68%	2,8	5,1	54%	31%	39%
2	5,9	8,6	68%	1,9	3,6	52%	32%	42%
1	2,3	3,2	71%	0,8	1,6	51%	35%	49%
0	0	0	0%	0	0	0%	0%	0%

Simpangan arah X struktur bangunan *open frame* dan struktur bangunan *bracing* terbesar terjadi pada analisis beban gempa *time history* (TH) sebesar 1,4 kali lipat dan 1,7 kali lipat dari analisis *respons spektrum* (RS).

**Tabel 4.** Simpangan maksimum arah Y lantai 4

Lantai	OF Y		Rasio	Bracing Y		Rasio	Rasio (bracing/OF)*100%	
	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH	(RS/TH)*100%	RS	TH
4	11,6	16,1	72%	3,4	6,3	55%	30%	39%
3	9,5	12,8	74%	2,9	5,4	53%	30%	43%
2	6,2	8,5	73%	1,9	3,8	51%	32%	45%
1	2,4	3,3	73%	0,8	1,6	50%	34%	50%
0	0	0	0%	0	0	0%	0%	0%

Simpangan arah Y struktur bangunan *open frame* dan struktur bangunan *bracing* terbesar terjadi pada analisis beban gempa *time history* (TH) sebesar 1,4 kali lipat dan 1,8 kali lipat dari analisis *respons spektrum* (RS).



**Gambar 7.** Grafik simpangan maksimum arah X (kiri) dan arah Y (kanan) lantai 6

**Tabel 5.** Simpangan maksimum arah X lantai 6

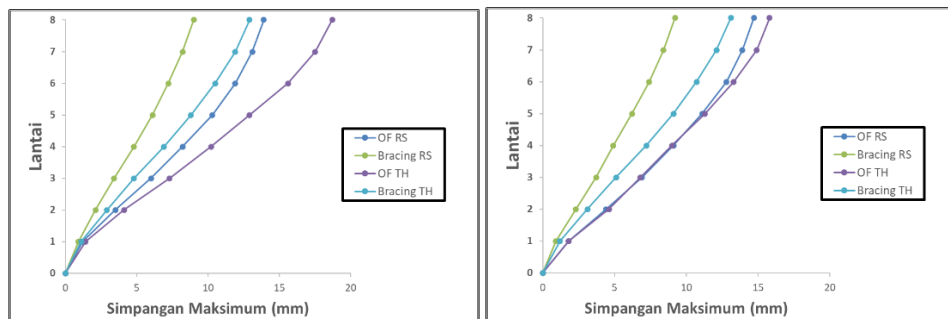
Lantai	OF X		Rasio	Bracing X		Rasio	Rasio (bracing/OF*100%)	
	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH
6	10,6	16,7	64%	6,6	12,8	51%	62%	77%
5	9,7	15,3	63%	5,8	11,1	52%	60%	72%
4	8,4	13,2	64%	4,8	8,9	54%	58%	68%
3	6,4	10,0	65%	3,6	6,6	55%	56%	66%
2	4,1	6,4	64%	2,3	4,1	55%	57%	65%
1	1,6	2,7	59%	0,9	1,5	59%	58%	58%
0	0	0	0%	0	0	0%	0%	0%

Simpangan arah X struktur bangunan *open frame* dan struktur bangunan *bracing* terbesar terjadi pada analisis beban gempa *time history* (TH) sebesar 1,5 kali lipat dan 1,9 kali lipat dari analisis *respons spektrum* (RS).

**Tabel 6.** Simpangan maksimum arah Y lantai 6

Lantai	OF Y		Rasio	Bracing Y		Rasio	Rasio (bracing/OF*100%)	
	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH
6	10,9	16,0	68%	6.5749	13,1	50%	60%	82%
5	10,1	15,0	67%	5.8561	11,4	51%	58%	76%
4	8,8	13,2	66%	4.8709	9,2	53%	56%	70%
3	6,8	10,5	65%	3.6713	6,9	53%	54%	66%
2	4,4	6,9	63%	2.3791	4,4	54%	54%	64%
1	1,8	2,9	61%	0.9925	1,7	58%	55%	58%
0	0	0	0%	0	0	0%	0%	0%

Simpangan arah Y struktur bangunan *open frame* dan struktur bangunan *bracing* terbesar terjadi pada analisis beban gempa *time history* (TH) sebesar 1,4 kali lipat dan 1,9 kali lipat dari analisis *respons spektrum* (RS).



**Gambar 8.** Grafik simpangan maksimum arah X (kiri) dan arah Y (kanan) lantai 8

**Tabel 7.** Simpangan maksimum arah X lantai 8

Lantai	OF X		Rasio	Bracing X		Rasio	Rasio (bracing/OF*100%)	
	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH
8	13,9	18,7	75%	9,0	12,9	69%	65%	70%
7	13,1	17,5	75%	8,2	11,9	69%	62%	68%
6	11,9	15,6	77%	7,2	10,5	69%	60%	67%
5	10,3	12,9	80%	6,1	8,8	69%	59%	68%
4	8,2	10,2	81%	4,8	6,9	70%	58%	67%
3	6,0	7,3	83%	3,4	4,8	72%	57%	66%
2	3,5	4,1	86%	2,1	2,9	72%	60%	71%
1	1,2	1,4	88%	0,9	1,1	76%	64%	75%
0	0	0	0%	0	0	0%	0%	0%

Simpangan arah X struktur bangunan *open frame* dan struktur bangunan *bracing* terbesar terjadi pada analisis beban gempa *time history* (TH) sebesar 1,3 kali lipat dan 1,4 kali lipat dari analisis *respons spektrum* (RS).

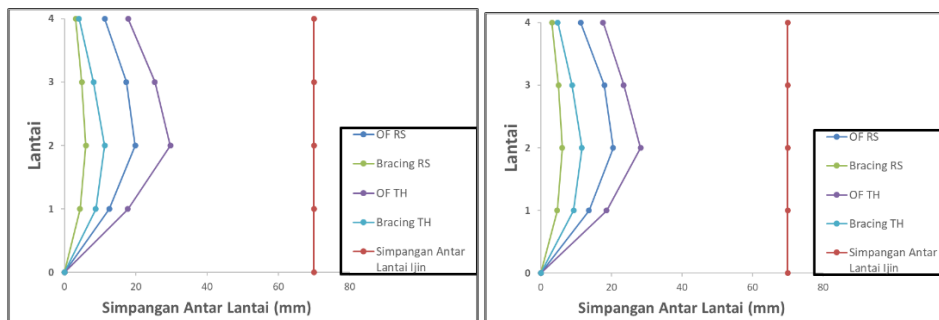
**Tabel 8.** Simpangan maksimum arah Y lantai 8

Lantai	OF Y		Rasio	Bracing Y		Rasio	Rasio (bracing/OF*100%)	
	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH	RS/TH*100%	RS	TH
8	14,7	15,8	93%	9,2	13,1	71%	63%	83%
7	13,9	14,9	94%	8,4	12,1	70%	60%	81%
6	12,8	13,3	96%	7,4	10,7	69%	58%	80%
5	11,1	11,3	98%	6,2	9,1	69%	56%	80%
4	9,1	9,0	101%	4,9	7,2	69%	54%	80%
3	6,9	6,8	100%	3,7	5,1	71%	52%	74%
2	4,4	4,6	97%	2,3	3,1	75%	52%	68%
1	1,8	1,8	96%	0,9	1,2	79%	54%	65%
0	0	0	0%	0	0	0%	0%	0%

Simpangan arah Y struktur bangunan *open frame* dan struktur bangunan *bracing* terbesar terjadi pada analisis beban gempa *time history* (TH) sebesar 1,07 kali lipat dan 1,4 kali lipat dari analisis *respons spektrum* (RS).

### 4.3 Simpangan Antar Tingkat

Berikut merupakan simpangana antar tingkat dari model struktur *open frame* (OF) dan *bracing* pada gedung 4,6, dan 8 lantai.



**Gambar 9.** Grafik simpangan antara tingkat arah X (kiri) dan arah Y (kanan) pada gedung 4 lantai

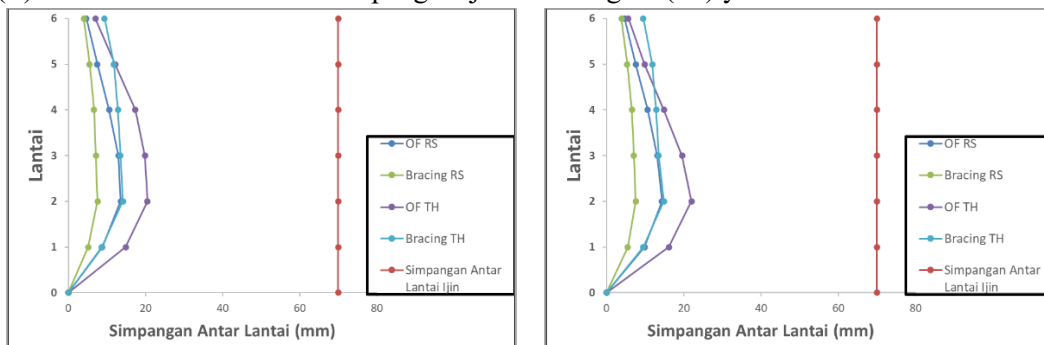
**Tabel 9.** Simpangan antara lantai arah X pada gedung 4 lantai

Lt.	$\delta_{xe}$		$\delta_e$						$\Delta$			
			$\delta_{xe} \cdot Cd/Ie$									
	OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)	
	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<b>4</b>	11,1	16,5	3,4	5,9	61,2	90,8	18,5	32,4	11,3	17,9	3,2	4,1
<b>3</b>	9,1	13,2	2,8	5,1	49,9	72,9	15,3	28,3	17,4	25,4	4,9	8,2
<b>2</b>	5,9	8,6	1,9	3,7	32,5	47,5	10,4	20,1	19,9	29,7	6,0	11,3
<b>1</b>	2,3	3,2	0,8	1,6	12,6	17,8	4,4	8,8	12,6	17,8	4,4	8,8
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabel 10.** Simpangan antara lantai arah Y pada gedung 4 lantai

Lt.	$\delta_{xe}$				$\delta_e$				$\Delta$			
					$\delta_{xe} \cdot Cd/Ie$							
	OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (Y)		OF (X)		Bracing (X)	
	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<b>4</b>	11,6	16,0	3,5	6,3	63,6	88,2	19,0	34,8	11,3	17,7	3,2	4,8
<b>3</b>	9,5	12,8	2,9	5,5	52,2	70,5	15,8	30,0	18,0	23,5	5,0	8,9
<b>2</b>	6,2	8,5	1,9	3,8	34,1	46,9	10,8	21,0	20,5	28,3	6,1	11,7
<b>1</b>	2,5	3,3	0,8	1,7	13,7	18,7	4,7	9,3	13,7	18,7	4,7	9,3
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pada **Tabel.9** ,**Tabel.10** dan **Gambar.8** diatas simpangan antar tingkat masih dibawah simpangan antar tingkat ijin. Simpangan yang terjadi pada beban gempa *respons spektrum* lebih kecil dibandingkan simpangan yang terjadi pada beban gempa *time history* pada struktur gedung lantai 4. Struktur dengan *bracing* simpangannya lebih kuat dari struktur *open frame (OF)*. Simpangan yang terjadi pada Gedung lantai 4 akibat kedua beban gempa tersebut masih dalam kategori aman, karena nilai simpangan antar tingkat ( $\Delta$ ) tidak melebihi dari nilai simpangan ijin antar tingkat ( $\Delta_a$ ) yaitu tidak melebihi 70 mm.



**Gambar 10.** Grafik simpangan antara tingkat arah X (kiri) dan arah Y (kanan) pada gedung 6 lantai

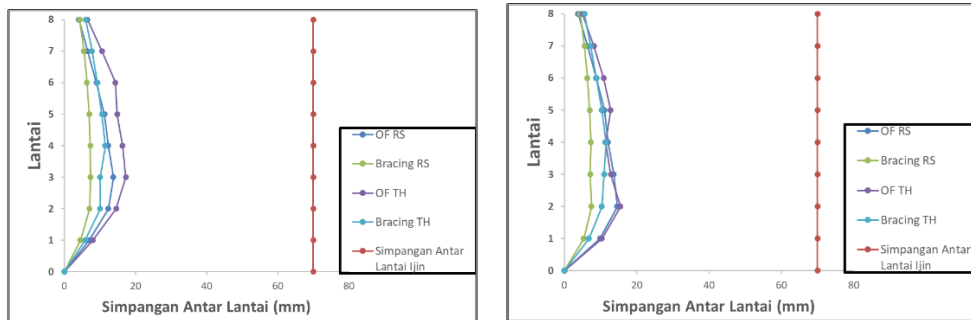
**Tabel 11.** Simpangan antara lantai arah X pada gedung 6 lantai

Lt.	$\delta_{xe}$				$\delta_e$				$\Delta$			
					$\delta_{xe} \cdot Cd/Ie$							
	OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)	
	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
<b>6</b>	10,6	16,7	6,6	12,8	58,3	91,7	36,1	70,6	4,7	7,0	4,0	9,4
<b>5</b>	9,7	15,4	5,8	11,1	53,6	84,6	32,1	61,2	7,5	12,2	5,5	11,8
<b>4</b>	8,4	13,2	4,8	8,9	46,0	72,4	26,6	49,4	10,6	17,4	6,7	12,9
<b>3</b>	6,5	10,0	3,6	6,6	35,5	55,1	19,9	36,5	13,0	19,9	7,2	13,5
<b>2</b>	4,0	6,4	2,3	4,1	22,5	35,1	12,7	22,9	13,6	20,5	7,6	14,2
<b>1</b>	1,6	2,7	0,9	1,6	8,8	14,9	5,2	8,7	8,8	14,9	5,2	8,7
<b>0</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabel 12.** Simpangan antara lantai arah Y pada gedung 6 lantai

Lt.	$\delta_{xe}$				$\delta_e$				$\Delta$			
					$\delta_{xe} \cdot Cd/Ie$							
	OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)	
	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
6	10,9	16,0	6,5	13,1	60,4	88,3	36,2	72,2	4,7	5,7	3,9	9,5
5	10,1	15,0	5,9	11,4	55,8	82,6	32,2	62,7	7,6	9,9	5,4	11,9
4	8,8	13,2	4,9	9,3	48,2	72,7	26,8	50,9	10,7	14,9	6,6	12,9
3	6,8	10,5	3,7	6,9	37,5	57,9	20,2	37,9	13,2	19,6	7,1	13,5
2	4,4	6,9	2,4	4,4	24,2	38,2	13,1	24,4	14,4	22,0	7,6	14,9
1	1,8	2,9	0,9	1,7	9,9	16,2	5,5	9,5	9,9	16,2	5,5	9,5
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pada **Tabel.11** ,**Tabel.12** dan **Gambar.9** simpangan antar tingkat masih dibawah simpangan antar tingkat ijin. Simpangan yang terjadi pada beban gempa *respons spektrum* lebih kecil dibandingkan simpangan yang terjadi pada beban gempa *time history* pada struktur gedung lantai 6. Struktur dengan *bracing* simpangannya lebih kuat dari struktur *open frame (OF)*. Simpangan yang terjadi pada Gedung lantai 6 akibat kedua beban gempa tersebut masih dalam kategori aman, karena nilai simpangan antar tingkat ( $\Delta$ ) tidak melebihi dari nilai simpangan ijin antar tingkat ( $\Delta_a$ ) yaitu tidak melebihi 70 mm.



**Gambar 11.** Grafik simpangan antara tingkat arah X (kiri) dan arah Y (kanan) pada gedung 8 lantai

**Tabel 13.** Simpangan antara lantai arah X pada gedung 8 lantai

Lt.	$\delta_{xe}$				$\delta_e$				$\Delta$			
					$\delta_{xe} \cdot Cd/Ie$							
	OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)	
	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
8	13,9	18,7	9,0	12,9	76,6	102,7	49,6	71,4	4,1	6,5	4,3	6,0
7	13,1	17,7	8,2	11,9	72,5	96,1	45,3	65,3	6,5	10,6	5,5	7,8
6	11,9	15,5	7,2	10,5	65,9	85,5	39,8	57,6	9,0	14,4	6,4	9,3
5	10,3	12,9	6,0	8,7	56,9	71,2	33,4	48,3	11,3	14,9	7,0	10,6
4	8,3	10,2	4,8	6,8	45,6	56,3	26,4	37,7	12,4	16,4	7,3	11,5
3	6,0	7,2	3,4	4,7	33,2	39,9	19,0	26,3	13,8	17,3	7,4	10,1
2	3,5	4,1	2,1	2,9	19,5	22,6	11,6	16,1	12,4	14,6	7,1	10,1
1	1,3	1,5	0,8	1,0	7,0	8,0	4,5	5,9	7,0	8,0	4,5	5,9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tabel 14.** Simpangan antara lantai arah Y pada gedung 8 lantai

Lt.	$\delta_{xe}$				$\delta_e$				$\Delta$			
	OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)		OF (X)		Bracing (X)	
	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH	RS	TH
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
8	14,7	15,8	9,2	13,0	80,8	86,8	49,6	71,9	3,8	5,0	4,4	5,6
7	13,9	14,8	8,4	12,0	76,9	81,7	45,3	66,3	6,4	8,2	5,6	7,3
6	12,8	13,4	7,4	10,7	70,6	73,5	39,8	59,0	8,9	10,9	6,4	8,8
5	11,2	11,4	6,3	9,1	61,6	62,6	33,4	50,2	11,1	12,8	7,0	10,4
4	9,2	9,0	4,9	7,2	50,4	49,7	26,4	39,8	12,1	11,4	7,4	11,5
3	6,9	6,9	3,6	5,1	38,3	38,3	19,0	28,3	13,7	12,9	7,2	11,0
2	4,5	4,6	2,3	3,1	24,7	25,5	11,6	17,2	14,7	15,0	7,5	10,4
1	1,8	1,9	0,9	1,2	9,9	10,4	4,5	6,8	9,9	10,4	5,4	6,8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Pada **Tabel.13** ,**Tabel.14** dan **Gambar.10** simpangan antar tingkat masih dibawah simpangan antar tingkat ijin. Simpangan yang terjadi pada beban gempa *respons spektrum* lebih kecil dibandingkan simpangan yang terjadi pada beban gempa *time history* pada struktur gedung lantai 8. Struktur dengan *bracing* simpangannya lebih kuat dari struktur *open frame (OF)*. Simpangan yang terjadi pada Gedung lantai 8 akibat kedua beban gempa tersebut masih dalam kategori aman, karena nilai simpangan antar tingkat ( $\Delta$ ) tidak melebihi dari nilai simpangan ijin antar tingkat ( $\Delta_a$ ) yaitu tidak melebihi 70 mm.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pengaruh penggunaan *bracing X* dua tingkat pada Gedung bertingkat 4, 6 dan 8 lantai struktur beton bertulang dapat meningkatkan kekuatan, kekakuan, kemampuan kolom dalam menahan gaya (geser dan aksial). Hal ini dilihat dari simpangan yang terjadi pada bangunan struktur dengan *bracing* lebih kecil dibandingkan simpangan yang terjadi pada bangunan *open frame* dan gaya geser yang lebih besar terjadi pada bangunan dengan *bracing*.

Pada penelitian ini baru dilakukan analisis linier terhadap perilaku struktur, karena gempa *time history (TH)* lebih besar dibandingkan gempa rencana response spectrum (RS), maka perlu dilakukan analisis pasca elastis atau analisis nonlinier.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Sudarsana, G. Wiryadi, U. M. Denpasar, and G. Pringgana, "ANALISIS PENGARUH KELANGSINGAN STRUKTUR TERHADAP PERILAKU," no. October, 2021.
- [2] U. S. Sri Haryono, "Penggunaan Struktur Bresing Konsentrik Tipe X Untuk Perbaikan Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Lateral Akibat Gempa," *Kinabalu*, vol. 11, no. 2, pp. 50–57, 2012.
- [3] M. Arastu and K. Moin, "Seismic Analysis of Reinforced Concrete Frame Using Shake Table Test," *Journal of Applied Engineering Sciences*, vol. 13, no. 1, pp. 23–26, 2023, doi: 10.2478/jaes-2023-0004.
- [4] D. F. Rahmawati and U. Khatulistiani, "Analisa Drift Gedung Struktur Baja Tahan Gempa Menggunakan Kombinasi Two Story-X Bracing Dan X Bracing Di Surabaya," *Axial : Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, vol. 7, no. 1, p. 1, 2019, doi: 10.30742/axial.v7i1.703.

- [5] I. G. G. Wiryadi, I. M. Sastra Wibawa, and P. J. Kusuma, “Analisis dan Perilaku Dinamis Struktur Gedung A Fakultas Ekonomi Universitas Udayana Akibat Beban Gempa Riwayat Waktu,” *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, vol. 11, no. 1, pp. 38–46, 2022, doi: 10.36733/jikt.v11i1.3933.
- [6] R. S. Windah and S. O. Dapas, “KESTABILAN SOLUSI NUMERIK SISTEM BERDERAJAT,” vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [7] D. Prasetyo, “Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak,” *Tugas Akhir*.
- [8] J. A. Repadi, J. Sunaryati, and R. Thamrin, “ANALISIS KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN VARIASI PENEMPATAN BRACING INVERTED V,” *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, vol. 12, no. 2, p. 103, Oct. 2016, doi: 10.25077/jrs.12.2.103-110.2016.
- [9] Junaedi Utomo, “SEISMIC COLUMN DEMANDS PADA Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus Dengan Bresing Tipe X Dua Tingkat,” *Konferensi Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS 4)*, 2010.
- [10] D. H. Natawidjaya, “Neotectonics of the Sumatera Fault and Paleogeodesy of the Sumatera Subduction Zone. Thesis on California Institute of Technology Pasaden.,” 2002.
- [11] D. H. Natawidjaya, “Gempa bumi dan Tsunami di Sumatera dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup Yang Aman Dari Bencana Alam,” 2007.
- [12] S. H. Purnamawanti, “Kata kunci :,” Pengguna. Strukt. BRESING KONSENTRIK TIPE X UNTUK PERBAIKAN KINERJA Strukt. GEDUNG BERTINGKAT TERHADAP BEBAN LATERAL AKIBAT GEMPA., 2006.
- [13] B. S. Nasional, “Badan Standarisasi Nasional (BSN). (2019). SNI 1726 : 2019 ‘Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung’. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.,” 2019.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,” Sni 2847-2019, no. 8, p. 720, 2019.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, “Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural,” Sni 1729-2020, no. 8, pp. 1–336, 2020.
- [16] DPMB, Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983. 1983.
- [17] BSN, *SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*, no. 8. 2020.
- [18] Direktorat Jenderal Cipta Karya, “Spektrum Respon Desain. [http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/.](http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/),” 2021.
- [19] Centre of Earthquake Strong Motion Data (CESMD), “Riwayat Waktu Gempa Sumatera Barat, [https://www.strongmotioncenter.org.](https://www.strongmotioncenter.org/),” 2007.
- [20] Khoeri, “Time History Analysis. 28/03/2019,” 2019.