

## ANALISIS PENGARUH PENGEKANG (*BRACING*) SEBAGAI ELEMEN PENAHAN GEMPA TERHADAP KEKAKUAN LATERAL STRUKTUR GEDUNG SEPULUH LANTAI

Sandy Kurniawan Hariadi<sup>1\*</sup>, Wahiddin<sup>2</sup>, Sugiharti<sup>3</sup>

Mahasiswa Program Studi DIV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>3</sup>

Email: [sandykurniawan3103@gmail.com](mailto:sandykurniawan3103@gmail.com)<sup>1\*</sup>, [wahiddin@polinema.ac.id](mailto:wahiddin@polinema.ac.id)<sup>2</sup>, [sugiharti@polinema.ac.id](mailto:sugiharti@polinema.ac.id)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Maraknya kejadian gempa bumi di Indonesia menyebabkan banyak kerugian yang ditimbulkan, untuk meminimalisir hal tersebut, diperlukan perancangan struktur bangunan yang mampu menahan gaya yang ditimbulkan akibat gaya gempa. Salah satunya yakni pengekang (*bracing*). Skripsi ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh pengekang (*bracing*) sebagai elemen penahan gempa terhadap kekakuan lateral struktur gedung sepuluh lantai. Analisis dilakukan dengan empat model yang melibatkan dua sistem rangka struktur yakni Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) untuk struktur tanpa pengekang dan Sistem Rangka B्रेसing Konsentris Khusus (SRBKK) untuk struktur berpengekang dengan konfigurasi V, X, dan V-terbalik. Hasil analisis didapatkan bahwa dari analisis geser dasar seismik, simpangan antar lantai, pengaruh *p-delta*, dan kekakuan antar lantai baik pada arah x maupun pada arah y struktur dengan pengekang X memiliki nilai yang paling unggul dibandingkan ketiga model lain yang diuji dengan nilai geser dasar seismik masing-masing sebesar 11.394,79 kN dan 9.221,48 kN, besar rerata simpangan antar lantai masing-masing 16,10 mm dan 22,80 mm, sedangkan rerata koefisien stabilitas masing-masing 0,0051 dan 0,0086, serta rerata kekakuan antar lantai masing-masing sebesar 971.172,70 kN/m dan 544.214,55 kN/m. Selaras dengan semakin besarnya kekakuan antar lantai suatu struktur, besar anggaran biaya yang dikeluarkan pun akan semakin besar sebesar 2,94%.

**Kata kunci** : SRPMK, SRBKK, gempa, pengekang, kekakuan

### ABSTRACT

*The rise of earthquakes in Indonesia causes a lot of losses, to minimize these losses, it is necessary to design a building structure that is able to withstand the forces caused by the earthquake. One of them is restraint. This thesis aims to analyze the effect of bracing as an earthquake-resistant element has on the lateral stiffness of the ten-story building structures. The analysis was carried out with four models involving two structural truss systems, namely the Special Moment Resisting Frame (SMRF) for structures without restraints and the Special Concentric Braced Frame (SCBF) for restrained structures with inverted V, X, and V configurations. The analysis results obtained from the analysis of seismic base shear, story drift, p-delta effect, and story stiffness both in the x direction and in the y-direction structure with x braced have the most superior values compared to the third model tested with seismic base shear values. each of 11,394.79 kN and 9,221.48 kN, the story drift average is 16.10 mm and 22.80 mm, while the coefficient stability average is 0.0051 and 0.0086, and the story stiffness average is 971,172.70 kN/m and 544,214.55 kN/m, respectively. In line with the increase in cost stiffness between floors of a structure, the budget spent will also increase by 2.94%.*

**Keywords** : SMRF, SCBF, earthquake, bracing, stiffness

## 1. PENDAHULUAN

Banyaknya kejadian gempa bumi di Indonesia, menyebabkan banyaknya korban jiwa, kerugian bangunan fisik, dan materiil. Kondisi ini perlu untuk di minimalisir, mengingat bahwa bangunan merupakan tempat tinggal yang dihuni oleh manusia. Untuk meminimalisir terjadinya korban jiwa, maka diperlukan perancangan struktur bangunan yang mampu menahan gaya akibat gempa sehingga dapat menahan bangunan agar tidak roboh sampai penghuni di dalamnya dapat menyelamatkan diri. (Eticon, 2020).

Menurut (Thorat & Salunke, 2014) elemen struktur pengekang (*bracing*) dirasa sangat efisien dalam mengurangi perpindahan lateral dari penyimpangan dan defleksi horizontal. Meskipun gaya aksial kolom pada rangka pengekang lebih besar dibandingkan dinding geser, bagaimanapun momen kolom dan balok serta simpangan yang terjadi pada rangka pengekang sangat kurang. Oleh sebab itu, struktur pengekang (*bracing*) dirasa sangat efisien dalam menahan lateral gempa dibandingkan dengan dinding geser (Thorat & Salunke, 2014).

Berdasarkan latar belakang diatas, maka masalah yang akan dirumuskan dalam analisis ini adalah:

1. Berapa besar gaya geser dasar pada struktur dengan dan tanpa pengekang pada gedung sepuluh lantai?
2. Berapa besar simpangan antar lantai (*story drift*) pada struktur gedung sepuluh lantai dengan dan tanpa pengekang?
3. Berapa besar pengaruh P-delta pada struktur gedung sepuluh lantai dengan dan tanpa pengekang?
4. Bagaimana pengaruh pengekang terhadap kekakuan struktur gedung sepuluh lantai?
5. Bagaimana korelasi antara anggaran biaya yang dikeluarkan terhadap kekakuan struktur pada struktur dengan pengekang terhadap struktur tanpa pengekang?

## 2. METODE

Metode yang digunakan dalam analisis ini meliputi:

1. Mengumpulkan data yang meliputi data sekunder yang diperoleh secara tidak langsung baik dari buku maupun literatur terkait.
2. Perkiraan dimensi penampang (*preliminary design*) pada masing-masing model.
3. Analisis pembebanan menggunakan SNI 1727:2020, prosedur analisis gempa gaya lateral ekuivalen sesuai SNI 1726:2019.
4. Pemodelan dan analisis struktur pada masing-masing model untuk selanjutnya dilakukan kontrol desain elemen baja sesuai SNI 1727:2020 dan SNI 7860:2020.

5. Analisis deskriptif dengan membandingkan hasil dari masing-masing model terhadap analisis *story drift*, pengaruh p-delta, *story stiffness*, dan anggaran biaya.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Preliminary Design*

Tahapan awal dalam analisis yakni memperkirakan dimensi yang akan digunakan sebagai elemen struktur utama yang meliputi:

1. Pelat

Berdasarkan pendekatan yang dilakukan, maka digunakan *floordeck* dengan tebal 12 cm jenis Sarana *Ribdeck* yang dikeluarkan oleh PT. Sarana Steel.

2. Balok

$$H = \frac{1}{20} \cdot L = 20 \text{ cm}$$

$$H = \frac{1}{2} \cdot H = 10 \text{ cm}$$

Berdasarkan pendekatan tersebut, dapat digunakan profil WF 400x200x8x13 sebagai salah satu profil balok induk pada bentang 4m.

3. Kolom

$$P_u = 1,2DL + 1,6LL$$

$$= 136.368,65 \text{ kg}$$

$$A = \frac{P_u}{\phi \cdot f_y} = \frac{136.368,65}{0,1 \times 3.450} = 395,27 \text{ cm}^2$$

Berdasarkan pendekatan tersebut, dapat digunakan profil CFST 450x450 dengan = 665,60 cm<sup>2</sup> sebagai salah satu profil kolom.

4. Pengekang (*Bracing*)

$$\frac{L_c}{r_y} \leq 200$$

$$129,40 \leq 200$$

Berdasarkan kontrol kelangsingan tersebut, profil WF 500x200x10x16 dapat digunakan sebagai elemen pengekang V.

### Analisis Pembebanan

Analisis pembebanan yang dilakukan meliputi:

1. Beban Mati dan Hidup

Tabel 1. Beban Mati dan Hidup

Jenis	Lantai	Komponen	Beban
Mati	2 s/d 10	Pelat	0,97 kN/m <sup>2</sup>
		Atap	0,32 kN/m <sup>2</sup>
	2 s/d 10	Balok	2,08 kN/m
Hidup		Kelas	1,92 kN/m <sup>2</sup>
	1 s/d 10	Koridor	4,79 kN/m <sup>2</sup>
		Kantor	2,40 kN/m <sup>2</sup>

Sumber: SNI 1727:2020

2. Beban Angin

Beban angin dihitung melalui program bantu komputer, dengan diketahui parameter-parameter berikut:

Tabel 2. Beban Angin

Parameter	Nilai
Kategori risiko	II
Kecepatan angin ( $v$ )	13 m/s
Faktor arah angin ( $K_d$ )	0,85
Eksposur	B
Faktor topografi ( $K_{zt}$ )	1,00
Faktor elevasi ( $K_e$ )	1,00
Efek hembusan angin ( $G$ )	0,85

Sumber: SNI 1727:2020

3. Beban Gempa

Beban gempa dihitung melalui program bantu komputer, dengan diketahui parameter-parameter berikut:

Tabel 3. Beban Gempa

Parameter	Nilai
Kategori risiko	IV
Klasifikasi situs	SC
$S_s$	1,00
$S_1$	0,60
$F_a$	1,20
$F_v$	1,40
KDS	D

Sumber: SNI 1726:2019

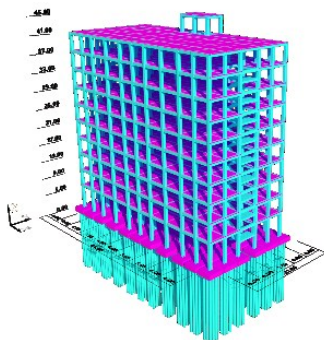
4. Beban Kombinasi

Tabel 4. Beban Kombinasi

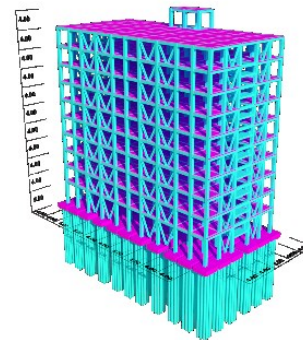
Kode	Kombinasi
U1	1,4DL
U2	1,2DL+1,6LL+0,5 ( $L_r$ atau R)
U3	1,2DL+1,6( $L_r$ atau R)+(1,0LL atau 0,5WL)
U4	1,2DL+1,0WL+1,0LL+0,5 ( $L_r$ atau R)
U5	0,9DL+1,0WL
U6	1,2DL+ $E_v$ + $E_h$ +LL
U7	0,9DL- $E_v$ + $E_h$

Sumber: SNI 1726:2019

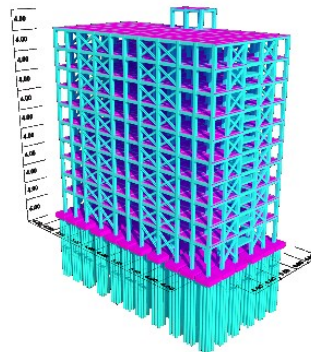
Pemodelan



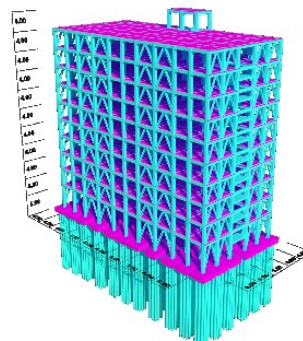
Gambar 1. Model 1 (Unbraced)



Gambar 2. Model 2 (V-braced)



Gambar 3. Model 3 (X-braced)



Gambar 4. Model 4 (X-braced)

Gaya Lateral Ekuivalen

Karena lokasi peninjauan berada di KDS D dengan kategori risiko IV, tanpa memperhitungkan ketidakberaturan struktur, ketinggian struktur  $45 \text{ m} < 48,8 \text{ m}$  dan periode fundamental struktur sebesar  $1,187 < 1,630$  maka analisis gaya lateral ekuivalen dapat dijadikan prosedur analisis dalam kontrol struktur tahan gempa

Tabel 5. Periode Struktur

Unbraced		V		X		V-inverted	
$T_x$	$T_y$	$T_x$	$T_y$	$T_x$	$T_y$	$T_x$ (s)	$T_y$ (s)
(s)	(s)	(s)	(s)	(s)	(s)		
1,18	1,18	1,10	1,18	0,96	1,18	1,02	1,18

Sumber: Dokumen Pribadi

**Tabel 6.** Koefisien Respons Seismik

Unbraced		V		X		V-inverted	
T <sub>x</sub> (s)	T <sub>y</sub> (s)	T <sub>x</sub> (s)	T <sub>y</sub> (s)	T <sub>x</sub> (s)	T <sub>y</sub> (s)	T <sub>x</sub> (s)	T <sub>y</sub> (s)
0,08	0,08	0,15	0,14	0,17	0,14	0,16	0,14

Sumber: Dokumen Pribadi

**Tabel 7.** Berat Seismik Efektif

Konfigurasi Struktur	Berat Seismik Efektif (kg)
Unbraced	6.638.548,45
V-braced	6.717.669,90
X-braced	6.731.096,41
V-inverted braces	6.717.669,90

Sumber: Program Komputer

**Tabel 8.** Geser Dasar Seismik

Output Case	Case Type	Unbraced		V-braced		X-braced		V-inverted braces	
		V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)
Ex	Static	5.672,90	0	9.861,21	0	11.394,78	0	10.598,85	0
Ey	Static	0	5.672,90	0	9.861,21	0	9.221,48	0	9.185,88
EQx	Resp.	2.553,63	0	8.498,45	0	9.509,40	0	8.960,56	0
EQy	Resp.	0	3.139,45	0	6.811,65	0	7.374,38	0	7.027,68
Hitung		5.667,66	5.667,66	9.858,58	9.177,40	11.391,62	9.212,97	10.597,02	9.177,40

Sumber: Dokumen Pribadi

**Simpangan Antar Lantai**

Simpangan antar lantai harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau.

**Pengaruh P-delta**

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen struktur yang dihasilkan, serta simpangan antar lantai yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas kurang dari sama dengan 0,10.

**Rencana Anggaran Biaya**

**Tabel 9.** Geser Dasar Seismik

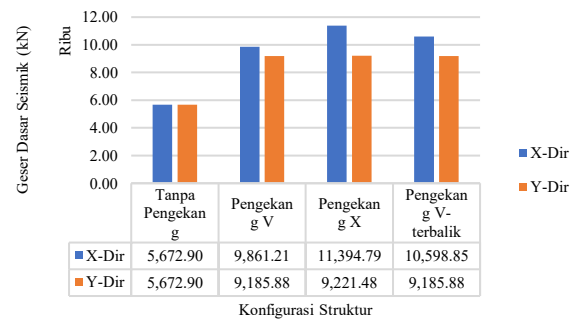
Konfigurasi Struktur	Biaya
Unbraced	Rp 99.653.952.628,28
V-braced	Rp 101.898.514.149,01
X-braced	Rp 102.583.593.313,66
V-inverted braces	Rp 101.898.514.149,01

Sumber: Dokumen Pribadi

**Analisis Deskriptif**

Analisis deskriptif dilakukan untuk membandingkan analisis-analisis yang dilakukan pada ke empat model yang diuji, sehingga dapat diperoleh kesimpulan bagaimana pengaruh pengekang dalam menahan gaya gempa dan jenis konfigurasi pengekang yang paling unggul dalam masing-masing analisis.

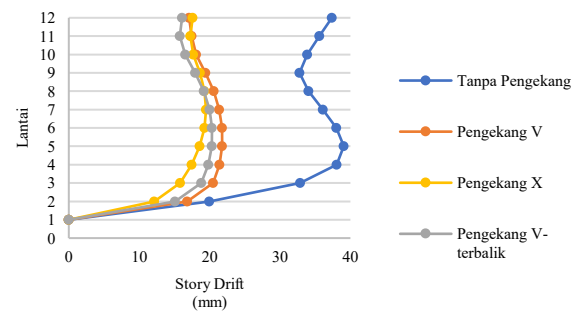
**Geser Dasar Seismik**



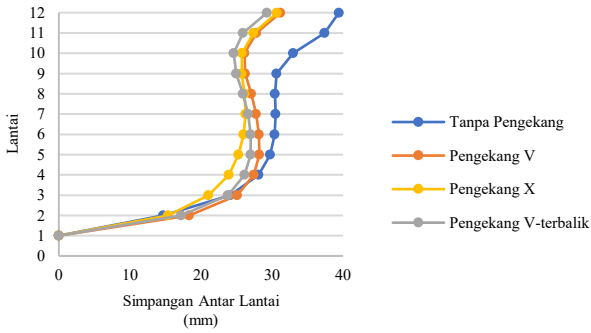
**Gambar 5.** Geser Dasar Seismik

Dari perbandingan grafik diatas, terlihat bahwa pengekang X memiliki gaya geser dasar seismik terbesar jika dibandingkan dengan ketiga struktur lainnya baik pada arah x maupun arah y.

**Story Drift**



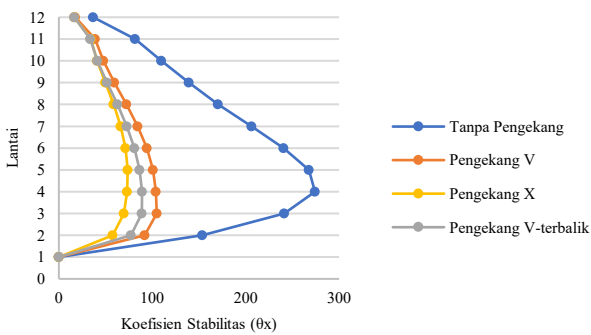
**Gambar 6.** Story Drift x-dir



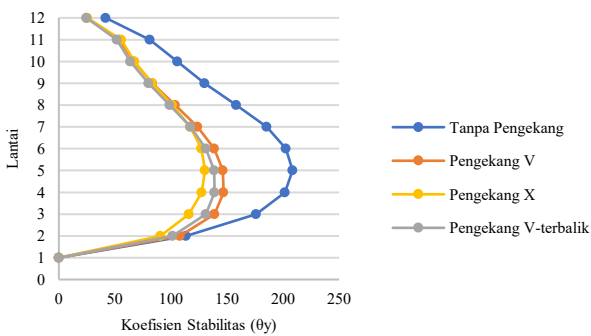
Gambar 7. Story Drift y-dir

Dari grafik diatas baik pada arah x maupun pada arah y terlihat jelas bahwa struktur gedung tanpa pengekang memiliki story drift terbesar dibandingkan dengan ke-tiga struktur lainnya, sedangkan struktur berpengekang X memiliki story drift paling kecil

Pengaruh P-delta



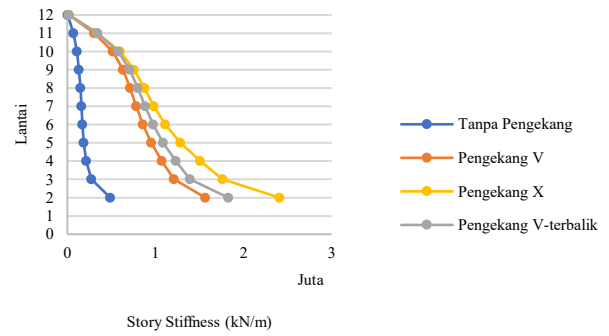
Gambar 8. P-delta effect x-dir



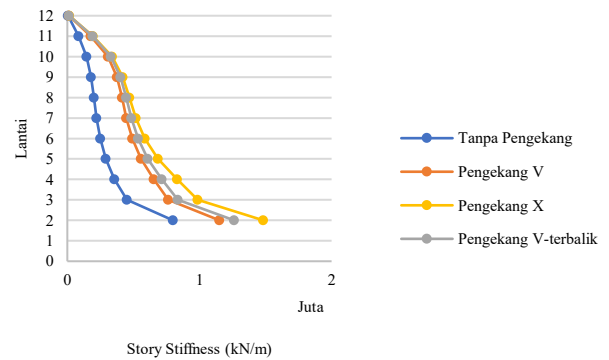
Gambar 9. P-delta effect y-dir

Dari grafik diatas baik pada arah x maupun pada arah y terlihat jelas bahwa struktur gedung tanpa pengekang memiliki koefisien stabilitas terbesar dibandingkan dengan ke-tiga struktur lainnya, sedangkan struktur berpengekang X sebaliknya.

Story Stiffness



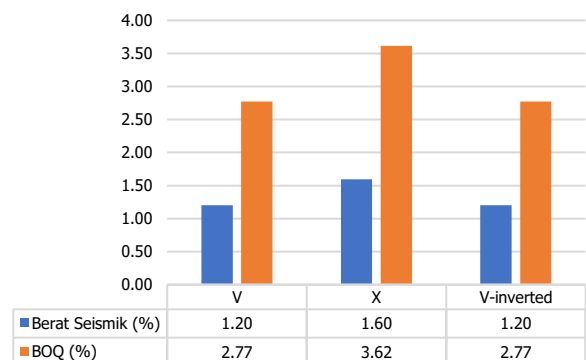
Gambar 10. Story Stiffness x-dir



Gambar 11. Story Stiffness y-dir

Dari grafik diatas baik pada arah x maupun pada arah y, terlihat jelas bahwa struktur gedung tanpa pengekang memiliki kekakuan struktur terkecil dibandingkan dengan ke-tiga struktur lainnya dan struktur dengan pengekang X yang paling kaku diantara ketiganya.

Perbandingan Volume Baja terhadap Berat Seismik

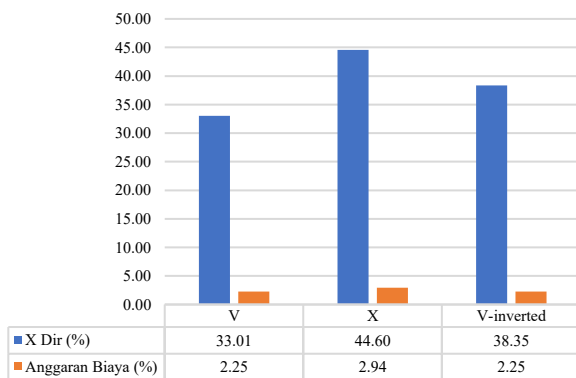


Gambar 12. Perbandingan Volume Baja terhadap Berat Seismik

Dari grafik diatas terlihat bahwa nilai optimum terdapat pada struktur dengan pengekang X, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada saat perbandingan berat seismik struktur

berpengekang x terhadap struktur tanpa pengekang sebesar 1,60% optimum terhadap perbandingan volume baja struktur berpengekang X terhadap struktur tanpa pengekang pada 3,62%. Hal ini mengartikan bahwa struktur berpengekang X memiliki nilai volume baja yang paling optimum terhadap berat seismik efektif bila dibandingkan dengan struktur tanpa pengekang.

Korelasi Kekakuan terhadap Anggaran Biaya



Gambar 13. Korelasi Kekakuan terhadap Anggaran Biaya

Dari grafik diatas terlihat bahwa semakin kaku struktur, maka biaya yang dikeluarkan pun akan semakin besar. Dalam hal ini, struktur berpengekang X yang memiliki nilai kekakuan terbesar pun menelan biaya yang lebih banyak bila dibandingkan dengan struktur tanpa pengekang.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang didapatkan adalah sebagai berikut:

1. Struktur gedung di keempat model yang diuji yang terletak pada zona gempa tinggi dengan profil CFST dan WF yang digunakan sebagai profil struktural, mampu menahan gaya geser dasar yang terjadi.
2. Simpangan yang terjadi pada ke empat model yang diuji kurang dari batasan yang disyaratkan SNI 1726:2019, namun struktur dengan pengekang x yang paling unggul dibandingkan dengan ke tiga model lainnya yakni memiliki simpangan terkecil.
3. Koefisien stabilitas yang terjadi pada ke empat model yang diuji kurang dari batasan-batasan yang ditetapkan SNI 1726:2019, sehingga seluruh model tidak perlu memperhitungkan pengaruh dari p-delta. Struktur dengan pengekang X memiliki nilai koefisien stabilitas terkecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur dengan pengekang X paling stabil bila di banding ke tiga model lainnya.
4. Besar kekakuan antar lantai yang terjadi pada pengekang X paling besar bila dibandingkan dengan ke tiga model lainnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur

dengan pengekang X merupakan struktur yang paling kaku bila dibandingkan ketiga model lain.

5. Anggaran biaya yang dikeluarkan untuk struktur berpengekang X lebih besar bila dibandingkan dengan ketiga model lain yang diuji.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] BSN, 2019. *SNI 1726:2019 tentang Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [2] BSN, 2020. *SNI 1727: 2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [3] BSN, 2020. *SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [4] BSN, 2020. *SNI 7860:2020 tentang Ketentuan Seismik untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [5] Eticon, 2020. *Penerapan Sistem “Strong Column and Weak Beam” pada Struktur Bangunan*. [Online] Available at: <https://eticon.co.id/strong-column-and-weak-beam/>
- [6] Thorat, S. & Salunke, P., 2014. Seismic Behavior of Multistorey Shear Wall Frame Versus Braced Concrete Frames. *International Journal of Advanced Mechanical Engineering*, 4(3), pp. 323-330.