Journal of Civil Engineering and Sustainable Infrastructure
CENTER

Vol. 01, No. 01, Maret 2024
Halaman 23 - 34

Kajian Perbandingan Respon Struktur Gedung Bertingkat dengan *Bracing* Baja Konsentrik pada Gedung Asrama UNY Terhadap Beban Gempa

I Putu Angga Aditiya*, Pramudiyanto

Departemen Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia, 55128

Kata kunci:
Bracing konsentrik
Displacement
Storey drift
P-Delta Effect

ABSTRAK

Penelitian ini membandingkan respon struktur terhadap beban gempa dari lima konfigurasi *bracing* konsentrik yaitu tipe X, V, *inverted* V, diagonal dan K terhadap struktur *open frame*. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui perbandingan nilai *lateral displacement*, *storey drift* dan pengecekan *P-Delta Effect* yang terjadi dari masing-masing konfigurasi bresing konsentrik terhadap struktur *open frame* dalam bentuk persentase perubahan. Penelitian ini mengambil studi kasus pada struktur Gedung Asrama Mahasiswa UNY delapan lantai dengan struktur beton bertulang. Analisis struktur dilakukan menggunakan *software Finite Element Method (FEM)* yang selanjutnya dilakukan input variasi masing-masing *bracing* konsentrik. Dari masing-masing variasi *bracing* akan dilakukan perbandingan dengan struktur *open frame* terhadap nilai *lateral displacement*, *storey drift*, dan pengecekan *P-Delta Effect*. Hasil dari penelitian ini menunjukan bahwa persentase penurunan rata-rata nilai *lateral displacement* pada *bracing* X, V, *inverted* V, diagonal dan K berturut-turut sebesar 14,667%, 39,805%, 40,533%, 35,928%, 33,582% pada arah sumbu-X serta -1,095%, 26,767%, 26,795%, 26,776%, 26,754% pada arah sumbu-Y. Persentase penurunan nilai *storey drift* berturut-turut 19,319%, 46,055%, 45,326%, 43,253%, 42,680% pada arah sumbu-X serta -1,311%, 34,729%, 34,713%, 34,737%, 34,726% pada arah sumbu-Y. Untuk semua konfigurasi struktur tidak mempersyaratkan *P-Delta effect* namun didapatkan persentase penurunan koefisien stabilitas berturut-turut sebesar 25,314%, 32,565%, 33,611%, 33,868%, 28,956% pada arah sumbu-X serta 6,222%, 19,513%, 19,700%, 29,377%, 18,577% pada arah sumbu-Y.

Keywords:
Concentric bracing
Displacement
Storey drift
P-Delta Effect

ABSTRACT

This study compares the response of structures to earthquake loads from five concentric bracing configurations namely type X, V, inverted V, diagonal and K to open frame structures. The purpose of this research is to compare the values of lateral displacement, storey drift and check the P-Delta Effect that occurs from each configuration of concentric bracing to the open frame structure in the form of a percentage change. This research takes a case study on the structure of the eight-storey UNY Student Dormitory Building with a reinforced concrete structure. Structural analysis was carried out using the Finite Element Method (FEM) software, which was then inputted with variations for each concentric bracing. From each variation of bracing, a comparison will be made with the open frame structure on the values of lateral displacement, storey drift, and checking the P-Delta Effect. The results of this study indicate that the percentage decrease in the average lateral displacement value of the X, V, inverted V, diagonal and K bracing is 14.667%, 39.805%, 40.533%, 35.928%, 33.582% in the X-axis direction and -1.095%, 26.767%, 26.795%, 26.776%, 26.754% in the Y-direction. The percentage of decline in storey drift values was 19.319%, 46.055%, 45.326%, 43.253%, 42.680% in the X-axis direction and -1.311%, 34.729%, 34.713%, 34.737%, 34.726% in the Y-axis respectively. For all structural configurations that do not require a P-Delta effect, however, the percentage decrease in the stability coefficient is 25.314%, 32.565%, 33.611%, 33.868%, 28.956% in the X-axis direction and 6.222%, 19.513%, 19.700%, 29.377 respectively. %, 18.577% in the Y-direction.

This is an open access article under the CC–BY license.

1. Pendahuluan

Kota Yogyakarta merupakan salah satu daerah yang dilalui oleh cincin api pasifik (*ring of fire*) di Indonesia sehingga merupakan daerah yang rawan gempa bumi. Pada tahun 2006, kota Yogyakarta terguncang gempa bumi berkekuatan 5,9 SR yang diperkirakan menelan 5.716 korban tewas dan 240,396 bangunan dinyatakan tidak dapat difungsikan kembali serta sekitar 157.000 rumah roboh karena gempa bumi yang terjadi dengan kerugian diperkirakan mencapai 3,1 milyar dolar amerika [1]. Sehingga di daerah Yogyakarta pembangunan bangunan tinggi riskan mengalami keruntuhan.

*Corresponding author.
E-mail: i0007ft.2019@student.uny.ac.id
Available online 31 Maret 2024

Untuk mengatasi beban lateral berlebih yang ditimbulkan dari gempa bumi, maka diperlukan perkuatan struktur tambahan untuk menahan beban lateral. Struktur diharapkan memiliki daktilitis yang cukup yaitu kemampuan struktur atau komponennya untuk melakukan deformasi inelastis yang bersifat siklis (bolak-balik) [2]. Baja merupakan material struktur yang memiliki daktilitis yang cukup tinggi, sehingga baik digunakan untuk material struktur penahan beban lateral. Sistem struktur *bracing* konsentrik merupakan salah satu sistem perkuatan dari material baja untuk penahan beban lateral gempa.

Penambahan *bracing* pada struktur dapat meminimalisir besarnya nilai *lateral displacement* dan dapat medispasi gaya yang terjadi pada struktur baik pada arah horizontal dan vertikal [3]. Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik (SRBK) merupakan pengembangan dari system portal tidak ber pengaku atau *Moment Resisting Frames (MRF)* [4]. Sistem rangka *bracing* konsentrik dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral seperti beban gempa dan memiliki kekakuan yang cukup baik dikarenakan ketika *bracing* dipasang sebagai perkuatan struktur tambahan deformasi struktur meningkat. Rangka bracing konsentrik tersusun dari balok kolom dan penguat yang dihubungkan oleh nodal yang tersusun membentuk rangka batang vertikal yang menahan beban lateral dengan mengembangkan aksi inelastis pada bracing yang mengalami tegangan [5].

Sistem Rangka *Bracing* Konsentrik (SRBK) untuk perkuatan struktur tambahan pada gedung ada bermacam-macam, yang sering dijumpai yaitu bentuk diagonal, V, inverted V, X dan K. Bracing bentuk diagonal memiliki kelebihan yaitu kebutuhan material lebih sedikit dibandingkan dengan bentuk yang lain. Namun bentuk bracing diagonal memiliki kelemahan di mana hanya terdapat satu *frame* baja yang menahan gaya lateral bolak-balik. Untuk bentuk *bracing* X memiliki kelebihan yaitu dapat menahan gaya lateral bolak-balik lebih baik dibandingkan *bracing* diagonal hal ini disebabkan gaya-gaya yang bekerja akan disebarkan ke elemen-elemen diagonal [6] , namun memiliki kekurangan di mana kebutuhan material yang lebih banyak. Untuk *bracing* baja model V dan *inverted* V memiliki kesamaan yaitu selain untuk menahan beban lateral, *bracing* V dan *inverted* V juga efektif untuk menahan beban vertikal dikarenakan sama-sama memiliki tumpuan pada tengah balok yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan *bracing* untuk menahan beban lateral [7]. Untuk *bracing* K salah satu tumpuannya terkoneksi pada tengah-tengah kolom yang berpotensi untuk terjadi kegagalan kolom jika struktur menerima beban lateral berlebih [8].

Dikarenakan banyaknya tipe dan konfigurasi yang dapat diterapkan dari perkuatan *bracing* konsentrik, maka pada penelitian ini dilakukan studi perbandingan perkuatan struktur berupa *bracing* baja konsentrik berbentuk diagonal, V, *inverted* V, X dan K terhadap struktur *open frame* dalam meredam beban lateral gempa. Pada penelitian ini mengambil studi kasus pada perencanaan pembangunan gedung asrama UNY delapan lantai yang berlokasi di Jl. Colombo Yogyakarta No.1, Karang Malang, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta.

Hal yang akan dibandingkan pada penelitian ini yaitu respon struktur gedung terhadap nilai *lateral displacement, storey drift* dan *P-Delta effect* dari masing-masing konfigurasi bracing baja. Nantinya akan dilakukan perbandingan dengan struktur *open frame* dari masing-masing konfigurasi *bracing* dalam bentuk perbandingan persentase. Dengan membandingkan ke lima konfigurasi *bracing* baja konsentrik ini diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan, referensi dan opsi ketika nanti akan melaksanakan perbaikan struktur dikarenakan penurunan kinerja struktur.

2. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini yaitu bersifat kuantitatif dengan metode ekperimental. Metode ini digunakan untuk mengetahui dan membandingkan struktur gedung ketika ditambahkan variabel bebas berupa bracing konsentrik dengan bentuk V, inverted V, diagonal, X dan K terhadap variabel terikat berupa *lateral displacement*, *storey drift*, dan *P-Delta effect*.

2.1. Studi Pustaka

Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan mengacu pada standar sebagai berikut:

1. SNI 1727 tahun 2020 tentang Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain.
2. SNI 1726 tahun 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Gedung dan Non Gedung.
3. SNI 1729 tahun 2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
4. SNI 2847 tahun 2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

2.2. Data Umum Bangunan

Tabel 1 merupakan data umum komponen bangunan pada Gedung Asrama Mahasiswa UNY.

Tabel 1. Data Umum Bangunan

Nama Bangunan	:	Gedung Asrama Mahasiswa Universitas Negeri Yogyakarta
Lokasi Bangunan	:	Jl. Colombo Yogyakarta No.1, Karang Malang, Caturtunggal, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, Yogyakarta
Fungsi	:	Hunian/asrama
Material Struktur	:	Beton Bertulang
Jumlah Lantai	:	8 Lantai
Tinggi Lantai	:	4 Meter
Mutu Beton	:	30 MPa (K-350)
BJ Tulangan Pokok	:	420 MPa
BJ Tulangan Geser	:	280 MPa
Jenis Atap	:	Struktur Atap *Gable Frame*
Bentuk Atap	:	Pelana
Mutu Baja Atap	:	BJ 41 *fy* = 410 MPa, *fu* = 250 MPa
Material *Bracing*	:	Baja IWF 200 X 100 8 X 5,5 mm
Mutu *Bracing*	:	BJ 41 *fy* = 410 MPa, *fu* = 250 MPa

2.3. Data Struktur Bangunan

Tabel 2 dan Tabel 3 merupakan data dimensi komponen struktur bangunan Gedung Asrama Mahasiswa UNY.

Tabel 2. Data Dimensi Balok

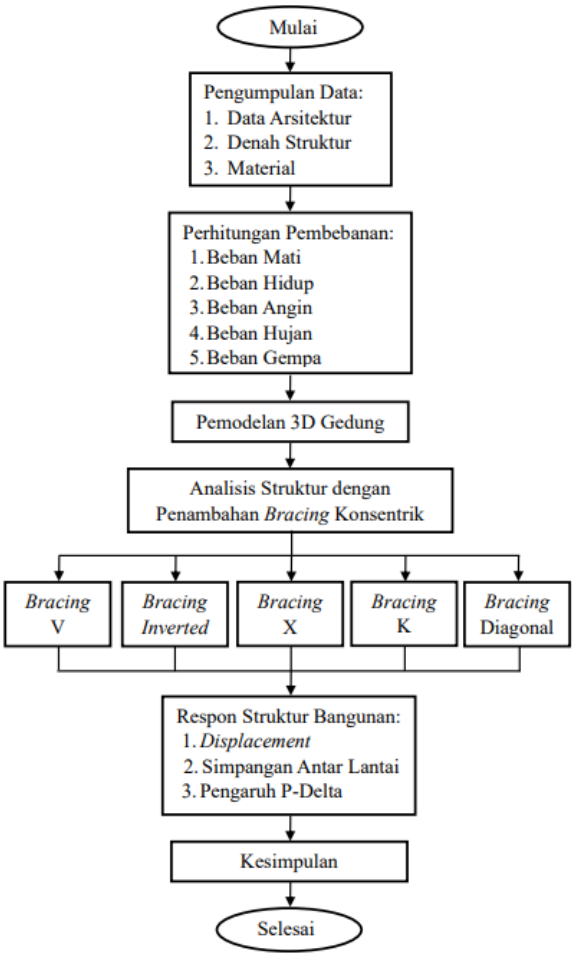
Tipe	Dimensi (mm)
BI 1-A	750 x 500
BI 1-B	700 x 500
BI 1-C	650 x 400
BI 2	600 x 450
BI 3	550 x 400
BI 4	550 x 450
BA 1-A	400 x 300
BA 1-B	400 x 250
BA 1-C	350 x 250
BA 2	450 x 300
BA 3	450 x 250
BA 4	300 x 200
B Topi	300 x 200

Tabel 3. Data Dimensi Balok

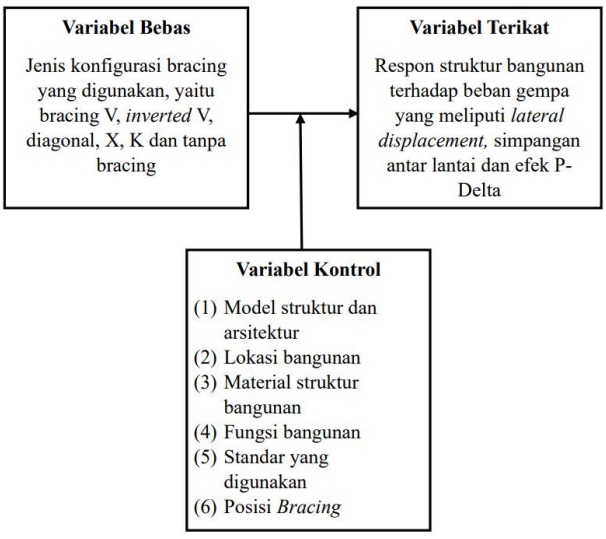
Tipe	Dimensi (mm)
K1-A	750 x 750
K1-B	700 x 700
K1-C	650 x 650
K2-A	650 x 650
K2-B	550 x 550
K3	500 x 500

2.4. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir dan skema penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



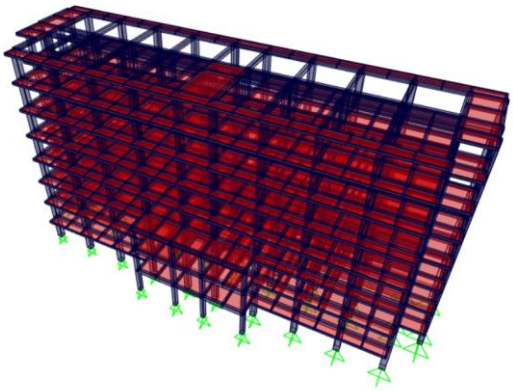
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



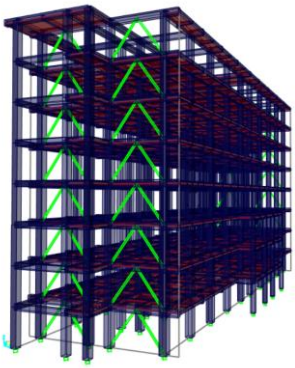
Gambar 2. Skema Penelitian

2.5. Pemodelan Struktur di *Software FEM*

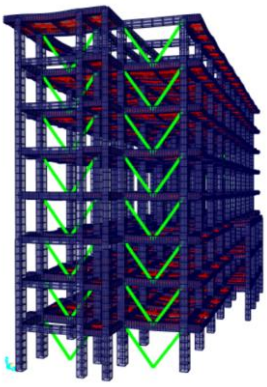
Pada penelitian ini, konfigurasi peletakan *bracing inverted* V, V, X, diagonal dan K diletakkan pada sisi terluar kanan dan kiri bangunan pada arah melebar bangunan, itu dikarenakan faktor arsitektural. Pemodelan bracing tersebut dapat dilihat pada gambar 4, 5, 6, 7, dan 8. Sedangkan pemodelan struktur *open frame* dapat dilihat pada gambar 3.



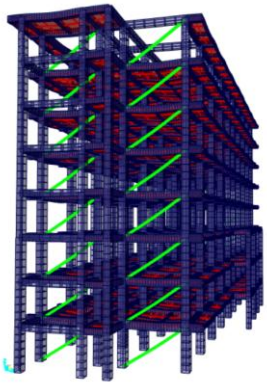
Gambar 3. Pemodelan Struktur *Open Frame*



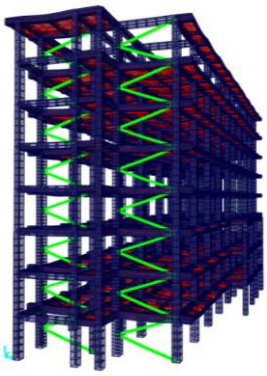
Gambar 4. Konfigurasi Struktur dengan Bracing Inverted V



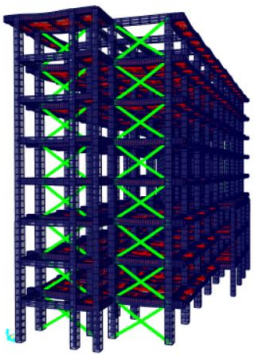
Gambar 5. Konfigurasi Struktur dengan *Bracing* V



Gambar 6. Konfigurasi Struktur dengan *Bracing* Diagonal



Gambar 7. Konfigurasi Struktur dengan *Bracing* K



Gambar 8. Konfigurasi Struktur *Bracing* X

2.6. *Lateral Displacement*

Lateral displacement merupakan simpangan antar lantai akibat beban lateral yang dapat diperoleh dengan metode kumulatif yaitu perpindahan lateral tingkat ke-j merupakan penjumlahan dari pergeseran lateral tingkat ke-j dan tingkat di bawahnya sebagai berikut ini [9].

$$\Delta \mathrm{j} = \sum_{k=1}^{j} \delta k \qquad (1)$$

2.7. *Storey Drift*

Simpangan antar lantai *(storey drift)* merupakan simpangan yang terjadi antar tingkat yang diakibatkan oleh gaya lateral yang dialami oleh struktur bangunan yang dapat dihasilkan oleh gempa, angin atau impak oleh mesin [10]. Simpangan pusat massa pada tingkat-x (δx) (mm) berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 dapat ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{Cd.\delta xe}{Ie} \quad (2)$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan
δ_{xe} = simpangan ditingkat-x pada lokasi lantai yang ditinjau akibat gempa
I_e = faktor keutamaan struktur

2.8. *P-Delta Effect*

Efek P-Delta terutama bergantung pada beban vertikal dan horizontal yang tebebani pada struktur yang dipengaruhi oleh sifat, tinggi, kekakuan dan keteraturan bangunan yang jika aksial gaya dalam elemen bernilai besar, maka momen lentur tambahan akibat P-Delta perlu diperhitungkan dalam analisis [11]. Pengaruh P-Delta tidak perlu di perhitungkan bila gaya dan momen pada elemen struktur serta simpangan antar tingkat yang dihasilkan koefisien stabilitas (Θ) sama atau kurang dari 0,1 [10]. Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 pada pasal 7.8.7 persamaan 45 dapat ditentukan berdasarkan rumus berikut.

$$\Theta = \frac{Px.\Delta Ie}{Vx.hsx.Cd} \quad (3)$$

Keterangan:

Θ = Koefisien stabilitas
P_x = Total beban desain vertikal pada tingkat diatas x
Δ = Simpangan antar lantai/tingkat yang terjadi secara serentak dengan V_X
I_e = Faktor keutamaan dari bangunan/hunian
V_x = Gaya geser seismik yang terjadi antara tingkat/lantai x dan x-1
h_{sx} = Tinggi tingkat
C_d = Faktor dari pembesaran defleksi

3. Pembahasan

3.1. Beban Mati

Tabel 4 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan beban mati struktur.

Tabel 4. Rekapitulasi Beban Mati

Definisi Beban	Nilai
Total Beban SIDL Lantai 2-7	0,54 kN/m^2
Total Beban SIDL Pelat Lantai Atap	0,39 kN/m^2
Beban Dinding pada Balok	2,28 kN/m

3.2. Beban Hidup

Tabel 5 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan beban hidup struktur berdasarkan SNI 1727 tahun 2020 [12].

Tabel 5. Rekapitulasi Beban Hidup

Definisi Beban	Nilai
Koridor lantai 2-7	3,83 kN/m^2
Kamar tidur	1,92 kN/m^2
Pelat Atap	0,96 kN/m^2
Roof tank Pelat Atap	27,33 kN/m^2

3.3. Beban Angin

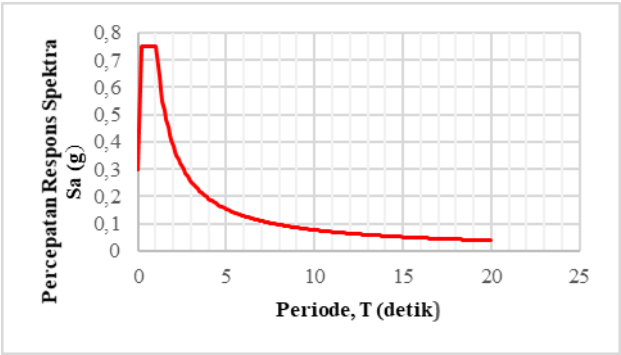
Tabel 6 merupakan rekapitulasi perhitungan beban angin berdasarkan SNI 1727 tahun 2020.

Tabel 6. Rekapitulasi Parameter Beban Angin

v(m/s)	19,63 mph
Kd	0,85
Kategori Eksposur	B
Kzt	1
Faktor Tiupan Angin	1,04168

3.4. Beban Gempa *Respons Spectrum*

Kinerja struktur merupakan tingkatan performa suatu struktur terhadap gempa rencana [13]. Tabel 7 merupakan rekapitulasi parameter beban gempa metode *respons spektrum* berdasarkan 1726 tahun 2019. Grafik *Respons Spectrum Design* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik *Respons Spectrum Design*

Tabel 7. Rekapitulasi Parameter Beban Gempa *Respon Spectrum*

Parameter	Nilai
Kelas situs	*SE* (tanah lunak)
Kategori risiko	2
Ie	1
Ss	1,2g
S_1	0,5g
Fa	0,94
Fv	2,1
S_{MS}	1,128
S_{M1}	1,155
S_{D1}	0,77
S_{DS}	0,752
KDS	D

3.5. Kombinasi Pembebanan

Berikut ini kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan pada SNI 1727 tahun 2020.

U = 1,4 D + 1,4 SIDL
U = 1,2 D + 1,2 SIDL + 1,5 L
U = 1,2 D + 1,2 SIDL + 1 L + 1 W (Sb-y)
U = 1,2 D + 1,2 SIDL + 1 L − 1 W (Sb-y)
U = 1,2 D + 1,2 SIDL + 1 L + 1 W (Sb-x)
U = 1,2 D + 1,2 SIDL + 1 L − 1 W (Sb-x)
U = 0,9 D + 0,9 SIDL + 1 W (Sb-y)
U = 0,9 D + 0,9 SIDL − 1 W (Sb-y)
U = 0,9 D + 0,9 SIDL + 1 W (Sb-x)
U = 0,9 D + 0,9 SIDL − 1 W (Sb-x)
U = 1,3 D + 1,3 SIDL + 1 L + 1 E Statik (Sb-y)
U = 1,3 D + 1,3 SIDL + 1 L − 1 E Statik (Sb-y)
U = 1,3 D + 1,3 SIDL + 1 L + 1 E Statik (Sb-x)
U = 1,3 D + 1,3 SIDL + 1 L − 1 E Statik (Sb-x)
U = 0,8 D + 0,8 SIDL + 1 E Statik (Sb-y)
U = 0,8 D + 0,8 SIDL − 1 E Statik (Sb-y)
U = 0,8 D + 0,8 SIDL + 1 E Statik (Sb-x)
U = 0,8 D + 0,8 SIDL − 1 E Statik (Sb-x)
U = 1,3 D + 1,3 SIDL + 1 L + 1 E Dinamik (Sb-x)
U = 1,3 D + 1,3 SIDL + 1 L + 1 E Dinamik (Sb-y)
U = 0,8 D + 0,8 SIDL + 1 E Dinamik (Sb-x)
U = 0,8 D + 0,8 SIDL + 1 E Dinamik (Sb-y)

3.5.1. *Modal Participating Mass Ratio*

Melalui pendekatan Modal Participating Mass Ratio, berdasarkan pada SNI 1726 tahun 2019 diharapkan hasil berupa partisipasi elemen lebih dari 100% sehingga dapat dikatakan elemen pada bangunan sudah bekerja [10]. Periode modal partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Periode Modal Partisipasi Massa

Mode	Period	Δt (%)	Sum UX	Sum UY
1	1,636405	5,00	0,75	2,015E-08
2	1,554647	2,98	0,75	0,0111
3	1,508316	62,46	0,75	0,76
4	0,566286	5,54	0,88	0,76
5	0,534888	0,75	0,88	0,86
6	0,530886	42,45	0,88	0,88
7	0,305513	3,90	0,93	0,88
8	0,29359	2,20	0,93	0,93
9	0,287129	32,00	0,93	0,93
10	0,195242	3,59	0,96	0,93
11	0,18823	2,02	0,96	0,96
12	0,184435	21,96	0,96	0,96
13	0,143928	1,75	0,96	0,96
14	0,141408	1,01	0,97	0,96
15	0,139977	0,09	0,97	0,96
16	0,139849	2,35	0,97	0,96
17	0,136565	0,44	0,97	0,96
18	0,13597	1,10	0,97	0,98
19	0,134473	0,80	0,98	0,98
20	0,133392	100,00	0,98	0,98

Terdapat dua metode yang bisa digunakan untuk menentukan jenis ragam yaitu menggunakan metode kuadrat jumlah atau *Square Root of The Sum of Squares* (SRSS) dan metode kombinasi kuadrat lengkap atau *Complete Quadratic Combination* (CQC) [14]. Pemilihan jenis ragam didasari pada pendekatan nilai Δt di mana jika nilai Δt > 15% maka menggunakan metode SRSS (*Square Root of The Sum of Squares*) dan sebaliknya jika nilai Δt < 15% maka menggunakan metode CQC (*Complete Quadratic Combination*) [10].

Pada awalnya analisis yang digunakan pada gedung ini yaitu analisis metode CQC, namun dikarenakan terdapat nilai Δt yang melebihi 15%, maka untuk selanjutnya menggunakan metode SRSS.

3.5.2. Perbandingan Gaya Geser Dinamik dan Statik

Perbandingan gaya geser dinamik dan statik perlu dilaksanakan untuk pengecekan persyaratan metode dinamik respon spektrum dan beban gempa statik sesuai dengan syarat di dalam SNI 1726 tahun 2019. Dalam persyaratan yang tertera dalam SNI 1726 tahun 2019 disebutkan bahwa nilai gaya geser dinamik respon spektrum (VD) harus lebih besar dari 100% nilai gaya geser statik (VS) [10]. Perbandingan gaya geser dinamik dan static dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Gaya Geser Dinamik dan Statik

Base Shear	**V_D (kN)**	**V_S (kN)**	**Faktor Skala**	**Kontrol V_D > 100%V_S**
X *direction*	15546,817	15104,301	2,836	Memenuhi Syarat
Y *direction*	16888,264	15104,301	2,836	Memenuhi Syarat

3. 6. Perbandingan Nilai *Lateral Displacement*

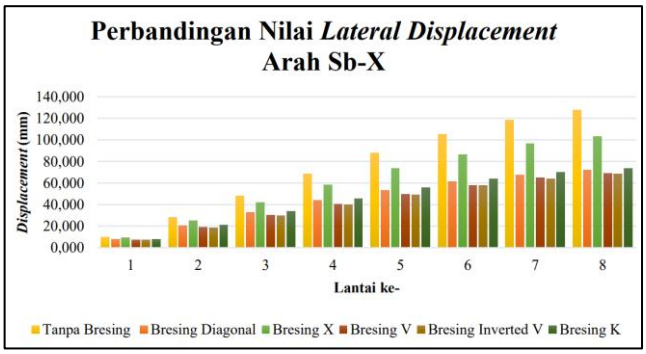
Berikut ini merupakan perbandingan nilai *lateral displacement* dari masing-masing konfigurasi *bracing* terhadap struktur *open frame*.

Dari data pada Tabel 10 dan Gambar 10, bisa dilihat rata-rata persentase kontribusi penurunan nilai *lateral displacement* dari masing-masing *bracing* yang dibandingkan pada arah sumbu-X. Rata-rata penurunannya yaitu untuk *bracing* diagonal sebesar 35,928%, *bracing* X sebesar 14,667%, *bracing* V sebesar 39,805%, *bracing inverted* V sebesar 40,533%, dan *bracing* K sebesar 33,582%. Berdasarkan dari data tersebut, persentase dari rata-rata penurunan nilai *lateral displacement* terkecil terjadi pada *bracing* X dengan nilai 14,667% sedangkan yang terbesar terjadi pada *bracing inverted* V dengan persentase 40,533%. Persentase penurunan rata-rata dari *bracing inverted* V memiliki nilai yang hampir sama dengan *bracing* V yaitu sebesar 39,805%.

Berdasarkan pada Tabel 11 dan Gambar 11, dapat dilihat rata-rata persentase penurunan nilai *lateral displacement* struktur dari berbagai bentuk *bracing* pada arah sumbu-Y. Data tersebut menunjukan nilai rata-rata persentase penurunan terbesar terjadi pada struktur dengan *bracing inverted* V dengan nilai 26,795%, *bracing* diagonal sebesar 26,776%, *bracing* V sebesar 26,767%, *bracing* K sebesar 26,754% dan bracing X sebesar -1,095%. Bracing V, *inverted* V, diagonal dan K memiliki rata-rata persentase penurunan yang hampir sama dan cukup signifikan. Namun pada struktur dengan *bracing* X justru mengalami peningkatan nilai *lateral displacement* dengan rata-rata penurunan -1,095% namun pengaruhnya tidak terlalu signifikan.

Tabel 10. Perbandingan Nilai *Lateral Displacement* Arah Sumbu X

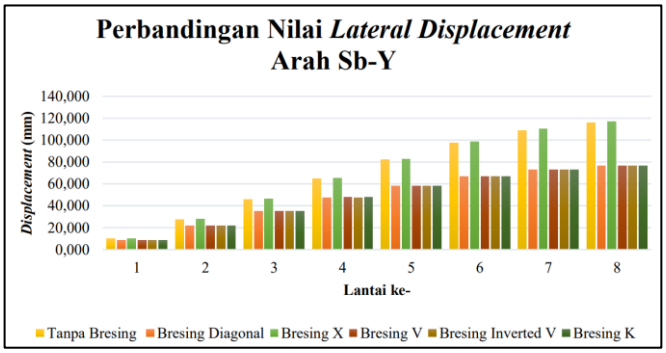
Lantai	**Presentase Penurunan *Displacement* pada arah Sb-X**					
	Tanpa *Bracing*	***Bracing diagonal***	**X**	**V**	***Inverted* V**	**K**
1	0%	22,648%	6,505%	26,969%	27,976%	20,533%
2	0%	28,301%	10,731%	33,010%	33,938%	25,818%
3	0%	32,526%	13,133%	37,328%	38,226%	29,880%
4	0%	36,223%	15,000%	40,981%	41,877%	33,509%
5	0%	39,228%	16,413%	43,866%	44,422%	36,507%
6	0%	41,757%	17,674%	44,859%	45,281%	39,084%
7	0%	43,092%	18,626%	45,492%	46,001%	41,031%
8	0%	43,612%	19,250%	45,937%	46,546%	42,290%
Rata-rata		35,928%	14,667%	39,805%	40,533%	33,582%



Gambar 10. Perbandingan Nilai *Lateral Displacement* Arah Sumbu X

Tabel 11. Perbandingan Nilai *Lateral Displacement* Arah Sumbu Y

Lantai	Presentase Penurunan *Displacement* pada arah Sb-Y					
	Tanpa *Bracing*	*Bracing diagonal*	X	V	*Inverted* V	K
1	0%	16,649%	-0,996%	16,649%	16,690%	16,627%
2	0%	20,355%	-0,988%	20,357%	20,392%	20,330%
3	0%	23,559%	-1,003%	23,560%	23,591%	23,533%
4	0%	26,560%	-1,051%	26,556%	26,583%	26,536%
5	0%	29,088%	-1,108%	29,077%	29,102%	29,066%
6	0%	31,283%	-1,160%	31,268%	31,290%	31,264%
7	0%	32,897%	-1,207	32,878%	32,898%	32,879%
8	0%	33,816%	-1,251%	33,795%	33,813%	33,801%
Rata-rata		26,776%	-1,095%	26,767%	26,795%	26,754%



Gambar 11. Perbandingan Nilai *Lateral Displacement* Arah Sumbu Y

Jika dibandingkan antara kinerja *bracing* pada arah sumbu-X dan sumbu-Y bangunan, terlihat penurunan nilai *lateral displacement* pada arah sumbu-X lebih besar dibandingkan dengan pada sumbu-Y dengan persentase yang cukup signifikan. Hal tersebut disebabkan oleh

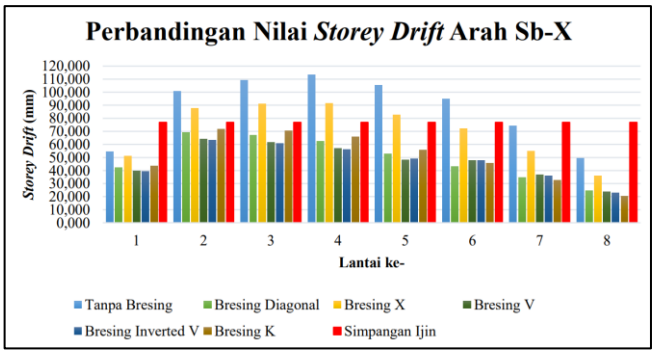
peletakan *bracing* yang lebih berfokus pada arah sumbu X bangunan dikarenakan alasan arsitektur dan merupakan sumbu lemah struktur.

3.7. Perbandingan Nilai *Storey Drift*

Data pada Tabel 12 dan Gambar 12 merupakan data perbandingan nilai *storey drift* untuk struktur dengan *bracing* diagonal, X, V, *inverted* V dan K pada arah sumbu-X bangunan pada arah sumbu-X. Dari data tersebut, menunjukan persentase penurunan nilai *storey drift* terus mengalami peningkatan dari setiap kenaikan level/lantainya. Pada lantai 1, persentase penurunan terbesar terjadi pada struktur dengan *bracing inverted* V dengan nilai 27,976% yang hampir sama dengan persentase penurunan pada *bracing* V yaitu sebesar 26,969%, sedangkan persentase penurunan terkecil terjadi pada struktur dengan *bracing* X yaitu sebesar 6,505%. Pada lantai 8, persentase penurunan terbesar terjadi pada *bracing* K dengan persentase 58,945%, sedangkan persentase terkecil terjadi pada *bracing* X dengan persentase 27,510%.

Tabel 12. Perbandingan Nilai *Storey Drift* Arah Sumbu X

Lantai	Presentase Penurunan *Storey Drift* pada arah Sb-X					
	Tanpa *Bracing*	*Bracing diagonal*	X	V	*Inverted* V	K
1	0%	22,648%	6,505%	26,969%	27,976%	20,533%
2	0%	31,344%	13,020%	37,168%	37,168%	28,681%
3	0%	38,534%	16,549%	44,323%	44,323%	35,656%
4	0%	44,866%	19,365%	50,414%	50,414%	41,993%
5	0%	50,010%	21,484%	53,552%	53,552%	47,266%
6	0%	54,618%	24,087%	49,648%	49,648%	52,187%
7	0%	53,477%	26,028%	51,605%	51,605%	56,176%
8	0%	50,493%	27,510%	53,755%	53,755%	58,945%
Rata-rata		43,253%	19,319%	46,055%	46,055%	42,680%

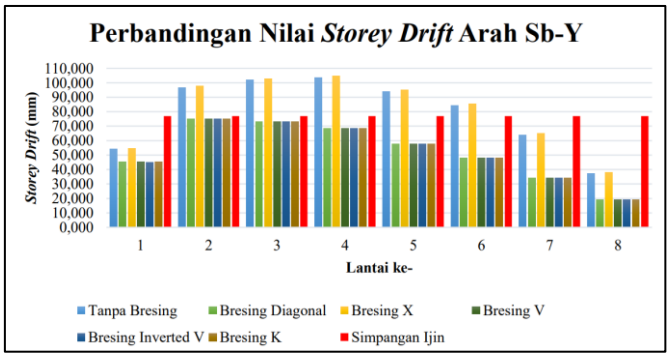


Gambar 12. Perbandingan Nilai *Storey Drift* Arah Sumbu X

Data pada Tabel 13 dan Gambar 13 merupakan data perbandingan nilai *storey drift* untuk struktur dengan *bracing* diagonal, X, V, *inverted* V dan K pada arah sumbu-Y. Dari data tersebut, menunjukan persentase penurunan nilai *storey drift* terus mengalami peningkatan dari setiap kenaikan level/lantainya. Rata-rata persentase penurunan nilai *storey drift* dari yang paling besar ke yang paling kecil berturut-turut adalah bracing diagonal, inverted V, K, V dan X dengan persentase 34,737%, 34,729%, 34,726%, 34,713%, dan -1,311%. Terlihat *bracing* X mereduksi *storey drift* yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan *bracing* yang lain. Selain itu untuk persyaratan simpangan ijin, *bracing* X tidak memenuhi persyaratan khususnya pada lantai 2-5.

Tabel 13. Perbandingan Nilai *Storey Drift* Arah Sumbu Y

Lantai	Presentase Penurunan *Storey Drift* pada arah Sb-Y					
	Tanpa *Bracing*	*Bracing diagonal*	X	V	*Inverted* V	K
1	0%	16,649%	-0,996%	16,649%	16,690%	16,627%
2	0%	22,433%	-0,984%	22,436%	22,469%	22,406%
3	0%	28,300%	-1,026%	28,300%	28,326%	28,273%
4	0%	33,894%	-1,167%	33,875%	33,895%	33,874%
5	0%	38,671%	-1,323%	38,639%	38,652%	38,658%
6	0%	42,996%	-1,440%	42,956%	42,963%	42,988%
7	0%	46,400%	-1,602%	46,353%	46,354%	46,399%
8	0%	48’553%	-1,952%	48,493%	48,483%	48,583%
Rata-rata		34,737%	-1,311%	34,713%	34,729%	34,726%



Gambar 13. Perbandingan Nilai *Lateral Displacement* Arah Sumbu Y

Jika dibandingkan *storey drift* antara arah sumbu-X dengan sumbu-Y bangunan, terlihat pada arah sumbu-X nilai *storey drift* lebih kecil di bandingkan dengan arah sumbu-Y. Hal tersebut terjadi karena, peletakan *bracing* lebih berfokus pada arah sumbu-X bangunan sebagai sumbu lemah struktur.

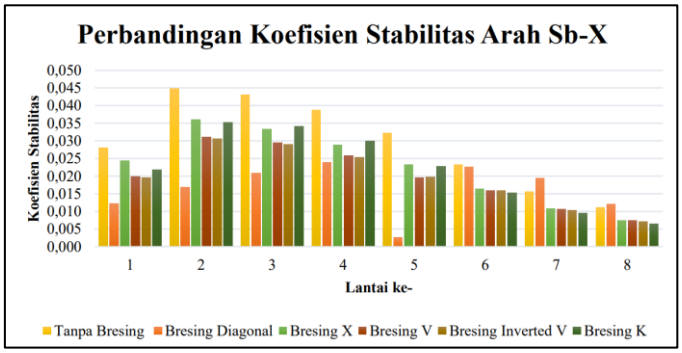
3.8. Perbandingan Nilai Faktor Stabilitas *P-Delta Effect*

Berdasarkan dari hasil pengecekan, menunjukan Gedung Asrama Mahasiswa UNY sudah stabil, sehingga tidak perlu memperhitungkan *P-Delta effect* dikarenakan nilai koefisien stabilitas kurang dari 0,1 berdasarkan pada persyaratan SNI 1726 tahun 2019.

Berdasarkan pada data di Tabel 14 dan Gambar 14 menunjukan perbandingan koefisien stabilitas efek P-Delta untuk struktur tanpa *bracing*, dengan *bracing* diagonal, X, V, *inverted* V dan K pada arah sumbu-X. Jika dilihat rata-rata penurunan nilai koefisien stabilitas dari setiap *bracing* menunjukan rata-rata persentase penurunan terbesar terjadi pada *bracing* diagonal dengan nilai 33,868% kemudian diikuti dengan *bracing inverted* V sebesar 33,611%, *bracing* V sebesar 32,565%, *bracing* K sebesar 28,956% dan *bracing* X sebesar 25,314%. Hal tersebut menunjukan *bracing* diagonal merupakan *bracing* yang paling efektif dalam memberikan pengaruh stabilitas pada struktur gedung dan *bracing* X merupakan *bracing* yang paling sedikit berkontribusi. Namun *bracing* X merupakan tipe *bracing* yang paling stabil dalam penurunan nilai koefisien stabilitas dari setiap peningkatan lantainya.

Tabel 14. Perbandingan Nilai Faktor Stabilitas Arah Sumbu X

Lantai	Presentase Penurunan Faktor Stabilitas pada arah Sb-X					
	Tanpa *Bracing*	*Bracing diagonal*	X	V	*Inverted* V	K
1	0%	56,377%	12,955%	29,249%	30,330%	21,845%
2	0%	62,328%	19,447%	30,584%	31,669%	21,233%
3	0%	51,820%	22,956%	31,491%	32,664%	21,060%
4	0%	38,443%	25,749%	33,558%	34,845%	22,710%
5	0%	92,072%	27,746%	39,297%	38,541%	29,270%
6	0%	2,604%	29,682%	31,863%	31,728%	34,380%
7	0%	-24,46%	31,214%	31,792%	33,594%	39,189%
8	0%	-8,23%	32,762%	32,689%	35,517%	41,962%
Rata-rata		33,868%	25,314%	32,565%	33,611%	28,956%

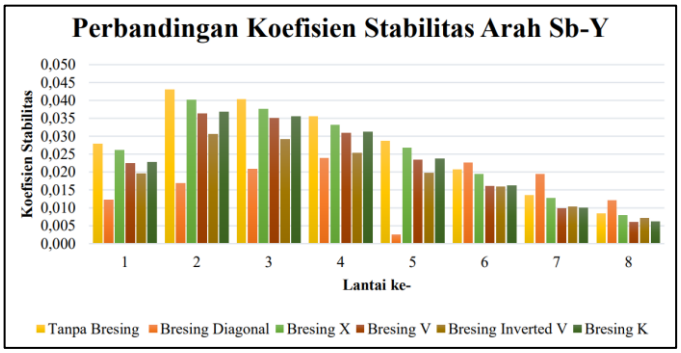


Gambar 14. Perbandingan Nilai Faktor Stabilitas Arah Sumbu X

Berdasarkan pada data di Tabel 15 dan Gambar 15 menunjukan perbandingan koefisien stabilitas *P-Delta effect* untuk struktur tanpa *bracing*, dengan *bracing* diagonal, X, V, *inverted* V dan K pada arah sumbu-Y. Berdasarkan data tersebut nilai rata-rata persentase penurunan terbesar ke terkecil berturut-turut terjadi pada *bracing* diagonal, *inverted* V, V, K dan X dengan nilai 29,277%, 19,700%, 19,513%, 18,577% dan 6,22%. Hal tersebut menunjukan *bracing* diagonal merupakan yang paling efektif dan *bracing* X yang paling tidak efektif terhadap kestabilan struktur.

Tabel 15. Perbandingan Nilai Faktor Stabilitas Arah Sumbu Y

Lantai	Presentase Penurunan Faktor Stabilitas pada arah Sb-Y					
	Tanpa *Bracing*	*Bracing diagonal*	X	V	*Inverted* V	K
1	0%	18,671%	5,972%	19,250%	19,413%	18,004%
2	0%	14,860%	6,478%	15,499%	15,648%	14,302%
3	0%	12,445%	6,731%	13,109%	13,317%	12,002%
4	0%	12,501%	6,842%	12,965%	13,140%	11,891%
5	0%	91,795%	6,758%	18,645%	18,827%	17,725%
6	0%	21,469%	6,036%	22,405%	22,663%	21,754%
7	0%	28,317%	5,521%	26,201%	26,389%	25,624%
8	0%	34,959%	5,435%	28,027%	28,165%	27,314%
Rata-rata		29,377%	6,222%	19,513%	19,700%	18,577%



Gambar 15. Perbandingan Nilai Faktor Stabilitas Arah Sumbu Y

Jika dibandingkan antara persentase penurunan nilai koefisien stabilitas pada arah sumbu-X dan sumbu-Y terlihat pada arah sumbu-X lebih efektif dan efisien dalam mereduksi nilai koefisien stabilitas. Hal tersebut disebabkan oleh peletakan *bracing* yang lebih berfokus pada arah sumbu-X bangunan sehingga penurunan terjadi lebih signifikan.

4. Simpulan

Berdasarkan dari hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan, (1) Persentase penurunan nilai *lateral displacement* dari yang terbesar ke terkecil pada arah sumbu-X berturut-turut terjadi pada *bracing inverted* V, V, diagonal, K dan X dengan nilai 40,533%, 39,805%, 35,928%, 33,582% dan 14,667% serta pada arah sumbu-Y 26,795%, 26,767%, 26,77%, 26,754% dan -1,095%. (2) Persentase penurunan nilai *storey drift* pada arah sumbu-X dari yang terkecil ke terbesar berturut-turut pada *bracing inverted* V, V, diagonal, K dan X dengan nilai 46,055%, 45,326%, 43,253%, 42,680% dan 19,319% serta pada arah sumbu-Y 34,729%, 34,713%, 34,737%, 34,726% dan -1,311%. (3) Persentase penurunan nilai koefisien stabilitas *P-Delta effect* dari yang terbesar ke terkecil pada arah sumbu-X berturut-turut terjadi pada *bracing* diagonal, *inverted* V, V, K dan X dengan nilai 33,868%, 33,611%, 32,565%, 28,956% dan 25,314% serta pada arah sumbu-Y yaitu 29,377%, 19,700%, 19,513%, 18,577% dan 6,222%. (4) Simpangan ijin yang dipersyaratkan sebesar 76,923 mm, menunjukan struktur dengan *bracing* X belum dapat memenuhi simpangan ijin pada lantai 2-5 namun untuk *bracing* V, *inverted* V, diagonal dan K sudah dapat memenuhi persyaratan simpangan ijin. (5) *Bracing* K mengalami peningkatan persentase penurunan nilai *storey drift* paling stabil dari setiap peningkatan lantainya serta *bracing* X untuk koefisien stabilitas. (6) Gedung Asrama Mahasiswa UNY tidak mempersyaratkan *P-Delta effect*. (7) Persentase penurunan pada arah sumbu-X lebih besar daripada sumbu-Y.

Daftar Rujukan

[1] Setyonugroho, G. A. (2017). Pembangunan Berkelanjutan dalam Rekonstruksi Rumah Pasca Gempa Yogyakarta 2006 di Dusun Ngibikan. *Jurnal Arsitektur* KOMPOSISI, 10, 184–194.

[2] Sibagariang, I. S., & Tarigan, S. D. (2022). Analisis Struktur Portal Baja Dengan Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK) Dengan Menggunakan Peta Gempa 2017. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 5(2), 69–81. https://doi.org/10.54367/jrkms.v5i2.2109

[3] Nuraga, K., Ayu, D., Adhiya, P., Putri, G., Antriksa, K., Ficher, J., & Noni, A. (2021). Analisis Daktilitas Struktur Gedung Rangka Beton Bertulang Dengan Metode Analisis Pushover (Studi: Gedung Tugu Reasuransi Indonesia Jakarta). *Jurnal Ilmiah TELSINAS*, 4(2), 34–41.

[4] Rochmah, N., Beatrix, M., Sutriono, B., & Konstruksi Bangunan, A. (2021). Studi Perencanaan Gedung Tingkat Tinggi dan Gedung Tingkat Rendah Dengan Menggunakan Bresing Konsentrik. *Jurnal EXTRAPOLASI*, 18, 1698–8259.

[5] Ahiwale, D., Dewarde, A., Hanche, S., Awale, P., Jagtap, J., Khartode, R., & Raut, K. (2020). Seismic Response Assessment of Industrial Building with X-Bracing Subjected to Near-Fault Earthquake. *Journal of Seybold*, 15, 3443–3457. https://www.researchgate.net/publication/344414670

[6] Pratama, M. F. W., & Hidayatullah, E. F. N. (2021). Perancangan Ulang Struktur Atas Gedung Kantor Otoritas Jasa Keuangan

Surakarta Menggunakan Baja Konvensional. *INERSIA Lnformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 17(2), 141–152. https://doi.org/10.21831/inersia.v17i2.34187

[7] Kurniati, D. (2022). Rekayasa Bracing Tipe V dan Tipe Λ pada Gedung Kampus. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 11(1), 103–111. https://doi.org/10.22225/pd.11.1.4474.103-111

[8] Kumar, V. (2022). *Seismic Performance of Asymmetrical Building with Symmetrical Braced configuration. PES University.*

[9] Wang, Q., & Su, M. (2022). Lateral Displacement Mode of Column-supported Modular Steel Structures with Semi-rigid Connections. *Journal of Building Engineering, 62.* https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105397

[10] Standar Nasional Indonesia. (2019). *SNI-1726-2019-Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.*

[11] Özdemir, M., & Muvafik, M. (2022). The Effect of The P-Delta on Static and Dynamic Behaviour of Various Tall Buildings Experimental Investigation of Mechanical and Durability Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Composite Concrete View project Muhammet Özdemir Erzurum Teknik Üniversitesi 5 PUBLICATIONS 2 CITATIONS SEE PROFILE. International Izmir Democracy *University Engineering Symposium*, 183–188. http://ies.idu.edu.tr/

[12] Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727: 2020 *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain.*

[13] Hutama, B. P. (2021). Evaluasi Kinerja Bangunan Rumah Sakit Santa Maria Pemalang dengan Non-linier Static Pushover Analysis Metode ATC-40 dan FEMA 440. *INERSIA Lnformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil* Dan Arsitektur, 17(2), 118–129. https://doi.org/10.21831/inersia.v17i2.25511

[14] Ertanto, C., Satyarno, I., & Suhendro, B. (2017). Performance Based Design Bangunan Gedung untuk Level Kinerja Oprasional. *INERSIA*, 13, 189–204.