

PERBANDINGAN PERILAKU STRUKTUR BAJA SISTEM RANGKA BRESING EKSENTRIS TIPE TWO STORY-X DAN INVERTED-V

Sania Nince Afrida¹ dan Retno Trimurtiningrum²

¹Jurusan Teknik Sipil, Untag Surabaya, Jl. Rungkut Mejoyo Selatan XI, Surabaya
Email: saniaafrida22@gmail.com

²Jurusan Teknik Sipil, Untag Surabaya, Jl. Semolowaru 45, Surabaya
Email: retnotrimurti@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Meningkatnya kebutuhan bangunan tingkat tinggi terutama dipertanian disebabkan karena keterbatasan lahan. Pada perencanaan bangunan gedung tingkat tinggi hal yang harus diperhatikan adalah terkait kestabilan struktur. Untuk memastikan kestabilan struktur harus dicek terhadap simpangan, periode, dan efek P-Delta. Jika rasio kelangsingan semakin besar, maka struktur akan semakin fleksibel. Untuk mengatasi fleksibilitas pada struktur akibat adanya beban lateral, maka diperlukan pengaku lateral (bresing) agar deformasi struktur yang terjadi tidak melampaui batas yang telah ditetapkan dalam peraturan SNI 1726-2019. Struktur rangka bresing eksentris memiliki kekakuan elastik yang tinggi dan mampu memberikan perilaku daktil ketika terjadi gempa dibanding dengan sistem konsentrik, namun deformasi yang dihasilkan tidak terlalu besar. Ada berbagai jenis konfigurasi sistem rangka bresing eksentrik, salah satunya penggunaan elemen link ditengah yang lebih menguntungkan karena dapat menghindari kegagalan pada kolom. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan analisis perbandingan perilaku struktur dari sistem bresing eksentris Two story-x dan Inverted-V. Berdasarkan analisis perbandingan perilaku struktur rangka bresing eksentris Two story-X dan Inverted-V menggunakan program bantu SAP 2000, didapatkan massa struktur bresing Two Story X lebih besar 0,014% dari struktur Inverted-V, dan nilai periode yang dihasilkan oleh Inverted V adalah 1,618 detik sedangkan periode Two Story X adalah 1,676 detik. Serta nilai simpangan terbesar terjadi pada struktur Two story X yaitu 0,024372 mm dan Inverted V 0,022072 mm. Koefisien kestabilan θ dari kedua struktur, Two Story-X dan Inverted-V masing-masing diperoleh 0,081 dan 0,090.

Kata kunci: bresing, periode, simpangan, P-delta

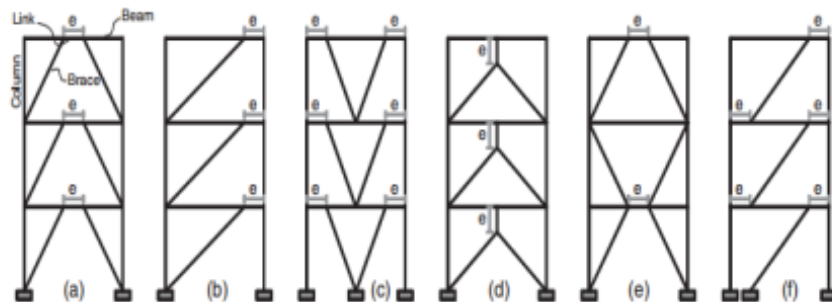
1. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan jumlah penduduk di Indonesia mengakibatkan keterbatasan lahan dalam pembangunan infrastruktur khususnya di daerah perkotaan. Alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut salah satunya dengan cara melakukan pembangunan secara vertikal (bangunan bertingkat). Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, banyak penelitian yang dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur terhadap bangunan tingkat tinggi. Perencanaan bangunan gedung tingkat tinggi memiliki banyak tantangan dan kriteria. Mengingat Indonesia adalah wilayah yang berpotensi sangat tinggi terjadi gempa, maka faktor yang perlu diperhatikan salah satunya adalah struktur harus mampu menahan gaya gempa. Syarat dalam merencanakan bangunan tahan gempa adalah stabil, kuat, dan kaku.

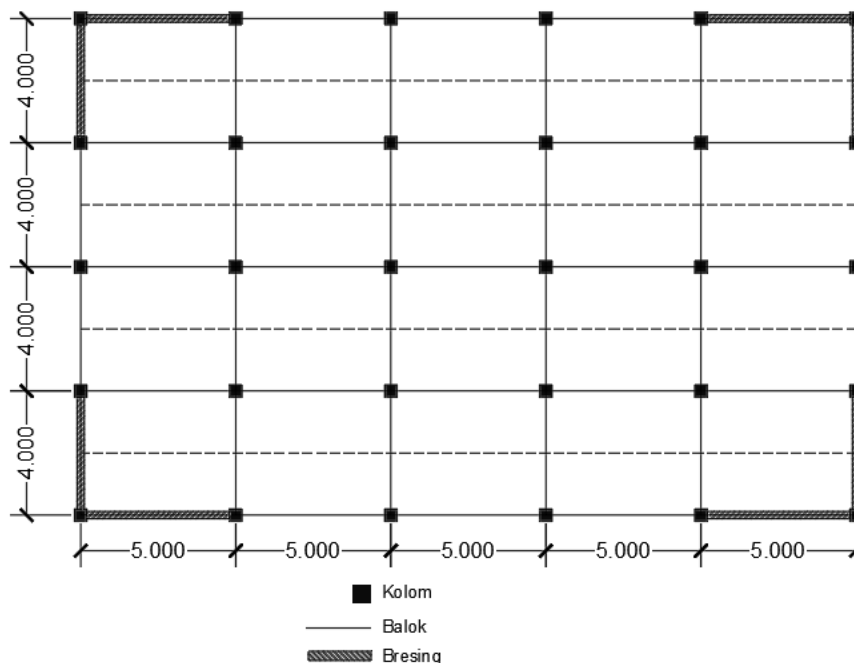
Material baja memiliki keunggulan dalam hal kekuatan, kekakuan, dan daktilitas. Selain itu baja dinilai memiliki kemampuan untuk menahan beban yang cukup besar dengan dimensi yang relatif kecil dan massa struktur yang lebih ringan. Namun disisi lain, dimensi baja yang relatif kecil menyebabkan struktur baja cenderung langsing dan fleksibel. Semakin tinggi struktur, peningkatan kelangsingan akan berdampak pada beberapa parameter struktur. Ketika struktur menjadi lebih langsing, periode alami struktur, gaya geser dasar, perpindahan horizontal, kecepatan, percepatan, dan gaya dalam cenderung meningkat. Namun, jika lebar struktur ditingkatkan, meskipun tidak secara signifikan, parameter-parameter tersebut cenderung mengalami penurunan. Artinya, dengan peningkatan lebar struktur, periode alami struktur, gaya geser dasar, perpindahan horizontal, kecepatan, percepatan, dan gaya dalam akan cenderung berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio kelangsingan struktur, kekakuan struktur secara umum akan mengalami penurunan. (Sudarsana, 2022). Untuk mengatasi masalah terkait fleksibilitas struktur, salah satu solusinya adalah dengan menambahkan pengaku lateral pada bangunan (Trimurtiningrum et al., 2022). Pengaku lateral biasanya berupa dinding geser, bresing baja, atau sistem rangka penahan lateral lainnya.

Sistem Rangka Bresing Eksentris (SRBE) merupakan suatu sistem rangka baja yang terdiri dari balok, kolom, dan pengaku dimana pada ujung dari bagian pengakunya terdapat suatu elemen yang menggabungkan antar sistem rangka yang disebut link. Saat terjadi beban gempa, link pada SRBE akan berfungsi sebagai sekring daktail, berotasi plastis, sementara komponen struktur lain akan tetap elastis (Dzul Fikri Muhammad, 2020). Gambar 1 menunjukkan beberapa konfigurasi yang dikenal saat ini adalah *Inverted-V*, *D-Braces*, *V-braces*, *inverted Y-braces*, *two story-X-braces*. Dari berbagai konfigurasi SRBE, penempatan link ditengah dapat lebih menguntungkan karena momen terbesar yang akan menyebabkan kondisi plastis tidak terjadi didekat kolom, sehingga dapat menghindari kegagalan kolom akibat kondisi inelastis yang terjadi (Dewobroto, 2016).

Berdasarkan uraian diatas, penulis mencoba untuk melakukan penelitian dengan membandingkan berat struktur, periode, simpangan, dan P-Delta dari kedua struktur bangunan baja menggunakan Sistem Rangka Bresing Eksentris (SRBE) tipe *inverted-V* dan *two story-X* dimana kedua konfigurasi ini memiliki penempatan link ditengah yang diaplikasikan pada bangunan gedung tinggi. Pada penelitian ini mengaplikasikan bangunan 10 lantai, berfungsi sebagai gedung perkantoran yang berlokasi di Surabaya. Tujuannya untuk mengetahui perilaku struktur dengan konfigurasi bresing eksentris yang lebih optimal dalam menahan beban lateral.



Gambar 1 Konfigurasi Bresing Eksentris (Maharani & Faimun, 2019)



Gambar 2 Denah Gedung

Pada Gambar 2 menampilkan denah gedung dimana bresing diletakkan pada perimeter atau tepi sisi gedung agar tidak terjadi ketidakberaturan struktur yang dapat menyebabkan terjadinya torsi. Torsi atau momen puntir adalah momen yang bekerja terhadap sumbu longitudinal balok/element struktur. Pada prinsipnya torsi dapat terjadi karena bekerjanya beban transversal yang tidak segaris dengan posisi garis penampang. Beban lateral dapat mengakibatkan torsi pada bangunan ketika beban lateral tersebut cenderung memutar bangunan tersebut dengan arah vertikal. Hal ini

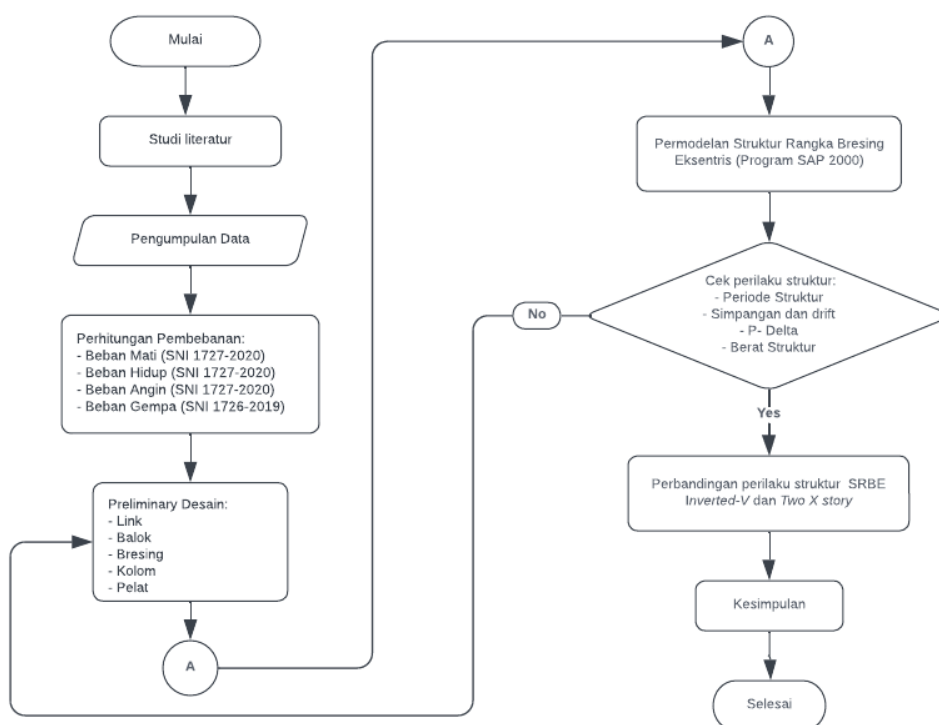
terjadi ketika pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral – sistem ketahanan struktur tersebut. Eksentrisitas diantara pusat kekakuan dan massa bangunan dapat menyebabkan gerakan torsi selama terjadinya gempa (Tuwanakotta, 2022).

2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 3, diantaranya studi literatur dan pengumpulan data, perhitungan pembebanan yakni beban mati, beban hidup, beban angin yang berdasarkan ketentuan SNI 1727-2020 dan beban gempa berdasarkan SNI 1726-2019. Setelah itu dilakukan perhitungan perencanaan awal (*preliminary*) untuk menentukan dimensi elemen struktur yang berdasarkan ketentuan perencanaan struktur baja SNI 1729-2020 dan SNI 7860-2020. Tahapan selanjutnya adalah melakukan permodelan kedua struktur baja dengan tipe bresing Two Story-X dan Inverted-V menggunakan bantuan software SAP 2000 v.22. komponen gedung yang dimodelkan adalah kolom, balok, pelat, link, dan bresing. Tinggi total bangunan adalah 40 m dengan jumlah 10 lantai. Mutu yang digunakan untuk profil baja adalah BJ 41 dengan nilai $F_y = 250$ Mpa.

Pembebanan yang diperhitungkan berupa beban mati atau berat sendiri komponen, beban mati tambahan berupa dinding, plafon, keramik, plesteran, waterproofing, dan komponen utilitas lainnya. Adapun untuk beban hidup yang digunakan sesuai dengan fungsi bangunan yakni untuk perkantoran. Sedangkan beban gempa yang digunakan adalah beban gempa dinamik berupa respon spektrum. Kombinasi pembebanan yang digunakan sebagai berikut:

- $1,4D$
- $1,2 D + 1,6 L$
- $1,2 D + 0,5 W$
- $1,2 D + L$
- $1,2 D + W + L$
- $0,9 D + W$
- $0,9 D + 1,3 Q_e + L$
- $0,772 D + 1,3 Q_e$



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Periode struktur

Dalam ketentuan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.1, periode fundamental pendekatan T_a harus ditentukan dengan rumus sebagai berikut:

$$T_a = C_t h_n^x \quad (1)$$

Dimana:

h_n : ketinggian struktur (m)

C_t dan x , merupakan koefisien yang diambil dari Tabel 18 SNI 1726-2019

Simpangan dan simpangan antar lantai

Penentuan simpangan dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa diatas dan dibawah tingkat yang ditinjau (SNI 1726-2019; Pasal 7.8.6)

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2)$$

Dimana:

C_d : faktor pembesaran simpangan lateral

δ_{xe} : simpangan ditingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik

I_e : faktor keutamaan gempa

Selain simpangan, perlu dilakukan perhitungan untuk meninjau simpangan antar lantai agar memenuhi persyaratan yang ditetapkan dimana simpangan antar lantai dingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a). Dengan rumus perhitungan simpangan antar lantai dihitung sebagai berikut:

$$\Delta_x = \frac{(\delta_{xe} - \delta_{(x-1)e}) C_d}{I_e} \leq \Delta_a \quad (3)$$

Dimana :

$(\delta_{xe} - \delta_{(x-1)e})$: selisih defleksi yang terjadi (mm)

Δ_a : simpangan ijin (mm)

Pengaruh p-delta

Bila koefisien stabilitas θ kurang dari atau sama dengan 0,1, maka pengaruh P-Delta tidak perlu diperhitungkan. Adapun rumus koefisien stabilitas yang digunakan sebagai berikut (SNI 1726-2019; Pasal 7.8.7):

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (4)$$

Dimana:

P_x : beban desain vertikal total (kN)

Δ : simpangan antar tingkat desain (mm)

I_e : Faktor keutamaan gempa

V_x : gaya geser seismik (kN)

h_{sx} : tinggi tingkat dibawah tingkat x (mm)

C_d : faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas θ dibatasi tidak boleh lebih dari θ_{max} yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,5 \quad (5)$$

Dimana:

β : rasio kebutuhan geser

C_d : faktor pembesaran defleksi

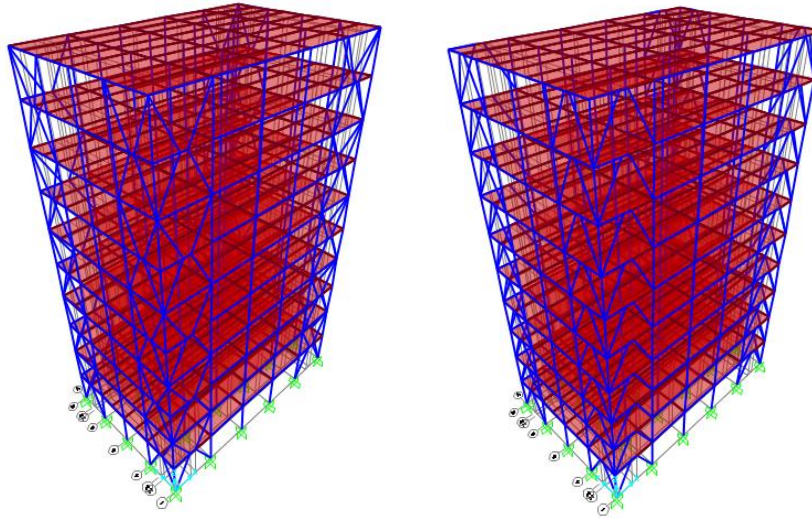
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permodelan struktur

Permodelan struktur menggunakan bantuan software SAP 2000 v.22. Beban yang diinputkan kedalam software berupa beban mati tambahan dengan rincian lantai 1-3 difungsikan sebagai lobby, restoran, dan ballroom dengan total berat beban mati tambahan = 1,54 kN/m² dan beban hidup tereduksi = 4,79 kN/m². Lantai 4-9 difungsikan sebagai ruang kantor dengan beban mati tambahan = 1,54 kN/m² dan beban hidup tereduksi = 1,86 kN/m². Lantai 10 difungsikan sebagai atap dengan beban mati tambahan = 0,59 kN/m² dan beban hidup tereduksi = 0,94 kN/m². Sedangkan untuk

berat sendiri struktur berupa profil baja dan pelat beton dihitung otomatis dalam program aplikasi SAP 2000 dengan memasukkan berat jenis material yang digunakan.

Pada Gambar 4 permodelan struktur dengan tipe bresing Two Story-X dan Inverted-V menggunakan panjang link arah X = 70 cm, dan link arah Y = 50 cm. Bentuk bangunan simetri dengan panjang arah X = 25 m dan panjang arah Y = 16 m. Pengaku bresing diletakkan dikeempat sisi bangunan dibagian perimeter.



Gambar 4 PermodelanSRBE Two Story-X (kiri) dan Inverted-V (kanan)

Berat struktur

Berat struktur terdiri dari berat beban mati, beban mati tambahan, dan beban hidup. Tipe bresing yang digunakan akan mempengaruhi jumlah kebutuhan material baja. Untuk permodelan struktur menggunakan bresing Two Story-X jumlah link yang digunakan sedikit berkurang dibanding dengan tipe bresing Inverted-V. Pada struktur dengan tipe bresing Two Story-X, link diletakkan disetiap dua lantai. Jadi untuk lantai yang berada dibawah lantai yang menggunakan link, permodelan strukturnya akan menjadi balok, bukan link. Dari hasil analisa software SAP 2000 didapat hasil berat struktur dengan menggunakan bresing tipe Two story-X pada Tabel 1 adalah 40115,04 kN.

Tabel 1 Berat Struktur Bresing Two Story-X

Output	Berat (kN)
Beban mati	12360,5
Beban mati tambahan	17248,52
Beban hidup	10506
Total	40115,04

Didapat hasil total berat struktur menggunakan bresing Inverted-V sebesar 40109,59 kN. Selisih 0,014% lebih ringan dibanding dengan berat struktur yang menggunakan bresing tipe Two Story-X. Dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, perbedaan berat terdapat pada beban mati atau berat sendiri struktur yang berupa komponen struktur. Hal ini karena dimensi profil baja yang digunakan untuk link adalah WF.300.150.6,5.9 dan dimensi balok induk menggunakan profil WF.400.200.8.13. Dimensi link lebih kecil dari dimensi balok induk, sehingga struktur dengan tipe bresing Inverted-V memiliki berat yang lebih kecil daripada berat struktur dengan tipe Two Story-X karena jumlah linknya lebih banyak.

Tabel 2 Berat Struktur Bresing Inverted-V

Output	Berat (kN)
Beban mati	12355,07
Beban mati tambahan	17248,52
Beban hidup	10506
Total	40109,59

Periode struktur

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1, apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $T_{max} = C_u T_a$ maka periode struktur harus diambil sebesar T_{max} .

Untuk menghindari penggunaan struktur yang terlalu fleksibel, pengendalian periode getaran sangat penting. Setiap struktur memiliki periode getar dimana struktur tersebut cenderung bergoyang ketika terkena beban lateral seperti angin atau gempa. Oleh karena itu, dalam desain struktur, umumnya periode pada mode shape pertama yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa struktur memiliki frekuensi terendah dan periode terpanjang pada mode shape pertama. Dengan mengontrol periode getaran, dapat dipastikan bahwa struktur memiliki kekakuan yang memadai dan mampu menahan beban lateral dengan baik.

Dari hasil analisis struktur bresing tipe Two X- Story, periode terpanjang yang diperoleh terdapat pada mode shape ke-1 sebesar 1,676 detik, nilai yang melebihi batas periode maksimum yang telah dihitung, yakni $T_{max} = 1,624$ detik.

Tabel 3 Periode SRBE Two X-Story

Mode	Period	Frequency	Mode	Period	Frequency
	Sec	Cyc/sec		Sec	Cyc/sec
1	1.676	0.596	11	0.505	1.982
2	1.637	0.611	12	0.475	2.105
3	1.310	0.763	13	0.312	3.207
4	0.642	1.557	14	0.298	3.357
5	0.629	1.590	15	0.264	3.786
6	0.610	1.639	16	0.222	4.501
7	0.577	1.733	17	0.193	5.171
8	0.555	1.801	18	0.164	6.089
9	0.546	1.831	19	0.106	9.416
10	0.539	1.855	20	0.098	10.163

Hasil analisis struktur bresing dengan tipe Inverted-V pada Tabel 4 diperoleh periode gedung sebesar 1,618 detik. Nilai periode tersebut berada pada rentang periode getar minimum $T_a \min = 1,16$ s dan periode getar maksimum $T_a \max = 1,624$ s. Hal ini menunjukkan bahwa periode getar tersebut telah memenuhi ketentuan SNI 1726-2019 pasal 7.8.2.

Tabel 4 Periode SRBE Inverted-V

Mode	Period	Frequency	Mode	Period	Frequency
	Sec	Cyc/sec		Sec	Cyc/sec
1	1.618	0.618	11	0.515	1.941
2	1.551	0.645	12	0.473	2.115
3	1.229	0.814	13	0.305	3.281
4	0.642	1.559	14	0.291	3.440
5	0.629	1.589	15	0.280	3.568
6	0.606	1.650	16	0.217	4.614
7	0.580	1.725	17	0.191	5.239
8	0.542	1.845	18	0.166	6.018
9	0.538	1.858	19	0.112	8.920
10	0.519	1.926	20	0.101	9.889

Simpangan struktur

Dalam permodelan struktur, perlu dilakukan kontrol terhadap simpangan agar tidak melebihi batas simpangan ijin yang ditetapkan. Simpangan yang terlalu besar dapat berdampak pada kinerja struktur dan keamanan. Selain itu, simpangan yang berlebihan dapat menyebabkan getaran yang mempengaruhi kenyamanan penghuni bangunan tersebut. Jika simpangan melebihi batas yang ditoleransi, struktur dapat mengalami kegagalan atau runtuh. Oleh karena itu, dengan mengendalikan simpangan, dapat dipastikan bahwa struktur tetap dalam batas-batas kestabilan yang aman.

Batas simpangan ijin dalam ketentuan SNI 1729-2019 Pasal 7.12.1 untuk stuktur dengan sistem rangka bresing eksentris masuk dalam kategori semua struktur lainnya dengan kategori risiko bangunan adalah II, maka nilai batas simpangan ijin dari hasil perhitungan diperoleh sebesar 0,08 m atau 80 mm. Nilai simpangan dihitung dengan menggunakan persamaan (2) dan simpangan antar lantai dihitung menggunakan persamaan (3). Nilai simpangan antar lantai didapat dengan mengurangi simpangan yang terjadi dengan simpangan yang terjadi dilantai bawahnya. Tabel 5 menampilkan hasil simpangan pada struktur menggunakan bresing tipe Two X story. Didapat simpangan antar lantai terbesar terjadi dilantai empat dengan nilai 0,024372 mm, dan simpangan atar lantai terkecil terjadi dilantai 10 dengan nilai simpangan 0,010408 mm.

Tabel 5 Kontrol Simpangan SRBE Two Story-X

Lantai	Simpangan	Cd/I	Simpangan diperbesar	Simpangan antar lantai	Tinggi lantai	Simpangan ijin	Status
i	δx_e		δx	Δ	Hsx	Δa	
	m		m	M	m	m	
1	0.00396	4	0.01584	0.01584	4	0.08	OK
2	0.009976	4	0.039904	0.024064	4	0.08	OK
3	0.015976	4	0.063904	0.024	4	0.08	OK
4	0.022069	4	0.088276	0.024372	4	0.08	OK
5	0.027629	4	0.110516	0.02224	4	0.08	OK
6	0.0332	4	0.1328	0.022284	4	0.08	OK
7	0.038091	4	0.152364	0.019564	4	0.08	OK
8	0.042382	4	0.169528	0.017164	4	0.08	OK
9	0.04556	4	0.18224	0.012712	4	0.08	OK
10	0.0479	4	0.1916	0.00936	4	0.08	OK

Tabel 6 menunjukkan nilai simpangan yang terjadi pada struktur dengan tipe bresing Inverted-V. Struktur dengan bresing tipe Inverted-V memiliki simpangan antar lantai maksimum sebesar 0,022072 mm yang terjadi dilantai tiga dan simpangan terkecil terjadi dilantai 10 dengan nilai 0,008708 mm. Dari hasil analisis menggunakan software SAP 2000 simpangan yang terjadi kurang dari nilai simpangan ijin yakni sebesar 80 mm, artinya struktur stabil dan telah memenuhi ketentuan yang ditetapkan SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1.

Dari Tabel 5 dan Tabel 6, struktur bresing dengan tipe Two Story X memiliki simpangan yang lebih besar daripada Inverted-V, selisih simpangan yang terjadi adalah 9,44%.

Tabel 6 Kontrol Simpangan SRBE Inverted-V

Lantai	Simpangan	Cd/I	Simpangan diperbesar	Simpangan antar lantai	Tinggi lantai	Simpangan ijin	Status
i	δx_e		Δx	Δ	hsx	Δa	
	m		m	m	m	m	
1	0.003478	4	0.013912	0.013912	4	0.08	OK
2	0.008777	4	0.035108	0.021196	4	0.08	OK
3	0.014295	4	0.05718	0.022072	4	0.08	OK
4	0.019735	4	0.07894	0.02176	4	0.08	OK

Tabel 6 Kontrol Simpangan SRBE Inverted-V (Lanjutan)

Lantai	Simpangan	Cd/I	Simpangan diperbesar	Simpangan antar lantai	Tinggi lantai	Simpangan ijin	Status
i	δx_e		δx	Δ	Hsx	Δa	
	m		m	m	m	m	
5	0.024924	4	0.099696	0.020756	4	0.08	OK
6	0.030044	4	0.120176	0.02048	4	0.08	OK
7	0.03471	4	0.13884	0.018664	4	0.08	OK
8	0.038687	4	0.154748	0.015908	4	0.08	OK
9	0.041821	4	0.167284	0.012536	4	0.08	OK
10	0.043998	4	0.175992	0.008708	4	0.08	OK

Pengaruh p-delta

Efek P-Delta timbul karena ketidakseimbangan deformasi yang terjadi akibat kombinasi beban gravitasi dan beban lateral seperti beban angin atau gempa. Kontrol P-Delta bertujuan untuk mencegah terjadinya defleksi struktur dan peningkatan momen lentur yang tidak terduga, yang dapat mengurangi kemampuan dan kestabilan struktur secara keseluruhan. Dengan menerapkan kontrol P-Delta, analisis struktur akan menghasilkan hasil yang lebih akurat dan mendekati perilaku aktual dari struktur tersebut. Sesuai SNI 1726-2019 Pasal 7.8.7, pengaruh P-Delta ditentukan berdasarkan nilai koefisien stabilitas θ . Jika nilai θ kurang dari nilai θ_{max} , maka pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Didapatkan nilai $\theta_{max} = 0,125$.

Analisis struktur menggunakan bresing tipe Two X-story nilai teta yang dihasilkan tidak ada yang melebihi teta maksimum. Adapun nilai teta terbesar yang dihasilkan terjadi dilantai 2 dan 3 yaitu sebesar 0,081. Struktur stabil karena telah memenuhi ketentuan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.7, sehingga efek P-Delta tidak perlu diperhitungkan.

Tabel 7 Kontrol P-Delta SRBE Two X-Story

Lantai	Px	Vx	δx_e	Δx	Δ	θ	θ_{max}	Status
	KN	KN	10^{-3} m	10^{-3} m	10^{-3} m			
1	40039.45	1274.608	3.960	15.840	15.840	0.031	0.125	OK
2	33583.3	623.635	9.976	39.904	24.064	0.081	0.125	OK
3	28523.94	524.983	15.976	63.904	24.000	0.081	0.125	OK
4	23916.8	601.849	22.069	88.276	24.372	0.061	0.125	OK
5	19983.08	495.989	27.629	110.516	22.240	0.056	0.125	OK
6	16490.8	463.573	33.200	132.800	22.284	0.050	0.125	OK
7	12663.21	361.553	38.091	152.364	19.564	0.043	0.125	OK
8	9240.711	352.088	42.382	169.528	17.164	0.028	0.125	OK
9	5538.879	225.032	45.560	182.240	12.712	0.020	0.125	OK
10	2119.517	176.563	47.900	191.600	9.360	0.007	0.125	OK

Sama halnya dengan struktur bresing Two X story, nilai teta pada struktur bresing Inverted-V yang ditampilkan pada Tabel 8 masih berada dibawah nilai teta maksimum. Dengan hasil teta terbesar ada pada lantai 2 dengan nilai 0,090. Namun dari hasil perbandingan nilai teta pada struktur Inverted V dan Twio Story X, hasil teta pada Inverted V lebih besar 10% dari Two Story X.

Tabel 8 Kontrol P-Delta SRBE Inverted-V

Lantai	Px	Vx	δx_e	δx	Δ	θ	θ_{max}	Status
	KN	KN	$10^{-3}m$	$10^{-3}m$	$10^{-3}m$			
1	40109.588	1293.869	3.478	13.912	13.912	0.027	0.125	OK
2	34391.189	504.453	8.777	35.108	21.196	0.090	0.125	OK
3	29399.080	497.371	14.295	57.18	22.072	0.082	0.125	OK
4	24450.827	489.127	19.735	78.94	21.760	0.068	0.125	OK
5	20640.174	473.334	24.924	99.696	20.756	0.057	0.125	OK
6	16811.194	398.244	30.044	120.176	20.480	0.054	0.125	OK
7	13048.767	349.246	34.71	138.84	18.664	0.044	0.125	OK
8	9288.104	299.226	38.687	154.748	15.908	0.031	0.125	OK
9	5527.434	233.492	41.821	167.284	12.536	0.019	0.125	OK
10	1967.729	149.947	43.998	175.992	8.708	0.007	0.125	OK

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan, disimpulkan bahwa kedua permodelan struktur menggunakan tipe bresing Two Story X dan Inverted-V ditinjau dari berat struktur, Two Story X memiliki massa struktur 0,014% lebih berat dari massa struktur Inverted-V akibat perbedaan jumlah dan dimensi elemen link dan balok. Struktur Two Story X memiliki periode 1,676 detik melebihi periode maksimum yang telah dihitung sesuai ketentuan SNI 1726-2019, sedangkan untuk struktur Inverted-V memiliki periode direntang periode minimum dan maksimum, yakni sebesar 1,618 detik. Nilai simpangan terbesar terjadi pada struktur yang menggunakan tipe bresing Two Story X dengan selisih simpangan dari kedua struktur adalah 9,44%. Efek P- Delta dari kedua struktur tersebut tidak perlu diperhitungkan karena telah memenuhi persyaratan yang mana nilai teta yang dihasilkan tidak melebihi teta maksimum. Nilai teta terbesar dihasilkan oleh struktur bresing Inverted-V yakni 0,090, yang artinya 10% lebih besar dari nilai teta maksimum yang dihasilkan struktur Two story X sebesar 0,081.

5. DAFTAR PUSTAKA (DAN PENULISAN PUSTAKA)

- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 1726-2019 tentang *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1727-2020 tentang *Beban Desain Minimum dan Kriteria terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 1729-2020 tentang *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2020). SNI 7860-2020 tentang *Ketentuan Seismik untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Dewobroto, W. (2016). *Struktur Baja Edisi ke-2* (2nd ed.). Lumina Press.
- Dzul Fikri Muhammad, B. S. (2020). *Studi Numerik Performa Rangka Bresing Eksentris Link Vertikal Profil Tubular*. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 18(Nomor 1).
- Sudarsana, I, I. G. G. W. G. P. (2022). *Analisa Pengaruh Kelangsingan Struktur Terhadap Perilaku Dinamis Struktur Gedung Beton Bertulang*. Konferensi Nasional Teknik Sipil.
- Maharani, P. S., & Faimun, F. (2019). *Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Grand Dharmahusada Lagoon Menggunakan Struktur Komposit Baja Beton CFT dengan Sistem Rangka Bresing Eksentris Tipe Two-Story-X Braced*. Jurnal Teknik ITS, 8(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i1.42090>
- Trimurtiningrum, R., Sarya, G., Hartatik, N., Ramdhan Rizky Fitra Febrianno, G., & Elfin Nur Fitriyati. (2022). *Analisis Kinerja Gedung Beton Bertulang Dengan Sistem Penahan Beban Lateral Dinding Geser Dan Bresing Terhadap Beban Gempa*. Jurnal Axial. 10(1), 11–018. <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v10i1.2171>
- Tuwanakotta, E. (2022). *Analisis Torsi Tak Terduga dan Ketidakberaturan Torsi Akibat Gaya Gempa*. Jurnal Karkasa. Vol.8 No.1 2022, e-ISSN: 2721-9534.