

PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR RANGKA BAJA MENGGUNAKAN PENGAKU EKSENTRIS DENGAN PENGAKU KONSENTRIS

Ester Nita Simorangkir¹⁾, Bambang Hadibroto¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Sipil, FT UNIMED, Medan, Indonesia
Fakultas Teknik, UNIMED, Medan, Indonesia

Corresponding Author : estersimorangkir64@gmail.com

Abstrak

Kota Padang merupakan salah satu wilayah di Indonesia dengan tingkat risiko gempa bumi yang tinggi, sehingga diperlukan perencanaan struktur bangunan yang mampu merespons beban seismik secara efektif. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja struktur rangka baja 10 lantai dengan sistem pengaku eksentris dan konsentris dalam menghadapi beban gempa. Struktur dimodelkan menggunakan profil baja Wide Flange (WF) dengan konfigurasi pengaku diagonal dan inverted V. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS v20 dengan metode respons spektrum berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019. Parameter kinerja yang dianalisis meliputi perpindahan lateral (displacement), simpangan antar lantai (story drift), gaya geser dasar (base shear), serta level kinerja struktur berdasarkan pendekatan ATC-40. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem pengaku eksentris memberikan performa yang lebih baik dalam disipasi energi dan deformasi terkontrol, dengan story drift yang lebih kecil pada lantai atas dan level kinerja yang lebih stabil. Sementara itu, pengaku konsentris memberikan kekakuan lateral yang lebih tinggi namun menunjukkan potensi konsentrasi tegangan yang lebih besar. Oleh karena itu, pemilihan jenis pengaku perlu disesuaikan dengan kebutuhan kinerja seismik dan strategi desain bangunan.

Kata kunci: ETABS, struktur baja, pengaku, respons spektrum, ATC-40

Abstract

Padang City is one of the regions in Indonesia with a high seismic risk, necessitating the design of buildings that can effectively respond to earthquake loads. This study aims to compare the seismic performance of a 10-story steel frame structure using eccentric and concentric bracing systems. The structure is modeled using Wide Flange (WF) steel profiles with diagonal and inverted V bracing configurations. Analysis was conducted using ETABS v20 software with the response spectrum method based on SNI 1726:2019. Performance parameters evaluated include lateral displacement, story drift, base shear, and performance level based on the ATC-40 criteria. The results indicate that the eccentric bracing system provides better energy dissipation and more controlled deformation, resulting in lower story drift in upper stories and a more stable performance level. Meanwhile, the concentric bracing system offers higher lateral stiffness but shows greater stress concentration potential. Therefore, selecting the appropriate bracing system should align with the required seismic performance and design strategy of the building.

Keywords: ETABS, steel structure, bracing, response spectrum, ATC-40

PENDAHULUAN

Gempa bumi (earthquake) adalah peristiwa bergetarnya bumi yang diakibatkan oleh vulkanis, tektonis dan ledakan. Indonesia salah satu daerah yang rawan akan terjadinya gempa bumi karena dilalui oleh jalur pertemuan 3 lempeng tektonik (BMKG). Beberapa wilayah di Indonesia memiliki tingkat resiko gempa bumi yang tinggi salah satunya adalah wilayah padang. Untuk itu gedung-gedung tinggi di Indonesia harus di rancang dengan mempertimbangkan kerusakan yang akan diakibatkan oleh gempa.

Struktur baja merupakan salah satu sistem struktur tahan gempa dengan kinerja yang sangat bagus, dengan mengandalkan pada sifat daktilitas dan kekuatannya yang tinggi. Namun, meskipun baja memiliki banyak keunggulan, struktur baja tetap membutuhkan system pengaku tambahan untuk memastikan kinerja struktur, terutama di daerah yang rawan gempa. Untuk mengurangi dampak kerusakan pada bangunan akibat beban gempa, maka diperlukan pengaku lateral (pengaku) untuk memperkuat bangunan tersebut (Affandi, 2018).

pengaku terbagi menjadi 2 jenis yaitu pengaku konsentris dan eksentris dengan beberapa variasi yang berbeda, dimana setiap jenis dan variasi dari pengaku tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan yang berbeda dalam menyerap energi disipasi gempa bumi. Maka dari itu, dilakukan perbandingan kinerja pada 2 model pengaku, dengan setiap model pengaku dibagi lagi menjadi 2 variasi yang berbeda yaitu tipe diagonal dan V-terbalik. Perbandingan dilakukan terhadap gedung berlantai 10 yang terletak di kota Padang, dengan tujuan untuk mengetahui efektifitas dari variasi penggunaan pengaku baja terhadap nilai simpangan, simpangan antar lantai, gaya geser dasar dan tingkat kinerja struktur baja tersebut.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem rangka pengaku

Sistem pengaku adalah elemen tambahan dalam struktur rangka (biasanya baja) yang dipasang untuk meningkatkan kekakuan dan kapasitas

lateral bangunan, terutama terhadap gaya gempa dan angin. Bracing memiliki 2 tipe yang sering digunakan dalam konstruksi gedung tinggi yaitu pengaku konsentrik dan eksentrik. Dimana pada sistem pengaku konsentrik gaya lateral yang bekerja akan dipikul oleh gaya aksial pada batang pengaku sedangkan pada sistem pengaku eksentrik energi gempa akan diredam oleh deformasi plastis pada elemen link, bukan pada batang pengaku.

Periode Struktur

Nilai periode fundamental struktur (T), yang didefinisikan dalam SNI 1726:2019, tidak boleh melebihi batas atas, yang merupakan hasil perkalian antara koefisien batas atas dan periode struktur yang dihitung.:

Untuk menentukan periode struktur dapat menggunakan persamaan berikut:

$$T_{a \min} = C_t \times h_n^x \quad (1)$$

$$T_{a \text{ Maks}} = C_u \times T_{a \min} \quad (2)$$

dengan, h_n adalah ketinggian struktur (m) dari dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien $C_u = 1.4$ yang ditentukan berdasarkan nilai SD1 (SNI 1726:2019 tabel 17).

Simpangan dan Simpangan Antar Tingkat

Simpangan adalah perpindahan horizontal dari suatu titik pada struktur akibat beban lateral (seperti gempa atau angin). Dalam konteks struktur gedung bertingkat, simpangan yang paling diperhatikan adalah simpangan lateral dari setiap lantai terhadap posisi awal (diam). Berdasarkan SNI 03-1726-2019 Pasal 7.8.6 simpangan antar lantai harus memenuhi $\Delta < \Delta_a$. Pada pasal ini simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) ditentukan berdasarkan rumus berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (3)$$

Keterangan:

C_d = Faktor pembesaran simpangan

Δ_{xe} = Simpangan di tingkat - x

I_e = Faktor keutamaan gempa = 1,3

Analisis Respon Spektrum

Salah satu metode utama dalam rekayasa gempa adalah analisis respon spektrum, yang digunakan untuk menganalisis respons dinamis struktur bangunan terhadap beban gempa. Metode ini sangat penting untuk perencanaan dan desain struktur tahan gempa, seperti gedung bertingkat dan jembatan, karena memberikan gambaran tentang bagaimana struktur akan bergetar dan merespons gaya lateral saat gempa bumi terjadi. Sebuah grafik atau plot yang menunjukkan hubungan antara periode getar struktur (T) dengan respon maksimum (seperti simpangan, kecepatan, atau percepatan) dari sistem struktur satu derajat kebebasan (SDOF) yang disebabkan oleh beban gempa tertentu dan rasio redaman tertentu disebut respon spektrum.

Level kinerja struktur

Level kinerja struktur menggambarkan *batas-batas kinerja* atau *tingkat kerusakan* yang dialami struktur akibat beban lateral (misalnya, gempa bumi). ATC-40 (Applied Technology Council 40) membagi level kinerja struktur menjadi beberapa kategori utama, yang masing-masing memiliki batasan rasio drift sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria Level Kinerja Struktur

Level Kinerja Struktur	Maksimum Total Drift	Maksimum Inelastic Drift
Immediate Occupancy (IO)	0,01	0,005
Damage Control (DC)	0,01–0,02	0,005–0,015
Life Safety (LS)	0,02	Tidak dibatasi
Structural Stability (SS)	0,33 V_i/P_i	Tidak dibatasi

Sumber: ATC-40

Persamaan yang digunakan dalam menentukan level kinerja struktur:

$$\text{Maksimum drift} = \frac{D_t}{H} \quad (4)$$

$$\text{Maksimum inelastic drift} = \frac{D_t - D_1}{H} \quad (5)$$

dengan, D_t adalah Simpangan maksimum (mm), D_1 adalah Simpangan pada lantai 1 (mm), dan H adalah tinggi struktur (mm).

METODE PENELITIAN

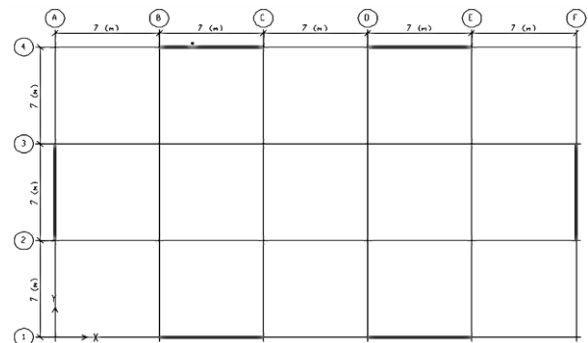
Data Umum Struktur

Fungsi bangunan	: Perkantoran
Lokasi bangunan	: Padang
Panjang bangunan	: 35 m
Lebar bangunan	: 21 m
Tinggi bangunan	: 45 m
Tinggi antar lantai	: 4.5 m
Jenis tanah	: Tanah sedang (SD)

Bangunan di modelkan menggunakan *software* ETABS 20 dan analisis menggunakan metode respons spektrum yang mengacu pada peraturan SNI 1726:2019.

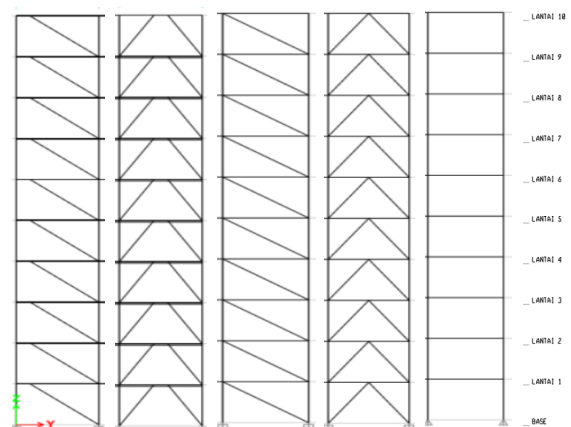
Model Struktur

Terdapat lima tipe model struktur yang akan dianalisis yaitu struktur tanpa menggunakan pengaku (bare frame), konsentris (konfigurasi single diagonal bracing dan konfigurasi inverted-V bracing), Eksentris (konfigurasi single diagonal dan konfigurasi inverted-V).



Gambar 1. Denah Struktur

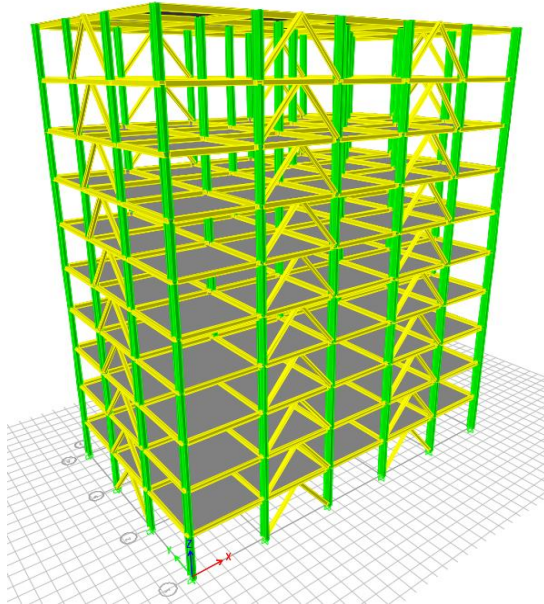
Kelima tipe model struktur bangunan yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 2,:



(a) (b) (c) (d) (e)

Gambar 2. Tipe konfigurasi pengaku

(a) pengaku eksentrik diagonal (b) pengaku eksentrik V-terbalik (c) pengaku konsentris diagonal (d) pengaku konsentris V- terbalik (e) Tanpa pengaku. Permodelan 3 dimensi dapat dilihat pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Pemodelan 3 dimensi

Faktor keutamaan yang digunakan adalah 1 (kategori risiko II), faktor koefisien modifikasi respon (R) yang digunakan adalah 8, faktor pembesaran defleksi (Cd) yang digunakan adalah 5.5, dan faktor kuat lebih (Ω_o) adalah 3 pada struktur tanpa pengaku. Nilai R, Cd, dan Ω_o lainnya dapat dilihat pada tabel 9 SNI 1726 : 2019.

Struktur bangunan dianalisis dengan menggunakan metode respons data – data respons spektrum yang dapat diambil dari website puskim.pu.co.id.

Gaya geser ditentukan dengan persamaan (6).

$$V = C_s \times W_t \quad (6)$$

Dengan V adalah gaya geser (kN); C_s adalah koefisien respon seismik; W adalah berat seismik efektif struktur. Nilai C_s dapat ditentukan dengan persamaan (7).

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (7)$$

S_{DS} adalah nilai percepatan respons nilai spektrum desain dalam rentang perioda pendek; R adalah koefisien modifikasi respons; dan I_e adalah faktor keutamaan gempa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Periode Struktur Bangunan

Pada struktur rangka baja tanpa pengaku diperoleh T_{Etabs} sebesar 2.473 (Arah X) dan 4.252 (Arah Y).

$$\begin{aligned} \diamond T_{a \min} &= C_t \cdot h_n^x \\ T_{a \min} &= 0,0724 \times 45^{0,8} = 1.5216 \text{ detik} \\ \diamond T_{a \max} &= C_u \cdot T_a \\ T_{a \max} &= 1,4 \times 1.5216 = 2.130 \text{ detik} \end{aligned}$$

Sehingga batasan maksimal periode struktur yang digunakan adalah :

$$\begin{aligned} T_{Etabs} &\leq C_u \cdot T_a \\ 2.473 \text{ detik} &\leq 2.130 \text{ detik (Arah X)} \\ 4.252 \text{ detik} &\leq 2.130 \text{ detik (Arah Y)} \end{aligned}$$

Sehingga T yang digunakan adalah $T_{a \max}$ sebesar 2.130 detik (X dan Y).

Maka diperoleh nilai periode struktur pada lima tipe struktur bangunan adalah pada Tabel 1.

Tabel 1. Periode Struktur berdasarkan hasil ETABS

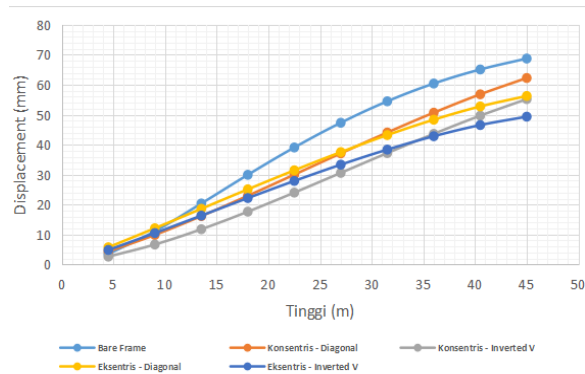
Jenis Struktur	Variasi	Mode	Periode sec	UX	UY	RZ
Tanpa Bresing		1	4.252	0	0.8278	0
		2	2.987	0	0	0.7809
		3	2.473	0.7603	0	0
Dengan Bresing Konsentris	Bresing Diagonal	1	1.758	0	0.738	0
		2	1.565	0.747	0	0
		3	1.171	0	0	0.738
	Bresing V- Terbalik	1	1.612	0	0.717	0
		2	1.370	0.711	0	0
		3	1.039	0	0	0.709
Dengan Bresing Eksentrik	Bresing Diagonal	1	1.966	0.790	0	0
		2	1.926	0	0.749	0
		3	1.362	0		0.759
	Bresing V- Terbalik	1	1.900	0	0.755	0
		2	1.738	0.789	0	0
		3	1.301	0	0	0.766

Sumber: Olahan penulis

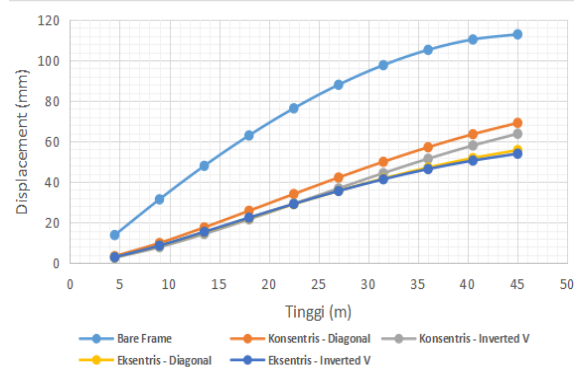
Simpangan (Displacement)

Berdasarkan hasil analisis menggunakan program ETABS, diperoleh nilai displacement untuk kedua

struktur gedung yang disajikan dalam bentuk grafik pada **Gambar 4** untuk arah X, dan **Gambar 5** untuk arah Y.



Gambar 4. *Story displacement* pada arah x



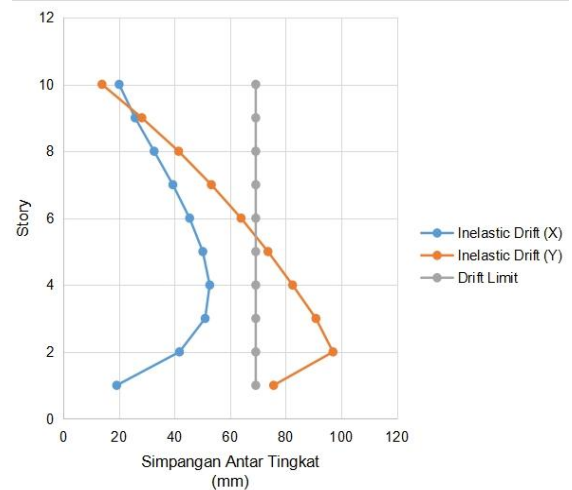
Gambar 5. *Story displacement* pada arah Y

Dari grafik diatas diperoleh nilai *story displacement* yang terkecil dari lantai 1-10 adalah tipe struktur yang menggunakan pengaku dengan konfigurasi *Inverted - V* pada bangunan struktur konsentris (47.328 mm pada arah x dan 54.651 mm pada arah y). Dan nilai *story displacement* terbesar adalah tipe struktur yang tidak menggunakan pengaku (68.765 mm pada arah x dan 112.812 mm pada arah y).

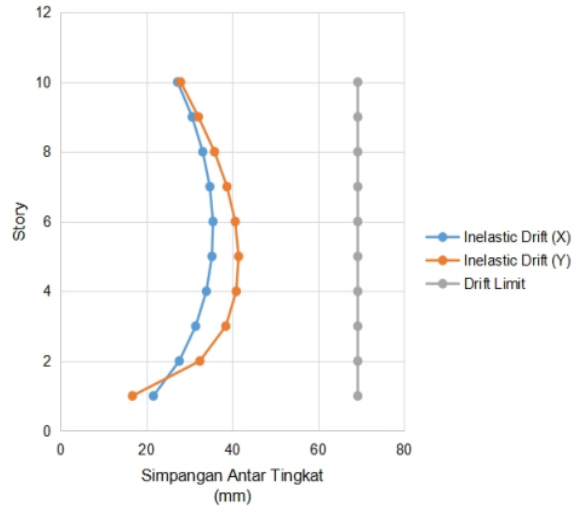
Simpangan Antar Tingkat (Story Drift)

SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1 menetapkan bahwa untuk struktur dalam kategori desain seismik (KDS) D, simpangan antar tingkat desain ($\Delta a/\rho$) tidak boleh melebihi ($\Delta a/\rho$), dengan faktor reduksi (ρ) sebesar 1,3.

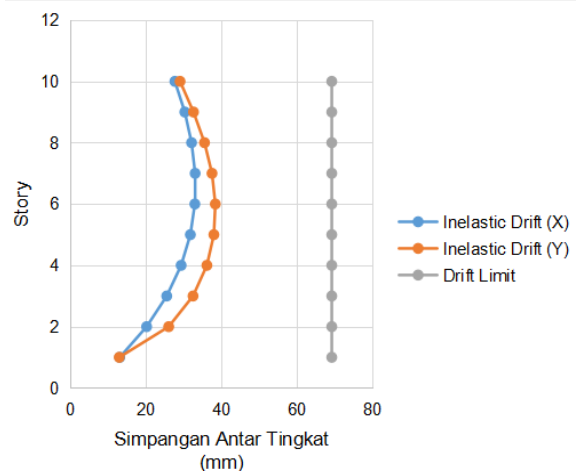
Nilai simpangan antar tingkat, juga dikenal sebagai simpangan antar tingkat, dapat dihitung berdasarkan data displacement yang diperoleh. Hasil analisis perbandingan simpangan antar tingkat maksimum untuk kelima variasi struktur rangka baja disajikan pada Gambar 6-10.



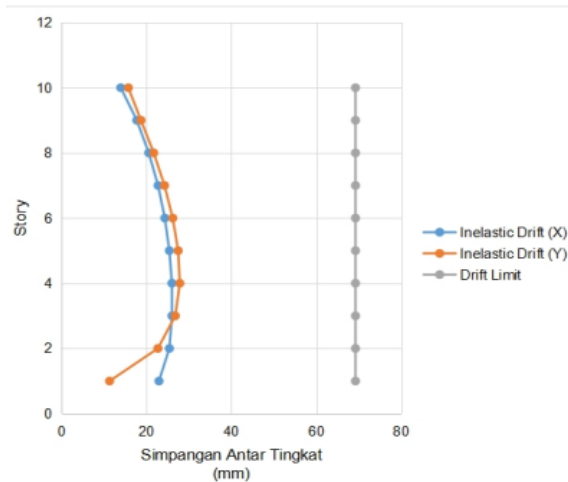
Gambar 6. Story Drift Struktur Tanpa pengaku



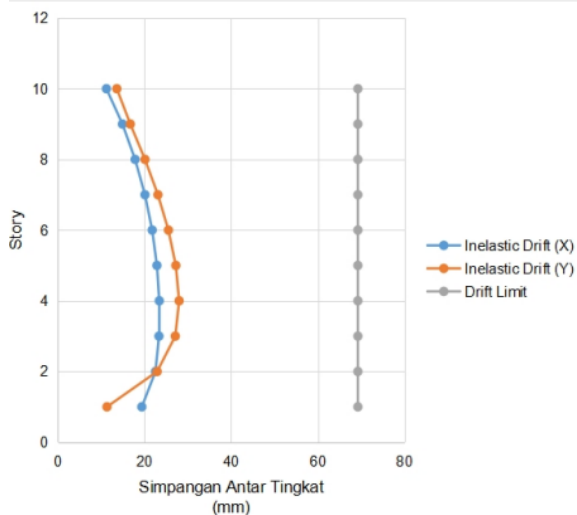
Gambar 7. Story Drift Struktur Konsentris dengan pengaku Diagonal



Gambar 8. Story Drift Struktur Konsentris dengan pengaku Inverted - V.



Gambar 9. Story Drift Struktur Eksentrik dengan pengaku Diagonal



Gambar 10. Story Drift Struktur Eksentrik dengan pengaku Iverted – V

Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Hasil analisis dengan program ETABS menghasilkan nilai gaya geser dasar maksimum untuk kedua struktur gedung. Nilai-nilai ini dibandingkan dengan kelima variasi struktur rangka baja.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Gaya Geser Dasar

Variasi	Arah X		Arah Y	
	Gaya Geser Dasar	% Perbandingan	Gaya Geser Dasar	% Perbandingan
Tanpa Bresing	1633.784		1633.779	
Bresing Konsentris Tipe Diagonal	2989.990	-83.010	2661.738	-62.919
Bresing Konsentris Tipe V-Terbalik	3425.463	-109.664	2911.216	-78.189
Bresing Eksentrik Tipe Diagonal	1971.705	-20.683	1971.716	-20.684
Bresing Eksentrik Tipe V-Terbalik	2023.858	-23.875	1978.223	-21.082

Tingkat Kinerja Struktur

Level kinerja struktur yang berbeda dihasilkan oleh setiap variasi struktur gedung. Tabel 3 menunjukkan informasi tentang tingkat kinerja masing-masing struktur.

Tabel 3. Kinerja Struktur Rangka Baja

Variasi	Maximum Drift		Maximum Inelastic Drift		Level Kinerja
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
Tanpa Bresing	0.020	0.025	0.015	0.022	CP
Bresing Konsentris Tipe Diagonal	0.014	0.015	0.013	0.014	DC
Bresing Konsentris Tipe V-Terbalik	0.012	0.014	0.012	0.013	DC
Bresing Eksentrik Tipe Diagonal	0.0012	0.0012	0.0011	0.012	DC
Bresing Eksentrik Tipe V-Terbalik	0.010	0.011	0.009	0.011	DC

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai Base Shear dari hasil perhitungan respon spektrum menunjukkan bahwa selisih nilai base shear antara struktur tanpa pengaku dan struktur dengan pengaku konsentris pada arah X berkisar antara -83,010% hingga -109,664%, dan pada arah Y antara -62,919% hingga -78,189%. Sementara itu, untuk struktur dengan pengaku eksentrik, nilai pada arah X berada di kisaran -20,683% hingga -23,875%, dan pada arah Y antara -20,684% hingga -21,082%.
2. Perpindahan paling besar terjadi terhadap struktur tidak berpengaku (bare frame), sedangkan displacement terkecil tercatat pada struktur dengan sistem pengaku konsentris tipe Inverted-V.

3. Nilai Story Drift drift paling kecil ditemukan pada struktur dengan sistem penyangga eksentrik jenis V-terbalik, sedangkan yang terbesar terdapat pada struktur tanpa pengaku.
4. Tingkat Kinerja Struktur (Performance Level) Mengacu pada kriteria ATC-40, struktur dengan pengaku diagonal dan Inverted-V, baik konsentris maupun eksentris, menunjukkan level kinerja Damage Control (DC), yaitu struktur mengalami kerusakan sedang namun masih berfungsi. Sebaliknya, struktur tanpa pengaku berada pada level Collapse Prevention (CP), di mana struktur hampir runtuh saat gempa, meskipun belum mengalami keruntuhan total.

DAFTAR PUSTAKA

Affandi, S. (2018). Studi Perbandingan

Variasi Konfigurasi Sistem Rangka pengaku Konsentris Pada Gedung Cdst Universitas Jember. *Extrapolasi*, 17(2), 35–44.

Badan Standardisasi Nasional. (2019). SNI 1726 : 2019 Tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. *Badan Standardisasi Nasional*.

ATC 40. (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. *Applied Technology Council*, 1, 346.