

PERBANDINGAN PERILAKU STRUKTUR RANGKA BAJA *BRACING* TIPE X DENGAN INVERTED-V

I Ketut Diartama Kubon Tubuh¹, I Gede Gegiranang Wiryadi^{2*}, Gede Jaya Putra³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati Denpasar

*Email: gegiranangwiryadi@unmas.ac.id

ABSTRAK: Indonesia merupakan wilayah dengan aktivitas seismik tinggi, sehingga memerlukan sistem struktur bangunan yang mampu merespons beban gempa secara efektif. Penelitian ini membandingkan kinerja seismik dua konfigurasi sistem bracing pada struktur rangka baja 4 lantai: Rangka Pengaku Konsentris tipe X (CBF-X) dan Rangka Pengaku Eksentris tipe Inverted-V (EBF-Inverted V). Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan metode analisis statik nonlinier (pushover) dan dinamik riwayat waktu (time history). Parameter yang dianalisis meliputi periode struktur, simpangan antar lantai, drift antar tingkat, dan gaya geser dasar. Hasil menunjukkan bahwa struktur EBF-V memiliki kekakuan lebih tinggi, dengan periode struktur lebih pendek (0,494 detik), simpangan maksimum 10,35 mm, dan drift 10,80 mm. Sebaliknya, struktur CBF-X menunjukkan simpangan lebih besar (11,16 mm) dan drift 11,42 mm, namun dengan distribusi yang lebih merata, mencerminkan daktilitas dan kapasitas disipasi energi yang lebih baik. Kedua sistem masih memenuhi batas aman simpangan dan drift sesuai SNI 1726:2019. Secara keseluruhan, EBF-V lebih unggul dalam membatasi perpindahan lateral, sedangkan CBF-X lebih efektif dalam disipasi energi dan fleksibilitas struktur.

Kata kunci: Struktur Baja, Kinerja Seismik, Sistem Pengaku (*Bracing*), Pengaku Konsentris (CBF), Pengaku Eksentris (EBF).

ABSTRACT: Indonesia is a region with high seismic activity, thus requiring a building structural system that is able to respond to earthquake loads effectively. This study compares the seismic performance of two bracing system configurations in a 4-story steel frame structure: Concentric Braced Frame Type X (CBF-X) and Eccentric Braced Frame Type Inverted-V (EBF-Inverted V). Modeling was performed using SAP2000 software with nonlinear static (pushover) and time history dynamic analysis methods. The parameters analyzed include structural period, inter-story drift, inter-story drift, and base shear force. The results indicate that the EBF-V structure has higher stiffness, with a shorter structural period (0.494 seconds), a maximum drift of 10.35 mm, and a drift of 10.80 mm. In contrast, the CBF-X structure shows a larger drift (11.16 mm) and a drift of 11.42 mm, but with a more even distribution, reflecting better ductility and energy dissipation capacity. According to SNI 1726:2019, both systems still meet the safe limits for drift and deviation. Overall, EBF-V is superior in limiting lateral displacement, while CBF-X is more effective in energy dissipation and structural flexibility.

Keywords: Steel Structure, Seismic Performance, Bracing, Concentric Stiffening, Stiffening Eccentric.

PENDAHULUAN

Indonesia terletak di zona Cincin Api Pasifik, menjadikannya salah satu negara dengan tingkat aktivitas seismik tertinggi di dunia. Kondisi ini menuntut perencanaan struktur bangunan yang mampu menahan beban lateral akibat gempa secara optimal. Standar nasional seperti SNI 1726:2019 menetapkan bahwa struktur gedung harus memenuhi batas simpangan antar lantai dan kekakuan minimum untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan penghuni (BSN, 2019).

Salah satu strategi yang umum digunakan untuk meningkatkan kapasitas lateral dan performa seismik bangunan adalah penerapan sistem bracing baja. Sistem ini terbukti efektif dalam meningkatkan kekakuan dan mengurangi deformasi struktur saat terjadi gempa (Yongkang and Zhengzhong, 2012; Simpson and Mahin, 2018; Rahimi and Maheri, 2020;

Meena et al., 2021). Dua konfigurasi bracing yang sering digunakan adalah Concentric Braced Frame (CBF) tipe X dan Eccentric Braced Frame (EBF) tipe Inverted-V. CBF-X dikenal memiliki kekakuan lateral tinggi, namun kurang dalam disipasi energi. Sebaliknya, EBF-Inverted V dirancang untuk memungkinkan deformasi plastis pada elemen link, sehingga lebih efektif dalam menyerap energi gempa (Sukrawa et al., 2016).

Berbagai studi menunjukkan bahwa penambahan bracing dapat mengurangi simpangan dan drift secara signifikan. (Malik and Sutrisno, 2023) menemukan bahwa struktur dengan bracing tipe X memiliki periode lebih pendek (1,649 detik) dibandingkan Inverted-V (1,71 detik), menandakan kekakuan yang lebih tinggi. Namun, simpangan antar lantai pada EBF lebih kecil dan distribusinya lebih merata. Kedua sistem memenuhi kriteria kinerja

Immediate Occupancy (IO) dan Life Safety (LS), dengan drift maksimum antara 0,5%–1,5%. Studi lain menunjukkan bahwa pada bangunan bertingkat rendah bracing X lebih unggul dalam displacement, namun berdampak pada peningkatan berat struktu, dengan kata lain bresing inverted V lebih efisien secara penggunaan material (Wiryadi and Lestari, 2025).

Struktur rangka baja menjadi pilihan utama dalam konstruksi karena keunggulan dalam kecepatan pelaksanaan, kontrol kualitas material, dan kekuatan struktural. Baja memiliki sifat elastisitas dan daktilitas tinggi, menjadikannya ideal untuk menahan beban gempa. SNI 1729:2020, yang diadopsi dari ANSI/AISC 360-16, mengatur desain dan konstruksi struktur baja secara komprehensif, mencakup aspek kekuatan, stabilitas, sambungan, dan batas lendutan (BSN, 2020).

Melihat pentingnya pemilihan tipe bracing terhadap kinerja seismik, diperlukan penelitian lebih lanjut yang membandingkan sistem CBF-X dan EBF-Inverted V pada bangunan 4 lantai. Bangunan bertingkat menengah ini dinilai ideal untuk studi seismik karena memiliki perilaku dinamis yang kompleks namun masih dapat dianalisis secara menyeluruh sesuai dengan SNI 1726:2019.

Sistem Rangka Pemikul Beban Lateral (Lateral Load Resisting System)

Sistem ini dirancang untuk menahan beban lateral seperti angin dan gempa agar struktur tetap stabil. Berdasarkan SNI 1729:2020, perhitungan faktor-faktor seperti koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih (Ω_0), dan pembesaran defleksi (C_d) diperlukan untuk memastikan ketahanan bangunan. Dalam perencanaan gempa, pemilihan sistem struktur sangat krusial agar simpangan antar lantai terkendali dan struktur tetap aman. Sistem ini juga menjadi pondasi dalam menentukan jenis rangka, penempatan elemen bracing, dan strategi penyerapan energi.

Bracing Tipe X dan Inverted-V Bracing Tipe X

Dua elemen diagonal saling bersilangan membentuk huruf “X”, memberikan kekakuan tinggi karena satu batang bekerja tarik dan lainnya tekan (Wiryadi et al., 2024).

Bracing Inverted-V

Dua elemen diagonal bertemu di balok atas membentuk huruf “V” terbalik. Kelebihannya adalah tata letak lebih fleksibel untuk bukaan seperti pintu atau jendela dan proses pemasangan yang lebih sederhana (Wirawan, 2021).

Konsep Perencanaan Struktur Tahan Gempa

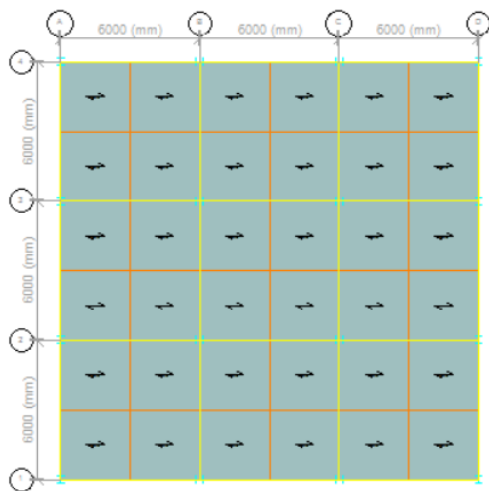
Perencanaan struktur tahan gempa bertujuan memastikan bangunan mampu menahan gaya lateral siklis akibat gempa dengan deformasi minimum. Sistem Sistem Rangka Bresing Konsentris (SRBK) dikembangkan untuk meningkatkan kekakuan dan mengurangi simpangan struktur. Bresing membantu menahan gaya tarik dan tekan, sehingga struktur lebih stabil dan deformasi lebih kecil.

Dalam perhitungan beban, struktur harus mempertimbangkan beban vertikal (mati, hidup, air hujan) dan beban lateral (gempa, angin, tekanan tanah). Kombinasi beban tersebut diatur sesuai standar perencanaan agar struktur dapat memenuhi kriteria kekuatan, kekakuan, dan keamanan. Dengan sistem yang tepat, bangunan di wilayah rawan gempa dapat mencapai performa optimal serta meminimalkan risiko kerusakan struktural.

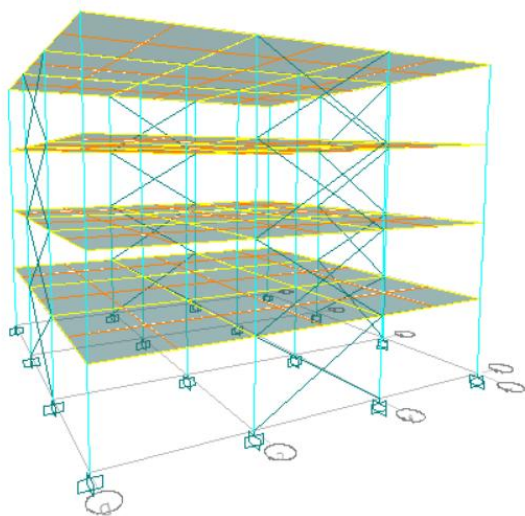
METODE PENELITIAN

Gambaran Umum Penelitian

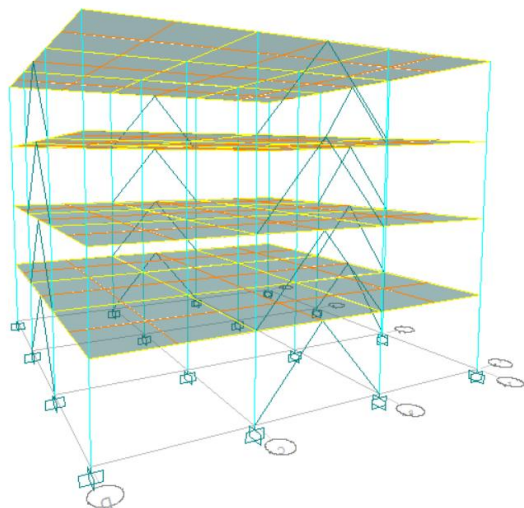
Penelitian ini bertujuan menganalisis dan membandingkan perilaku struktur rangka baja 4 lantai dengan menggunakan bracing tipe X dan bracing tipe Inverted-V terhadap beban gempa. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk memodelkan struktur 3D dan mengevaluasi parameter kinerja struktur, seperti simpangan antar lantai, gaya dalam elemen, serta efisiensi dan stabilitas tipe bracing. Penelitian ini mengacu pada standar nasional, yaitu SNI 1726:2019 untuk perhitungan beban gempa dan SNI 1729:2020 untuk desain struktur baja, guna memperoleh hasil analisis yang akurat dan sesuai standar perencanaan.



Gambar 1. Denah Struktur



(a) Bresing-X



(b) Bresing-Inverted V

Gambar 2. 3D Struktur B-X dan B- Inv V

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada Mei 2025 hingga Juli 2025. Selama periode tersebut dilakukan penyusunan pendahuluan, pembuatan model struktur, analisis numerik, serta evaluasi hasil perbandingan kinerja bracing tipe X dan *Inverted-V*.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Komputer dan Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mahasaraswati Denpasar. Laboratorium ini dilengkapi dengan perangkat lunak SAP2000 dan fasilitas pendukung lain untuk analisis struktur serta pemodelan teknik sipil

Jenis dan Sumber Data

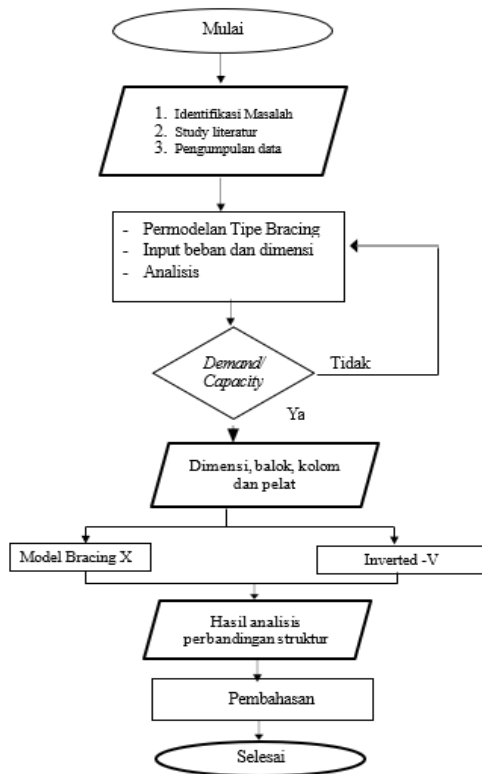
Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data numerik dan referensi teknis. Data diambil dari dokumen standar perencanaan, literatur akademik, dan hasil analisis struktur.

Tabel 1. Jenis dan Sumber Data

No	Data	Jenis	Sumber
1	Peta Zona Gempa	Kuantitatif	SNI 1726 2019
2	Profil Baja	Kuantitatif	SNI 1729 2020
3	Gambar dan Spesifikasi	Kuantitatif	Dokumen Perencanaan
4	Data Pembebanan	Kuantitatif	SNI 1726 2019 SNI 1727 2020
5	Analisis Data	Kuantitatif	Lab Struktur

Bagan Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian ini dapat diperhatikan seperti pada Gambar 1. penelitian diawali dengan identifikasi masalah yaitu pemilihan sistem struktur yang memiliki perilaku terbaik dari sistem struktur bracing-X atau bracing-V terbalik. Kemudian dilanjutkan dengan studi literatur untuk mencari penelitian terdahulu sebagai perbandingan. Pemodelan dilakukan dengan program SAP2000 untuk mempercepat proses perhitungan dan mendapatkan output seperti simpangan dan desain kapasitas. Setelah desain kapasitas dan simpangan memenuhi, perilakunya dibandingkan berdasarkan parameter periode struktur, gaya geser dasar, simpangan maksimum, dan simpangan anter tingkat.



Gambar 3. Bagan alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

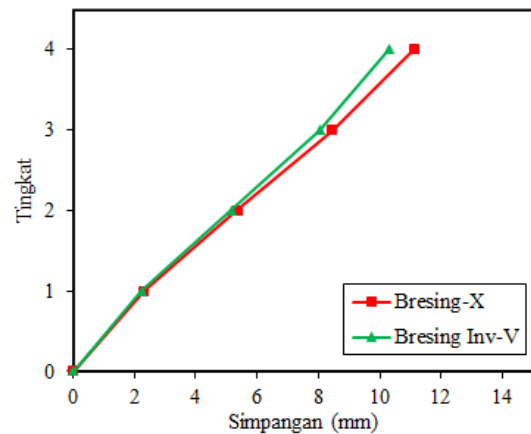
Berdasarkan hasil analisis dan diperoleh perilaku masing-masing struktur dengan parameter gaya geser dasar (V), periode struktur, simpangan maksimum dan simpangan antar tingkat. Hasil analisis disajikan pada gambar dan tabel sebagai berikut.

Tabel 2. Gaya geser dasar (V)

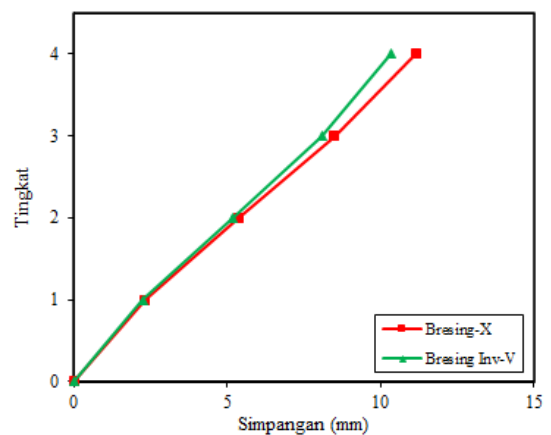
Parameter	B-X		B-Inv V	
	X	Y	X	Y
Gempa Statis, V_s	870	870	866	866
Gempa Dinamis, V_d	716	717	718	718
Skala Faktor	0.823	0.824	0.829	0.829

Tabel 3. Periode struktur

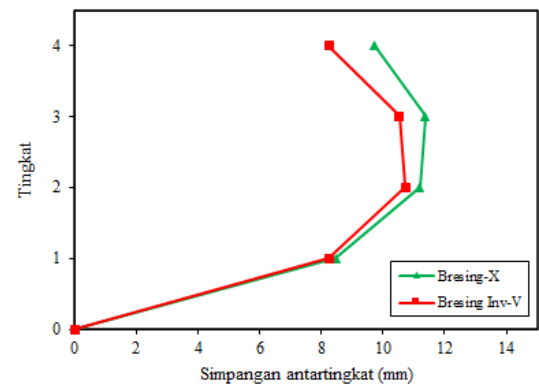
Struktur	Tmax	T
B-X	0.494	0.483
B-InvV	0.494	0.469



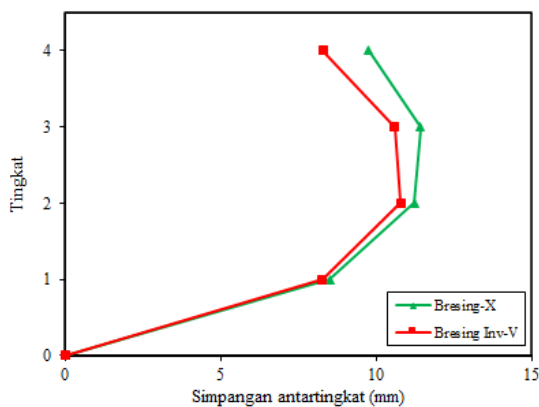
Gambar 4. Simpangan maksimum arah X



Gambar 5. Simpangan maksimum arah Y



Gambar 6. Simpangan antar tingkat arah X



Gambar 7. Simpangan antar tingkat arah Y

Analisis menunjukkan bahwa sistem bracing-inverted V memberikan kekakuan lateral tertinggi, simpangan lateral lebih rendah, dan simpangan antar lantai terkecil dibandingkan dengan sistem bracing inverted V, sehingga lebih optimal dalam meningkatkan stabilitas dan ketahanan struktur terhadap gempa.

Interpretasi Hasil

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemilihan tipe bracing memberikan pengaruh signifikan terhadap respons seismik bangunan, di mana sistem bracing tipe Inverted-V cenderung lebih efektif dalam meningkatkan kekakuan lateral dan mengurangi simpangan antar lantai. Hal ini mengindikasikan bahwa pemilihan tipe bracing harus disesuaikan dengan kebutuhan desain.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis struktur rangka baja 4 lantai menggunakan SAP2000, diperoleh bahwa struktur dengan dua sistem bracing, yaitu tipe X dan inverted-V, menunjukkan kinerja yang berbeda dibandingkan tanpa bracing. Sistem bracing tipe X memberikan kekakuan lateral tertinggi, terbukti dari nilai gaya geser dasar yang lebih besar dan simpangan lateral serta drift antar lantai yang lebih kecil dibandingkan sistem lainnya, sementara inverted V berada di posisi menengah. Seluruh hasil simpangan dan drift masih berada di bawah batas aman sesuai SNI 1726 dan SNI 1729, sehingga struktur tetap memenuhi kriteria keselamatan. Dengan demikian, bracing tipe X direkomendasikan karena mampu meningkatkan stabilitas dan ketahanan struktur rangka baja 4 lantai terhadap beban gempa secara signifikan.

SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan perbandingan sistem bracing tipe X dan Inverted-V pada struktur rangka baja 4 lantai terhadap beban gempa, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan mempertimbangkan aspek ekonomi dan manajemen konstruksi agar hasil perancangan optimal secara teknis dan efisien secara biaya. Studi juga perlu diperluas dengan mengevaluasi berbagai jenis atau kombinasi sistem bracing untuk meningkatkan kekakuan dan performansi tahan gempa. Selain itu, analisis pemodelan sebaiknya dikembangkan dengan memasukkan variabel dinamis nonlinier atau simulasi gempa nyata guna memperoleh respons struktur yang lebih realistis. Perbandingan penggunaan software seperti SAP2000 dan ETABS juga penting untuk memverifikasi hasil analisis serta mengevaluasi kelebihan dan kekurangannya. Aspek desain sambungan kolom-balok perlu diperhatikan agar kekakuan dan stabilitas struktur lebih terjamin, serta dilakukan eksplorasi terhadap berbagai profil baja WF sesuai SNI 1729:2020 untuk menentukan profil yang paling efisien dan ekonomis tanpa mengurangi keamanan dan kenyamanan bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. *SNI 1726:2019 Indonesian Seismic Code for Structural Building and Non-Building*. , (2019). Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1729 2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja*. Jakarta.
- Malik, M. R. Z., & Sutrisno, B. (2023). Studi Perbandingan Perilaku Gedung Struktur Baja Sistem Bresing Eksentris Tipe Inverted-V dan Sistem Bresing Konsentris Tipe-X Terhadap Beban Gempa. *Journal of Sciencetech Research and Development*, 5(2), 714–730. <https://doi.org/10.56670/jsrd.v5i2.247>
- Putu Agus Putra Wirawan, I. (2021). Analisis Perilaku Dan Kinerja Struktur Baja Dengan Sistem Struktur Diagrid Dan Inverted V-Braced. In *Jurnal Ilmiah TELSINAS* (Vol. 4).
- Rahimi, A., & Maheri, M. R. (2020). The effects of steel X-brace retrofitting of RC frames on the seismic performance of frames and their elements. *Engineering Structures*, 206, 110149.

- <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110149>
- Sukrawa, M., Giri, I. B. D., Deskarta, I. P., & Prayoga, M. H. (2016). Perkuatan seismik struktur rangka beton bertulang menggunakan breising baja tipe X dan V terbalik. *Jurnal Spektran*, 4(2).
- Wiryadi, I. G. G., & Lestari, I. G. A. A. (2025). Comparison of the Behavior and Cost of Moment Frame Structures, X-bracing, and Inverted V-bracing for Low-story Building. *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*, 10(5), 281–291. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.51505/ijaemr.2025.1417>
- Wiryadi, I. G. W., Tubuh, I. K. D. K., Wirawan, I. P. A. P., & Diangga, I. P. E. W. (2024). Perilaku Dinamis dari Penggunaan Bracing X Dua Tingkat pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Time History. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 3(1).