



Studi Numerik Perbandingan Peletakan Buckling-Restrained Braces terhadap Perilaku Dinamik Gempa pada Struktur Beton Bertulang

Mario Andro Hipay

Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia

Email: 235119697@students.uajy.ac.id

Keywords:

BRB, reinforced concrete, time history analysis, interstory drift ratio, energy dissipation

Kata kunci: BRB, beton bertulang, analisis riwayat waktu, interstory drift ratio, disipasi energi

Abstract

Earthquakes are one of the natural disasters that have a high potential for damage to building structures, especially in earthquake-prone areas such as Indonesia. Therefore, a structural system is needed that is able to improve seismic performance, one of which is through the use of Buckling Restrained Brace (BRB) which is effective in increasing energy dissipation capacity and reducing structural deviation. This research analyzes the effect of different variations of Buckling Restrained Brace (BRB) placement on the seismic performance of an eight-story reinforced concrete structure using time history analysis in SeismoStruct. Three BRB placement variations and one Baseline model (without bracing) were evaluated, namely Mid Bay, perimeter, and Hybrid. The parameters considered include interstory drift ratio (IDR), energy dissipation capacity, and Residual drift. The results show that the unBrace structure experienced a maximum IDR of 3.175%, exceeding the 2% threshold defined by ASCE 7-16. The Mid Bay variation reduced the maximum IDR to 1.487%, while the Perimeter variation reached 1.692%. The Hybrid variation achieved the lowest maximum IDR of 1.056% with the most uniform distribution across floors. In terms of energy dissipation, the Hybrid variation reached the highest capacity of 12,212.40 kN·m, compared to Mid Bay (7,932.07 kN·m) and Perimeter (6,561.18 kN·m). Residual drift was also minimized in the Hybrid variation (<0.15% across all floors). Overall, the Hybrid placement strategy proved to be the most effective in enhancing seismic performance, as it successfully reduced interstory drift, absorbed the highest seismic energy, and minimized post-earthquake deformation.

Abstrak

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang memiliki potensi kerusakan tinggi terhadap struktur bangunan, terutama di wilayah rawan gempa seperti Indonesia. Oleh karena itu, diperlukan sistem struktur yang mampu meningkatkan kinerja seismik, salah satunya melalui penggunaan Buckling Restrained Brace (BRB) yang efektif dalam meningkatkan kapasitas disipasi energi dan mengurangi simpangan struktur. Penelitian ini menganalisis pengaruh variasi penempatan Buckling Restrained Brace (BRB) terhadap kinerja seismik struktur beton bertulang 8 lantai menggunakan analisis riwayat waktu (time history analysis) pada perangkat lunak SeismoStruct. Tiga variasi penempatan BRB dievaluasi, yaitu Mid Bay, Perimeter, Hybrid dan satu model Baseline (tanpa bracing). Parameter yang ditinjau meliputi interstory drift ratio (IDR), kapasitas disipasi energi, dan Residual drift. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur tanpa bracing mengalami IDR maksimum sebesar 3,175%, melebihi ambang batas 2% menurut ASCE 7-16. Variasi Mid Bay menurunkan IDR maksimum menjadi 1,487%, sedangkan variasi Perimeter mencapai 1,692%. Variasi Hybrid menghasilkan IDR maksimum terendah sebesar 1,056% dengan distribusi simpangan antar lantai yang paling merata. Dari sisi disipasi energi, variasi Hybrid mencapai kapasitas tertinggi sebesar 12.212,40 kN·m, dibandingkan Mid Bay (7.932,07 kN·m) dan Perimeter (6.561,18 kN·m). Residual drift juga terkecil pada variasi Hybrid (<0,15% di seluruh lantai). Secara keseluruhan, strategi penempatan Hybrid terbukti paling efektif dalam meningkatkan

kinerja seismik struktur, karena mampu menurunkan simpangan antar lantai, menyerap energi gempa paling besar, serta meminimalkan deformasi pasca gempa.

PENDAHULUAN

Gempa bumi menjadi salah satu bencana alam yang sering terjadi dan sangat berpotensi menyebabkan kerusakan yang besar pada daerah yang terdampak. Bencana alam gempa bumi disebabkan karena bumi memiliki empat lapisan utama: inti dalam, inti luar, mantel, dan kerak. Kerak dan bagian atas mantel membentuk lapisan tipis di permukaan planet kita. Namun kulit ini tidak semuanya dalam satu bagian melainkan terdiri dari banyak bagian seperti puzzle yang menutupi permukaan bumi (Ahmed et al., 2016). Tidak hanya itu, potongan-potongan puzzle ini terus bergerak perlahan, meluncur melewati satu sama lain dan bertabrakan satu sama lain. Kita menyebut potongan-potongan puzzle ini lempeng tektonik, dan tepi lempeng disebut batas lempeng. Batas lempeng terdiri dari banyak patahan, dan sebagian besar gempa bumi di seluruh dunia terjadi pada patahan ini. Karena tepi lempeng kasar, mereka macet sementara lempeng lainnya terus bergerak. Akhirnya, ketika lempeng telah bergerak cukup jauh, tepinya terlepas pada salah satu patahan dan terjadilah gempa bumi (U.S. Geological Survey, 2025). Dari pengertian yang ada gempa bumi memiliki potensi dan daya rusak yang besar, terlebih jika gempa terjadi di daerah padat penduduk dan banyak infrastruktur. Daerah perkotaan yang memiliki banyak bangunan gedung dan infrastruktur tentunya memiliki risiko sangat tinggi mengalami kerusakan dan kerugian besar dari terjadinya bencana alam gempa tersebut. Tentunya bangunan seperti gedung yang terdapat di daerah rawan terjadi gempa harus memiliki spesifikasi tahan gempa untuk mencegah dan meminimalisir kerusakan bangunan akibat dari gempa bumi yang terjadi.

Pada struktur bangunan terdapat banyak teknologi yang bisa digunakan untuk meminimalisir kerusakan pada struktur gedung akibat gempa bumi, salah satunya bracing. Bracing pada struktur bangunan merupakan teknologi mitigasi gempa untuk struktur sebuah bangunan. Bracing adalah pengaku atau pengikat pada suatu struktur bangunan baja yang digunakan untuk menahan gaya gempa, sehingga dapat mencegah simpangan berlebih pada struktur bangunan (Cari et al., 2023). Terdapat banyak jenis bracing yang ada, salah satu nya Buckling Restrained Brace (BRB), merupakan bracing yang dirancang untuk menghindari tekuk dengan menggunakan inti baja yang dikekang oleh material pembatas, sehingga mampu menahan gaya tarik dan tekan secara optimal serta memiliki disipasi energi yang lebih baik. Bracing tersebut merupakan teknologi mitigasi gempa pada struktur bangunan yang bisa digunakan sehingga dapat mengurangi beban lateral, simpangan antar lantai, dan menambah kekakuan pada struktur, sehingga meminimalisir kerusakan bangunan gedung akibat bencana gempa bumi. Akan tetapi, kinerja struktur yang diperkuat oleh bracing bisa dipengaruhi oleh peletakan bracing. (Bohara et al., 2022), melaporkan bahwa lokasi dan jenis bracing memengaruhi respon seismik bangunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis bracing serta peletakan bracing pada posisi strategis dapat menurunkan simpangan antar lantai (interstory drift) dan meningkatkan disipasi energi secara signifikan. Penelitian (Bose & Ghosh, 2025), pada bangunan beton bertulang berbentuk L-shape memperlihatkan bahwa perbedaan posisi

bracing menghasilkan performa seismik yang berbeda. Struktur tanpa bracing menunjukkan drift paling besar, sedangkan bracing di seluruh lantai mampu mengurangi displacement secara merata dan meningkatkan kapasitas base shear. Sebaliknya, bracing yang hanya ditempatkan di lantai tertentu (misalnya hanya di lantai dasar atau tengah) menciptakan konsentrasi kekakuan yang dapat memperburuk distribusi drift. Hal ini menegaskan bahwa penempatan bracing tidak hanya menambah kekakuan, tetapi juga menentukan distribusi gaya gempa pada struktur beton bertulang. Hal ini menunjukkan bahwa variasi pada posisi bracing secara signifikan memperbaiki kinerja struktur, terutama dalam mengurangi simpangan dan meningkatkan kekakuan serta stabilitas. Dari kedua bracing tersebut memiliki performa yang berbeda dalam menahan beban gempa.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan akan strategi desain struktur tahan gempa yang lebih efektif dan efisien, khususnya dalam menentukan konfigurasi penempatan BRB yang optimal. Dengan meningkatnya pembangunan gedung bertingkat di wilayah rawan gempa, diperlukan pendekatan desain yang tidak hanya meningkatkan kekuatan struktur, tetapi juga mampu mengendalikan deformasi dan meningkatkan kemampuan disipasi energi secara menyeluruh.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan variasi posisi BRB terhadap kinerja seismik ketika BRB diaplikasikan pada struktur beton bertulang, melalui pendekatan numerik menggunakan perangkat lunak analisis struktur SeismoStruct. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan strategi perencanaan struktur tahan gempa yang lebih optimal di wilayah rawan gempa seperti Indonesia. Penelitian ini membahas pengaruh variasi peletakan Buckling-Restrained Brace (BRB), yaitu Mid Bay, perimeter, dan Hybrid (kombinasi Mid Bay dan perimeter), terhadap kinerja seismik struktur beton bertulang melalui analisis dinamik nonlinier time history gempa. Fokus kajian meliputi perbandingan simpangan antar lantai (interstory drift ratio/IDR), stabilitas kurva histeresis serta kapasitas disipasi energi, dan besarnya residual drift yang dihasilkan dari masing-masing variasi peletakan BRB. Penelitian dibatasi pada struktur beton bertulang dengan jumlah BRB yang sama, dianalisis secara numerik menggunakan perangkat lunak SeismoStruct dan input gempa Kobe 1995, tanpa mempertimbangkan elemen non-struktural, beban gempa vertikal, maupun interaksi tanah-struktur. Keaslian penelitian ini terletak pada kajian komprehensif terhadap perilaku dinamik nonlinier, termasuk analisis histeresis, disipasi energi, dan respons pasca-elastis yang belum dibahas secara lengkap pada penelitian terdahulu. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis bagi pengembangan desain struktur beton bertulang tahan gempa yang lebih efektif, aman, dan efisien, khususnya dalam menentukan skema penempatan BRB yang optimal di wilayah rawan gempa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental numerik dengan software SeismoStruct untuk menganalisis perilaku struktur beton bertulang yang diperkuat sistem Buckling-Restrained Brace (BRB). Objek penelitian berupa gedung beton bertulang 8 lantai dengan denah 4×4 bentang, jarak antar kolom 6 m, dan tinggi total 28 m. Material yang digunakan meliputi beton dengan kuat tekan 25-30 MPa, baja tulangan dengan tegangan leleh 420 MPa, dan baja BRB dengan tegangan leleh 325 MPa.

Penelitian dilakukan dengan membuat empat variasi model, yaitu struktur Baseline tanpa BRB sebagai pembanding, variasi Mid Bay dengan BRB di portal tengah, variasi Perimeter dengan BRB di portal tepi, dan variasi Hybrid dengan kombinasi keduanya secara bergantian. Analisis menggunakan Time History Analysis dengan input gempa Kobe Jepang 1995 (Mw 6,9) yang memiliki percepatan puncak 0,50 g.

Parameter kinerja yang dievaluasi meliputi Interstory Drift Ratio (IDR) untuk mengukur simpangan antar lantai, disipasi energi untuk menilai kemampuan struktur menyerap energi gempa, dan residual drift untuk mengetahui simpangan permanen setelah gempa. Perbandingan hasil dari keempat variasi model bertujuan untuk menentukan konfigurasi peletakan BRB yang paling efektif dalam meningkatkan kinerja seismik struktur.

Analisis dilakukan menggunakan metode nonlinear time history analysis dengan input gempa Kobe Jepang tahun 1995 (Mw 6,9) dengan percepatan puncak 0,50 g. Evaluasi kinerja struktur dilakukan berdasarkan parameter interstory drift ratio (IDR), kapasitas disipasi energi, dan residual drift. Data hasil simulasi dianalisis secara komparatif untuk membandingkan respons keempat model, sehingga dapat ditentukan konfigurasi penempatan BRB yang paling optimal dalam meningkatkan kinerja seismik struktur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, hasil menunjukkan bahwa pemasangan BRB memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan kapasitas disipasi energi dan menurunkan simpangan antar lantai dibandingkan struktur tanpa BRB. Namun demikian, efektivitasnya bergantung pada posisi dan variasi peletakan. Hasil diperoleh dari serangkaian analisis dinamik nonlinier berupa *time history analysis* dengan input gempa terpilih yang dilakukan pada struktur beton bertulang 8 lantai dengan empat variasi variasi BRB, yaitu:

1. *Baseline*: Struktur tanpa *bracing* sebagai pembanding.
2. *Mid Bay*: BRB ditempatkan di bagian tengah portal struktur.
3. *Perimeter*: BRB ditempatkan di portal tepi/perimeter.
4. *Hybrid*: Penggabungan *Mid Bay* dan *Perimeter* yang membentuk diagonal X *global* pada struktur.

Hasil analisis ditinjau dari *Interstory Drift Ratio* (IDR), Disipasi Energi, dan *Residual drift*.

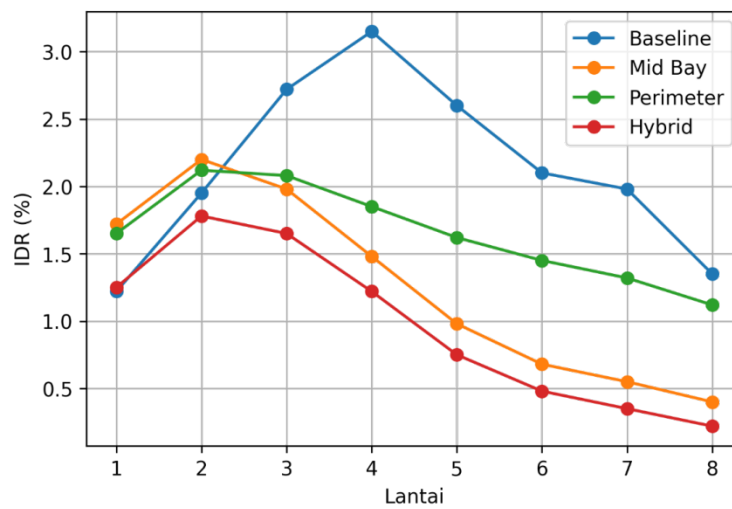
Interstory Drift Ratio

IDR menggambarkan simpangan relatif antar lantai terhadap tinggi lantai. Nilai IDR tiap variasi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Nilai IDR

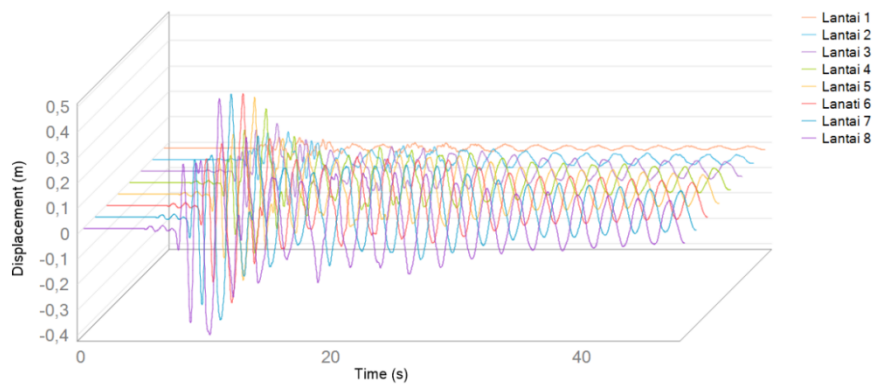
IDR	<i>Baseline</i>	<i>Mid Bay</i>	<i>Perimeter</i>	<i>Hybrid</i>
IDR Lantai 1	1,211%	1,725%	1,660%	1,256%
IDR Lantai 2	1,939%	2,193%	2,131%	1,779%
IDR Lantai 3	2,733%	1,977%	2,080%	1,656%
IDR Lantai 4	3,175%	1,485%	1,862%	1,239%
IDR Lantai 5	2,602%	0,969%	1,628%	0,762%
IDR Lantai 6	2,085%	0,680%	1,464%	0,486%
IDR Lantai 7	1,973%	0,548%	1,329%	0,347%
IDR Lantai 8	1,341%	0,400%	1,120%	0,200%

Sumber: Hasil analisis menggunakan SeismoStruct, 2025



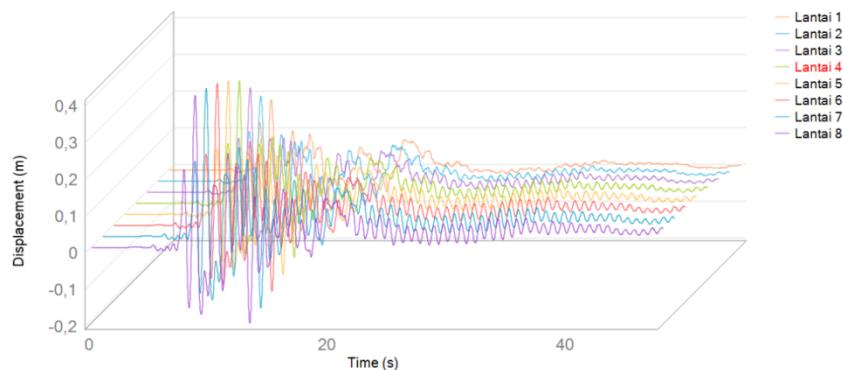
Gambar 1. Grafik Perbandingan IDR

Sumber: Output SeismoStruct, 2025



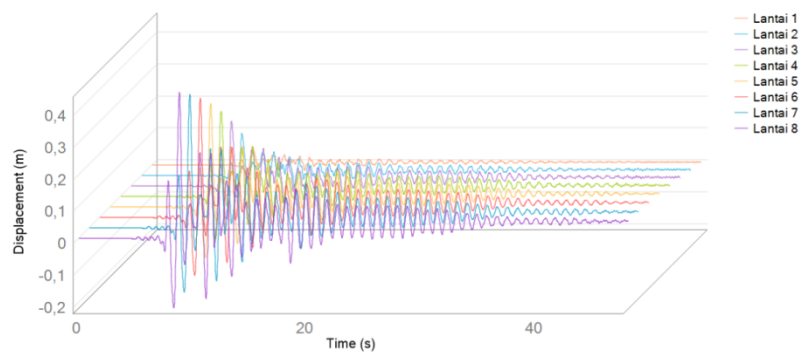
Gambar 2. Grafik Riwayat Waktu dan Perpindahan pada Variasi *Baseline*

Sumber: Output SeismoStruct, 2025



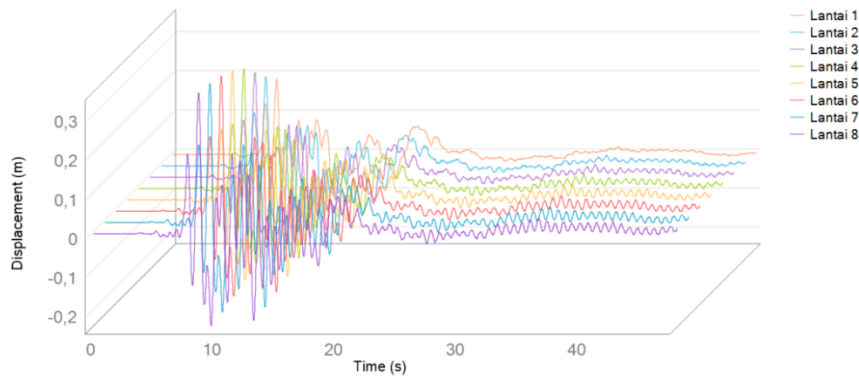
Gambar 3. Grafik Riwayat Waktu dan Perpindahan pada Variasi *Mid Bay*

Sumber: Output SeismoStruct, 2025



Gambar 4. Grafik Riwayat Waktu dan Perpindahan pada Variasi Perimeter

Sumber: Output SeismoStruct, 2025



Gambar 5. Grafik Riwayat Waktu dan Perpindahan pada Variasi Hybrid

Sumber: Output SeismoStruct, 2025

Dari tabel dan grafik hasil perbandingan IDR semua variasi peletakan dan struktur *Baseline* sebagai pembanding dapat ditinjau bahwa :

1. *Baseline*: IDR maksimum 3,175% (lantai 4), rata-rata 2,248%. Hampir semua lantai melebihi batas aman.
2. *Mid Bay*: IDR maksimum 2,193% (lantai 2), rata-rata 1,352%. Lantai 2 melebihi batas 2%.
3. *Perimeter*: IDR maksimum 2,131% (lantai 2), rata-rata 1,712%. Hampir melampaui batas.
4. *Hybrid*: IDR maksimum 1,779% (lantai 2) dengan rata-rata 1,056%. Semua lantai < 2%, sesuai batas aman SNI.

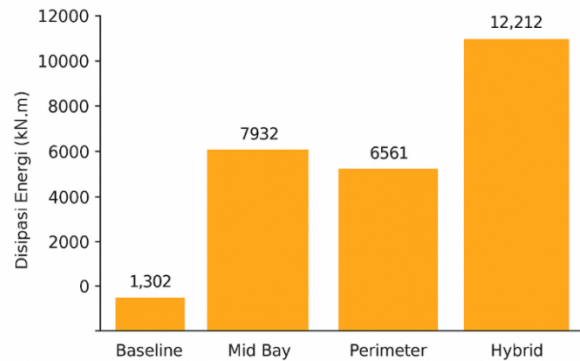
Disipasi Gaya dan Kurva Histeresis

Perbandingan total energi disipasi pada elemen *bracing* setiap variasi ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil total disipasi energi:

Tabel 2. Perbandingan Hasil Disipasi Energi

Model	Disipasi Energi
Baseline	1.302,408 kN.m
Mid Bay	7.932,07 kN.m
Perimeter	6.561,18 kN.m
Hybrid	12.212,40 kN.m

Sumber: Hasil analisis menggunakan SeismoStruct, 2025

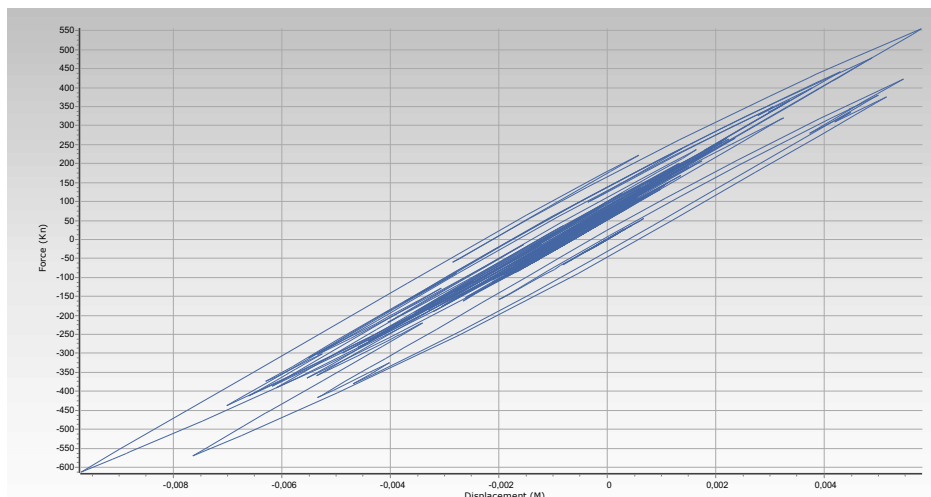


Gambar 6. Grafik Perbandingan Disipasi Energi

Sumber: Output SeismoStruct, 2025

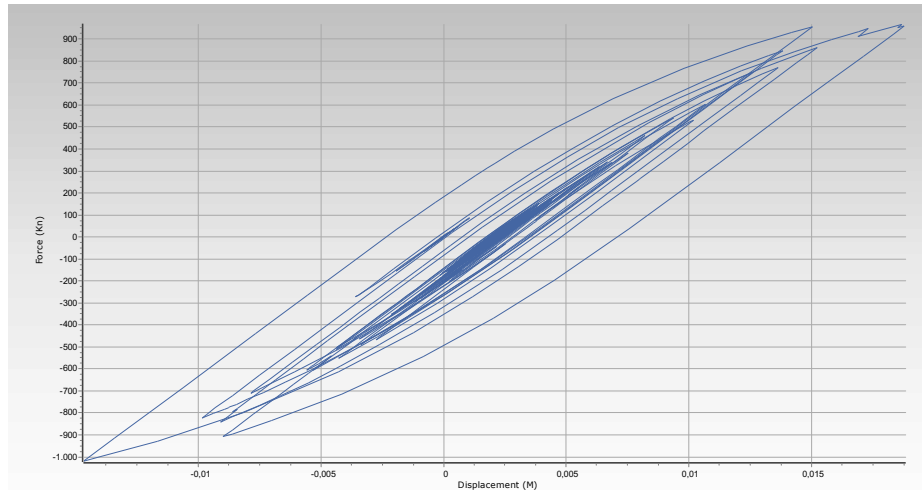
Hasil analisis disipasi energi menunjukkan bahwa variasi *Hybrid* memiliki kinerja paling baik dengan total disipasi energi sebesar 12.212,40 kN.m, jauh lebih tinggi dibandingkan variasi lain. *Baseline*, *Mid Bay* dan *Perimeter* masih mampu menyerap energi gempa, masing-masing sebesar 1.302,40 kN.m, 7.932,07 kN.m, dan 6.561,18 kN.m, namun nilainya lebih rendah. Hasil ini menegaskan bahwa distribusi *bracing* yang lebih merata seperti pada variasi *Hybrid* mampu meningkatkan kapasitas disipasi energi struktur secara signifikan.

Kurva histeresis dari masing-masing variasi dianalisis. Variasi dengan loop yang penuh dan stabil menunjukkan kemampuan disipasi energi yang lebih baik, sedangkan *loop* yang terdegradasi menunjukkan kerentanan pada struktur. Disipasi energi diperoleh dari luas kurva histeresis elemen *bracing*. Semakin lebar *loop* kurva, semakin besar energi gempa yang terserap.

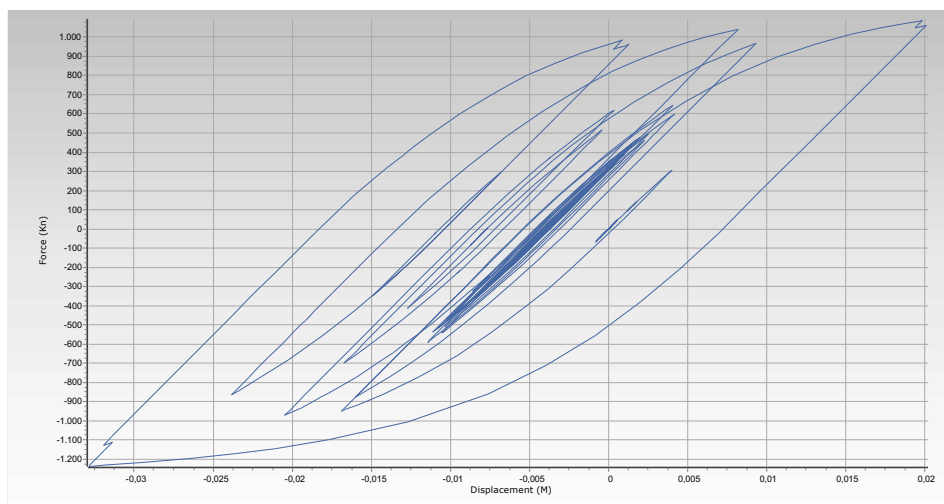


Gambar 7. Kurva Histeresis (Gaya – Perpindahan) Variasi *Baseline*

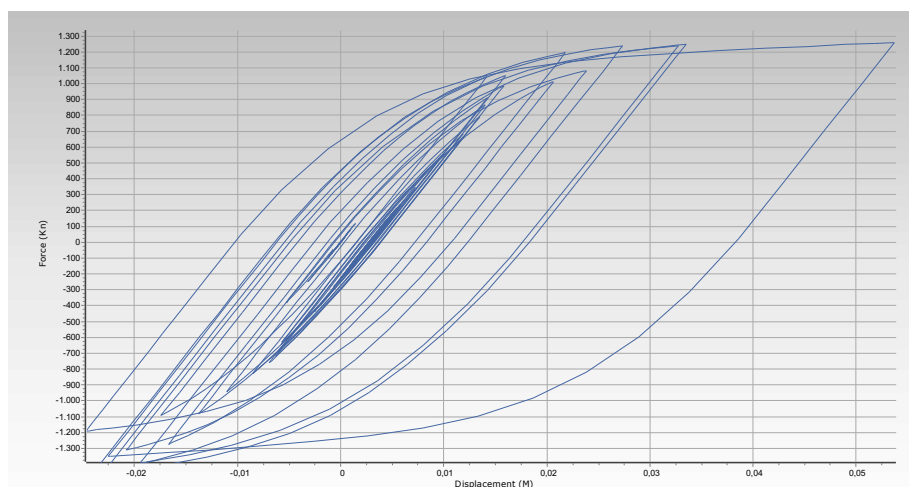
Sumber: Output SeismoStruct, 2025



Gambar 8. Kurva Histeresis (Gaya – Perpindahan) Variasi *Mid Bay*
 Sumber: Output SeismoStruct, 2025



Gambar 9. Kurva Histeresis (Gaya – Perpindahan) Variasi Perimeter
 Sumber: Output SeismoStruct, 2025



Gambar 10. Kurva Histeresis (Gaya – Perpindahan) Variasi *Hybrid*
 Sumber: Output SeismoStruct, 2025

Residual drift

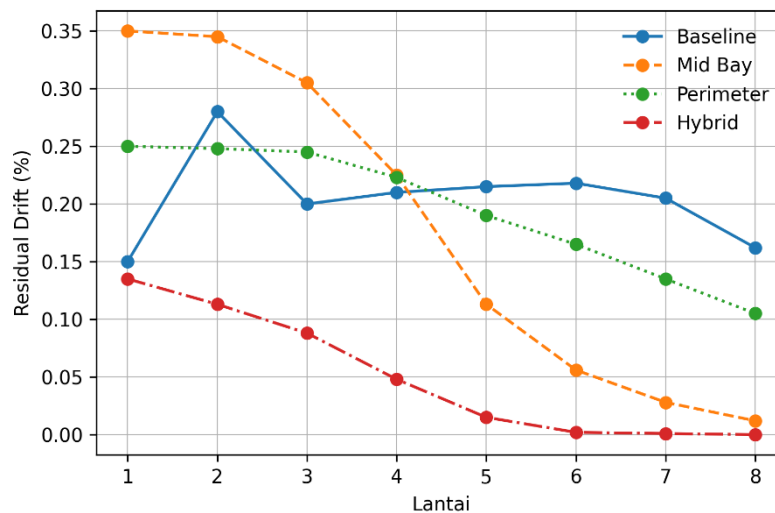
Residual drift dibandingkan antar variasi untuk mengetahui stabilitas struktur pasca gempa. Variasi dengan nilai *Residual drift* terkecil dianggap memberikan kinerja paling baik. *Residual drift* menunjukkan simpangan permanen setelah gempa. Nilai ini penting karena memengaruhi apakah bangunan masih dapat dihuni pasca gempa.

Hasil perhitungan:

Tabel 3. Perbandingan Hasil Maksimum *Residual drift*

Model Variasi	Residual drift
Baseline	0,2804% (lantai 2)
Mid Bay	0,3499% (lantai 1)
Perimeter	0,2486% (lantai 1)
Hybrid	0,1496% % (lantai 1)

Sumber: Hasil analisis menggunakan SeismoStruct, 2025



Gambar 11. Grafik Perbandingan *Residual drift* Setiap Lantai

Sumber: Output SeismoStruct, 2025

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik struktur beton bertulang 8 lantai menggunakan metode analisis riwayat waktu (time history), dapat disimpulkan bahwa penambahan Buckling Restrained Brace (BRB) memberikan peningkatan kinerja seismik yang signifikan dibandingkan struktur tanpa bracing (baseline) yang mengalami IDR maksimum sebesar 3,175% dan melampaui batas aman ASCE 7-16. Penempatan BRB terbukti mampu menurunkan nilai interstory drift ratio (IDR), meningkatkan disipasi energi, serta mengurangi residual drift, dengan variasi Hybrid menunjukkan kinerja paling optimal. Variasi ini menghasilkan IDR rata-rata terendah sebesar 1,056%, disipasi energi tertinggi mencapai 12.212,40 kN·m, serta residual drift kurang dari 0,15% pada seluruh lantai, sehingga distribusi BRB yang merata dinilai paling efektif dalam menyerap energi gempa dan menjaga stabilitas struktur pasca gempa. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi rekaman gempa

yang lebih beragam, mempertimbangkan interaksi tanah-struktur, serta mengkaji optimasi jumlah dan konfigurasi BRB agar diperoleh desain struktur yang lebih akurat dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M., Tayyaba, S., & Ashraf, M. W. (2016). Effect of Buckling Restrained Braces Locations on Seismic Responses of High-Rise RC Core Wall Buildings. *Shock and Vibration*, 2016(1), 6808137.
- American Institute of Steel Construction. (2016). Seismic provisions for structural steel buildings (ANSI/AISC 341-16). American Institute of Steel Construction.
- Badoux, M., dan Jirsa, J. O. (1990). Steel bracing of RC frames for seismic retrofitting. *Journal of Structural Engineering*.
- Bahrami, A. (2021). Study of eccentric and buckling-restrained bracing systems used in frames. *Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering*, 6(4), 120–126. <https://doi.org/10.11648/j.jccee.20210604.13>
- Bohara, B. K., Ganaie, K. H., dan Saha, P. (2022). Effect of position of steel bracing in L-shape reinforced concrete buildings under lateral loading. *Research on Engineering Structures and Materials*, 8(1), 155–177. <https://doi.org/10.17515/resm2021.295st0519>
- Bose, M., dan Ghosh, G. (2025). Effect of location and types of bracing on the seismic performance of an unsymmetrical building. *Procedia Structural Integrity*, 70, 137–144. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2025.07.036>
- Cari, K. C., Tripriyo, D., dan Bramantoro, A. (2023). Pengaruh bentuk bracing eksentris pada struktur gedung baja terhadap kinerja struktur dengan analisis gempa respon spektrum. *Composite: Journal of Civil Engineering*, 2, 25–32.
- Chadhar, S., dan Sharma, A. (2015). Seismic analysis of multistorey steel building with different types of bracing systems. *International Journal of Engineering Research dan Technology (IJERT)*, 4(9), 1–6.
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (4th ed.). Prentice Hall.
- Faizi, S. A., Yoshitomi, S., dan Faizi, A. (2016). Optimal placement of Buckling-Restrained Braces in reinforced concrete building structures. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22702.82247>
- Federal Emergency Management Agency. (2003). NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures (FEMA 450). Federal Emergency Management Agency.
- Feng, Y., Wu, J., Wang, C., & Meng, S. (2016). Elastic displacement spectrum-based design approach for buckling-restrained braced frames. *Journal of Earthquake Engineering*, 20(6), 841–860.
- López, W. A., dan Sabelli, R. (2004). *Seismic design of Buckling-Restrained Brace frames*. Structural Steel Educational Council.
- Mahoney, M., dan Hanson, R. D. (2018). *Seismic performance assessment of buildings: Volume 1—Methodology* (2nd ed.). Applied Technology Council.
- McCormick, J., Aburano, H., Ikenaga, M., dan Nakashima, M. (2008). Permissible residual deformation levels for building structures considering both safety and human elements. *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China.
- Moehle, J. P. (2015). *Seismic design of reinforced concrete buildings*. McGraw-Hill Education.

- Nandy, A. K., & Jog, C. S. (2014). Conservation properties of the trapezoidal rule in linear time domain analysis of acoustics and structures. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1401.0991>
- Razzaghi, S. A. S., dan Hatami, H. R. (2019). Evaluating the performance of Buckling-Restrained Braces in tall buildings with peripherally Brace frames. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 7(2), 21–39. <https://doi.org/10.22075/JRCE.2018.12407.1213>
- Repadi, J. A., Sunaryati, J., dan Thamrin, R. (2016). Analisis kinerja struktur beton bertulang dengan variasi penempatan bracing inverted V. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 12(2), 1–10.
- Sabelli, R., Mahin, S., dan Chang, C. (2003). Seismic demands on steel Brace frame buildings with Buckling-Restrained Braces. *Engineering Structures*, 25(5), 655–666. [https://doi.org/10.1016/S0141-0296\(02\)00175-X](https://doi.org/10.1016/S0141-0296(02)00175-X)
- U.S. Geological Survey. (2025). U.S. Geological Survey. U.S. United States Geological Survey.
- United States Geological Survey. (2022). Earthquake glossary. United States Geological Survey.
- Zona, A., dan Dall'Asta, A. (2012). Elastoplastic model for steel Buckling-Restrained Braces. *Journal of Constructional Steel Research*, 68(1), 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2011.07.017>