



Analisis Perilaku Seismik Gedung Baja Dengan Variasi Bresing Konsentrik Menggunakan Beban Gempa Respons Spektrum

Agus Triyono^{1*}, Siti Fatimah², Linda Winiasri³, Fahrur Rozi⁴, Ranatika Purwayudhaningsari⁵
^{1,2,3,4,5} Program Studi D3 Teknik Bangunan dan Landasan, Politeknik Penerbangan Surabaya, Indonesia
Jl. Jemur Andayani 1/17 Wonocolo Surabaya Jawa Timur
E-Mail *: agustriyono@poltekbangsby.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is located in an active seismic zone; therefore, multi-story buildings must be designed with an efficient lateral force-resisting system. This study analyzes the seismic behavior of a 12-story steel building with five concentric bracing configurations: diagonal (BrDg), X (BrX), V (BrV), inverted V (BrA), and K (BrK). The analysis was performed using the linear dynamic response spectrum method based on SNI 1726:2019, while gravity loading was determined in accordance with SNI 1727:2020. The structural model was developed using WF steel frame elements with BJ 41 steel grade, assuming soft soil conditions (SE) and Padang City as the seismic location. The main parameters evaluated included the natural vibration period, base shear, maximum top displacement, and interstory drift. The results show that variations in bracing configuration significantly affect the lateral stiffness and dynamic response of the structure. The inverted V bracing configuration (BrA) produced the lowest natural vibration periods, with values of 1.73 seconds in the X direction and 1.68 seconds in the Y direction, indicating the highest effective lateral stiffness. The BrA model also produced the largest base shear, ranging from 3,335 to 3,385 kN, indicating a greater seismic force response associated with its higher structural stiffness. In terms of displacement and story drift, BrA produced the lowest values among the investigated models, and all bracing configurations satisfied the allowable drift limit of $\Delta a = 80$ mm. These findings indicate that the inverted V bracing configuration is the most effective configuration for improving the lateral stability of the steel structure under seismic loading. The contribution of this study lies in the direct comparison of five bracing configurations using a consistent 12-story steel building model. Under the linear analysis conditions considered, the inverted V bracing configuration exhibited the highest global lateral stiffness.

Keywords: concentric bracing, displacement, story drift, base shear

ABSTRAK

Indonesia berada pada zona seismik aktif sehingga struktur bangunan bertingkat harus dirancang dengan sistem penahan gaya lateral yang efisien. Penelitian ini menganalisis perilaku seismik gedung baja 12 lantai dengan lima konfigurasi bresing konsentrik yaitu diagonal (BrDg), X (BrX), V (BrV), V terbalik (BrA), dan K (BrK). Analisis dilakukan menggunakan metode linear dinamik respon spektrum berdasarkan pada SNI 1726:2019, sedangkan pembebanan gravitasi berdasarkan SNI 1727:2020. Pemodelan struktur dilakukan menggunakan elemen rangka baja WF mutu BJ 41 dengan asumsi kondisi tanah lunak (SE) dan lokasi gempa Kota Padang. Parameter utama yang dievaluasi meliputi periode getar alami, gaya geser dasar, perpindahan maksimum puncak struktur (*top displacement*), dan simpangan antar lantai. Hasil analisis menunjukkan bahwa variasi bresing memberikan pengaruh signifikan terhadap kekakuan lateral dan respons dinamik struktur. Bresing V terbalik (BrA) menghasilkan periode getar alami paling rendah ($T = 1,73$ detik arah X dan 1,68 detik arah Y) sehingga memberikan kekakuan efektif tertinggi. Model BrA juga menghasilkan gaya geser dasar terbesar (3.335–3.385 kN), mengindikasikan kapasitas yang lebih baik dalam memikul gaya seismik. Pada parameter *perpindahan* dan simpangan antar tingkat, BrA menunjukkan nilai paling kecil dibandingkan model lainnya dan seluruh tipe bresing memenuhi batas drift ijin $\Delta a = 80$ mm. Temuan ini menunjukkan bahwa konfigurasi bresing V terbalik merupakan tipe paling efisien dalam meningkatkan stabilitas lateral struktur baja terhadap beban gempa. Kontribusi penelitian ini adalah perbandingan langsung lima konfigurasi bresing pada satu model gedung baja 12 lantai yang konsisten. Pada kondisi analisis linear yang ditinjau, bresing V terbalik memberikan respons lateral global paling kaku.

Kata Kunci: bresing konsentrik, perpindahan, simpangan antar lantai, gaya geser dasar.



1. PENDAHULUAN

Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng aktif yaitu Eurasia, Australia, dan Pasifik. Hal ini menyebabkan subduksi, patahan, dan gunung berapi sebagai bentuk geologi yang kompleks, sehingga menjadikan Indonesia negara yang rawan bencana gempa di Asia Tenggara (Palupi dkk, 2025). Dalam 20 tahun terakhir, telah terjadi 38 gempa bumi yang merusak dengan kekuatan lebih dari 5,5 MW. Hasil pemantauan yang telah dilakukan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika selama 10 tahun terakhir menunjukkan adanya tren peningkatan aktivitas gempa bumi yang signifikan (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2026). Gempa bumi adalah salah satu jenis bencana yang tidak bisa diprediksi secara pasti, dihindari ataupun dicegah waktu terjadinya. Sering kali, gempa bumi selalu diikuti dengan bencana tsunami yang bisa mengakibatkan banyak kerugian, baik kerugian materiil maupun korban jiwa (Susanta dkk., 2019). Gempa bumi terjadi karena adanya fenomena getaran dengan guncangan pada kerak bumi yang dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan (Ferraioli dkk., 2023)(Opabola & Elwood, 2016)(Habib dkk., 2021). Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada bangunan akibat gempa bumi, diantaranya seismisitas lokasi bangunan, jumlah populasi pengguna gedung, tipe atau jenis tanah, elemen-elemen *non-structural*, jenis dan tipe bangunan, jumlah lantai, ketidakberaturan bangunan arah vertikal (*vertical irregularity*), ketidakberaturan bangunan arah horizontal (*plan irregularity*), serta umur bangunan (FEMA, 2015).

Agar keselamatan penghuni gedung dapat terjamin, maka ketahanan struktur gedung dalam mencegah dan menanggulangi bahaya sangatlah penting. Salah satu hal yang perlu dipertimbangkan yaitu kekuatan struktur gedung dalam menahan beban lateral gempa bumi. Oleh karena itu dibutuhkan suatu upaya pencegahan dalam mengantisipasi dampak kegagalan struktur yang dapat membahayakan keselamatan dan keamanan penghuninya. Salah satu cara supaya struktur gedung bisa tetap kuat dari dampak yang disebabkan oleh gempa bumi yaitu dengan menggunakan bresing konsentrik yang berfungsi untuk menahan gaya lateral gempa pada struktur gedung. Bresing merupakan pengaku alternatif pada struktur bangunan yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur gedung, menahan gaya lateral, meningkatkan daktilitas, kekuatan serta mampu mengurangi energi yang disebabkan oleh getaran (Ghiasvandan dkk., 2022) (Castaldo dkk., 2021) (Zamani dkk., 2012) (Mahmoudi, 2021). Bresing juga dapat berfungsi sebagai batang pengaku yang dapat mengurangi perpindahan lateral untuk mendapatkan stabilitas struktural (Sawarkar & Satone, 2022).

Secara umum, terdapat tiga jenis sistem bresing yaitu rangka pemikul momen (MRF), rangka bresing konsentrik (CBF), dan rangka bresing eksentrik (EBF). Sistem rangka pemikul momen (MRF) adalah

sistem struktur yang terdiri dari rangka balok-kolom yang berguna untuk menahan beban lateral, di mana dinding pengisian tidak dianggap menanggung beban lateral (Kalapodis dkk, 2022). Rangka bresing konsentrik (CBF) adalah sistem penahan gaya lateral dengan kekakuan elastis yang lebih baik dan kapasitas untuk menahan gaya bolak-balik lateral (Sumaidi dkk, 2020). Sebagai perbandingan, sistem struktural rangka bresing eksentrik (EBF) merupakan pengembangan dari sistem struktural rangka bresing konsentrik (CBF) dimana sistem ini memberikan eksentrisitas berupa balok link dengan menyediakan sumber keuletan yang andal dan menggunakan prinsip desain kapasitas. Ini dapat mencegah geser pada struktur mencapai tingkat di mana tekuk terjadi pada salah satu komponen. Sistem struktural rangka bresing eksentrik (EBF) memiliki kelebihan dibandingkan dengan sistem rangka pemikul momen (MRF) dan rangka bresing konsentrik (CBF) (H. Chen dkk., 2022).

Sistem rangka bresing konsentrik sendiri terdiri dari dua jenis yaitu sistem rangka bresing konsentrik biasa (SRBKB) dan sistem rangka bresing konsentrik khusus (SRBKK). SRBKB direncanakan mampu menahan deformasi inelastis secara terbatas jika dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana sedangkan SRBKK direncanakan mampu menahan deformasi inelastis yang cukup besar akibat gaya gempa rencana. SRBKK mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan tingkat daktilitas SRBKB mengingat penurunan kekuatannya yang lebih kecil pada saat terjadinya tekuk pada batang bresing tekan (Badan Standarisasi Nasional, 2019). Sistem rangka bresing konsentrik dibedakan menjadi beberapa tipe yaitu bresing diagonal, bresing X, bresing V terbalik, bresing V dan bresing K (Zunnoorain & Jaiswal, 2022). Setiap tipe tersebut tentu memiliki karakteristik masing – masing sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruhnya pada struktur gedung.

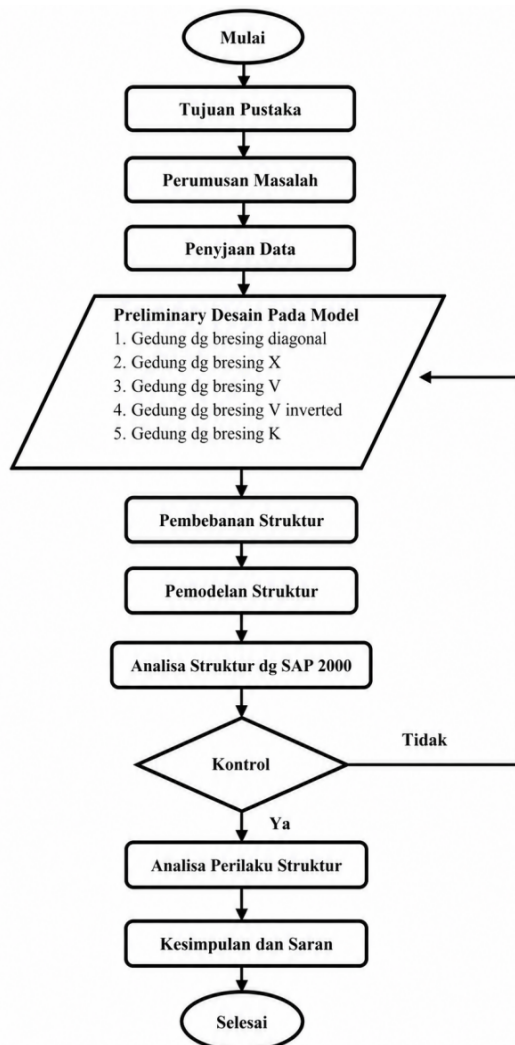
Penelitian terdahulu telah menunjukkan manfaat bresing terhadap respons seismik. Penelitian (Renaldy, 2023) menyimpulkan bahwa variasi bresing X dan V dapat menurunkan periode getar struktur. (Anastasia et al., 2024) menemukan bahwa bresing V terbalik lebih efektif daripada bresing V dalam mengurangi perpindahan dan periode pada bangunan bertingkat, sedangkan penelitian (Nur et al., 2025) juga melaporkan kinerja yang baik dari konfigurasi V terbalik pada gedung beton eksisting. (Abdulhameed et al., 2023) juga menegaskan bahwa distribusi dan lokasi sistem bresing memengaruhi respons seismik bangunan baja. Meskipun demikian, studi-studi tersebut menggunakan objek, jumlah konfigurasi, dan kondisi pemodelan yang berbeda. Oleh karena itu, masih diperlukan perbandingan langsung lima konfigurasi bresing konsentrik pada satu gedung baja 12 lantai dengan penampang utama, kondisi situs, dan parameter gempa yang sama agar pengaruh bentuk bresing terhadap respons global dapat dievaluasi secara konsisten.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan membandingkan pengaruh bresing diagonal, X, V, V terbalik, dan K terhadap periode fundamental, gaya geser dasar, perpindahan lateral, dan simpangan antar lantai pada gedung baja 12 lantai. Analisis dilakukan dengan metode dinamik linear respons spektrum sesuai SNI 1726:2019. Hasil penelitian diarahkan untuk mengidentifikasi konfigurasi yang menghasilkan respons lateral global paling kaku pada kondisi model yang dianalisis, bukan untuk menilai kapasitas inelastik atau kinerja keruntuhan masing-masing sistem.

Oleh karena itu, maka penulis bermaksud melakukan penelitian dengan judul Analisis Perilaku Seismik Gedung Baja Dengan Variasi Bresing Konsentrik Menggunakan Beban Gempa Respons Spektrum.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software* SAP 2000 v22. Adapun alur penelitian ini sesuai dengan gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Berikut ini tahapan analisis pada penelitian ini:

a. Tinjauan pustaka/studi literatur

Pada tahap ini penulis melakukan kajian literatur yang bersumber dari artikel dan aturan yang berhubungan dengan perencanaan struktur baja menggunakan bresing konsentris. Beberapa aturan yang digunakan adalah SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1729:2020 tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Baja Struktural, serta Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) Tahun 1983.

b. Penyiapan data

Parameter dasar seluruh model dibuat sama agar pengaruh bentuk bresing dapat dibandingkan secara langsung. Adapun data yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

- 1) Mutu baja menggunakan BJ 41 dengan tegangan leleh $F_y = 250$ MPa, tegangan putus $F_u = 410$ Mpa dan modulus elastis $E = 200000$ MPa.
- 2) Mutu beton menggunakan $f'_c = 30$ MPa dan modulus elastis $E = 4700\sqrt{f'_c}$.
- 3) Fungsi bangunan sebagai gedung apartemen dengan tinggi 12 lantai.
- 4) Desain elemen baja menggunakan pendekatan LRFD, sedangkan respons seismik struktur dianalisis dengan metode dinamik linear respons spektrum sesuai SNI 1726:2019.
- 5) Spesifikasi pembebanan material berdasarkan peraturan pembebanan Indonesia untuk gedung.
- 6) Pembebanan gempa menggunakan metode gempa dinamik respons spektrum dengan lokasi di Kota Padang.
- 7) Tipe tanah diasumsikan adalah jenis tanah lunak.
- 8) Gedung memiliki tinggi total 48 m, tinggi antar lantai 4 m, dan jarak antar kolom arah X dan Y sebesar 6 m.

c. Pembebanan struktur

Beban yang bekerja pada struktur gedung yang dimodelkan yaitu beban mati, beban hidup dan beban gempa. Peraturan pembebanan mengacu pada SNI 1727:2020 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG) Tahun 1983, serta SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

d. Pemodelan struktur

Struktur yang dimodelkan pada penelitian ini ada lima jenis dengan tipe bresing yang berbeda yaitu bresing diagonal, bresing X, bresing V, bresing V terbalik dan bresing K. Seluruh model menggunakan profil balok, kolom, dan bresing yang sama sebagaimana disajikan pada bagian hasil desain penampang, sehingga perbandingan

respons terutama mencerminkan pengaruh susunan bresing. Adapun kode model tersebut seperti pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1.Kode Model Gedung

Kode	Berat Volume
BrDg	Gedung baja dg bresing diagonal
BrX	Gedung baja dg bresing X
BrV	Gedung baja dg bresing V
BrA	Gedung baja dg bresing V inverted
BrK	Gedung baja dg bresing K

e. Analisa struktur

Analisis struktur dilakukan menggunakan SAP2000 v22 dengan metode dinamik linear respons spektrum. Parameter seismik yang digunakan adalah $S_s = 1,1245$ g, $S_1 = 0,5737$ g, $SDS = 0,7499$ g, $SD1 = 0,785$ g, $R = 6$, $\Omega_0 = 2$, $C_d = 5$, $I_e = 1$, dan faktor redundansi $\rho = 1,3$. Parameter tersebut digunakan secara konsisten pada seluruh model untuk membandingkan respons global akibat variasi konfigurasi bresing.

f. Evaluasi respons struktur

Respons lima model dibandingkan berdasarkan periode getar alami, demand gaya geser dasar, perpindahan lateral, dan simpangan antar lantai. Untuk evaluasi drift, simpangan desain antar tingkat diperoleh dari selisih perpindahan elastik antar lantai yang diamplifikasi dengan faktor C_d/I_e . Dengan $C_d = 5$, $I_e = 1$, dan tinggi tingkat 4 m, batas simpangan izin yang digunakan adalah $\Delta_a = 0,02h = 80$ mm. Konfigurasi yang disebut lebih kaku dalam penelitian ini adalah konfigurasi yang menunjukkan periode, perpindahan, dan simpangan antar lantai lebih kecil pada model linear yang dianalisis.

3. PEMBAHASAN

3.1 Pembebanan

Sebelum dilakukan analisa struktur dengan menggunakan *software* SAP 2000 v22, maka perlu dihitung terlebih dahulu beban - beban yang bekerja pada struktur bangunan. Penentuan beban - beban yang bekerja pada struktur bangunan menggunakan aturan yang berlaku pada SNI 1727 - 2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan.

1) Beban Mati

Beban mati yang bekerja pada suatu struktur bangunan terdiri dari dua jenis yaitu beban sendiri struktur dan beban mati tambahan. Beban sendiri struktur diperhitungkan secara otomatis melalui *software* SAP 2000, sedangkan beban mati tambahan ditentukan berdasarkan ketentuan dari SNI 03 - 1727 - 1989. Nilai beban mati tambahan pada pelat dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 (Badan Standarisasi Nasional, 1989).

Tabel 2. Beban Mati Tambahan Pelat Lantai (SIDL)

Material	Berat Volume	Q_d (kN/m^2)
Pasir ($t = 0,01$ m)	1800 (kg/m^3)	0.176
Spesi ($t = 3$ cm)	21 $kg/cm^3/cm$ tbl	0.618
Keramik	24 kg/m^2	0.235
MEP+Ducting Ac	25 kg/m^2	0.2452
Plafon	11 kg/m^2	0.1079
Penggantung Plafon	7 kg/m^2	0.0686
Total Beban Mati Tambahan (Q_d)		1,4507

Tabel 3. Beban Mati Tambahan Pelat Atap

Material	Berat Volume	Q_d (kN/m^2)
Spesi ($t = 1$ cm)	21 $kg/cm^3/cm$ tbl	0.176
MEP+Ducting Ac	25 kg/m^2	0.2452
Plafon	11 kg/m^2	0.1079
Penggantung Plafon	7 kg/m^2	0.0686
Total Beban Mati Tambahan (Q_d)		0,5977

2) Beban Hidup

Beban hidup yang bekerja pada struktur bangunan ditentukan berdasarkan pada SNI 1727 - 2020. Beban hidup pada struktur ditentukan berdasarkan peruntukan bangunan dan fungsi tiap ruangan. Nilai beban hidup yang dipakai dijelaskan pada tabel 4.

Tabel 4. Beban Hidup Pelat

Lantai	Penggunaan	Q_l (kN/m^2)
Lantai 1 – 12	Apartemen	1.92
Lantai Atap	Atap	0.96

Menurut pasal 4.7.3 sampai 4.7.6 reduksi beban hidup dibolehkan jika nilai KLL AT adalah 400 ft^2 (37,16 m^2) (Badan Standarisasi Nasional, 2020). Dikarenakan luas tributari area pada model gedung yang digunakan pada penelitian ini sebesar 6x3 (18) $m^2 < 37,16 m^2$ maka beban hidup tidak diizinkan untuk direduksi sehingga tetap digunakan beban hidup sesuai Tabel 4.

3) Beban Gempa

Pada penelitian ini beban gempa yang direncanakan mengacu pada SNI 1726:2019. Analisis gempa pada penelitian ini menggunakan metode gempa linear dinamik respons spektrum. Beberapa parameter diperoleh dari website RSA Cipta Karya dengan lokasi Padang dan jenis tanah lunak. Data yang akan digunakan pada pemodelan *software* SAP 2000 v22 dijelaskan pada tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Data Parameter Pada Analisis Gempa

Keterangan	Nilai	Sumber Data
SS	1,1245 g	RSA Cipta Karya
S_1	0,5737 g	RSA Cipta Karya
Long Period	20 detik	RSA Cipta Karya
Site Clas	E (lunak)	Data Perencanaan

Keterangan	Nilai	Sumber Data
F_a	1,0004	SNI 1726 2019
F_v	2,0526	SNI 1726 2019
SDS	0,7499 g	SNI 1726 2019
SD1	0,785 g	SNI 1726 2019
R	6	SNI 1726 2019
Kategori Desain	D	SNI 1726 2019
Kategori Resiko	II	SNI 1726 2019
Ω	2	SNI 1726 2019
Cd	5	SNI 1726 2019
I	1	SNI 1726 2019
Ct	0,0724	SNI 1726 2019
x	0,8	SNI 1726 2019
hn	48 m	Data Perencanaan

4) Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan SNI 1726 - 2019. Dengan nilai SDS sebesar 0,7499 dan faktor redundansi (ρ) struktur sebesar 1,3 maka didapatkan kombinasi pembebanan seperti pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Kombinasi Pembebanan

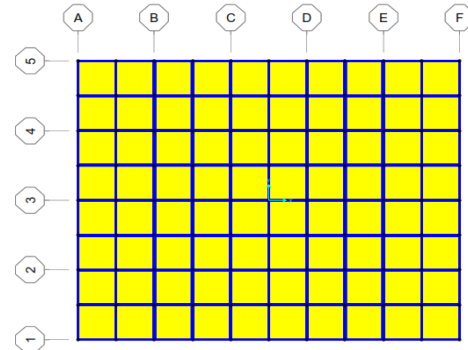
No	Kombinasi Pembebanan
1	1,4DL+1,4SIDL
2	1,2DL+1,2SIDL+1,6LL+0,5Lr
2b	1,2DL+1,2SIDL+1,6LL+0,5R
3	1,2DL+1,2SIDL+1,6 Lr+1,0LL
3c	1,2DL+1,2 SIDL+1,6 R+0,5 Lr
6	1,35DL + 1,35SIDL + 1,0LL + 1,3R _{spx} + 0,39R _{spy}
6b	1,35DL + 1,35SIDL + 1,0LL + 1,3R _{spx} - 0,39R _{spy}
6c	1,35DL + 1,35SIDL + 1,0LL - 1,3R _{spx} + 0,39R _{spy}
6d	1,35DL + 1,35SIDL + 1,0LL - 1,3R _{spx} - 0,39R _{spy}
6e	1,35DL + 1,35SIDL + 1,0LL + 0,39R _{spx} + 1,3R _{spy}
6f	1,35DL + 1,35SIDL + 1,0LL + 0,39R _{spx} - 1,3R _{spy}
6g	1,35DL + 1,35SIDL + 1,0LL - 0,39R _{spx} + 1,3R _{spy}
6h	1,35DL + 1,35SIDL + 1,0LL - 0,39R _{spx} - 1,3R _{spy}
7	0,75DL + 0,75SIDL + 1,3R _{spx} + 0,39R _{spy}
7b	0,75DL + 0,75SIDL + 1,3R _{spx} - 0,39R _{spy}
7c	0,75DL + 0,75SIDL - 1,3R _{spx} + 0,39R _{spy}
7d	0,75DL + 0,75SIDL - 1,3R _{spx} - 0,39R _{spy}
7e	0,75DL + 0,75SIDL + 0,39R _{spx} + 1,3R _{spy}
7f	0,75DL + 0,75SIDL + 0,39R _{spx} - 1,3R _{spy}
7g	0,75DL + 0,75SIDL - 0,39R _{spx} + 1,3R _{spy}
7h	0,75DL + 0,75SIDL - 0,39R _{spx} - 1,3R _{spy}

Keterangan :

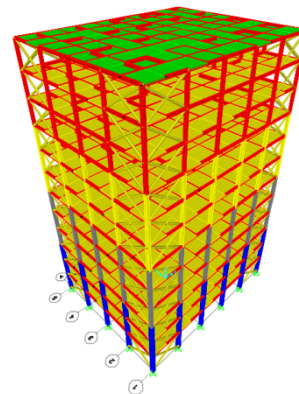
DL = Beban mati berat sendiri gedung
SIDL = Beban mati tambahan
LL = Beban hidup lantai
R = Beban hujan
Lr = Beban hidup atap
R_{spx} = Beban gempa respon spektrum arah X
R_{spy} = Beban gempa respon spektrum arah Y

3.2 Pemodelan Struktur

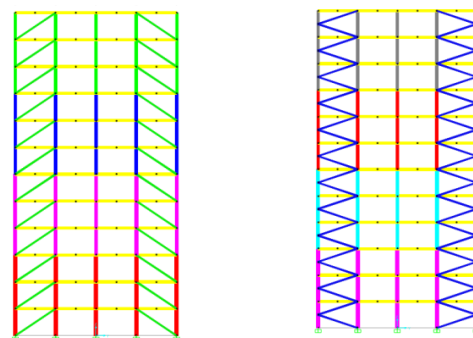
Struktur yang dimodelkan pada penelitian ini ada lima jenis dengan tipe bresing yang berbeda yaitu bresing diagonal, bresing X, bresing V, bresing V terbalik dan bresing K. Adapun model tersebut ditunjukkan pada gambar 2 sampai 4 dibawah ini.



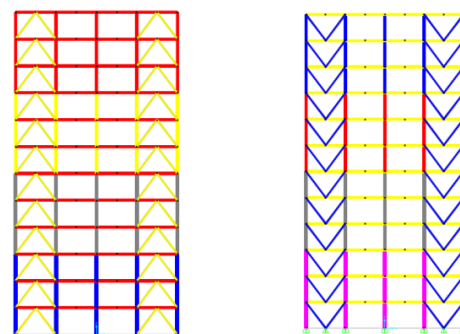
Gambar 2. Denah Lantai



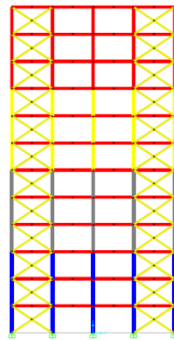
Gambar 3. Tampak 3D



3a. Bresing Diagonal (BrDg) 3b. Bresing K (BrK)



3c. Bresing V (BrDg) 3d. Bresing V terbalik (BrDA)



3d. Bresing V terbalik (BrDA)

Gambar 4. Model Struktur

3.3 Hasil Analisa Struktur

1) Kontrol Rasio Partisipasi Massa

Jumlah ragam harus cukup untuk memperoleh nilai partisipasi massa terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Tetapi masih ada alternatif diperbolehkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi minimal 90 % dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model (SNI 1726, 2019). Kontrol Ratio Partisipasi Massa arah X dan arah Y dapat dilihat pada tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. Rasio Partisipasi Massa

OutputCase	StepNum	SumUX	SumUY
Modal	1	0,725	0
Modal	2	0,725	0,719
Modal	3	0,725	0,719
Modal	4	0,893	0,719
Modal	5	0,893	0,881
Modal	6	0,893	0,881
Modal	7	0,941	0,881
Modal	8	0,941	0,928
Modal	9	0,962	0,928
Modal	10	0,962	0,95
Modal	11	0,962	0,95
Modal	12	0,962	0,95

Pada tabel 7 memperlihatkan rasio partisipasi massa pada struktur yang dimodelkan. Pada kolom SUM X dan SUM Y, saat modal ke 8 jumlah partisipasi massa sudah diperoleh nilai lebih besar dari 90 % pada kedua arah ortogonal. Jumlah ragam yang diperoleh sudah diatas nilai minimum yaitu 90% sehingga dapat diteruskan untuk tahap analisis selanjutnya.

2) Desain Profil Penampang

Dari hasil analisa struktur menggunakan *software* SAP 2000 versi 22 diperoleh hasil desain penampang profil pada setiap model seperti pada tabel 8 di bawah. Penampang profil didesain sama untuk mendapatkan perbedaan respon struktur pada setiap model.

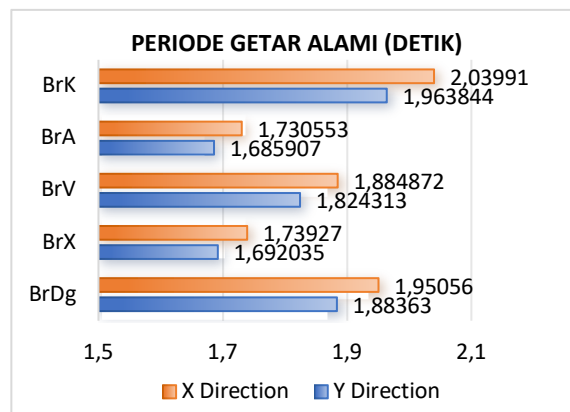
Tabel 8. Desain Profil Penampang Elemen Struktur

Elemen	Profil Penampang
Balok Anak	WF 350x175
Balok Induk	WF 350x175
Kolom 1-3	H550x550x26x32
Kolom 4-6	H450x450x20x26
Kolom 7-9	H400x400x16x24
Kolom 10-12	H350x350x14x20
Bresing	Pipa 10 Inc

Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa beberapa profil yang digunakan merupakan profil H tipe *welded beam* karena tidak ada ukuran profil dipasaran yang memenuhi. Rasio desain penampang untuk setiap model bresing tersebut telah memenuhi ketentuan desain.

3) Periode Getar Alami Struktur

Dari hasil analisa struktur menggunakan *software* SAP 2000 versi 22 diperoleh hasil periode getar alami struktur pada setiap model seperti grafik pada gambar 5 di bawah ini.

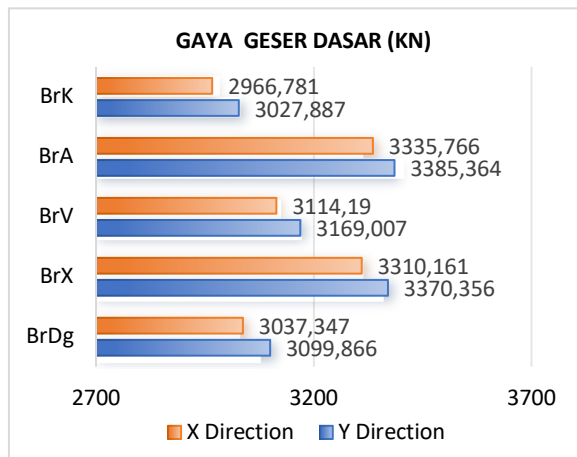


Gambar 5. Periode Getar Alami Struktur

Gambar 5 menunjukkan bahwa BrA menghasilkan periode getar alami paling pendek, yaitu 1,730553 detik pada arah X dan 1,685907 detik pada arah Y, diikuti BrX, BrV, BrDg, dan BrK. Dibandingkan BrK, periode BrA sekitar 15,2% lebih pendek pada arah X dan 14,2% lebih pendek pada arah Y. Periode yang lebih pendek menunjukkan kekakuan lateral global yang lebih tinggi pada model dengan massa dan penampang utama yang dibuat sebanding. Secara mekanis, konfigurasi V terbalik membentuk jalur gaya aksial yang efektif dari titik pertemuan bresing ke kolom sehingga deformasi lateral rangka dapat dibatasi. Kecenderungan ini sejalan dengan temuan penelitian terdahulu yang melaporkan penurunan periode pada konfigurasi V terbalik dibandingkan V, meskipun objek struktur dan kondisi analisisnya berbeda (Anastasia dkk., 2024).

4) Gaya Geser Dasar

Berdasarkan hasil analisa struktur menggunakan *software* SAP 2000 didapatkan gaya geser dasar struktur untuk masing - masing model seperti grafik pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Gaya Geser Dasar

Gambar 6 menunjukkan bahwa BrA menghasilkan gaya geser dasar terbesar, yaitu

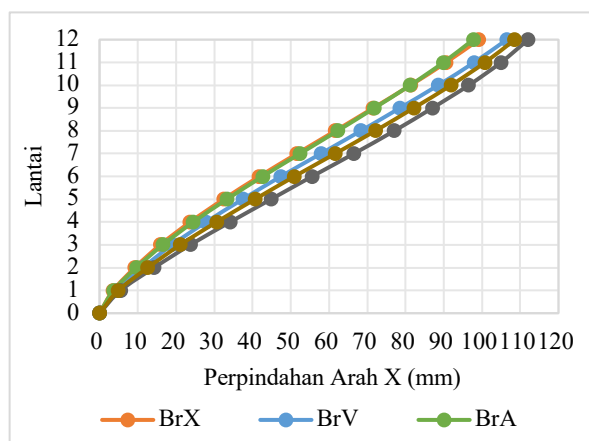
3.335,766 kN pada arah X dan 3.385,364 kN pada arah Y, sedangkan BrK menghasilkan nilai terkecil. Urutan gaya geser ini konsisten dengan kecenderungan periode fundamental. Model yang lebih kaku memiliki periode lebih pendek dan dapat mengalami ordinat respons spektrum yang lebih tinggi. Oleh karena itu, gaya geser dasar yang lebih besar pada BrA tidak secara langsung menunjukkan kapasitas struktur yang lebih besar, melainkan demand seismik yang lebih besar pada model tersebut. Penilaian kapasitas elemen secara inelastik, mekanisme tekuk bresing, dan perilaku sambungan berada di luar lingkup analisis linear penelitian ini.

5) Perpindahan

Berdasarkan hasil analisa struktur menggunakan *software* SAP 2000 didapatkan perpindahan struktur untuk masing - masing model seperti pada tabel 9, gambar 7, dan gambar 8.

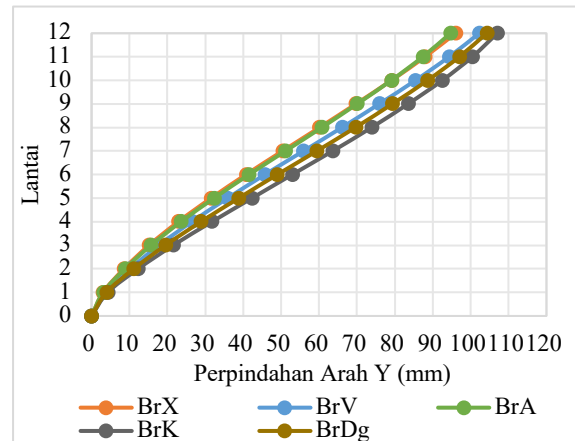
Tabel 9. Perpindahan Arah X dan Arah Y

Story	BrX		BrV		BrA		BrK		BrDg	
	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)	X-Dir (mm)	Y-Dir (mm)
12	99,213	96,034	106,486	102,281	102,281	97,712	94,694	112,065	108,580	104,237
11	90,610	87,949	97,925	94,313	94,313	89,913	87,357	104,951	100,785	97,010
10	81,339	79,119	88,550	85,448	85,448	81,230	79,074	96,534	91,907	88,635
9	71,558	69,733	78,528	75,892	75,892	71,851	70,056	87,016	82,145	79,334
8	61,651	60,131	68,335	66,048	66,048	62,250	60,724	77,082	72,103	69,607
7	51,630	50,370	57,881	55,905	55,905	52,415	51,120	66,518	61,617	59,408
6	41,768	40,714	47,424	45,710	45,710	42,639	41,522	55,582	50,956	48,984
5	32,436	31,519	37,441	35,896	35,896	33,306	32,301	44,848	40,647	38,797
4	23,702	22,885	27,864	26,464	26,464	24,514	23,583	34,156	30,601	28,857
3	15,874	15,147	18,984	17,748	17,748	16,566	15,694	23,741	21,089	19,482
2	9,237	8,547	11,352	10,180	10,180	9,649	8,819	14,283	12,650	11,123
1	3,567	3,040	4,487	3,657	3,657	3,670	3,071	5,502	4,915	3,902



Gambar 7. Perpindahan Arah X

Berdasarkan Tabel 9, Gambar 7, dan Gambar 8, BrA memberikan perpindahan puncak terkecil, yaitu 97,712 mm pada arah X dan 94,694 mm pada arah Y. Dibandingkan BrK, perpindahan puncak BrA lebih kecil sekitar 12,8% pada arah X dan 11,5% pada arah



Gambar 8. Perpindahan Arah Y

Y. Hasil ini konsisten dengan periode fundamental BrA yang lebih pendek dan menunjukkan bahwa konfigurasi V terbalik memberikan kekakuan lateral global lebih tinggi pada kondisi model yang sama. Kecenderungan tersebut juga sejalan secara umum

dengan hasil (Anastasia dkk., 2024), yang menunjukkan bahwa konfigurasi V terbalik dapat membatasi perpindahan lebih efektif dibandingkan V pada model yang mereka teliti.

6) Simpangan Antar Tingkat

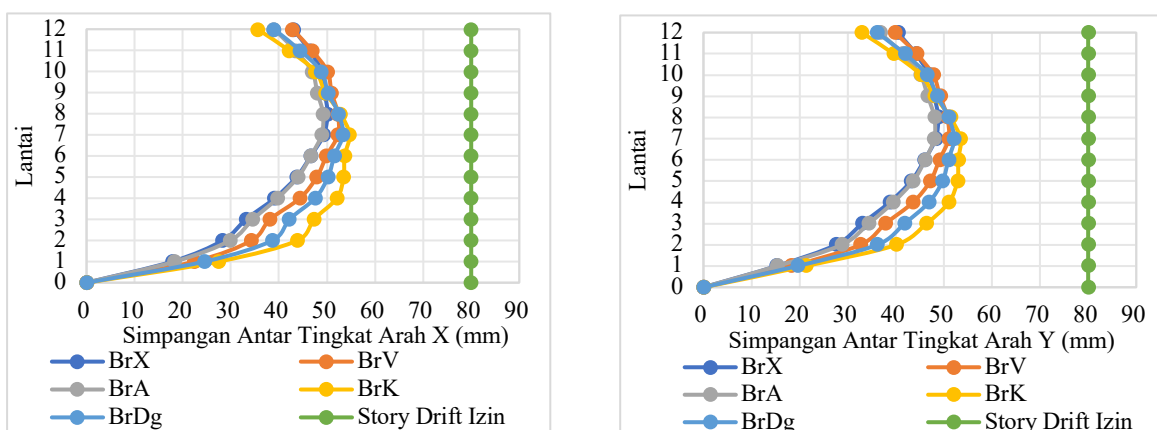
Berdasarkan hasil analisa struktur menggunakan *software* SAP 2000 didapatkan simpangan antar tingkat struktur untuk masing - masing model seperti pada tabel 10 dan tabel 11 serta gambar 9.

Tabel 10. Simpangan Antar Tingkat Arah X

Story	BrX		BrV		BrA		BrK		BrDg		Story Drift Izin	Story Drift < Δa
	X-Dir (mm)	Story Drift (mm)	X-Dir (mm)	Story Drift (mm)	X-Dir (mm)	Story Drift (mm)	X-Dir (mm)	Story Drift (mm)	X-Dir (mm)	Story Drift (mm)	mm	
12	99,21	43,01	106,49	42,81	97,71	38,99	112,07	35,57	108,58	38,98	80	OK
11	90,61	46,35	97,92	46,87	89,91	43,42	104,95	42,09	100,78	44,39	80	OK
10	81,34	48,91	88,55	50,11	81,23	46,89	96,53	47,59	91,91	48,81	80	OK
9	71,56	49,53	78,53	50,97	71,85	48,01	87,02	49,67	82,15	50,21	80	OK
8	61,65	50,11	68,33	52,27	62,25	49,18	77,08	52,82	72,10	52,43	80	OK
7	51,63	49,31	57,88	52,29	52,41	48,88	66,52	54,68	61,62	53,31	80	OK
6	41,77	46,66	47,42	49,91	42,64	46,66	55,58	53,67	50,96	51,54	80	OK
5	32,44	43,67	37,44	47,88	33,31	43,96	44,85	53,46	40,65	50,23	80	OK
4	23,70	39,14	27,86	44,40	24,51	39,74	34,16	52,08	30,60	47,56	80	OK
3	15,87	33,18	18,98	38,16	16,57	34,58	23,74	47,29	21,09	42,20	80	OK
2	9,24	28,35	11,35	34,32	9,65	29,90	14,28	43,91	12,65	38,68	80	OK
1	3,57	17,83	4,49	22,44	3,67	18,35	5,50	27,51	4,91	24,57	80	OK

Tabel 11. Simpangan Antar Tingkat Arah Y

Story	BrX		BrV		BrA		BrK		BrDg		Story Drift Izin	Story Drift < Δa
	Y-Dir (mm)	Story Drift (mm)	Y-Dir (mm)	Story Drift (mm)	Y-Dir (mm)	Story Drift (mm)	Y-Dir (mm)	Story Drift (mm)	Y-Dir (mm)	Story Drift (mm)	mm	
12	96,03	40,42	102,28	39,84	94,69	36,69	107,02	32,91	104,24	36,14	80	OK
11	87,95	44,15	94,31	44,32	87,36	41,42	100,44	39,56	97,01	41,87	80	OK
10	79,12	46,93	85,45	47,78	79,07	45,09	92,53	45,21	88,63	46,50	80	OK
9	69,73	48,01	75,89	49,22	70,06	46,66	83,49	48,12	79,33	48,64	80	OK
8	60,13	48,81	66,05	50,72	60,72	48,02	73,86	51,33	69,61	51,00	80	OK
7	50,37	48,28	55,90	50,97	51,12	47,99	63,59	53,44	59,41	52,12	80	OK
6	40,71	45,98	45,71	49,07	41,52	46,11	52,91	53,00	48,98	50,93	80	OK
5	31,52	43,17	35,90	47,16	32,30	43,59	42,31	52,79	38,80	49,70	80	OK
4	22,88	38,69	26,46	43,58	23,58	39,44	31,75	51,02	28,86	46,87	80	OK
3	15,15	33,00	17,75	37,84	15,69	34,38	21,54	46,38	19,48	41,80	80	OK
2	8,55	27,54	10,18	32,61	8,82	28,74	12,27	40,09	11,12	36,11	80	OK
1	3,04	15,20	3,66	18,28	3,07	15,35	4,25	21,25	3,90	19,51	80	OK



Gambar 9. Simpangan Antar Tingkat Arah X dan Y

Tabel 10, Tabel 11, dan Gambar 9 menunjukkan bahwa seluruh model memenuhi batas simpangan antar lantai izin sebesar 80 mm. BrA memiliki kecenderungan simpangan yang lebih kecil dibandingkan sebagian besar model pada rentang lantai yang ditinjau dan memberikan respons drift global yang rendah pada kedua arah. Perbedaan respons antar konfigurasi menunjukkan bahwa geometri bresing mempengaruhi distribusi kekakuan sepanjang tinggi bangunan. Namun, karena seluruh model masih berada di bawah batas izin dan analisis bersifat linear-elastik, hasil ini harus dipahami sebagai perbandingan deformasi global pada kondisi desain yang digunakan, bukan sebagai evaluasi langsung terhadap kerusakan, daktilitas, atau kapasitas pascaelastik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dinamik linear respons spektrum pada gedung baja 12 lantai dengan geometri, penampang utama, pembebanan, dan parameter gempa yang sama, diperoleh kesimpulan berikut:

- Konfigurasi V terbalik (BrA) menghasilkan periode getar alami terpendek, yaitu 1,731 detik arah X dan 1,686 detik arah Y. Dibandingkan model K (BrK), periodenya sekitar 15% lebih pendek, yang menunjukkan kekakuan lateral global lebih tinggi pada model yang dianalisis.
- BrA menghasilkan demand gaya geser dasar terbesar, yaitu 3.335,766 kN arah X dan 3.385,364 kN arah Y. Nilai ini ditafsirkan sebagai demand seismik yang berkaitan dengan periode lebih pendek dan kekakuan lebih tinggi, bukan sebagai bukti langsung kapasitas seismik yang lebih besar.
- BrA juga menghasilkan perpindahan puncak terkecil, yaitu 97,712 mm arah X dan 94,694 mm arah Y, sementara seluruh konfigurasi memenuhi batas simpangan antar lantai izin 80 mm. Dengan demikian, pada kondisi model dan analisis linear yang digunakan, V terbalik memberikan respons lateral global paling kaku di antara lima konfigurasi yang dibandingkan. Implikasi hasil ini adalah bahwa konfigurasi bresing dapat menjadi variabel penting dalam pengendalian deformasi gedung baja, namun generalisasi hasil dibatasi oleh penggunaan satu geometri bangunan, satu kondisi situs, penampang yang ditetapkan sama, serta analisis linear yang tidak memodelkan tekuk pascaelastik bresing, perilaku sambungan, dan mekanisme keruntuhan.
- Penelitian lanjutan perlu mengevaluasi perilaku nonlinier dan efisiensi material sebelum rekomendasi desain yang lebih umum diberikan.

PUSTAKA

Abdulhameed, A. Z., Ahmed, M. A., & Karim, A. A. (2023). The Impact of Bracing System Distribution and Location on Seismic Performance Enhancement of Multi-Story Steel

- Buildings. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, 10(5), 1833–1841.
- Anastasia, F., Saputro, A. M. E., Lambang, G., & Budi, D. (2024). The Performance Assessment of the Structural Bracing Model for Multi-Story Building. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 14(1), 196–204.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2026). *Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak*.
- Badan Standarisasi Nasional. (1989). *SNI 03-1727:1989 Tentang Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 Tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*.
- Castaldo, P., Tubaldi, E., Selvi, F., & Gioiella, L. (2021). Seismic Performance Of An Existing RC Structure Retrofitted With Buckling Restrained Braces. *Journal of Building Engineering*, 33(July 2020), 101688. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101688>
- FEMA. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook* (Nomor January).
- Ferraioli, M., Concilio, A., & Moliterno, C. (2023). Seismic Performance Of A Reinforced Concrete Building Retrofitted With Self-Centering Shape Memory Alloy Braces. *Procedia Structural Integrity*, 44(2022), 974–981. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.126>
- Ghiasvandan, M., Alirezai, M., Mirhosseini, S. M., & Zeighami, E. (2022). Experimental And Parametric Study Of A Novel Braced System To Improve Seismic Performance. *Structures*, 45(September), 229–242. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.08.120>
- H. Chen, K. Zhang, K. Zhou, T. Feng, X. Sun, X. Kuang, Y. Li, Z. W. (2022). Research on Safety Risk Management of a Steel Bracing System. *Buildings*, 1–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/buildings12111977>
- Habib, A., Al, A., & Yildirim, U. (2021). Comparative Study Of Base-Isolated Irregular RC Structures Subjected To Pulse-Like Ground Motions With Low And High PGA / PGV ratios. *Structure*, 31(February), 2020–2021. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.02.021>
- Kalapodis, N. A., Muho, E. V., & Beskos, D. E. (2022). Seismic Design Of Plane Steel MRFS , EBFS and BRBFS by Improved Direct Displacement-Based Design Method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 153(October 2021), 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.107111>
- Mahmoudi, S. N. (2021). Experimental And Analytical Evaluation of The Seismic

- Performance of Y-Shaped Braces Equipped With Yielding Diagonal Dampers. *Journal of Building Engineering*, 42(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102362>.
- Nasional, B. S. (2020). *SNI 1727:2020 Tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*.
- Nur, S., Anwar, R., Ernanda, F., Sulton, M., & Anwar, S. A. (2025). Evaluation of Damage Assessment of the High-Rise Building with. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, 15(1), 196–204.
- Opabola, E. A., & Elwood, K. J. (2016). Seismic Performance of Reinforced Concrete Beams Susceptible to Single- Crack Plastic Hinge Behavior. *Journal of Structural Engineering*.
- Palupi, I. R., Raharjo, W., Alfiani, O. D., & Apriyanti, D. (2025). Estimate The Focal Mechanism Of Earthquake In Indonesia By Using 1-D Convolutional Neural Network (CNN). *Indonesian Journal of Applied Physics (IJAP)*, 15(2), 424–433.
- Renaldy, G. (2023). *Analisis Pengaruh Penggunaan Variasi Bresing X dan Bresing V Terhadap Respon Seismik Struktur Bangunan Gedung*. Universitas Islam Indonesia.
- Sawarkar, S., & Satone, P. S. (2022). To Study and Analyze Effects of Bracing in Design of Building. *International Journal For Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(April), 2310–2313. <https://doi.org/https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.41776>
- Sumaidi, Kartini, W. et al. (2020). Analisa Perbandingan Struktur Baja 3 Lantai Menggunakan System Cbf Dan Ebf Dengan Metode Push Over Analysis. *Jurnal Envirotek*, 12(2), 75–81.
- Susanta, F. F., Pratama, C., Aditya, T., Khomaini, A. F., Wijaya, H., & Abdillah, K. (2019). Geovisual Analytics of Spatio-Temporal Earthquake Data in Indonesia. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 2(2), 185–194.
- Zamani, S. M., Vafai, A., Aghakouchak, A. A., & Kazemi, M. T. (2012). Experimental Investigation Of Steel Frames With Single Bays Of Symmetrical Y-Shaped Concentric Bracings. *Scientia Iranica*, 19(2), 195–210. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2012.02.006>
- Zunnoorain, M., & Jaiswal, G. (2022). Diagrid and Bracing System Comparative Structural Performance and Sustainability Concept. *International Journal For Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(July), 4305–4312. <https://doi.org/https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.45980>.