



A COMPARATIVE STUDY OF THE BEHAVIOR OF STEEL STRUCTURAL BUILDINGS WITH INVERTED-V TYPE ECCENTRIC BRACING SYSTEMS AND X-TYPE CONCENTRIC BRACING SYSTEMS ON EARTHQUAKE LOADS

STUDI PERBANDINGAN PERILAKU GEDUNG STRUKTUR BAJA SISTEM BRESING EKSENTRIS TIPE INVERTED-V DAN SISTEM BRESING KONSENTRIS TIPE-X TERHADAP BEBAN GEMPA

Mohammad Rosul Zainuddin Malik¹, Bantot Sutriyono²

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil (S1) Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

E-mail: rosulzainuddin@gmail.com¹, bantot@untag-sby.ac.id²

ARTICLE INFO

Correspondent:

**Mohammad Rosul
Zainuddin Malik**
rosulzainuddin@gmail.com

Key words:

**EBF, CBF, earthquake,
story drift, performance
level**

Website:

<https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR>

Page: 714 - 730

ABSTRACT

Buildings with a vertical concept, such as apartments, hotels, and offices, have a higher risk of earthquake damage than other buildings. As for one of the solutions to overcome the strain is to add a lateral amplifier whose properties add the lateral ratifier and even be able to make the building more efficient, by weight and performance of the structure. Steel bracelets are excellent lateral confirmers with minimal structural weight additions. The study aims to compare the period, inter-storey exposure, performance level and volume of steel structures with the lateral confirmers of the eccentric inverted-V type and the concentric type X with the case study of the 15-storey apartment building of the Gunawangsa Project on Veteran street, Gresik city, building dimensions 39.1 meter x 12.2 meter with a total height of 42.7 meter. From the results of the research obtained the period of CBF type X has the shortest period of 1,649 seconds, while EBF Inverted-V of 1,71 seconds. The result of the intersection of the floor EBF Inverted-V of 6.4mm in X direction and 10.8mm in Y direction which is smaller than the result of CBF type X of 9.7mm in X direction and 15.3mm in Y direction with a difference of 34,02% in X direction, and 29.41% in Y direction. The level of performance of the structures of EBF Inverted-V and CBF type X is equally good, entering the category IO (Immediate Occupancy) in the directions of X, and LS (Life Safety) in the directions of Y where the maximum drift occurring is in the range of 0.5 - 1.5%. The weight of the structure of the CBF Type-X is 10104830,8 which is 0.18% heavier than EBF Inverted-V of 10086300 kg.

Copyright © 2023 JSCR. All rights reserved.

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Koresponden</p> <p>Koresponden</p> <p>Mohammad Rosul Zainuddin Malik rosulzainuddin@gmail.com</p> <p>Kata kunci: SRBE, SRBK, gempa, simpangan antar lantai, level kinerja</p> <p>Website: https://idm.or.id/JSCR/index.php/JSCR</p> <p>Hal: 714 - 730</p>	<p>Bangunan dengan desain vertikal, seperti apartemen, hotel, dan perkantoran memiliki risiko terhadap kerusakan akibat gempa bumi yang lebih tinggi dibandingkan bangunan lainnya. Hal ini disebabkan besarnya simpangan lateral yang diakibatkan oleh beban gempa berbanding lurus dengan tinggi bangunan. Adapun salah satu solusi mengatasi simpangan adalah dengan menambahkan pengaku lateral yang sifatnya menambah pengaku lateral dan bahkan mampu membuat bangunan lebih efisien, secara berat dan kinerja strukturnya. Bresing baja merupakan pengaku lateral yang sangat baik dengan penambahan berat struktur yang minim. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan periode, simpangan antar lantai, level kinerja dan volume dari struktur baja dengan pengaku lateral bresing eksentris tipe inverted-V dan bresing konsentris tipe X dengan studi kasus pada gedung apartemen 15 lantai Proyek Gunawangsa Jl.Veteran - Gresik, dimensi bangunan 39,1m x12,2m dengan tinggi total 42,7m. Dari hasil penelitian di dapatkan periode SRBK tipe X memiliki periode terkecil yaitu 1,649 detik, sedangkan SRBE Inverted-V sebesar 1,71 detik. Hasil simpangan antar lantai SRBE Inverted-V sebesar 6,4mm pada arah X dan 10,8mm pada arah Y yang mana lebih kecil dari hasil SRBK tipe X sebesar 9,7mm arah X dan 15,3mm arah Y dengan selisih 34,02% pada arah X dan 29,41% pada arah Y. Level kinerja struktur SRBE Inverted-V dan SRBK tipe X sama baik yaitu masuk kategori IO (Immediate Occupancy) di arah X dan LS (Life Safety) di arah Y yang mana drift maksimum yang terjadi berada direntang 0,5% - 1,5%. Berat struktur pada struktur SRBK Tipe-X adalah 10104830,8 yang mana 0,18% lebih berat dari SRBE Inverted-V sebesar 10086300 kg</p> <p style="text-align: right;">Copyright © 2023 JSCR. All rights reserved.</p>

PENDAHULUAN

Gempa adalah salah satu bencana alam yang tidak dapat diprediksi waktu serta beras frekuensinya, namun bila dilihat secara geografis kawasan *pacific ring of fire* akan sangat berpotensi terjadi gempa karena adanya pertemuan tiga lempeng tektonik dunia. Maka tidak heran jika Indonesia yang termasuk dalam kawasan *ring of fire* adalah salah satu negara yang cukup sering terjadi gempa. Jawa Timur termasuk daerah dengan potensi gempa bumi sangat tinggi, dikarenakan kondisi geologis wilayah yang teridentifikasi memiliki 7 sesar aktif dan 6 segmen sesar, adapun sesar yang dimaksud meliputi Sesar Cepu, Sesar Blumbang, Sesar Waru, Sesar Surabaya, Sesar Pasuruan, Sesar Probolinggo, Sesar Wongsorejo dengan potensi gempa rata-rata maksimum magnitudo (M) 6,1 (BNPB, 2021).

Pesatnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang konstruksi, menjadikan dampak kerusakan akibat gempa bumi dapat diredam Adapun perencanaan bangunan tahan gempa ada dua cara yaitu, bangunan direncanakan

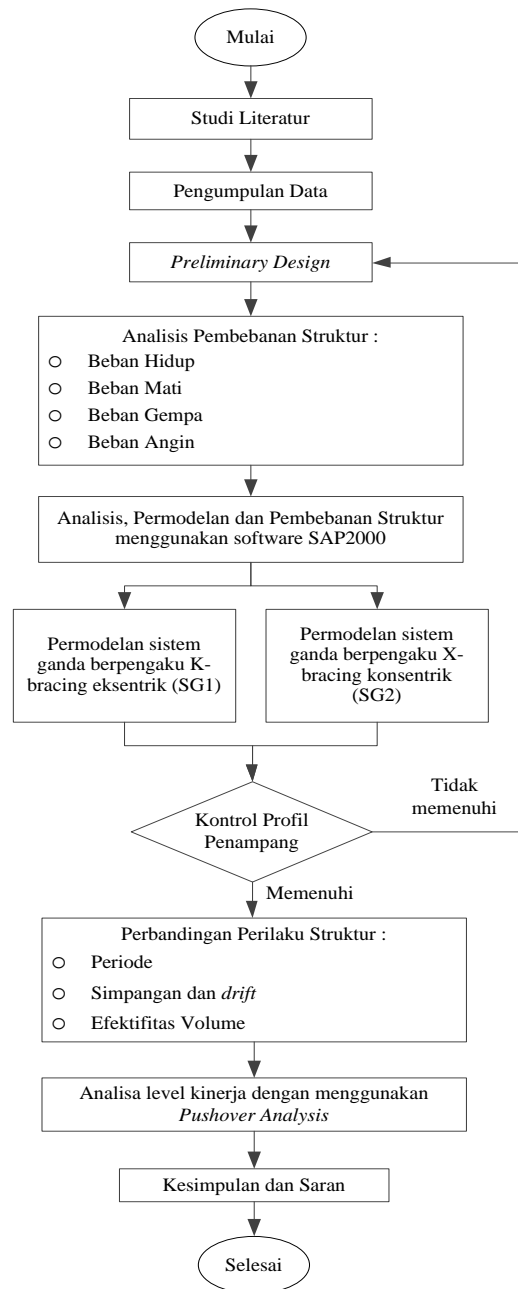
berperilaku elastis saat gempa terjadi atau bangunan direncanakan berperilaku inelastis saat gempa terjadi. Keunggulan dari struktur berperilaku elastis adalah tidak ada bagian yang berdeformasi permanen pada struktur, namun penampang elemen struktural yang dipakai akan jauh lebih besar. Keunggulan dari struktur berperilaku inelastis adalah pada elemen struktur tertentu akan mengalami kelelahan atau terplastifikasi akibat menyerap energi gempa, dan elemen struktur tersebut akan mengalami deformasi plastis, tetapi masih cukup kaku untuk tetap berdiri (tidak *collapse*).

Selain perencanaan yang baik, diperlukan material struktur yang kuat dan ductile untuk menghasilkan bangunan yang stabil, kuat dan kaku. Penggunaan material baja dinilai lebih efektif dan efisien dari pada material struktur lainnya, baja merupakan material dengan kemampuan berdeformasi inelastis yang baik, selain itu, baja memiliki bobot yang ringan dengan kekuatan, kekakuan dan daktilitas yang tinggi di mana besarnya gaya gempa berbanding lurus dengan berat bangunan (Fambudi *et al.*, 2021). Dan adapun untuk mengatasi masalah kekakuan dan fleksibilitas struktur saat terjadi gempa, salah satu solusinya dengan menambahkan pengaku lateral pada struktur (Trimurtiningrum *et al.*, 2021). Pada peraturan SNI 1726-2019 ada tiga macam sistem pengaku lateral struktur yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen, sistem *Shear Wall* (Dinding Geser) dan sistem Pengaku Diagonal

Berdasarkan uraian diatas, penelitian ini bermaksud melakukan analisis perbandingan bangunan struktur baja antara dua permodelan sistem yaitu sistem ganda dengan pengaku bresing eksentris SRBE tipe *Inverted-V* (SG1) dan sistem ganda dengan pengaku bresing konsentris SRBK tipe X (SG2) yang diaplikasikan pada gedung apartemen 15 lantai, kualifikasi situs tanah SD pada proyek Gunawangsa, yang berlokasi di Gresik - Jawa Timur, dengan metode respons spectrum dan untuk analisis level kinerja menggunakan analisis *static non-linear pushover*.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan tahapan seperti diagram alir pada Gambar 1. Literatur pada penelitian ini antara lain: SNI 1726-2019 untuk perhitungan beban gempa, SNI 1727-2020 untuk perhitungan beban gravitasi, SNI 1729-2020 untuk desain bangunan baja dan SNI 7860-2020 untuk parameter perencanaan dan ketentuan seismik struktur baja.

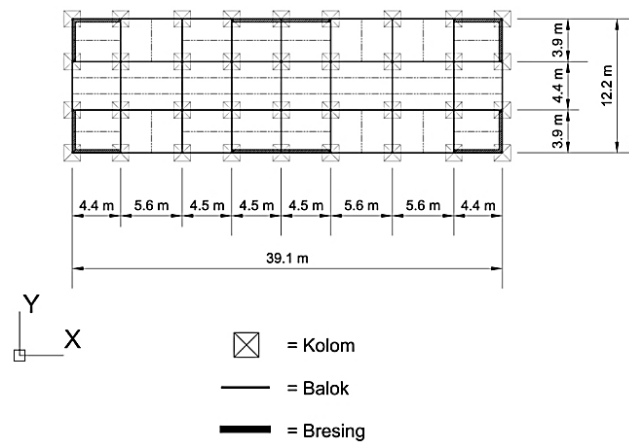


Gambar 1. Diagram Alir

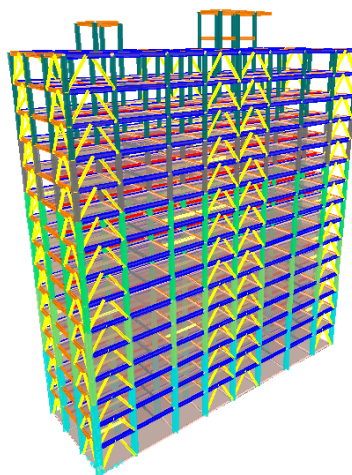
Pengumpulan data skunder berupa data tes tanah, data gempa dan deskripsi bangunan, (Tabel 1). Dari data skunder yang diperoleh dilakukan preliminary desain untuk menentukan dimensi element struktur berdasarkan SNI 1729-2020 dan SNI 7860-2020. Analisis dan permodelan struktur 3D memakai bantuan program SAP2000 v.22.

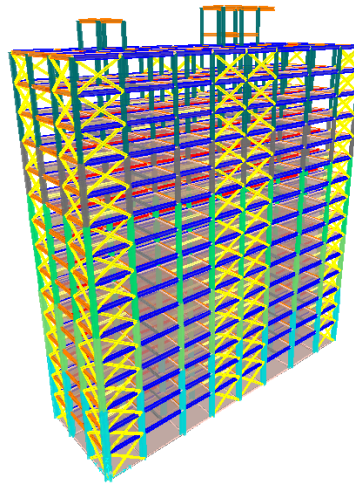
Tabel 1. Deskripsi Bangunan

	Deskripsi
Sistem Struktur	- SRBE <i>Inverted-V</i> (SG1) - SRBK Tipe X (SG2)
Fungsi Bangunan	Apartment
Material	Baja
Jumlah Lantai	15 lantai
Lokasi	Gresik
Tipe Tanah	Tanah Sedang
Panjang Bangunan	39,1 m
Lebar Bangunan	12,2 m
Tinggi Bangunan	42,7 m
Tinggi antar tingkat	3.5 m (lantai 1) 2.8 m (lantai 2~15)



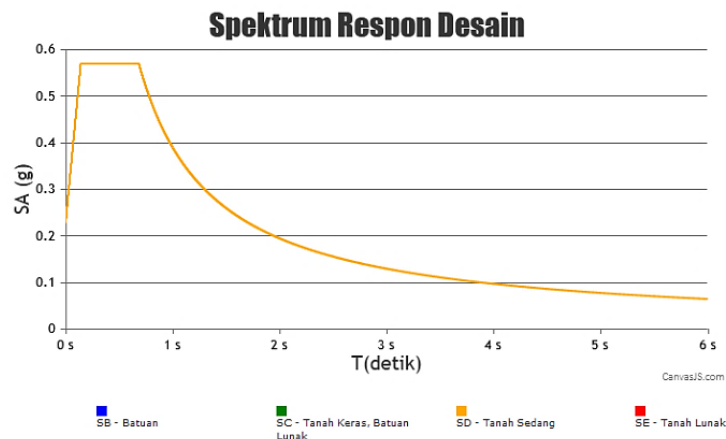
Gambar 1. Layout Lantai 1~ Lantai 15

Gambar 2. Permodelan Sistem Rangka Bresing Eksentrik *Inverted-V*



Gambar 3. Permodelan Sistem Rangka B्रेसing Konsentris Tipe X

Analisis beban gempa menggunakan analisis dinamis respons spektrum dimana grafik sebagai berikut:



Gambar 4. Grafik respon spektrum tanah sedang Kota Gresik

Pembebanan yang digunakan antara lain:

1. Beban Mati (D), Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPUGR) 1987.
2. Beban Hidup (L) berdasarkan pada SNI 1727-2020
3. Beban Angin (W) berdasarkan pada SNI 1727-2013 pasal 26
4. Beban Gempa (EQ) berdasarkan pada SNI 1726-2019
5. Kombinasi pembebanan yang digunakan berdasarkan SNI 1727-2020

Setelah kontrol profil penampang memenuhi syarat SNI 7860-2020, dilanjutkan analisis struktur yakni:

1. Kontrol sistem ganda

Berdasarkan SNI 1726-2019 pasal 7.2.5.1 untuk sistem ganda, portal rangka pemikul momen khusus, SRPMK minimum memikul 25% gaya gempa desain.

2. Periode struktur

Periode fundamental (SNI 1726-2019) pendekatan T_a menggunakan persamaan berikut:

$$T_a = C_t h_n^x$$

Di mana:

C_d : faktor pembesaran simpangan lateral

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

I_e : faktor keutamaan gempa

Apabila Periode fundamental analisis lebih besar dari $T_{max} = C_u T_a$ maka periode struktur harus diambil sebesar T_{max}

3. Simpangan dan story drift

Penentuan simpangan dihitung sebagai selisih antar simpangan antara diatas dan dibawah tingkat yang ditinjau (SNI 1726-2019; Pasal 7.8.6)

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Di mana:

C_d : faktor pembesaran simpangan lateral

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

I_e : faktor keutamaan gempa

Syarat simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δ_a). Dengan persamaan berikut:

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

Di mana:

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

Δ_a : simpangan ijin (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil preliminary design

Pelat lantai 1~14 menggunakan bordek + beton tebal 12cm, dan plat lantai 15 (atap) menggunakan bordek + beton tebal 9cm, mutu beton $f'c$ 25Mpa, boder Super Floor Deck.

Dalam SNI 1729-2020 bab D, rasio kelangsingan untuk komponen struktur yang mengalami tarik dibatasi tidak boleh melebihi 300. Dimensi balok induk yang digunakan sebaiknya tidak lebih besar dari dimensi kolom untuk menghindari kegagalan pada kolom. Dalam perencanaan ini pada lantai 1-15 digunakan balok WF 400.200.8.13 untuk arah X dan WF 350.175.7.11 untuk arah Y. Komponen *link* dan balok luar *link* menggunakan profile yang sama seperti balok induk baik arah X dan Y

Dimensi balok anak memiliki dimensi yang lebih kecil dari balok induk untuk menghindari kegagalan pada balok induk. Dalam perencanaan ini pada lantai 1-15 digunakan balok WF 200.100.5,5.8, WF 175.90.5.8 untuk arah X dan WF 250.125.6.9 untuk arah Y

Dalam ketentuan SNI 7860-2020, rasio kelangsingan breis dibatasi tidak boleh melebihi 200. Selain harus memenuhi persyaratan kelangsingan, bresing juga harus memenuhi rasio lebar terhadap tebal yang diatur dalam SNI 7860-2020, Tabel D1.1 Dalam perencanaan ini bresing megggunakan profil baja WF. 200.150.6.9 untuk lantai 1-15 pada arah X dan Y

Kolom didesain dominan mengalami tekan, sehingga rasio kelangsingan dibatasi sebesar 200 berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan dalam SNI 1729-2020 bab E. Dalam perencanaan ini menggunakan profil king cross King Cross 800.300.10.16

untuk kolom lantai 1-3, King Cross 700.300.13.24 untuk lantai 4-6, King Cross 588.300.12.20 untuk lantai 7-10, King Cross 600.200.11.17 untuk lantai 11-12, King Cross 500.200.10.16 untuk lantai 13-15 Tinggi kolom yang digunakan adalah 350 cm untuk lantai 1 dan 280 cm untuk lantai 2-15 dengan catatan kolom telah memenuhi persyaratan rasio kelangsingan.

2. Cek persyaratan sistem ganda

Area sistem rangka pemikul momen minimum memikul 25% dari beban gempa dan untuk struktur pengaku lateral maksimum memikul 75% beban gempa arah X dan arah Y

Tabel 2. Kontrol sistem ganda SRBE *Inverted-V*

Arah	Gaya reaksi pemikul beban lateral (kN)	Gaya geser dasar (kN)	Kontribusi (%)
X	688,453	2171,59	31,7
Y	1124,408	1734,975	64,81

Tabel 3. Kontrol Sistem Ganda SRBK Tipe-X

Arah	Gaya reaksi pemikul beban lateral (kN)	Gaya geser dasar (kN)	Kontribusi (%)
X	875,445	3244,03	26,98
Y	1287,518	2489,643	51,71

Hasil analisis kontrol sistem ganda menunjukkan bahwa arah X dan arah Y sudah memenuhi syarat, yang mana tidak ada kontribusi yang kurang dari 25% dan melebihi dari 75%. Reaksi gaya geser dasar struktur SRBE *Inverted-V* arah X dan Y sebesar 31,7% dan 64,81%. Dan struktur SRBK Tipe-X arah X dan Y sebesar 26,98% dan 51,71%

3. Cek periode struktur

Pengendalian periode getaran sangat penting untuk menghindari perilaku struktur yang terlalu fleksibel.

Struktur mempunyai periode getar dimana struktur cenderung bergetar bila terkena beban lateral seperti angin atau gempa bumi. Dengan mengendalikan periode getaran, dapat dipastikan bahwa struktur mempunyai kekakuan yang cukup dan mempunyai kapasitas beban lateral yang baik.

Hasil analisis periode struktur SRBE *Inverted-V* pada Table 4. Menunjukkan periode terpanjang terdapat pada *mode shape* ke-1 sebesar 1,714 detik, hal ini melebihi batas periode maksimum T_{max} . Sehingga periode yang digunakan untuk perhitungan gaya geser dasar statik adalah $T_{max} = 1,710$ s.

Tabel 4. Periode SRBE *Inverted-V*

Mode	Period	Frequency
	Sec	Cyc/sec
1	1.714	0.584
2	1.265	0.790
3	1.162	0.860
4	0.793	1.260
5	0.624	1.601
6	0.623	1.606
7	0.553	1.810
8	0.505	1.982
9	0.470	2.127
10	0.456	2.193
11	0.445	2.248
12	0.396	2.523
13	0.374	2.677
14	0.357	2.797
15	0.346	2.890
16	0.345	2.898
17	0.323	3.098
18	0.316	3.164
19	0.310	3.224
20	0.310	3.226

Hasil analisis struktur SRBK tipe X menunjukkan getar periode sebesar 1,649 detik. Nilai siklus ini berada dalam rentang siklus getaran minimum $T_{\min} = 1,22$ detik dan periode getaran maksimum $T_{\max} = 1,71$ detik. Hal ini menunjukkan bahwa periode pada struktur memenuhi persyaratan pasal 7.8.2 SNI 1726-2019

Tabel 5. Periode SRBK Tipe X

Mode	Period	Frequency
	Sec	Cyc/sec
1	1.649	0.607
2	1.152	0.868
3	1.069	0.935
4	0.767	1.304
5	0.620	1.612
6	0.600	1.666
7	0.545	1.836
8	0.492	2.032
9	0.466	2.147
10	0.446	2.240
11	0.430	2.324
12	0.389	2.568
13	0.369	2.710
14	0.357	2.798
15	0.345	2.898
16	0.340	2.941
17	0.319	3.134
18	0.314	3.180
19	0.309	3.238
20	0.305	3.274

4. Cek simpangan dan story drift

Simpangan dapat disebut sebagai perpindahan suatu titik atau lantai terhadap kedudukan awalnya. Batas *story drift* ditentukan dalam SNI 1729-2019 Pasal 7.12.1 untuk stuktur dengan sistem rangka bresing eksentris dan konsentris masuk dalam kategori semua struktur lainnya dengan kategori risiko bangunan adalah II. Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1.1, untuk struktur yang didesain pada kategori desain seismik (KDS) D, maka simpangan antar tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi (Δ_a/ρ) , dengan nilai faktor redudansi (ρ) sebesar 1,3. Maka nilai batas simpangan ijin yang diperoleh adalah 0.043m atau 43mm

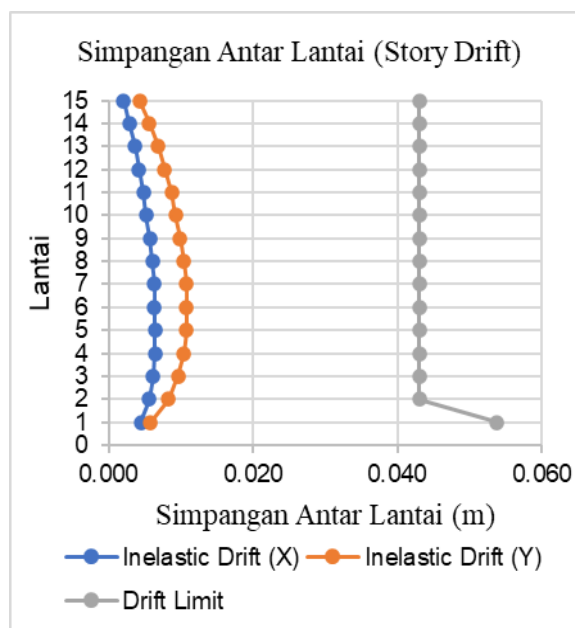
Hasil analisis struktur SRBE *Inverted-V* pada Tabel 6 simpangan telah memenuhi persyaratan SNI 1726-2019, yakni simpangan yang terjadi tidak melebihi batas simpangan ijin. Adapun simpangan antar lantai terbesar pada arah X adalah 6,4 mm dan pada arah Y terjadi di lantai 5 masing-masing sebesar 0,0064 m = 6,4 mm dan 0.0108 m = 10,8 mm.

Tabel 6. Simpangan dan drift SRBE *Inverted-V* arah Y

Lantai i	Simpangan	$\delta x \cdot Cd/I$	Simpangan antar lantai	Tinggi lantai	Simpangan ijin	Status
	δx m	δx m	Δx m	hsx m	Δa m	
15	0.0323	0.129	0.0043	2.8	0.043	Aman
14	0.0312	0.125	0.0056	2.8	0.043	Aman
13	0.0298	0.119	0.0069	2.8	0.043	Aman
12	0.0281	0.112	0.0078	2.8	0.043	Aman
11	0.0262	0.104	0.0087	2.8	0.043	Aman
10	0.024	0.096	0.0093	2.8	0.043	Aman
9	0.0217	0.086	0.0099	2.8	0.043	Aman
8	0.0192	0.076	0.0104	2.8	0.043	Aman
7	0.0166	0.066	0.0108	2.8	0.043	Aman
6	0.0139	0.055	0.0107	2.8	0.043	Aman
5	0.0112	0.045	0.0108	2.8	0.043	Aman
4	0.0085	0.034	0.0105	2.8	0.043	Aman
3	0.0059	0.023	0.0097	2.8	0.043	Aman
2	0.0035	0.014	0.0083	2.8	0.043	Aman
1	0.0014	0.005	0.0058	3.5	0.054	Aman

Tabel 7. Simpangan dan drift SRBE *Inverted-V* arah X

Lantai	Simpangan	$\delta x \cdot Cd/I$	Simpangan antar lantai	Tinggi lantai	Simpangan ijin	Status
i	δx m	δx m	Δx m	hsx m	Δa m	
15	0.019	0.076	0.0021	2.8	0.043	Aman
14	0.0186	0.074	0.0029	2.8	0.043	Aman
13	0.0178	0.071	0.0037	2.8	0.043	Aman
12	0.0169	0.068	0.0042	2.8	0.043	Aman
11	0.0159	0.063	0.0048	2.8	0.043	Aman
10	0.0147	0.059	0.0052	2.8	0.043	Aman
9	0.0134	0.053	0.0057	2.8	0.043	Aman
8	0.0119	0.048	0.006	2.8	0.043	Aman
7	0.0104	0.042	0.0063	2.8	0.043	Aman
6	0.0088	0.035	0.0063	2.8	0.043	Aman
5	0.0073	0.029	0.0064	2.8	0.043	Aman
4	0.0057	0.023	0.0064	2.8	0.043	Aman
3	0.0041	0.016	0.0061	2.8	0.043	Aman
2	0.0025	0.01	0.0056	2.8	0.043	Aman
1	0.0011	0.005	0.0045	3.5	0.054	Aman

Gambar 5. Grafik Simpangan antar lantai SRBE *Inverted-V*

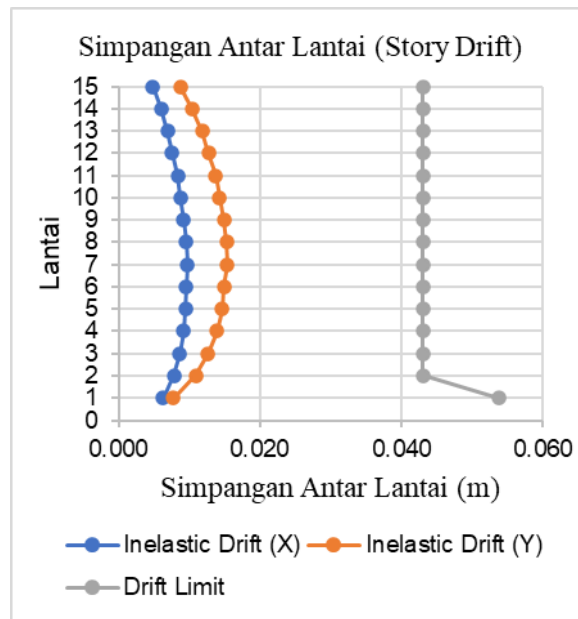
Hasil analisis struktur SRBK tipe X pada Tabel 8. Adapun simpangan terbesar yang terjadi pada lantai untuk arah X dan arah Y dengan nilai $0.0097 \text{ m} = 9,7 \text{ mm}$ dan $0.0153 \text{ m} = 15,3 \text{ mm}$.

Tabel 8. Simpangan dan drift SRBK tipe X arah Y

Lantai	Simpangan	$\delta x \cdot Cd/I$	Simpangan antar lantai	Tinggi lantai	Simpangan ijin	Status
i	δx m	δx m	Δx m	hsx m	Δa m	
15	0.0383	0.191	0.0087	2.8	0.043	Aman
14	0.0365	0.182	0.0104	2.8	0.043	Aman
13	0.0345	0.172	0.0118	2.8	0.043	Aman
12	0.0321	0.16	0.0127	2.8	0.043	Aman
11	0.0296	0.148	0.0137	2.8	0.043	Aman
10	0.0268	0.134	0.0143	2.8	0.043	Aman
9	0.0240	0.12	0.0149	2.8	0.043	Aman
8	0.0210	0.105	0.0152	2.8	0.043	Aman
7	0.0179	0.09	0.0153	2.8	0.043	Aman
6	0.0149	0.074	0.0149	2.8	0.043	Aman
5	0.0119	0.059	0.0146	2.8	0.043	Aman
4	0.0090	0.045	0.0139	2.8	0.043	Aman
3	0.0062	0.031	0.0126	2.8	0.043	Aman
2	0.0037	0.018	0.0109	2.8	0.043	Aman
1	0.0015	0.007	0.0077	3.5	0.053	Aman

Tabel 9. Simpangan dan drift SRBK tipe X arah X

Lantai	Simpangan	$\delta x \cdot Cd/I$	Simpangan antar lantai	Tinggi lantai	Simpangan ijin	Status
i	δx m	δx m	Δx m	hsx m	Δa m	
15	0.0243	0.122	0.0048	2.8	0.043	Aman
14	0.0233	0.117	0.0060	2.8	0.043	Aman
13	0.0221	0.111	0.0069	2.8	0.043	Aman
12	0.0208	0.104	0.0075	2.8	0.043	Aman
11	0.0193	0.096	0.0083	2.8	0.043	Aman
10	0.0176	0.088	0.0087	2.8	0.043	Aman
9	0.0159	0.079	0.0092	2.8	0.043	Aman
8	0.014	0.07	0.0095	2.8	0.043	Aman
7	0.0121	0.061	0.0097	2.8	0.043	Aman
6	0.0103	0.051	0.0095	2.8	0.043	Aman
5	0.0083	0.041	0.0095	2.8	0.043	Aman
4	0.0065	0.032	0.0092	2.8	0.043	Aman
3	0.0045	0.023	0.0086	2.8	0.043	Aman
2	0.0028	0.014	0.0078	2.8	0.043	Aman
1	0.0012	0.006	0.0062	3.5	0.054	Aman



Gambar 6. Grafik Simpangan antar lantai SRBK Tipe X

Dari hasil tersebut, selisih nilai simpangan antar lantai dari SRBE *Inverted-V* untuk arah X adalah 34,02% dan arah Y 29,41% lebih kecil dari SRBK Tipe-X.

5. Perbandingan berat bangunan

Selisih perhitungan berat struktur menggunakan program bantu SAP2000 dengan hasil perhitungan manual pada struktur SRBE *Inverted-V* sebesar 0,463% (Tabel 10)

Tabel 10. Perbandingan Berat Struktur Manual dan SAP2000, SRBE *Inverted-V*

Lantai	Berat
15 (Atap)	75067 kg
2 ~ 14	6426325,1 kg
1	540987,7 kg
Berat Material	2997247,5 kg
Total	10039627,3 kg
SAP2000	10086300 kg
Error	0,463 %

Selisih perhitungan berat struktur menggunakan program bantu SAP2000 dengan hasil perhitungan manual pada struktur SRBK tipe X sebesar 0,463% (Tabel 11).

Tabel 11. Perbandingan Berat Struktur Manual dan SAP2000, SRBK tipe X

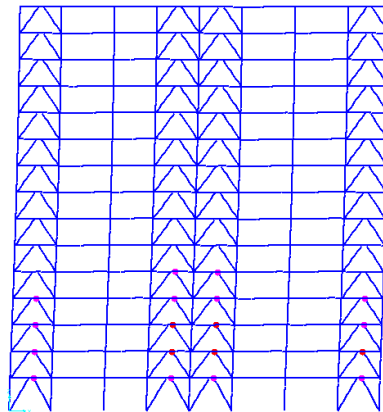
Lantai	Berat
15 (Atap)	75067 kg
2 ~ 14	6426325,1 kg
1	540987,7 kg
Berat Material	3015666,5 kg
Total	10058046,5 kg
SAP2000	10104830,8 kg
Error	0,463 %

Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan berat struktur manual dan SAP, persentase selisih masing-masing berat struktur yang dihasilkan relatif kecil yakni kurang dari 5%. Artinya tidak ada perbedaan yang signifikan dari hasil input pembebanan di SAP2000, sehingga dapat dikatakan bahwa output yang dihasilkan SAP2000 konsisten dan akurat. Dari hasil kedua model struktur, SRBE *Inverted-V* memiliki berat struktur 10086300 kg, lebih ringan 0,18% dari Struktur SRBK Tipe-X 10104830,8 kg. Hal ini disebabkan perbedaan panjang bresing yang digunakan.

6. Pembentukan sendi plastis

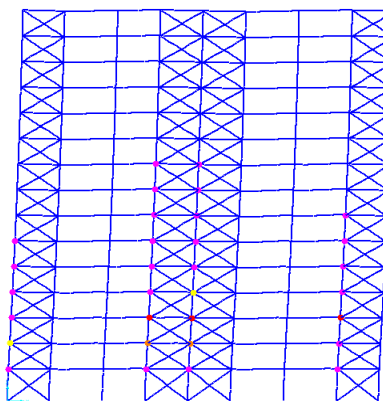
Analisis pushover adalah metode di mana suatu struktur dikenakan gaya gempa struktural yang dianggap sebagai beban statis, yang nilainya meningkat secara bertahap hingga batas beban terlampaui, sehingga mengakibatkan terbentuknya sendi plastis.

Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan letak sendi plastis yang terjadi di luar struktur. Pada Gambar 7 struktur berada pada step 6 terlihat adanya sendi plastis berwarna merah terletak berada sambungan *link* dengan bresing. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi sendi plastis pada permodelan SRBE *Inverted-V* sudah sesuai dengan yang direncanakan yaitu terjadi sekitar daerah *link*.



Gambar 7. Sebaran Sendi Plastis Pada SRBE *Inverted-V* Dengan Pushover Analisis

Pada model struktur SRBE Tipe X pada Gambar 8 struktur berada pada step 9 terlihat sendi plastis banyak terbentuk didaerah bresing dan balok. Sendi plastis yang terbentuk sesuai dengan yang ditinjau dimana area bresing terlebih dahulu mengalami kelelahan.

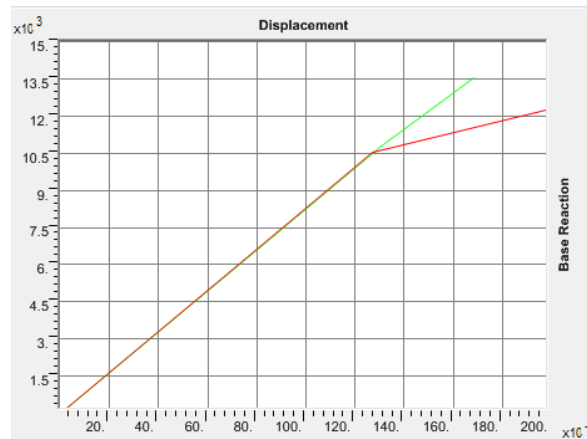


Gambar 8. Sebaran Sendi Plastis pada SRBK Tipe X dengan Pushover Analisis

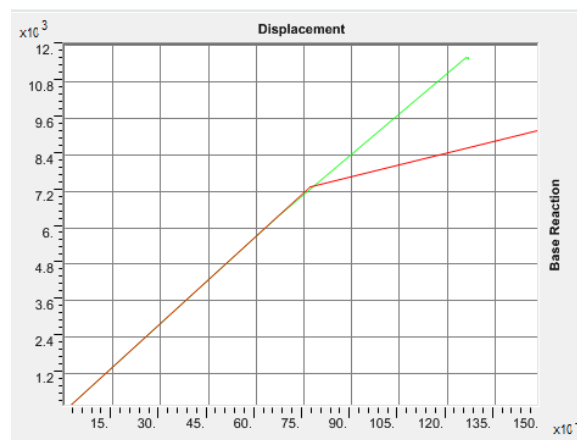
7. Perbandingan kinerja struktur

Evaluasi kinerja struktural berdasarkan analisis pushover secara otomatis diperoleh dari hasil keluaran SAP2000. Analisis pushover dengan cara mereduksi spektrum respon sesuai dengan derajat redaman akibat plastisasi akibat beban yang diterapkan. Setelah itu diperoleh *performance point* serta pada step ke berapa *performance point* tersebut tercapai.

Hasil kurva kapasitas dan kebutuhan disajikan menurut metode FEMA 356 yang menjadi salah satu metode analisis nonlinier pushover di SAP2000. Hasil kurva pushover untuk permodelan SRBE *Inverted-V* dan SRBK Tipe X sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik pushover SRBE *Inverted-V*



Gambar 10. Grafik pushover SRBK Tipe X

Dari kurva pushover FEMA 356 level kinerja ditentukan oleh besarnya *drift ratio* yang terjadi. *Drift ratio* maksimum dan level kinerja disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Evaluasi kinerja struktur

Model	Arah	Drift maksimum	Level kinerja
SRBE <i>Inverted-V</i>	X	0.46%	IO
	Y	0.585%	LS
SRBK Tipe X	X	0.43%	IO
	Y	0.558%	LS

SIMPULAN

1. Struktur SRBE *Inverted-V* memiliki nilai simpangan diarah X dan arah Y masing-masing sebesar 19,07 mm dan 32,33 mm dengan simpangan antar lantai terbesar pada arah X adalah 6,4 mm dan arah Y sebesar 10,8 mm. Sedangkan nilai simpangan yang dihasilkan dari struktur SRBK Tipe-X pada arah X adalah 24,3 mm dan arah Y sebesar 38,31 mm dengan nilai simpangan antar lantai terbesar untuk arah X dan arah Y masing-masing sebesar 9,7 mm dan 15,3 mm. Dari hasil tersebut, selisih nilai simpangan antar lantai dari SRBE *Inverted-V* untuk arah X adalah 34,02% dan arah Y 29,41% lebih kecil dari SRBK Tipe-X
2. Perbandingan kinerja struktur yang diperoleh berdasarkan hasil drift maksimum menggunakan metode FEMA 356, struktur SRBE *Inverted-V* memiliki drift maksimum yang lebih besar dari struktur SRBK Tipe-X. Dengan hasil *drift* maksimum SRBE *Inverted-V* sebesar 0,46% diarah X dan 0,585% diarah Y. Sedangkan SRBK Tipe-X sebesar 0,43% diarah X dan 0,558% diarah Y. Dari nilai tersebut kedua struktur memiliki level kinerja yang baik diarah X maupun arah Y, yaitu berada ditingkat kinerja IO (*Immediate Occupancy*) di arah X dan LS (*Life Safety*) di arah Y dimana nilai drift maksimum yang terjadi berada direntang 0,5% - 1,5%
3. Berat struktur yang didapatkan pada struktur baja SRBE *Inverted-V* diperoleh 10086300 kg dengan periode 1,619 detik. Sedangkan berat struktur pada struktur baja SRBK Tipe-X adalah 0,18% lebih berat dari berat SRBE *Inverted-V* yakni, 10104830,8 kg dengan periode sebesar 1,5 detik. Perbedaan berat ini disebabkan karena perbedaan panjang bresing dengan bresing terpanjang 3.3 m untuk SRBE *Inverted-V* dan 5.7 m untuk SRBK Tipe-X.

DAFTAR PUSTAKA

- AISC. 2016. "Specification for Structural Steel Buildings, ANSI / AISC 360-16." American Institute of Steel Construction.
- American Institute of Steel Construction (AISC). 2016. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings ANSI/AISC 341-16: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.
- ASCE. 2000. "Federal Emergency Management Agency, FEMA-356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building." Rehabilitation (November).
- ATC-40. 1996. "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings." Applied Technology Council 1.
- Athoillah, Ahmad, Syaichul Ghulam, dan Bantot Sutriyono. 2023. "Alternatif Desain Struktur Gedung Universitas Muhammadiyah Lamongan Menggunakan Dual System Ebf Tahan Gempa." *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri* 3(1): 767-74. www.scielo.org.mx.
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2020. "Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain 1727:2020." Badan Standarisasi Nasional 1727:2020 (8).

- Badan Standar Nasional Indonesia. 2020a. "SNI 1729 Tahun 2020 Tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural." Badan Standardisasi Nasional (8).
- Badan Standar Nasional Indonesia. 2020b. Badan Standardisasi Nasional SNI 7860:2020 Ketentuan Seismik Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
- Badan Standardisasi Nasional Indonesia. 2019. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- Dhia, F. 2021. "Studi Perbandingan perencanaan Gedung Perkantoran 7 Lantai Menggunakan Sistem Rangka Bresing Tipe X-1 dan Tipe X-2". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya.
- Fambudi, Ivan Oky Febry, Bantot Sutriyono, Retno Trimurtiningrum, dan Nurul Rochmah. 2021. "Modifikasi Perencanaan Gedung Apartemen Gunawangsa Gresik Dengan Struktur Baja Tahan Gempa." *Extrapolasi* 17(1).
- FEMA. 2009. "FEMA P440 - Effects of Strength and Stiffness Degradation on Seismic Response." Fema P440a (June).
- Kairatun, Isna, Ery Budiman, dan Mardewi Jamal. 2019. "Analisis Pushover Pada Struktur Baja Dengan Bresing Menggunakan SAP2000." *Jurnal Teknologi Sipil* 3(1).
- Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. 2017. *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.
- N.S., Agustinus Putra, dan Cindrawaty Lesmana. 2019. "Analisis Kelayakan Struktur Bangunan Publik 5 Lantai di Kota Jakarta." *Jurnal Teknik Sipil* 14(2).
- Nince Afrida, Sania, dan Dan Retno Trimurtiningrum. 2023. "Perbandingan Perilaku Struktur Baja Sistem Rangka Bresing Eksentris Tipe Two Story-X Dan Inverted-V." 12(1): 66-74. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/>.
- Simatupang, Alfredo. 2015. "Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Kampus Unesa Menggunakan Baja Sistem Eccentrically Braced Frames (EBF)." : 289. <http://repository.its.ac.id/63265/>.
- Sudarsana, I Ketut, Ida Ayu MAde Budiwati, dan I Gede Juliarta. 2015. "Analisis Perbandingan Efisiensi Struktur Baja Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Rangka Bresing Eksentrik Pada Level Kinerja Yang Sama." In *Seminar Nasional Teknik Sipil* 1,.
- Trimurtiningrum, Retno *et al.* 2021. "Studi Perbandingan Perilaku Gedung Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda dengan Dinding Geser dan Bresing Terhadap Beban Gempa." *Axial : Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi* 9(3): 133.