

Pengaruh Bentuk *Bracing* terhadap Kinerja Seismik Struktur Beton Bertulang

DARIN ARYANDI, BERNARDINUS HERBUDIMAN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email: darin.aryandi@gmail.com

ABSTRAK

Sistem rangka bresing baja konsentrik merupakan salah satu sistem struktur tahan gempa yang biasanya digunakan di Indonesia. Bresing konsentrik memiliki ragam bentuk diantaranya tipe Z, X, V dan Λ . Penelitian ini bertujuan mengetahui kapasitas dan kinerja seismik struktur masing-masing bentuk bresing melalui pemodelan analisis pushover. Objek penelitian membandingkan 2 tipe struktur simetris yaitu tipe 1 berupa portal terbuka dan tipe 2 berupa portal terbuka yang dikombinasikan dengan bentuk-bentuk bresing konsentrik. Hasil penelitian menunjukkan bresing bentuk X memiliki sifat paling kaku untuk arah UX dan UY dengan rasio sebesar 0,34 dan 0,41 dari struktur tipe 1, sedangkan bresing bentuk Λ memiliki sifat paling daktail diantara bentuk bresing lainnya. Kapasitas gaya geser lantai dasar mengalami peningkatan paling besar untuk bresing bentuk X dengan rasio sebesar 1,63 untuk arah UX dan UY. Level kinerja untuk struktur tipe 1 dan 2 adalah immediate occupancy berdasarkan metode ATC-40.

Kata kunci: *bresing, pushover, simetris*

ABSTRACT

Concentrically steel bracing system is one of earthquake-resistant structure system that usually used in Indonesia. Concentrically bracing have a variety of shape configuration including Z-type, X, V and Λ . The purpose of this study is to determine structural capacity and seismic performance building for each bracing configuration with pushover analysis. The object of this study have two different symmetrical structures that is open frame for type 1 and type 2 is combined open frame with concentrically bracing configuration variety. The study result show that X-brace has the most rigid for direction UX and UY with ratio is 0.34, 0.41 of the structure type 1, while Λ -brace has the most ductile between other bracing configuration. The most increase base shear capacity has a X-brace with ratio is 1.63 for direction UX and UY. Performance level for structure type 1 and 2 is immediate occupancy according to ATC-40 method.

Keywords: *bracing, pushover, symmetric*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan penduduk di Indonesia yang semakin tinggi menjadi salah satu tuntutan dilaksanakannya pembangunan gedung perkantoran demi memenuhi kebutuhan lapangan pekerjaan seiring meningkatnya usia produktif. Gedung perkantoran bertingkat tinggi merupakan salah satu alternatif untuk memenuhi kebutuhan penduduk terutama di daerah perkotaan akibat terbatasnya lahan yang ada.

Tantangan yang dihadapi oleh konstruksi gedung bertingkat tinggi di Indonesia adalah ancaman bencana alam gempa bumi. Hal ini dikarenakan sebagian besar wilayah Indonesia dilewati oleh beberapa pertemuan lempeng tektonik dan banyaknya gunung berapi aktif yang menyebabkan sering terjadi gempa bumi.

Terlepas dari ancaman gempa bumi, diperlukan usaha untuk memenuhi kebutuhan berupa bangunan bertingkat tinggi yang tahan terhadap pengaruh gempa. Salah satu cara agar bangunan gedung bertingkat tinggi aman terhadap gempa bumi adalah dengan menambahkan baja pengaku/bresing (*bracing*) tipe konsentrik pada struktur bangunan. Bresing dapat meminimalisir besarnya simpangan horisontal (*displacement*) dan meningkatkan kapasitas gaya geser lantai dasar (*base shear*) pada struktur sehingga kemungkinan terjadi retak (*crack*) pada sambungan antara balok dan kolom yang menyebabkan kegagalan struktur dapat dihindari.

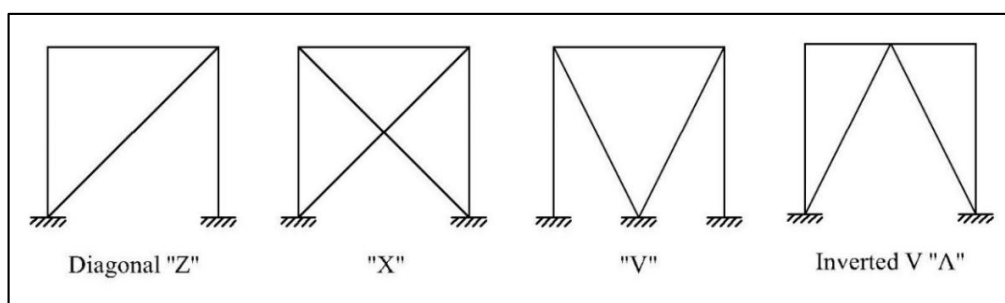
Bresing konsentrik memiliki beberapa bentuk umumnya yaitu "Z" atau diagonal, "X", "V" dan *inverted V* "Λ". Hasil penelitian Kalibhat et al (2014) menunjukkan nilai *displacement* dan *base shear* pada kurva kapasitas struktur akan menghasilkan kurva histeritik bresing tipe *inverted V* cenderung lebih luas dibandingkan dengan bresing tipe "X". Penelitian ini menganalisis kinerja struktur berbagai bentuk bresing konsentrik yang ditempatkan pada sudut denah struktur dengan tujuan tidak mengganggu komponen arsitektural.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Rangka Bresing Konsentrik (*Concentrically Bracing System*)

Bresing merupakan salah satu sistem struktur tahan gempa pada konstruksi bangunan. Umumnya ditempatkan menyilang (diagonal) dengan konfigurasi bervariasi pada bagian dalam portal struktur. Penggunaan bresing menambah kekakuan suatu portal secara efisien, karena pemasangan secara diagonal menyebabkan batang bresing hanya akan menahan gaya aksial saat melayani gaya geser horisontal (Smith and Coull, 1991).

Bresing konsentrik umumnya memiliki bentuk Z (diagonal), X, V dan *inverted V* (Λ) seperti pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Ragam bentuk bresing konsentrik

2.2 Sendi Plastis

Sendi plastis terjadi apabila kuat leleh pada suatu titik dalam elemen struktur telah tercapai, sehingga kekuatannya sudah tidak bertambah lagi tetapi regangan masih dapat bertambah. Pada struktur gedung beton bertulang sendi plastis terjadi jika respon struktur berada pada fase inelastis yang dimulai dengan lelehnya tulangan tarik (Hajati, 2015). Sendi plastis diharapkan terjadi pada ujung balok, kolom dan bresing dengan jarak diestimasikan setengah dari tinggi penampang elemen (Paulay and Priestley, 1992). Mekanisme tahapan perubahan sendi plastis dimulai pada ujung balok kemudian setelah sebagian besar/semua balok berada pada fase pasca-elastis, selanjutnya akan terjadi pada kolom yang dimulai dari kaki kolom lantai dasar (SNI 1726, 2002).

2.3 Level Kinerja Struktur

ATC-40 memaparkan secara garis besar 4 kriteria dalam batasan level kinerja struktur, yaitu:

- (1) *Operational*
merupakan kondisi dimana dapat diindikasikan tidak ada kerusakan struktural maupun non-struktural yang berarti pada struktur;
- (2) *Immediate Occupancy (IO)*
merupakan kondisi dimana diindikasikan tidak ada kerusakan berarti pada struktur. Kekuatan dan kekakuan struktur kira-kira sama dengan kondisi sebelum terjadi gempa bumi. Komponen non-struktural masih berada pada tempatnya dan sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya masih ada. Bangunan tetap dapat berfungsi tanpa terganggu masalah perbaikan;
- (3) *Life Safety (LS)*
merupakan kondisi dimana diindikasikan telah terjadi kerusakan pada elemen struktur tetapi masih bersifat daktail. Komponen non-struktural masih ada tetapi sudah tidak berfungsi. Bangunan bisa digunakan kembali setelah perbaikan;
- (4) *Collapse Prevention (CP)*
merupakan kondisi dimana diindikasikan telah terjadi kerusakan pada elemen struktural dan non-struktural. Bangunan hampir runtuh dan sudah tidak dapat digunakan kembali.

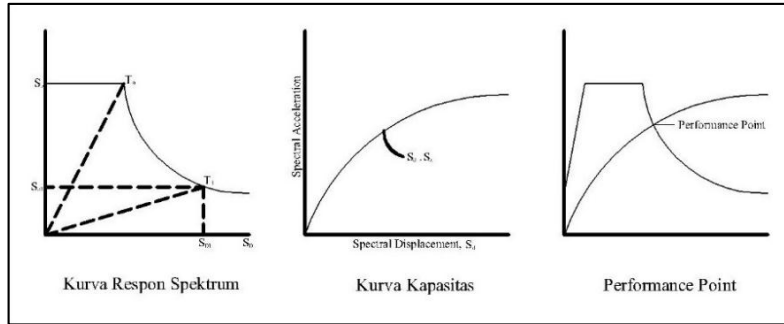
2.4 Analisis *Pushover*

Analisis *Pushover* atau beban statik dorong merupakan suatu analisis statik non-linier dimana pengaruh gempa terhadap struktur dimodelkan sebagai beban-beban statik pada pusat masa setiap lantai. Nilai beban-beban tersebut ditingkatkan secara berangsur sampai terjadi leleh (sendi plastis) tahap pertama dalam struktur bangunan gedung, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan pasca-elastis sampai mencapai kondisi plastis (Pranata, 2006).

Hasil yang diperoleh dari *pushover analysis* berupa kurva kapasitas hubungan antara gaya geser lantai dasar (*base shear*) dengan simpangan atap (*roof displacement*). Lengkung kurva menunjukkan perubahan perilaku struktur linier menjadi non-linier berupa penurunan kekakuan dan terbentuknya sendi plastis pada kolom, balok maupun bresing.

2.5 *Performance Point*

Performance point merupakan titik perpotongan antara kurva respon spektrum gempa dengan kurva kapasitas struktur. Metode penentuan kinerja struktur menggunakan ATC-40 (1996) dengan ketentuan kurva respon spektrum dan kurva kapasitas dikonversi menjadi format *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)* seperti pada **Gambar 2**. Informasi yang dapat diperoleh dari *performance point* adalah periode getar, redaman efektif akibat perubahan kekakuan struktur setelah terjadi sendi plastis, dan pemeriksaan tingkat kerusakan izin.

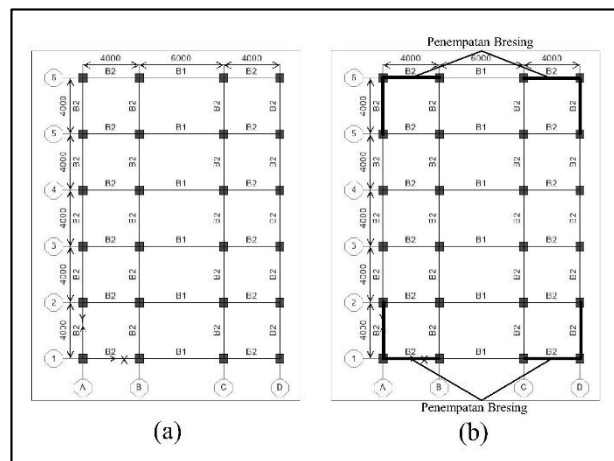


Gambar 2. Kurva respon spektrum, kapasitas dan *performance point*

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pemodelan Struktur

Struktur yang dianalisis meliputi tipe 1 yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) berupa portal terbuka dan tipe 2 yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK) dengan bentuk bresing Z, X, V dan Λ yang diletakkan pada sudut denah struktur. Lima struktur yang dianalisis menggunakan gedung setinggi 10 lantai yang difungsikan sebagai perkantoran. Denah struktur yang dianalisis dapat dilihat pada **Gambar 3a** dan **Gambar 3b**.



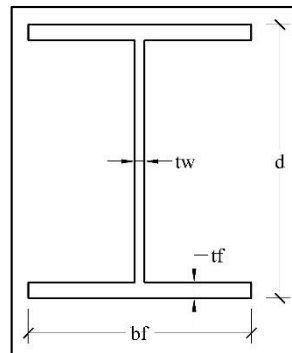
Gambar 3a. Denah struktur tipe 1 SRPMK portal terbuka
 Gambar 3b. Denah struktur tipe 2 SRBKK bentuk Z, X, V dan Λ

Data umum, mutu material dan dimensi penampang disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Struktur

Data Umum, Mutu dan Penampang	
Jumlah lantai	10 lantai
Tinggi per-lantai	4 m
Fungsi gedung	perkantoran
Mutu beton (f_c)	300 kg/cm ² (25 MPa)
Mutu tulangan (f_y)	400 MPa
Mutu bresing	Baja A36
Dimensi kolom K1	600 x 600 mm
Dimensi balok B1	400 x 600 mm
Dimensi balok B2	300 x 500 mm
Tebal pelat lantai	120 mm
Profil bresing	W8 x 28

Rincian data mutu baja dan properti penampang bresing dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Tabel 2** berikut.

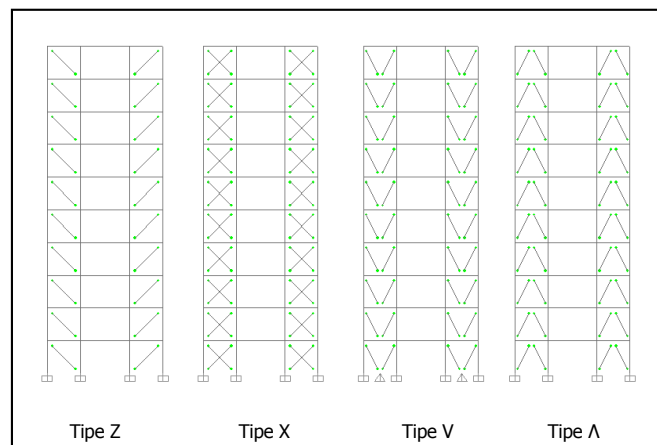


Gambar 4. Penampang bresing

Tabel 2. Data Bresing

Parameter	Nilai
f_y	36 ksi (250 MPa)
f_u	58 ksi (400 MPa)
d	8,06 in (203,2 mm)
t_w	0,285 in (7,239 mm)
b_f	6,54 in (165,1 mm)
t_f	0,465 in (11,81 mm)

Pemodelan bresing diasumsikan memiliki perletakan sendi pada kedua ujungnya dan tidak didesain untuk memikul gaya tekan. Tampak depan pemodelan untuk semua bentuk bresing dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Tampak depan pemodelan bresing

3.2 Pembebanan Akibat Gravitasi

Beban-beban akibat gravitasi yang bekerja pada struktur antara lain beban mati (*DEAD*), beban hidup (*LIVE*) dan beban mati tambahan (*SDL*). Balok memikul beban mati tambahan dinding setengah bata merah dengan berat jenis sebesar 250 kg/m² sedangkan pelat lantai memikul beban mati tambahan (keramik, spesi, langit-langit) sebesar 66 kg/m² dan beban hidup perkantoran sebesar 4,79 kN/m² kecuali lantai atap sebesar 0,96 kN/m² akibat beban hidup air hujan (SNI 1727, 2013).

3.3 Mendefinisikan Sendi Plastis

Sendi plastis pada balok dikenakan beban momen M3 (sendi plastis terjadi diakibatkan oleh momen searah sumbu lokal 3), sedangkan kolom dikenakan beban P-M2-M3 dan bresing dikenakan beban P. Jarak sendi plastis didefinisikan dengan panjang setengah tinggi penampang dari ujung elemen. Khusus untuk bresing V dan Λ , pemodelan sendi plastis balok ditambahkan pada daerah join bresing (tengah bentang) dengan tujuan pendekatan akibat ketidak-seimbangan gaya-gaya pada balok akibat gaya aksial bresing (Hewitt et al, 2009).

3.4 Pembebanan Non-linier *Pushover*

Pembebanan statik *pushover* menggunakan 2 tahap yaitu akibat beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi menggunakan jenis *full load* sedangkan beban lateral menggunakan jenis *displacement control* karena besarnya beban dibatasi oleh simpangan atap maksimum.

4. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Tahapan Keruntuhan

Tahapan keruntuhan struktur berdasarkan distribusi terbentuknya sendi plastis arah UX disajikan pada **Tabel 3** untuk SRPMK. Sedangkan SRBKK pada **Tabel 4** untuk bentuk Z, **Tabel 5** untuk bentuk X, **Tabel 6** untuk bentuk V dan **Tabel 7** untuk bentuk Λ .

Tabel 3. Tahap Keruntuhan Berdasarkan Distribusi Sendi Plastis Struktur SRPMK

Step	Disp. mm	BaseForce kN	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPToC	CtoD	DtoE	>E	Total
0	0,009	0,0	1240	0	0	0	0	0	0	0	1240
1	29,499	1.351,6	1236	4	0	0	0	0	0	0	1240
2	51,473	2.099,6	1130	74	36	0	0	0	0	0	1240
3	157,259	3.448,5	960	48	74	44	114	0	0	0	1240
4	261,165	4.290,1	910	28	66	12	218	6	0	0	1240
5	436,749	5.325,1	892	6	58	16	244	24	0	0	1240
6	545,924	5.925,8	850	29	46	11	280	24	0	0	1240
7	653,714	6.468,2	808	33	49	13	313	20	0	4	1240
8	748,472	6.859,4	756	49	48	18	339	24	0	6	1240
9	748,918	6.860,7	756	49	48	18	339	24	0	6	1240

Tabel 4. Tahap Keruntuhan Berdasarkan Distribusi Sendi Plastis Struktur SRBKK Tipe Z

Step	Disp. mm	BaseForce kN	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPToC	CtoD	DtoE	>E	Total
0	0,021	0,0	1400	0	0	0	0	0	0	0	1400
1	24,079	1.689,4	1400	0	0	0	0	0	0	0	1400
2	56,495	3.389,1	1200	148	52	0	0	0	0	0	1400
3	159,175	6.193,9	1030	66	184	66	54	0	0	0	1400
4	242,056	7.775,0	980	46	106	44	222	2	0	0	1400
5	275,119	8.273,9	980	28	110	28	252	2	0	0	1400

Tabel 5. Tahap Keruntuhan Berdasarkan Distribusi Sendi Plastis Struktur SRBKK Tipe X

Step	Disp. mm	BaseForce kN	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPToC	CtoD	DtoE	>E	Total
0	0,021	0,0	1560	0	0	0	0	0	0	0	1560
1	17,391	1.401,0	1560	0	0	0	0	0	0	0	1560
2	118,983	6.935,0	1244	72	238	6	0	0	0	0	1560
3	223,795	10.577,2	1134	66	126	54	178	2	0	0	1560
4	252,313	11.215,1	1110	70	116	40	220	4	0	0	1560

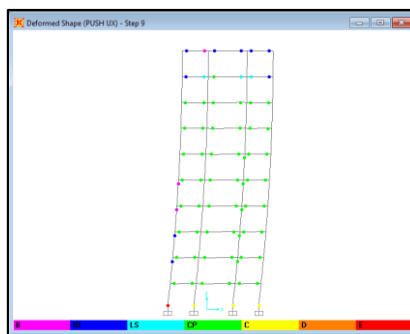
Tabel 6. Tahap Keruntuhan Berdasarkan Distribusi Sendi Plastis Struktur SRBKK Tipe V

Step	Disp. mm	BaseForce kN	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	>E	Total
0	0,014	0,0	1704	0	0	0	0	0	0	0	1704
1	11,677	597,9	1704	0	0	0	0	0	0	0	1704
2	39,554	1.997,8	1620	72	12	0	0	0	0	0	1704
3	140,634	3.601,8	1412	52	98	52	90	0	0	0	1704
4	243,965	4.683,1	1350	32	76	14	232	0	0	0	1704
5	346,386	5.582,9	1302	34	66	6	296	0	0	0	1704
6	452,639	6.398,7	1258	35	52	12	325	22	0	0	1704
7	553,042	7.074,3	1214	41	65	6	346	32	0	0	1704
8	598,011	7.342,2	1196	51	57	18	342	40	0	0	1704

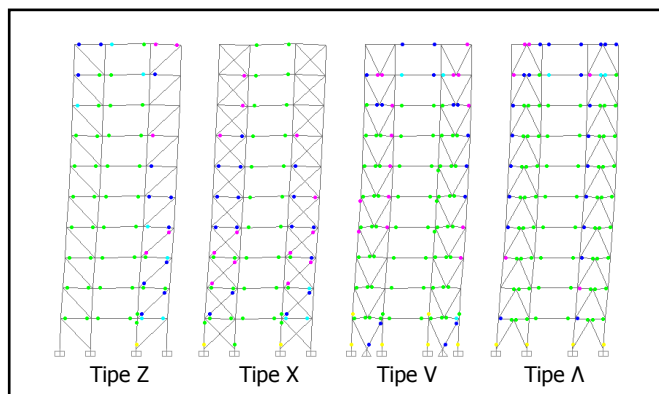
Tabel 7. Tahap Keruntuhan Berdasarkan Distribusi Sendi Plastis Struktur SRBKK Tipe Λ

Step	Disp. mm	BaseForce kN	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	>E	Total
0	0,015	0,0	1720	0	0	0	0	0	0	0	1720
1	9,697	491,2	1720	0	0	0	0	0	0	0	1720
2	39,933	1.965,6	1634	70	16	0	0	0	0	0	1720
3	143,461	3.502,5	1412	54	104	42	108	0	0	0	1720
4	249,686	4.484,3	1340	46	64	16	254	0	0	0	1720
5	364,919	5.308,2	1310	42	68	6	270	24	0	0	1720
6	469,826	5.903,9	1294	32	64	18	288	24	0	0	1720
7	572,572	6.475,9	1272	27	70	10	317	24	0	0	1720
8	672,390	7.005,7	1234	31	71	18	342	24	0	0	1720

Pola keruntuhan struktur arah UX pada saat kondisi maksimum (ambang keruntuhan) secara visual dapat dilihat pada **Gambar 6** untuk SRPMK dan **Gambar 7** untuk SRBKK.



Gambar 6. Ambang keruntuhan struktur SRPMK

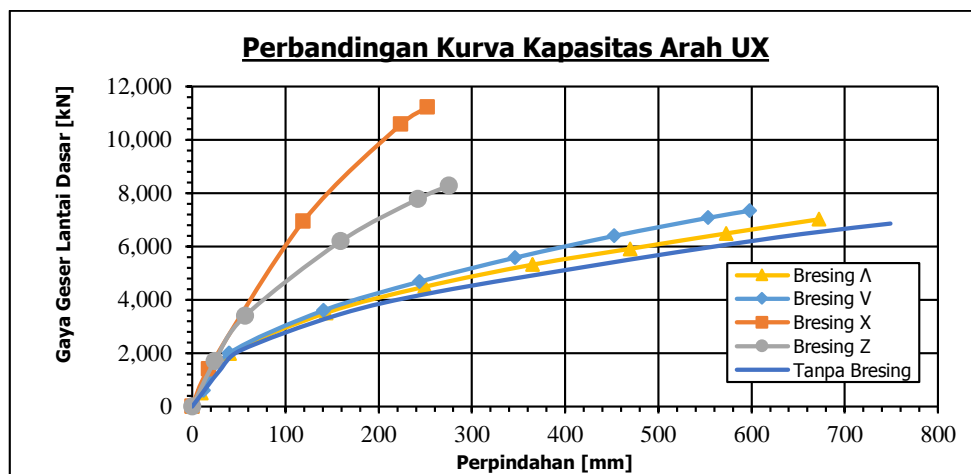


Gambar 7. Ambang keruntuhan struktur SRBKK

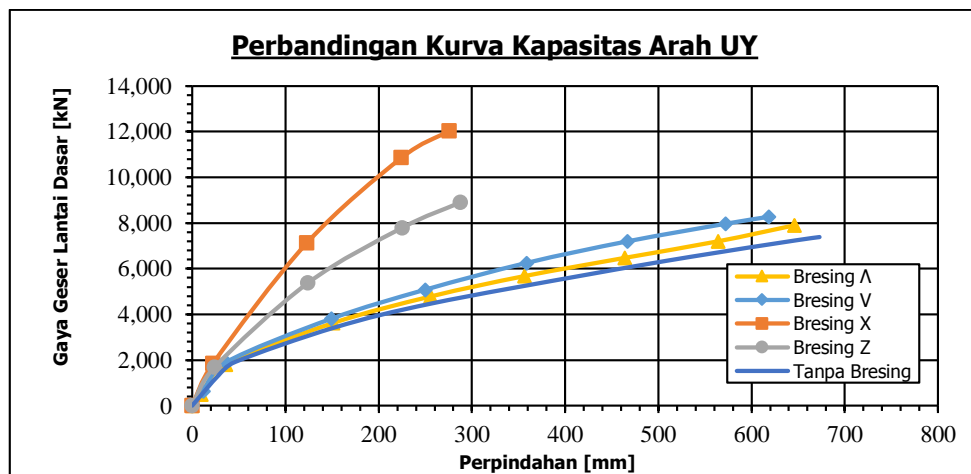
Hasil analisis **Gambar 7** menunjukkan sebagian bresing Z dan X mengalami kondisi plastis akibat gaya tarik pada saat struktur diambang keruntuhan. Bresing V hanya mengalami kondisi plastis pada portal lantai dasar karena hanya pada portal tersebut bresing tidak terpengaruhi langsung oleh balok sedangkan bresing A tidak mengalami kondisi plastis, hal ini dikarenakan kapasitas penampang balok tidak mampu memikul beban momen M3 akibat gaya aksial bresing seperti yang terjadi pada bresing V di lokasi selain lantai dasar.

4.2 Perbandingan Kurva Kapasitas

Perbandingan kurva kapasitas untuk 5 sistem struktur yang dianalisis dapat dilihat pada **Gambar 8** untuk arah UX dan **Gambar 9** untuk arah UY.



Gambar 8. Perbandingan kurva kapasitas arah UX



Gambar 9. Perbandingan kurva kapasitas arah UY

Dari **Gambar 8** dan **Gambar 9** diperoleh rasio perpindahan maksimum dan gaya geser lantai dasar maksimum untuk struktur SRBKK bentuk Z, X, V dan A terhadap SRPMK pada **Tabel 8** dan **Tabel 9**.

Tabel 8. Rasio Perpindahan Maksimum

Arah	SRPMK	SRBKK			
		Tipe Z	Tipe X	Tipe V	Tipe A
UX	1,00	0,37	0,34	0,80	0,90
UY	1,00	0,43	0,41	0,92	0,96

Tabel 9. Rasio Gaya Geser Lantai Dasar Maksimum

Arah	SRPMK	SRBKK			
		Tipe Z	Tipe X	Tipe V	Tipe Λ
UX	1,00	1,21	1,63	1,07	1,02
UY	1,00	1,20	1,63	1,12	1,07

Tabel 8 menunjukkan bresing X memiliki kekakuan paling tinggi yang ditunjukkan dengan rasio perpindahan maksimum sebesar 0,34 dan 0,41 untuk arah UX dan UY terhadap struktur tanpa bresing (SRPMK), hal ini disebabkan konfigurasi bresing yang selang seling pada satu portal dengan ke-4 tumpuan tepat di join balok-kolom. Sedangkan bresing Λ paling daktail dibandingkan bresing lainnya disebabkan salah satu join bresing bertumpu pada balok (efektifitas kekuatan bresing tergantung kapasitas penampang balok). Perilaku bresing X dan Λ sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Kalibhat et al (2014). Bresing Z memiliki konfigurasi tidak selang seling dengan ke-2 tumpuan pada join balok-kolom sehingga hasil menunjukkan kekakuan bresing Z diantara bresing X dan Λ . Bresing V memiliki perilaku mirip dengan bresing Λ karena konfigurasi tipikal sama.

Tabel 9 menunjukkan kapasitas gaya geser lantai dasar meningkat untuk semua bresing yang dianalisis (SRBKK). Bresing X memiliki rasio kenaikan paling tinggi sebesar 1,63 untuk ke-2 arah UX dan UY terhadap struktur tanpa bresing, hal ini disebabkan akibat kekakuan tinggi dan volume bresing paling besar yang menyebabkan gaya lateral tereduksi oleh massa struktur.

4.3 Performance Point

Nilai parameter-parameter yang diperoleh dari kurva *performance point* berdasarkan metode ATC-40 disajikan pada **Tabel 10** untuk SRPMK dan **Tabel 11** untuk SRBKK.

Tabel 10. Performance Point Struktur Tipe 1 SRPMK

Parameter	PUSH UX	PUSH UY
V [kN]	3.176	3.211
D [mm]	135,919	137,634
S_a [m/det ²]	0,173	0,175
S_d [mm]	110,756	112,366
t_{eff} [det]	1,567	1,576
β_{eff} [%]	0,16	0,155

Tabel 11. Performance Point Struktur Tipe 2 SRBKK

Parameter	SRBKK Tipe Z		SRBKK Tipe X		SRBKK Tipe V		SRBKK Tipe Λ	
	PUSH UX	PUSH UY	PUSH UX	PUSH UY	PUSH UX	PUSH UY	PUSH UX	PUSH UY
V [kN]	5.197,7	5.489,6	7.120,1	7.001,5	3.436,1	3.509,8	3.335,8	3.383,7
D [mm]	122,709	129,329	124,31	120,586	130,194	131,745	132,231	136,280
S_a [m/det ²]	0,261	0,275	0,357	0,351	0,186	0,191	0,179	0,182
S_d [mm]	92,686	98,775	91,39	89,009	106,328	107,609	108,599	111,772
t_{eff} [det]	1,164	1,199	1,012	1,008	1,491	1,466	1,538	1,536
β_{eff} [%]	0,112	0,099	0,072	0,078	0,158	0,145	0,162	0,149

4.4 Level Kinerja Struktur

ATC-40 memberikan batasan level kinerja struktur berdasarkan rasio simpangan (*drift*) atap dengan rincian pada **Tabel 12**.

Tabel 12. Kriteria Level Kinerja Struktur

Parameter	Displacement			
	IO	Damage Control	LS	Structural Stability
Maximum Drift	< 0,01	0,01 - 0,019	0,02	0,33 ($\frac{V_i}{P_i}$)
Maximum Inelastic Drift	< 0,005	0,005 - 0,015	No Limit	No Limit

Persamaan untuk menentukan nilai kriteria batasan level kinerja struktur adalah sebagai berikut:

$$\text{Maximum drift} = \frac{S_d}{H} \quad \dots (1)$$

$$\text{Maximum inelastic drift} = \frac{S_d - d_1}{H} \quad \dots (2)$$

halmana:

S_d = spectral displacement [mm],

d_1 = displacement pada tahap B (pelelehan pertama) [mm],

H = tinggi struktur [mm].

Berdasarkan **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** diperoleh level kinerja untuk semua struktur yang dianalisis, ditampilkan pada **Tabel 13**.

Tabel 13. Level Kinerja Struktur

Tipe Struktur	UX				UY			
	Maximum Drift	Level Kinerja	Max Inelastic Drift	Level Kinerja	Maximum Drift	Level Kinerja	Max Inelastic Drift	Level Kinerja
Tanpa Bresing	0,003	IO	0,002	IO	0,003	IO	0,002	IO
Bresing Z	0,002	IO	0,001	IO	0,002	IO	0	IO
Bresing X	0,002	IO	0	IO	0,002	IO	0	IO
Bresing V	0,003	IO	0,002	IO	0,003	IO	0,002	IO
Bresing Λ	0,003	IO	0,002	IO	0,003	IO	0,002	IO

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

- (1) sistem struktur tipe 2 berupa Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK) tipe X memiliki perpindahan (*displacement*) maksimum lebih kecil dibandingkan sistem struktur tipe 1 dan bresing lainnya (**Tabel 8**);
- (2) kapasitas gaya geser lantai dasar (*base shear*) maksimum sistem struktur bresing X mengalami peningkatan dibandingkan dengan sistem struktur lainnya (**Tabel 9**);
- (3) kinerja struktur tipe 1 dan tipe 2 berada pada level *Immediate Occupancy* (IO) untuk arah UX dan UY (**Tabel 13**);
- (4) mekanisme semua tipe struktur yang dianalisis mengikuti kaidah kolom kuat balok lemah sesuai ketentuan SNI 1726-2002. Ditunjukkan dengan tahapan terjadinya sendi plastis dimulai pada balok kemudian seiring perubahan sendi plastis berlanjut, diikuti pada kaki kolom lantai dasar dan selanjutnya struktur mengalami keruntuhan (**Gambar 6** dan **Gambar 7**).
- (5) kapasitas penampang balok tidak mampu memikul beban momen M3 akibat gaya aksial bresing untuk bresing V dan Λ (**Gambar 7**).

DAFTAR RUJUKAN

- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume 1*. California: Seismic Safety Commission State of California.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, SNI 1726-2002*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727-2013*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Hajati, NL. (2015). *Kajian Daktilitas Sistem Portal Berdinding Geser Terhadap Beban Lateral*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional.
- Hewitt et al. (2009). *Economy of Steel-Frame Buildings for Seismic Loading, Steel Tips*. Moraga: Structural Steel Education Council.
- Kalibhat et al. (2014). *Seismic Performance of Concentric Braced Steel Frames from Pushover Analysis*. Manipal: Manipal Institute of Technology.
- Paulay and Priestley. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Pranata, YA. (2006). *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440)*. Bandung: Universitas Kristen Maranatha.
- Smith and Coull. (1991). *Tall Building Structures: Analysis and Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.