

PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR BAJA RANGKA TERBREIS KONSENTRIS KHUSUS BERBENTUK *MULTISTORY X* DAN *ZIPPER V* TERBALIK PADA BANGUNAN 12 DAN 18 LANTAI

Christ Renaldi¹, Steven Setiawan², Effendy Tanojo³ dan Hasan Santoso⁴

ABSTRAK : Gempa merupakan bencana alam yang sering terjadi di Indonesia, sehingga seluruh bangunan wajib didesain mengikuti peraturan gempa SNI 1726:2012. Penelitian ini mengevaluasi kinerja dari struktur penahan gempa yang menggunakan sistem rangka bangunan RTKK (Rangka Terbreis Konsentris Khusus). Ketinggian bangunan berdasarkan batasan maksimum menurut SNI 1726:2012 tabel 9 dan pasal 7.2.5.4. Berdasarkan batasan tersebut, digunakan ketinggian 12 lantai (48 meter) dan 18 lantai (72 meter) pada penelitian ini. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan adanya permasalahan pada balok yang berpotongan dengan breising bentuk V dan V terbalik akibat peninjauan terhadap desain kapasitas. Untuk mengatasinya maka dipilihlah breising berbentuk *multistory X (MX)* dan *zipper V terbalik (ZIV)* kemudian dibandingkan kinerjanya berdasarkan berat struktur, *displacement*, *drift ratio*, dan sendi plastis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada bangunan 12 lantai, nilai *displacement* dan berat struktur MX lebih baik daripada ZIV, tetapi nilai *drift ratio* tidak berbeda jauh. Pada bangunan 18 lantai, nilai *displacement* dan *drift ratio* MX lebih baik daripada ZIV, tetapi berat struktur MX naik dengan cepat seiring penambahan ketinggian. Sedangkan kinerja berdasarkan kerusakan sendi plastis menunjukkan bahwa MX memberikan hasil yang lebih buruk untuk elemen kolom dan lebih baik untuk elemen balok daripada ZIV.

KATA KUNCI: perbandingan kinerja, struktur baja, sistem rangka bangunan, RTKK, *multistory X*, *zipper V terbalik*, analisis riwayat waktu

1. PENDAHULUAN

Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.2, terdapat berbagai macam sistem penahan gempa salah satunya yaitu sistem rangka bangunan (sistem tunggal). Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK) adalah sistem rangka bangunan dimana elemen breising tersambung secara konsentris dan merupakan penahan gaya gempa struktur. Pranoto dan Muktiwibowo (2018) dalam penelitiannya yang membandingkan kinerja RTKK berbentuk V terbalik mendapati adanya masalah yang muncul akibat *unbalanced vertical force* (yaitu gaya breising ekspektasi vertikal di tengah bentang balok). Sehingga, penelitian ini bermaksud untuk melanjutkan dan mengembangkan penelitian sebelumnya dengan menerapkan solusi dari Chimeh dan Homami (2012) berupa konfigurasi breising berbentuk *multistory X (MX)* dan *zipper V terbalik (ZIV)*. Tujuan dari penelitian ini adalah memeriksa performa antara breising berbentuk MX dan ZIV pada sistem rangka bangunan (sistem tunggal). Ketinggian bangunan ditentukan berdasarkan batasan maksimum yang diberikan oleh SNI 1726:2012 tabel 9 dan pasal 7.2.5.4 yaitu 12 lantai (48 meter) dan 18 lantai (72 meter). Bangunan yang ditinjau merupakan gedung perkantoran yang memiliki 3 bentang dengan 1 RTKK di tengah. Konfigurasi bangunan adalah beraturan dengan jarak antar kolom 8 meter dan tipikal setiap lantai dengan ketinggian antar lantai 4 meter. Analisis gempa menggunakan metode respons spektrum dan karakteristik tanah dari kota

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415077@john.petra.ac.id.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21415246@john.petra.ac.id.

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, effendy@petra.ac.id.

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, hasan@petra.ac.id.

Jayapura. Evaluasi ditinjau dari segi berat struktur baja yang terpakai, selain itu digunakan juga *time history analysis* gempa El Centro 1940 dengan periode ulang 2500 tahun selama 30 detik untuk mendapatkan nilai *displacement*, nilai *drift ratio*, dan kerusakan sendi plastis. Berdasarkan hal tersebut, RTKK berbentuk MX dan ZIV dibandingkan dan diamati kinerjanya pada 12 serta 18 lantai.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Respons Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1, gaya geser dasar bangunan yang didapatkan dari analisis respons spektrum harus lebih besar atau sama dengan 85% gaya geser dasar bangunan dari analisis statik ekuivalen. Selain itu, SNI 1726:2012 pasal 7.9.1 juga memberikan batasan partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal.

2.2. Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK)

Berdasarkan SNI 7860:2015 pasal F2.2, RTKK didefinisikan sebagai rangka terbreis yang terdiri dari komponen struktur yang disambung konsentris. RTKK diharapkan memberi kapasitas deformasi inelastik yang besar terutama melalui tekuk breis dan pelelehan breis dalam tarik.

2.3. Sistem Rangka Bangunan (Sistem Tunggal)

Terdapat 2 macam sistem dalam perencanaan RTKK, yaitu sistem rangka bangunan (sistem tunggal) dan sistem ganda. Pada sistem rangka bangunan, direncanakan agar gaya gempa secara dominan diterima oleh struktur eksterior berserta breisingnya. Oleh karenanya, perencanaan dengan sistem rangka bangunan tidak mengikuti persyaratan yang diberikan oleh SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1.

2.4. Desain Kapasitas

Konsep desain kapasitas dijelaskan dalam *commentary* AISC 341-10 bahwa elemen breising dalam sistem RTKK direncanakan sebagai *fuse*, yaitu elemen yang diperbolehkan mengalami kerusakan dan deformasi inelastik. Sedangkan elemen lainnya, yaitu balok dan kolom harus direncanakan untuk tetap elastis. Sehingga, desain kapasitas sistem RTKK didasarkan pada gaya breising ekspektasi sesuai dengan SNI 7860:2015 pasal F2.3.

2.5. Evaluasi Kinerja Bangunan

Evaluasi kinerja bangunan berdasarkan pada peraturan FEMA 356 tabel C1-2 dan C1-3. Peraturan tersebut membagi-bagi kategori kerusakan menjadi tiga, yaitu *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP) berdasarkan *drift ratio* serta kerusakan elemen struktural yang terjadi.

3. METODOLOGI PENELITIAN

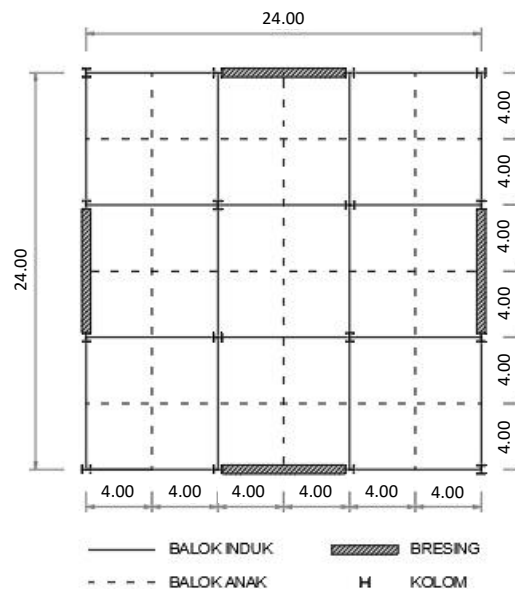
Penelitian ini dilaksanakan dengan urutan sebagai berikut:

1. Melakukan pemodelan struktur dan *preliminary design* menggunakan SAP2000 v20.2.0. Digunakan fitur *steel check design* dalam SAP 2000 v.20.2.0 untuk mempermudah dan mempercepat proses perhitungan. Untuk desain stabilitas digunakan metode *Effective Length Method* (ELM). Dalam penelitian ini, terdapat empat model bangunan sesuai **Gambar 1** dengan penamaan dan keterangan bangunan sesuai **Tabel 1**.

Tabel 1. Kode Penamaan Bangunan

Kode Bangunan	Makna Kode
31J12MX	Bangunan 3 Bentang 1 RTKK, wilayah gempa Jayapura, 12 lantai, breising <i>multistory X</i>
31J12ZIV	Bangunan 3 Bentang 1 RTKK, wilayah gempa Jayapura, 12 lantai, breising <i>zipper V</i> terbalik
31J18MX	Bangunan 3 Bentang 1 RTKK, wilayah gempa Jayapura, 18 lantai, breising <i>multistory X</i>
31J18ZIV	Bangunan 3 Bentang 1 RTKK, wilayah gempa Jayapura, 18 lantai, breising <i>zipper V</i> terbalik

- Melakukan pembebanan yang meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa menggunakan analisis respons spektrum serta kombinasi pembebanan pada bangunan.
- Melakukan pengecekan persentase gaya geser dasar bangunan. Persentase gaya geser dasar diupayakan untuk diterima oleh struktur eksternal seluruhnya karena bangunan dalam penelitian ini direncanakan sebagai sistem rangka bangunan (sistem tunggal). Lalu, gaya geser dasar bangunan akibat analisis respons spektrum juga harus lebih besar atau sama dengan 85% gaya geser dasar akibat analisis statik ekuivalen. Apabila tidak memenuhi persyaratan, diberikan *scale factor* pada beban gempa respons spektrum.
- Melakukan pengecekan partisipasi massa ragam terkombinasi sesuai persyaratan agar paling sedikit sebesar 90%. Apabila tidak memenuhi persyaratan, jumlah modal ditingkatkan.
- Melakukan desain kapasitas pada balok induk dan kolom bentang terbreis untuk sistem RTKK sesuai dengan SNI 7860:2015 pasal F2. Pemodelan untuk desain kapasitas mengikuti FEMA P-1051. Apabila tidak memenuhi persyaratan, dilakukan pembesaran ukuran profil atau mutu baja.
- Melakukan pemeriksaan ulang akibat gempa setelah desain kapasitas terpenuhi.
- Pemeriksaan *drift* bangunan. Apabila tidak terpenuhi, maka dilakukan perubahan profil.
- Evaluasi kinerja struktur menggunakan analisis *time history* secara nonlinier.
- Evaluasi performa bangunan, diskusi hasil, dan penarikan kesimpulan.



Gambar 1. Denah Bangunan 31J12MX, 31J12ZIV, 31J18MX, dan 31J18ZIV

4. HASIL DAN ANALISIS

4.1. Faktor Pengali dan Distribusi Gaya Lateral

Besarnya distribusi gaya lateral pada portal interior dan eksterior serta besarnya faktor pengali yang digunakan untuk analisis gempa respons spektrum disajikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Distribusi Gaya Lateral dan Faktor Pengali (*Scale Factor*)

BANGUNAN	DISTRIBUSI GAYA LATERAL (X=Y)		Scale Factor E (Gempa)
	INTERNAL	EKSTERNAL	
31J12MX	6,49%	93,51%	1,207
31J12ZIV	7,98%	92,02%	1,204
31J18MX	7,64%	92,36%	1,290
31J18ZIV	9,50%	90,50%	1,312

4.2. Berat Profil Bangunan Terpakai

Mutu baja yang digunakan dalam penelitian ini ada 3 macam yaitu A36, A992, dan A913 Gr. 65. Maka dari itu digunakan faktor konversi berupa perbandingan nilai tegangan leleh mutu baja terhadap tegangan leleh baja A36. Berat profil terpakai dalam satuan ton disajikan dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Berat Profil Bangunan Terpakai

Mutu	Berat Bangunan (t)			
	31J12MX	31J12ZIV	31J18MX	31J18ZIV
A36	479,30	446,05	803,89	791,51
A992	310,78	350,73	376,62	425,77
A913 Gr. 65	0	0	239,67	200,77

Tabel 3. Berat Profil Bangunan Terpakai (sambungan)

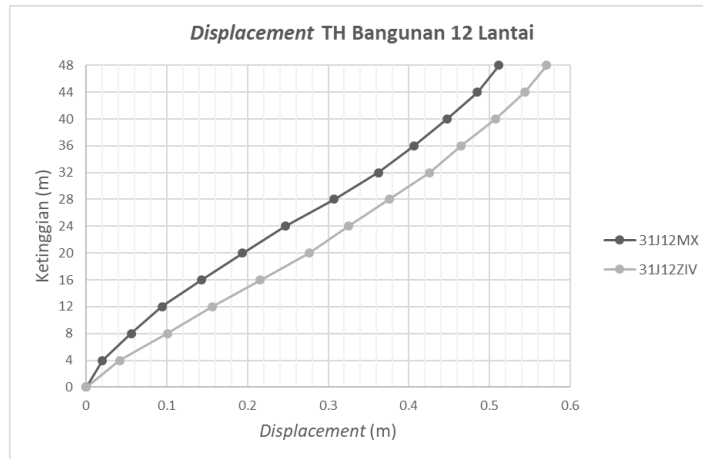
Mutu	Faktor	Berat Bangunan Terfaktor (t)			
		31J12MX	31J12ZIV	31J18MX	31J18ZIV
A36	1,00	479,30	446,05	803,89	791,51
A992	1,38	428,87	484,01	519,73	587,56
A913 Gr. 65	1,80	0	0	431,40	361,39
Total =		908,17	930,06	1755,02	1740,46

4.3. Drift Ratio dan Displacement

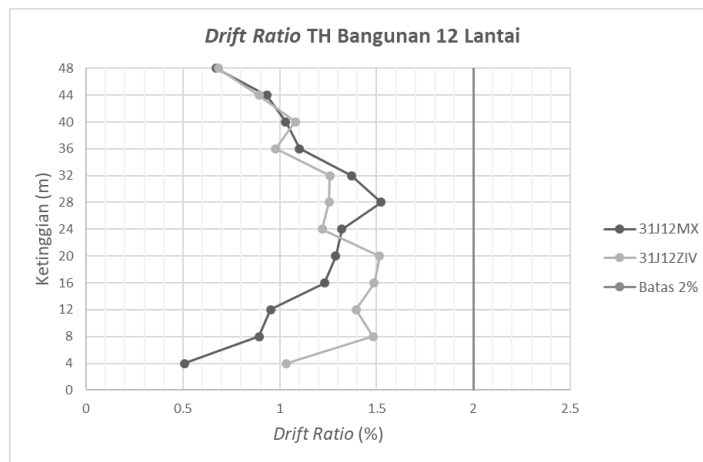
Hasil *drift ratio* dan *displacement* maksimum akibat gempa dengan periode ulang 2500 tahun selama 30 detik disajikan dalam **Tabel 4**. Grafik *displacement* maksimum diberikan pada **Gambar 2** dan **Gambar 4**, sedangkan grafik *drift ratio* maksimum diberikan pada **Gambar 3** dan **Gambar 5**.

Tabel 4. Drift Ratio Maksimum dan Displacement Maksimum (Gempa Periode Ulang 2500 Tahun)

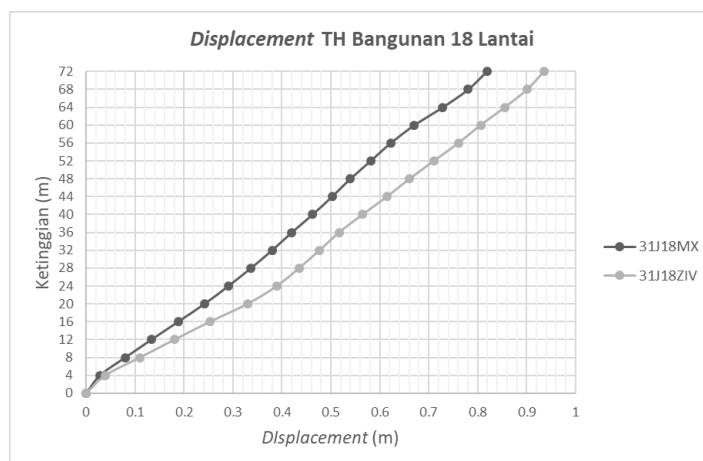
Model Bangunan	Drift Ratio (%)				Displacement (m)
	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Unacceptable	
31J12MX			1,5225%		0,5118
31J12ZIV			1,5147%		0,5708
31J18MX		1,4496%			0,8185
31J18ZIV			1,9286%		0,9355
Batas Drift Ratio	<0,5%	0,5%-1,5%	1,5%-2%	>2%	



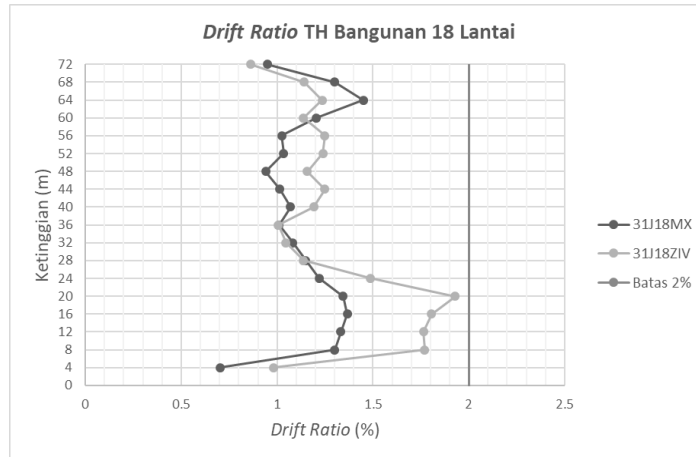
Gambar 2. Perbandingan *Displacement* Bangunan 31J12MX dan 31J12ZIV Akibat Gempa Dengan Periode Ulang 2500 Tahun



Gambar 3. Perbandingan *Drift Ratio* Bangunan 31J12MX dan 31J12ZIV Akibat Gempa Dengan Periode Ulang 2500 Tahun



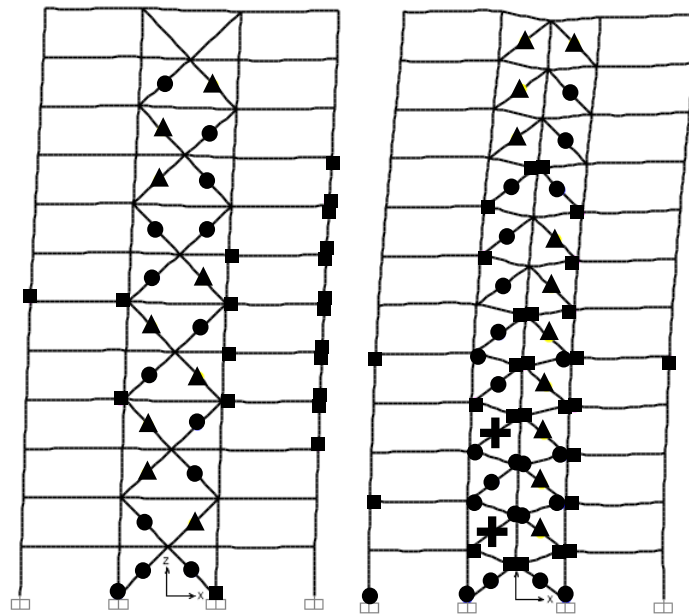
Gambar 4. Perbandingan *Displacement* Bangunan 31J18MX dan 31J18ZIV Akibat Gempa Dengan Periode Ulang 2500 Tahun



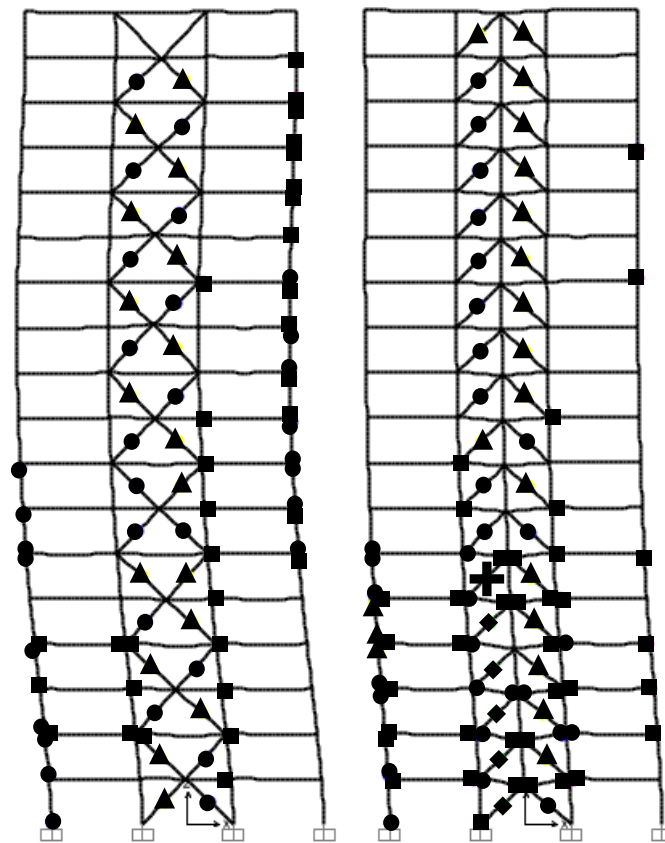
Gambar 5. Perbandingan *Drift Ratio* Bangunan 31J18MX dan 31J18ZIV Akibat Gempa Dengan Periode Ulang 2500 Tahun

4.4. Lokasi Sendi Plastis

Tingkat kerusakan berupa terjadinya sendi plastis melalui analisis dengan *time history* diberikan dalam Gambar 6 dan Gambar 7. Keterangan tingkat kerusakan dan definisinya diberikan pada Tabel 5.



Gambar 6. Sendi Plastis Portal Eksternal 31J12MX dan 31J12ZIV (Detik ke-30)



Gambar 7. Sendi Plastis Portal Eksternal 31J18MX dan 31J18ZIV (Detik ke-30)

Tabel 5. Tingkat Kerusakan Struktur Akibat Terjadinya Sendi Plastis

Kategori	Simbol	Penjelasan
B	■	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur
IO	●	Terjadi kerusakan yang kecil atau tidak berarti pada struktur, kekakuan struktur hampir sama pada saat belum terjadi gempa
LS	+	Terjadi kerusakan mulai dari kecil sampai tingkat sedang, kekakuan struktur berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup besar terhadap nilai keruntuhan
CP	◆	Terjadi kerusakan yang parah pada struktur sehingga kekuatan dan kekakuannya berkurang banyak
C	▲	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung
D	▼	Terjadi degradasi kekuatan struktur yang besar, sehingga kondisi struktur tidak stabil dan hampir kolaps
E	✕	Struktur tidak mampu menahan gaya geser dan hancur

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini, didapatkan bahwa pada bangunan 12 lantai RTKK berbentuk MX memiliki berat struktur yang lebih ringan daripada ZIV, sedangkan pada bangunan 18 lantai RTKK berbentuk ZIV lebih ringan daripada MX. Jika ditinjau dari *drift ratio* yang terjadi,

semua jenis gedung kecuali 31J18MX tergolong sebagai *collapse prevention*, sedangkan 31J18MX sendiri tergolong *life safety*. Secara umum, bisa disimpulkan bahwa performa *drift ratio* dari RTKK berbentuk MX lebih baik daripada ZIV, namun dengan berat struktur RTKK MX yang bertambah dengan pesat seiring naiknya ketinggian bangunan. Hal tersebut dapat terlihat dari hasil *drift ratio* bangunan 12 lantai dengan RTKK berbentuk MX yang hanya sedikit lebih buruk dari ZIV, sedangkan pada bangunan 18 lantai, RTKK berbentuk MX memberikan hasil *drift ratio* yang jauh lebih baik dari ZIV. Jika ditinjau dari *displacement* yang terjadi, RTKK berbentuk ZIV memberikan *displacement* yang lebih besar daripada MX pada bangunan 12 lantai maupun 18 lantai, sehingga RTKK berbentuk MX lebih baik daripada ZIV dalam performa *displacement* yang diberikan. Apabila ditinjau dari jumlah kerusakan sendi plastis, performa RTKK berbentuk MX lebih buruk untuk elemen kolom sudut dan kolom yang menerima gaya gempa di sumbu lemahnya. Tetapi untuk elemen balok, RTKK berbentuk MX menunjukkan performa yang jauh lebih baik dalam mengatasi permasalahan gaya *unbalanced vertical force* (gaya breising ekspektasi vertikal di tengah bentang balok) daripada ZIV. Selain itu, dapat dikatakan bahwa desain kapasitas yang dilakukan pada bentang terbreis sudah berhasil karena kerusakan terjadi dimulai dari breising terlebih dahulu. Desain kapasitas menghasilkan elemen kolom dengan performa yang memuaskan, tetapi elemen balok pada RTKK berbentuk ZIV masih memerlukan evaluasi lebih lanjut terutama pada lantai-lantai di bawahnya yang memiliki kecenderungan rusak lebih parah.

6. DAFTAR REFERENSI

- American Institute of Steel Construction. (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings: ANSI/AISC 341-10*, Chicago, USA.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2012*, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural: SNI 1729:2015*, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings): ANSI/AISC 341-10, IDT: SNI 7860:2015*, Jakarta, Indonesia.
- Chimeh, M.N., Homami, P. (2012). "Efficiency of Bracing Systems for Seismic Rehabilitation of Steel Structures." *15 WCEE Lisboa 2012, Iran*. 36, 29073-29080.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings: FEMA 356*, Washington D. C., USA.
- Pranoto, V.W., Muktiwibowo, S.A. (2018). *Kinerja Sistem Tunggal Struktur Baja Rangka Terbreis Konsentris Khusus Berbentuk V Terbalik pada Mid Rise Building*. (TA No. 11012237/SIP/2018). Tidak Diterbitkan, Universitas Kristen Petra, Surabaya.