

PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR BAJA SISTEM TUNGGAL RANGKA TERBREIS KONSENTRIS KHUSUS DAN RANGKA TERBREIS PENAHAN TEKUK TIPE *MULTI-STORY X* DAN *ZIPPER INVERTED V* DENGAN 3 BENTANG BRESING PADA BANGUNAN 12 DAN 18 LANTAI

Yohanes Richard¹, Haudy Hanson², Effendy Tanojo³, Hasan Santoso⁴

ABSTRAK : Gempa bumi merupakan fenomena alam yang sering terjadi di bumi. Kejadian ini dapat memberikan dampak besar bagi manusia, seperti runtuhnya bangunan yang dapat memakan korban jiwa. Oleh karena itu, bangunan perlu didesain untuk dapat menahan dan meredam beban gempa sesuai dengan peraturan SNI 1726:2019. Penelitian ini mengevaluasi kinerja dua dari empat struktur baja rangka terbreis menurut AISC 2016, yaitu Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK) dan Rangka Terbreis Penahan Tekuk (RTPT) dengan sistem tunggal. Ketinggian bangunan yang digunakan yaitu 12 lantai (48 meter) dan 18 lantai (72 meter). Penelitian ini menggunakan tipe bresing berbentuk *Multi-story X* (MX) dan *Zipper Inverted V* (ZIV) untuk mengatasi permasalahan bresing V dan V terbalik, dengan konfigurasi 3 bentang bresing. Kinerja masing-masing bangunan ditinjau berdasarkan berat struktur, *displacement*, dan *drift ratio* menggunakan *nonlinear time history analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan RTPT dan bresing MX memiliki berat struktur yang lebih ringan dibandingkan bangunan RTKK dan bresing ZIV. Pada bangunan 12 lantai, *displacement* dan *drift ratio* bangunan RTPT lebih baik dibandingkan bangunan RTKK, tetapi hasilnya berbanding terbalik pada bangunan 18 lantai. Apabila ditinjau dari bentuk bresing, ZIV memberikan *displacement* dan *drift ratio* yang lebih baik daripada MX pada 12 lantai maupun 18 lantai.

KATA KUNCI : struktur baja, rangka terbreis konsentris khusus, rangka terbreis penahan tekuk, *multi-story x*, *zipper inverted v*, *nonlinear time history analysis*, berat struktur, *displacement*, *drift ratio*.

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan fenomena alam yang sering terjadi di bumi dan memberikan dampak yang besar. Maka dari itu, bangunan perlu didesain untuk dapat menahan dan meredam beban gempa yang mungkin terjadi sesuai dengan SNI 1726:2019. Terdapat 85 macam sistem struktur penahan gempa yang terbagi menjadi delapan jenis sistem pada peraturan tersebut, dimana dua diantaranya yaitu sistem tunggal dan sistem ganda. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Saputra & Tjandra (2018) serta Thiosalim & Adiputro (2019), didapatkan bahwa secara umum sistem tunggal memberikan performa yang lebih baik dibandingkan sistem ganda.

Sebelumnya juga sudah pernah dilakukan penelitian untuk mengetahui kinerja struktur baja RTKK dengan bresing MX dan ZIV pada bangunan 12 lantai dan 18 lantai yang dilakukan oleh Renaldi & Setiawan (2019). Berdasarkan penelitian tersebut pada bangunan 12 lantai, bresing MX memiliki *drift ratio* yang sedikit lebih buruk, namun pada 18 lantai jauh lebih baik dibandingkan bresing ZIV. Selain itu, bresing MX memiliki nilai *displacement* yang lebih baik dibandingkan dengan bresing ZIV.

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11180094@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11180165@john.petra.ac.id

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

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

Penelitian lain juga dilakukan oleh Hartanto & Wongso (2021), dimana penelitian tersebut dilakukan untuk meneliti bresing MX. Penelitian dilakukan juga untuk membandingkan struktur RTKK dan struktur rangka terbreis penahan tekuk (RTPT) pada 12 lantai dan 18 lantai. Berdasarkan penelitian tersebut, didapatkan struktur RTKK memberikan performa yang lebih baik bila ditinjau dari segi *drift ratio*, *displacement*, dan kerusakan sendi plastis dibandingkan struktur RTPT. Apabila ditinjau berdasarkan FEMA 356-2000, struktur RTKK tergolong pada kategori *Collapse Prevention* (CP) dan struktur RTPT tergolong pada kategori *Unacceptable* (U) karena melebihi batasan *drift ratio* 2%. Meskipun begitu, struktur RTPT masih unggul dari segi berat struktur dibandingkan struktur RTKK.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka penelitian yang akan dilakukan ini adalah mengembangkan penelitian sebelumnya yaitu membandingkan kinerja struktur baja rangka terbreis konsentris khusus (RTKK) dengan struktur baja rangka terbreis penahan tekuk (RTPT). Kedua struktur baja rangka terbreis tersebut merupakan dua dari empat klasifikasi sistem rangka terbreis (AISC, 2016). Penelitian ini juga akan membandingkan perilaku dua bentuk bresing yang dapat mengatasi permasalahan bresing V dan V terbalik, yaitu bresing *Multi-story X* (MX) dan *Zipper Inverted V* (ZIV). Bangunan yang akan diteliti akan menggunakan struktur sistem tunggal dengan 5 bentang bangunan yang dilengkapi dengan 3 bentang bresing yang diharapkan dapat memberikan kekakuan yang lebih baik pada bangunan serta memberikan hasil performa bangunan yang lebih bagus. Konfigurasi pemasangan 3 bentang bresing akan diaplikasikan pada bentang tengah bangunan yang dikarenakan penelitian oleh Soni, Metha, & Patel (2020) serta Siddiqi, Hameed, & Akmal (2014) menunjukkan bangunan dengan bresing yang diletakkan pada tengah bangunan memiliki perilaku yang lebih bagus dan lebih efektif merespon beban lateral.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Struktur Baja Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK)

RTKK merupakan tipe rangka terbreis dimana as komponen struktur bertemu pada suatu titik sehingga membentuk sistem rangka batang yang dapat menahan gaya lateral. Pada RTKK, elemen bresing menjadi *fuse* yang dikorbankan untuk menyerap gaya gempa agar elemen lainnya seperti balok dan kolom tetap dalam kondisi elastis.

2.2. Struktur Baja Rangka Terbreis Penahan Tekuk (RTPT)

Menurut AISC 341-16, RTPT merupakan kelas spesial dari RTKK. Sama seperti RTKK, elemen bresing menjadi elemen *fuse* pada RTPT. RTPT memiliki ciri-ciri dengan kemampuan leleh pada elemen bresing tekan sama seperti pada elemen bresing tarik.

2.3. *Performance Based Design* (PBD)

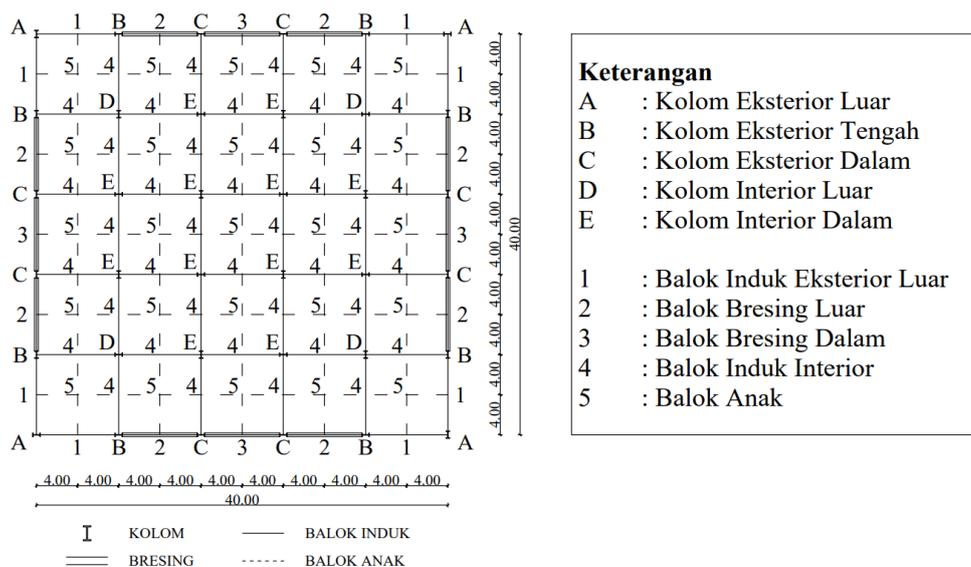
Konsep PBD mengevaluasi performa bangunan dalam berbagai macam *hazard events*. Berdasarkan FEMA 356 Tabel C1-3, terdapat 3 kategori performa struktur, yaitu *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk prosedur pelaksanaan penelitian, diuraikan sebagai berikut ini.

1. Pemodelan struktur secara 3D dengan ETABS v.18.1

Pada penelitian ini, terdapat 8 bangunan yang dianalisis. Bangunan tersebut akan menggunakan dua jenis bresing yaitu bresing konsentris khusus (RTKK) dan bresing penahan tekuk (RTPT), dengan dua bentuk bresing yaitu *Multi-story X* (MX) dan *Zipper Inverted V* (ZIV). Seluruh bangunan memiliki bentuk yang tipikal dengan panjang bentang 8 meter dan 5 bentang yang dilengkapi dengan 3 bentang bresing. Bangunan direncanakan dengan sistem tunggal pada tingkat 12 lantai dan 18 lantai. Untuk denah bangunan dan konfigurasi penamaan elemen struktur disajikan pada **Gambar 1**. Sedangkan kode penamaan bangunan dapat dilihat pada **Tabel 1**.



Gambar 1. Denah Bangunan dan Konfigurasi Penamaan Elemen Struktur

Tabel 1. Kode Penamaan Bangunan

Kode Bangunan	Penjelasan
53J12MXT-RTKK	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 12 lantai, bresing <i>Multi-story X</i> , sistem tunggal, dan bresing <i>hollow</i> .
53J12MXT-RTPT	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 12 lantai, bresing <i>Multi-story X</i> , sistem tunggal, dan bresing penahan tekuk.
53J18MXT-RTKK	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 18 lantai, bresing <i>Multi-story X</i> , sistem tunggal, dan bresing <i>hollow</i> .
53J18MXT-RTPT	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 18 lantai, bresing <i>Multi-story X</i> , sistem tunggal, dan bresing penahan tekuk.
53J12ZIVT-RTKK	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 12 lantai, bresing <i>Zipper Inverted V</i> , sistem tunggal, dan bresing <i>hollow</i> .
53J12ZIVT-RTPT	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 12 lantai, bresing <i>Zipper Inverted V</i> , sistem tunggal, dan bresing penahan tekuk.
53J18ZIVT-RTKK	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 18 lantai, bresing <i>Zipper Inverted V</i> , sistem tunggal, dan bresing <i>hollow</i> .
53J18ZIVT-RTPT	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 18 lantai, bresing <i>Zipper Inverted V</i> , sistem tunggal, dan bresing penahan tekuk.

2. Pembebanan Struktur

Beban-beban yang bekerja pada struktur yaitu beban mati, beban hidup, dan beban gempa akan diaplikasikan pada pemodelan struktur.

3. Pengecekan *base shear* dan 100% *static equivalent*

Dikarenakan bangunan didesain menggunakan sistem tunggal, maka dilakukan pengecekan *base shear* dimana gaya akibat gempa dapat semaksimal mungkin untuk dipikul oleh portal eksterior, dengan harapan persentase *base shear* portal eksterior mencapai minimal 90%. Selain itu juga dilakukan pengecekan terhadap profil-profil struktur bangunan, apakah sudah kuat dalam menahan beban-beban yang terjadi. Apabila struktur bangunan sudah kuat, maka dilakukan pengecekan syarat 100% *static equivalent* sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1.

4. *Capacity design*

Capacity design pada bangunan dilakukan sesuai dengan ketentuan RTKK dan RTPT pada SNI 7860:2015. Pada sistem tunggal, *capacity design* dilakukan pada portal eksterior dengan melepas seluruh elemen *fuse* yaitu bresing dan memberikan beban ekspektasi bresing pada bangunan. Hal ini

dilakukan agar memastikan elemen-elemen lainnya (*non-fuse*) tetap mampu menahan beban bangunan ketika elemen *fuse* sudah mengalami kegagalan.

5. *Nonlinear time history analysis*

Apabila proses *capacity design* telah terpenuhi, maka dilakukan pemasangan kembali bresing yang sebelumnya dilepas dan dilanjutkan dengan analisa kinerja bangunan menggunakan *nonlinear time history analysis* dengan beban gempa El Centro 1940. Terdapat beberapa hasil yang akan diperoleh, yaitu *displacement*, *drift ratio*, dan kerusakan sendi plastisnya.

6. Pembahasan analisis dan kesimpulan

Seluruh bangunan akan dianalisis dan dibandingkan berdasarkan beberapa aspek, yaitu berat struktur, *displacement* dan *drift ratio* yang ditinjau berdasarkan FEMA 356-2000, serta kerusakan sendi plastisnya.

4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Bangunan yang didesain pada penelitian ini menggunakan sistem tunggal, dimana gaya lateral dipikul pada struktur eksterior bangunan. Maka dari itu dilakukan pengecekan *base shear* pada portal eksterior dan portal interior, dengan harapan 90% gaya lateral diterima oleh portal eksterior. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1., apabila gaya geser dasar atau *base shear* yang didapatkan dari metode respons spektrum tidak lebih dari 100% gaya geser dasar dari metode statik ekuivalen, maka perlu adanya faktor pengali. Faktor pengali dan distribusi gaya lateral dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Faktor Pengali Gaya Gempa Respons Spektrum dan Distribusi Gaya Lateral

Jenis Bangunan	Faktor Pengali	Distribusi Gaya Lateral (%)	
		Eksterior	Interior
53J12MXT-RTKK	1.31	90.22%	9.78%
53J12ZIVT-RTKK	1.314	90.32%	9.68%
53J12MXT-RTPT	1.347	90.55%	9.45%
53J12ZIVT-RTPT	1.36	90.38%	9.62%
53J18MXT-RTKK	1.279	90.46%	9.54%
53J18ZIVT-RTKK	1.286	90.20%	9.80%
53J18MXT-RTPT	1.299	90.21%	9.79%
53J18ZIVT-RTPT	1.285	90.27%	9.73%

Pada perencanaan ini, satu model bangunan terdiri atas beberapa macam mutu baja struktural, maka akan dilakukan konversi menjadi mutu A36 dengan menggunakan faktor konversi berupa perbandingan nilai tegangan leleh mutu baja tersebut terhadap tegangan leleh mutu baja A36. Persentase kenaikan berat profil sebelum dan setelah *capacity design* dapat dilihat pada **Tabel 3**. Dikarenakan penggunaan profil yang bervariasi pada setiap bangunan, maka berat profil terpakai akan dibagi dengan jumlah dan luasan lantai untuk didapatkan berat rata-rata bangunan seperti yang terlihat pada **Tabel 4**.

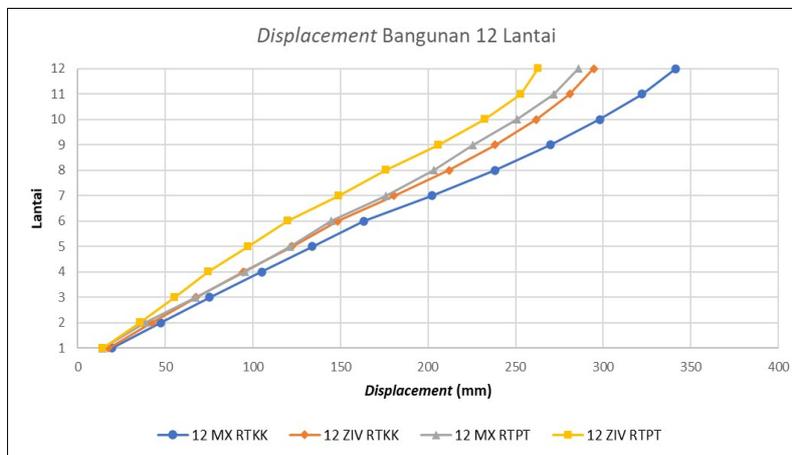
Tabel 3. Perbandingan Berat Struktur Sebelum dan Setelah Capacity Design

Jenis Bangunan	Berat Struktur (ton)		Persentase Kenaikan Berat
	Sebelum <i>Capacity Design</i>	Setelah <i>Capacity Design</i>	
53J12MXT-RTKK	1823.054	2212.498	21.36%
53J12ZIVT-RTKK	1960.556	3202.035	63.32%
53J12MXT-RTPT	1774.882	1830.631	3.14%
53J12ZIVT-RTPT	1848.947	2015.115	8.99%
53J18MXT-RTKK	3152.654	3967.291	25.84%
53J18ZIVT-RTKK	3535.734	6847.274	93.66%
53J18MXT-RTPT	3240.338	3395.935	4.80%
53J18ZIVT-RTPT	3183.455	3429.411	7.73%

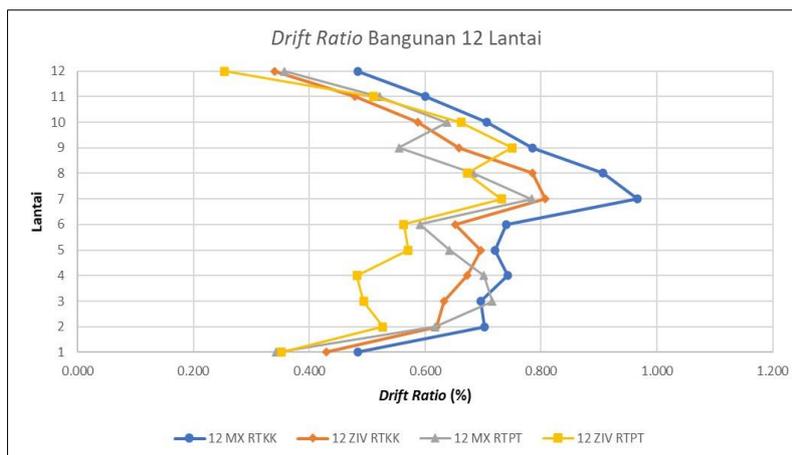
Tabel 4. Berat Struktur per Luasan Lantai Setelah *Capacity Design*

Jenis Bangunan	Berat Struktur (ton)	Luas Lantai (m ²)	Jumlah Lantai	Luas Total (m ²)	Berat Per Luas Lantai (kg/m ²)
53J12MXT-RTKK	2212.498	1600	12	19200	115.234
53J12ZIVT-RTKK	3202.035	1600	12	19200	166.773
53J12MXT-RTPT	1830.631	1600	12	19200	95.345
53J12ZIVT-RTPT	2015.115	1600	12	19200	104.954
53J18MXT-RTKK	3967.291	1600	18	28800	137.753
53J18ZIVT-RTKK	6847.274	1600	18	28800	237.753
53J18MXT-RTPT	3395.935	1600	18	28800	117.914
53J18ZIVT-RTPT	3429.411	1600	18	28800	119.077

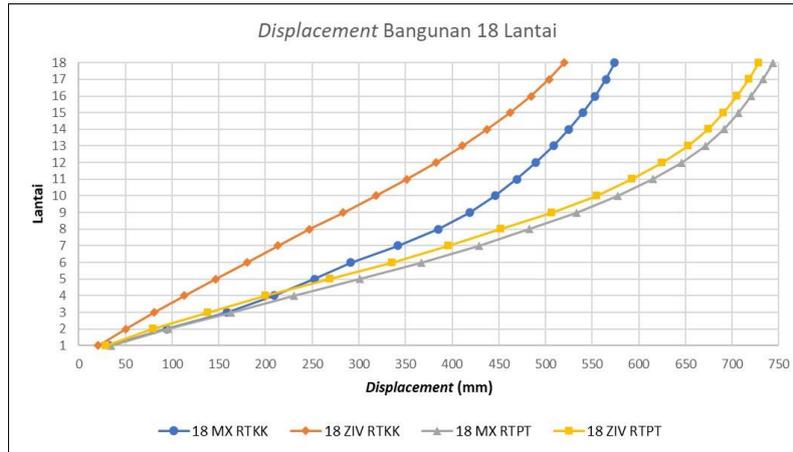
Nilai *displacement* dan *drift ratio* didapatkan dari analisis dinamis *time history*. Hasil *displacement* dan *drift ratio* untuk bangunan 12 lantai dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**, sedangkan untuk bangunan 18 lantai dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



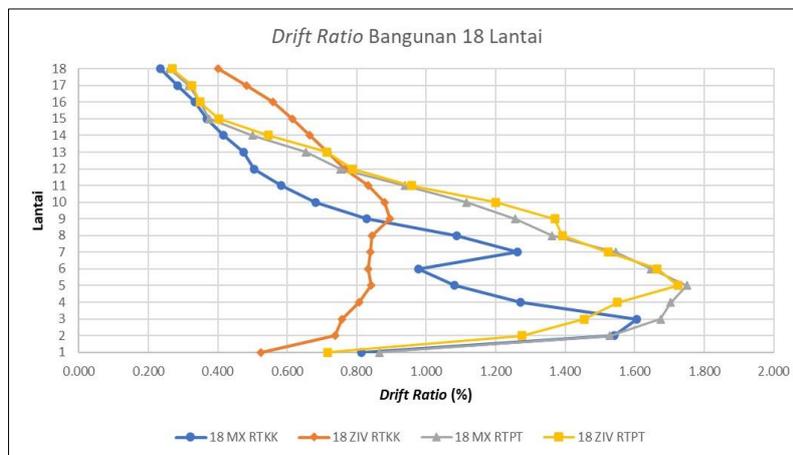
Gambar 2. Perbandingan *Displacement* untuk Bangunan 12 Lantai



Gambar 3. Perbandingan *Drift Ratio* untuk Bangunan 12 Lantai



Gambar 4. Perbandingan *Displacement* untuk Bangunan 18 Lantai



Gambar 5. Perbandingan *Drift Ratio* untuk Bangunan 18 Lantai

Dalam FEMA 356 Tabel C1-3, terdapat nilai batasan untuk *drift ratio* dan kategori performa bangunan berdasarkan nilai *drift ratio* tersebut. Pada penelitian ini, seluruh bangunan yang diteliti telah memenuhi batasan *drift ratio* yang telah ditentukan. Performa bangunan berdasarkan *drift ratio* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Performa Bangunan Berdasarkan FEMA 356 Tabel C1-3

Jenis Bangunan	<i>Drift Ratio (%)</i>				<i>Displacement (m)</i>
	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	<i>Life Safety (LS)</i>	<i>Collapse Prevention (CP)</i>	<i>Unacceptable (U)</i>	
53J12MXT-RTKK	-	0.9670	-	-	0.3410
53J12ZIVT-RTKK	-	0.8070	-	-	0.2950
53J12MXT-RTPT	-	0.7840	-	-	0.2860
53J12ZIVT-RTPT	-	0.7500	-	-	0.2630
53J18MXT-RTKK	-	-	1.605	-	0.5740
53J18ZIVT-RTKK	-	0.8950	-	-	0.5200
53J18MXT-RTPT	-	-	1.750	-	0.7440
53J18ZIVT-RTPT	-	-	1.724	-	0.7290
Batas <i>Drift Ratio (%)</i>	< 0.5	0.5 - 1.5	1.5-2.0	> 2.0	-

Pada **Tabel 5** di atas, dapat terlihat bahwa *drift ratio* seluruh bangunan 12 lantai tergolong dalam kategori *life safety*. Namun pada bangunan 18 lantai, tergolong pada dua kategori yang berbeda. Bangunan 53J18MXT-RTKK, 53J18MXT-RTPT, dan 53J18ZIVT-RTPT tergolong dalam kategori *collapse prevention*, sedangkan bangunan 53J18ZIVT-RTKK tergolong dalam kategori *life safety*. Meskipun masing-masing bangunan memiliki nilai *drift ratio* yang berbeda-beda, seluruh bangunan masih tergolong dalam kategori aman karena tetap memenuhi batasan izin *drift ratio* sesuai dengan peraturan FEMA 356 Tabel C1-3 yaitu sebesar 2%.

Selain *displacement* dan *drift ratio*, hasil lain dari analisis *time history* yaitu lokasi kemunculan sendi plastis pada elemen struktur yang telah dilakukan *define plastic hinge* pada ETABS v.18.1. Urutan terjadinya sendi plastis dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Rekapitulasi Urutan Terjadinya Sendi Plastis

Jenis Bangunan	Detik Ke -	Kejadian	Tahap Kinerja
53J12MXT-RTKK	1.37 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	1.85 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B
	6.45 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Kolom Eksterior	B
53J12ZIVT-RTKK	1.36 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	1.77 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B
	1.79 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Kolom Eksterior	B
53J12MXT-RTPT	0.89 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
53J12ZIVT-RTPT	0.89 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
53J18MXT-RTKK	2.76 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	6.52 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B
	6.61 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Kolom Eksterior	B
53J18ZIVT-RTKK	2.09 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	2.69 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Kolom Eksterior	B
	4.06 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B
53J18MXT-RTPT	1.04 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	6.74 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B
	10.86 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Kolom Eksterior	B

Berdasarkan **Tabel 6**, seluruh bangunan RTKK maupun RTPT telah sesuai dengan konsep RTKK maupun RTPT dimana sebagai elemen *fuse*, bresing didesain untuk gagal terlebih dahulu lalu diikuti oleh balok ataupun kolom. Oleh karena itu, desain seluruh bangunan dalam penelitian ini dapat dikatakan berhasil karena urutan kerusakan sendi plastis dimulai dari elemen *fuse* terlebih dahulu.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem RTPT lebih unggul daripada sistem RTKK apabila ditinjau dari segi berat strukturnya. Selain itu apabila meninjau dari bentuk bresingnya, bangunan dengan bresing MX lebih unggul dibandingkan bangunan bresing ZIV. Proses *capacity design* memberikan dampak yang cukup signifikan pada berat struktur. Bangunan RTKK dan bangunan bresing ZIV mengalami pembesaran profil yang lebih besar dibandingkan bangunan RTPT dan bangunan bresing MX.

Selain itu bila meninjau performa bangunan berdasarkan *displacement* dan *drift ratio*, bangunan RTPT lebih baik daripada bangunan RTKK pada 12 lantai, namun berbanding terbalik pada 18 lantai. Sedangkan dari bentuk bresingnya, secara keseluruhan bresing ZIV memiliki *displacement* dan *drift ratio* yang lebih baik dibandingkan bresing MX.

Konsep *capacity design* pada sistem RTKK dan RTPT dapat dikatakan telah terpenuhi untuk seluruh bentuk bresing dan tingkat bangunan. Hal ini terbukti dari urutan kerusakan sendi plastis yang terjadi, dimana elemen bresing yang merupakan elemen *fuse* terlebih dahulu mengalami kerusakan sendi plastis dan kemudian dilanjutkan ke elemen lainnya.

Secara keseluruhan bangunan dengan sistem RTPT lebih unggul dibandingkan sistem RTKK dilihat dari segi berat struktur dan performa bangunan berdasarkan *displacement* dan *drift ratio*, meskipun pada 18 lantai sistem RTPT memiliki *displacement* dan *drift ratio* yang lebih buruk daripada sistem RTKK.

6. DAFTAR REFERENSI

- Author. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings: FEMA 356*, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., Amerika Serikat.
- Author. (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Building: AISC 341-16*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung: SNI 1729:2015*, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2019*, Jakarta, Indonesia.
- Hartanto, D.N., & Wongso, H.H. (2021). *Perbandingan Kinerja Struktur Baja Rangka Terbreis Konsentris Khusus dan Rangka Terbreis Penahan Tekuk Tipe Multi-story X Sistem Tunggal pada Bangunan 12 dan 18 Lantai*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Mehta, N.S., Patel, C., & Soni, Y.B. (2020). "Comparision of Braced Steel Building with Steel Plate Shear Wall". *International Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 10, No. 5, 07-12.
- Renaldi, C., & Setiawan, S. (2019). *Perbandingan Kinerja Struktur Baja Rangka Terbreis Konsentris Khusus Berbentuk Multistory X dan Zipper V Terbalik pada Bangunan 12 dan 18 Lantai*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Saputra, I.D., & Tjandra, L.A. (2018). *Perbandingan Sistem Tunggal dan Sistem Ganda Struktur Baja Rangka Terbreis Konsentris Khusus Berbentuk V Terbalik dengan Direct Analysis Method*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Siddiqi, Z.A., Hameed, R., & Akmal, U. (2014). "Comparision of Different Bracing Systems for Tall Buildings". *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 14, 17-26.
- Thiosalim, K.S., & Adiputro, J.A. (2019). *Perbandingan Kinerja Struktur Baja Rangka Terbreis Konsentris Khusus Sistem Tunggal dan Ganda Tipe Multistory X dan Single Diagonal pada Bangunan 12 dan 18 Lantai*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.