

PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR BAJA SISTEM TUNGGAL RANGKA TERBREIS KONSENTRIS KHUSUS TIPE MULTI-STORY X DENGAN 3 BENTANG BREISING PADA BANGUNAN 12 DAN 18 LANTAI MENGGUNAKAN PROFIL WIDE FLANGE (WF) DAN HOLLOW STRUCTURAL SECTION (HSS)

Jonathan Christian¹, David John², Hasan Santoso³, Effendy Tanojo⁴

ABSTRAK : Sebuah bencana alam yang tidak asing lagi yaitu gempa bumi, bencana alam ini memiliki suatu dampak yang besar terhadap bangunan. Maka dari itu, bangunan perlu didesain sehingga dapat memikul beban gempa yang terjadi sesuai dengan peraturan gempa pada SNI 1726:2019. Pada penelitian ini dilakukan sebuah perbandingan dengan menggunakan Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK) sistem tunggal. Bangunan yang diteliti memiliki 12 lantai (48 meter) dan 18 lantai (72 meter). Penelitian ini menggunakan tipe bresing *Multi-story X* (MX) dan profil *Hollow Structural Section* (HSS) serta *Wide Flange* (WF) sebagai bresing, untuk membandingkan kinerja antara kedua profil tersebut sebagai bresing. Bangunan memiliki konfigurasi 3 bentang bresing. Kinerja setiap bangunan akan di analisa menggunakan *nonlinear time history analysis*, dan akan di bandingkan berdasarkan data berat struktur, *displacement*, dan *drift ratio*. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa bangunan dengan profil hss sebagai bresing memiliki berat struktur yang lebih ringan dibandingkan bangunan dengan profil wf sebagai bresing. Berdasarkan Performa Struktur bangunan dengan profil wf sebagai bresing memiliki keunggulan, dengan *displacement* maupun *drift ratio* yang lebih kecil dibandingkan bangunan dengan profil hss sebagai bresing.

KATA KUNCI : struktur baja, rangka terbreis konsentris khusus, *multi-story x*, *hollow structural section*, *wide flange*, *nonlinear time history analysis*, berat struktur, *displacement*, *drift ratio*.

1. PENDAHULUAN

Gempa Bumi, salah satu bencana yang sering terjadi pada dunia ini, merupakan salah satu pertimbangan dalam desain suatu bangunan. Bangunan harus dapat menahan gempa yang terjadi sesuai dengan SNI 1726:2019. Sistem penahan gempa terbagi menjadi delapan jenis, dimana 2 diantaranya adalah sistem tunggal dan sistem ganda. Pada Penelitian yang dilakukan oleh Riani dan Tania (2018), didapatkan performa sistem tunggal lebih baik dibandingkan dengan sistem ganda. Lalu dari penelitian lainnya oleh Richard dan Hanson (2021), didapatkan bahwa tipe bresing memiliki dampak dalam berat struktur dan performa bangunan.

Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan *drift ratio* RTKK 12 lantai dan 18 lantai telah memenuhi syarat yang telah ditentukan oleh FEMA 356-2000 yaitu sebesar 2%. Dalam penelitian ini ditemukan bahwa struktur dengan bentuk breising MX memiliki keunggulan dibanding dengan struktur dengan bentuk breising ZIV dalam segi berat, tetapi lebih buruk dalam segi *drift ratio* dan juga *displacement*.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11180007@john.petra.ac.id

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11180011@john.petra.ac.id

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

Dari hasil penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang menggunakan profil hollow untuk breising. Maka pada penelitian ini akan digunakan profil Wide-Flange (WF) dan 3 bentang breising sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Richard dan Hanson (2021). Bresing akan di letakkan pada bentang tengah bangunan, dengan bangunan memiliki 5 bentang dan 3 bentang bresing. Konfigurasi bresing ini digunakan karena telah diketahui dapat membuat bangunan lebih kaku dan memiliki performa lebih baik, hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Metha, Patel & Soni (2020). Lalu tipe breising yang akan digunakan adalah *Multi-story X (MX)* karena memiliki beban struktur yang lebih ringan berdasarkan hasil dari penelitian Richard dan Hanson (2021).

2. LANDASAN TEORI

2.1. Struktur Baja Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK)

RTKK merupakan tipe rangka terbreis dimana elemen struktur seperti balok, kolom, dan breising harus disusun menjadi rangka batang dan dapat memikul beban gempa. Pada sistem RTKK, bresing berfungsi sebagai elemen pengaku serta penahan gaya lateral sehingga sistem ini diharapkan bisa memberikan kapasitas deformasi inelastik signifikan utama melalui tekuk bresing dan pelelehan bresing dalam tarik (SNI 7860:2015).

2.2. Performance Based Design (PBD)

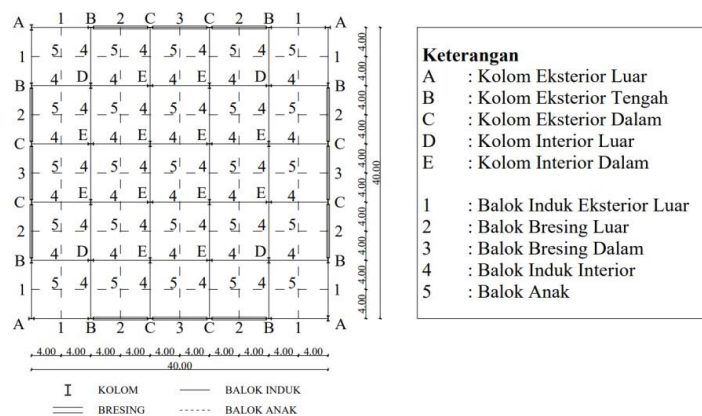
Performance Based Design (PBD) merupakan konsep mendesain bangunan dimana target kinerja bangunan ditentukan terlebih dahulu, dan pada akhir proses desain target tersebut digunakan sebagai parameter minimum yang harus dipenuhi (Hesa, 2019). Dalam FEMA 356 Tabel C1-3 terdapat 3 kategori performa struktur, 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 6 bangunan yang dianalisis. Bangunan tersebut akan menggunakan bresing konsentris khusus (RTKK), dengan bentuk bresing Multi-story X (MX). Seluruh bangunan memiliki bentuk yang tipikal dengan panjang bentang 8 meter dan 5 bentang yang dilengkapi dengan 3 bentang bresing pada bentang kedua hingga keempat. Bangunan direncanakan dengan sistem tunggal (single system) 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
5312XH-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>
5312XWX-RTKK	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 12 lantai, bresing <i>multi-story X</i> , sistem tunggal, dan bresing <i>Wide Flange (WF)</i> orientasi X
5312XWY-RTKK	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 12 lantai, bresing <i>multi-story X</i> , sistem tunggal, dan bresing <i>Wide Flange (WF)</i> orientasi Y
5318XH-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>
5318XWX-RTKK	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 18 lantai, bresing <i>multi-story X</i> , sistem tunggal, dan bresing <i>Wide Flange (WF)</i> orientasi X
5318XWY-RTKK	Bangunan 5 bentang dengan 3 bentang bresing, pada wilayah Jayapura, 18 lantai, bresing <i>multi-story X</i> , sistem tunggal, dan bresing <i>Wide Flange (WF)</i> orientasi Y

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*

Persentase gaya geser dasar atau yang juga disebut *base shear* adalah persentase beban lateral yang diterima oleh portal eksterior ataupun portal interior terhadap beban lateral total. Untuk perencanaan bangunan baja sistem tunggal, portal eksterior bangunan direncanakan agar menerima sebanyak mungkin beban lateral, dengan harapan persentase *base shear* portal eksterior mencapai minimal 90%. Lalu dilakukan juga pengecekan syarat 100% *static equivalent* sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1.

4. *Capacity design*

Capacity design (desain kapasitas) dilakukan pada bangunan sesuai dengan ketentuan RTKK SNI 7860:2015 (yang diperbaharui dengan AISC 341-16). Sistem yang digunakan merupakan sistem tunggal maka dari itu *capacity design* hanya dilakukan pada portal eksterior. Proses *capacity design* ini dilakukan untuk memastikan elemen yang tidak mengalami fuse (seperti kolom dan balok) akan tetap mampu menahan beban bangunan ketika elemen fuse mengalami kegagalan.

5. *Nonlinear time history analysis*

Setelah *capacity design* telah terpenuhi, maka elemen *fuse* atau bresing dipasang kembali dan dilanjutkan dengan analisa kinerja bangunan menggunakan *nonlinear time history analysis* dengan beban gempa El Centro 1940. Analisis ini akan mendapatkan beberapa hasil, 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 digunakan menggunakan sistem tunggal, yang berarti sebagian besar gaya lateral akan dipikul oleh struktur eksterior bangunan. Maka dari itu pengecekan *base shear* pada portal eksterior maupun interior dilakukan. Pada pengecekan *base shear* diharapkan portal eksterior menerima 90% gaya lateral total. Lalu dilanjutkan dengan metode respons spektrum, berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1., jika 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
5312XH-RTKK	1.11	91.08%	8.92%
5312XWX-RTKK	1.10	91.20%	8.80%
5312XWY-RTKK	1.10	91.24%	8.76%
5318XH-RTKK	1.17	90.52%	9.48%
5318XWX-RTKK	1.16	91.21%	8.79%
5318XWY-RTKK	1.16	91.08%	8.92%

Pada perencanaan ini, pemodelan bangunan menggunakan beberapa macam mutu baja struktural, maka perlu dilakukan konversi. Konversi dilakukan untuk menjadi mutu A36 dengan menggunakan faktor konversi berupa perbandingan nilai tegangan leleh mutu baja tersebut terhadap tegangan leleh mutu baja A36. Setelah mutu telah dikonversikan maka dilakukan pengecekan terhadap 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**.

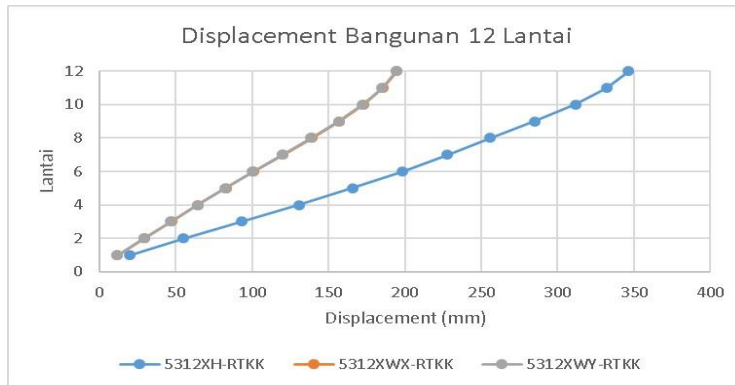
Tabel 3. Perbandingan Berat Struktur Sebelum dan Setelah *Capacity Design*

Jenis Bangunan	Berat Struktur (ton)		Persentase Kenaikan Berat
	Sebelum <i>Capacity Design</i>	Setelah <i>Capacity Design</i>	
5312XH-RTKK	2127.17	4637.65	118.02%
5312XWX-RTKK	2275.19	6492.44	185.36%
5312XWY-RTKK	2275.19	6492.44	185.36%
5318XH-RTKK	3901.61	5903.78	51.32%
5318XWX-RTKK	4112.65	7282.13	77.07%
5318XWY-RTKK	4112.65	7282.13	77.07%

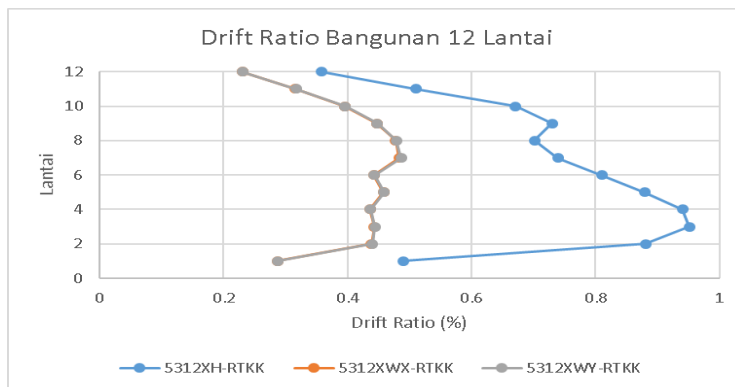
Tabel 4. Berat Struktur per Luasan Lantai Setelah *Capacity Design*

Jenis Bangunan	Berat Struktur (ton)	Luas Lantai (m ²)	Jumlah Lantai	Luas Total (m ²)	Berat Per Luas Lantai (kg/m ²)
5312XH-RTKK	4637.65	1600	12	19200	241.54
5312XWX-RTKK	6492.44	1600	12	19200	338.15
5312XWY-RTKK	6492.44	1600	12	19200	338.15
5318XH-RTKK	5903.78	1600	18	28800	204.99
5318XWX-RTKK	7282.13	1600	18	28800	252.85
5318XWY-RTKK	7282.13	1600	18	28800	252.85

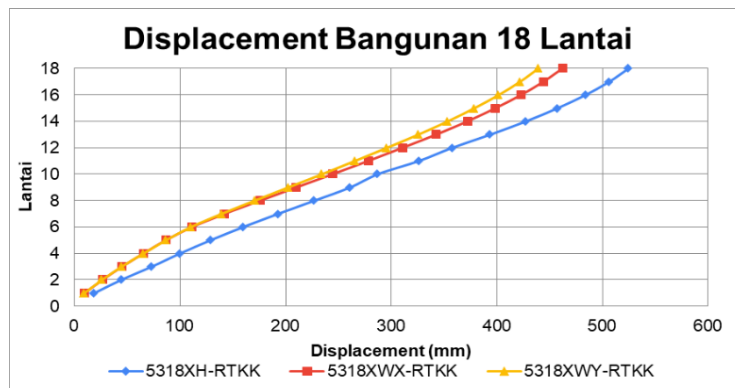
Nilai *displacement* dan *drift ratio* didapatkan dari analisis dinamis *time history*. Hasil *displacement* dan *drift ratio* untuk bangunan 12 lantai dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**, sedangkan untuk bangunan 18 lantai dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



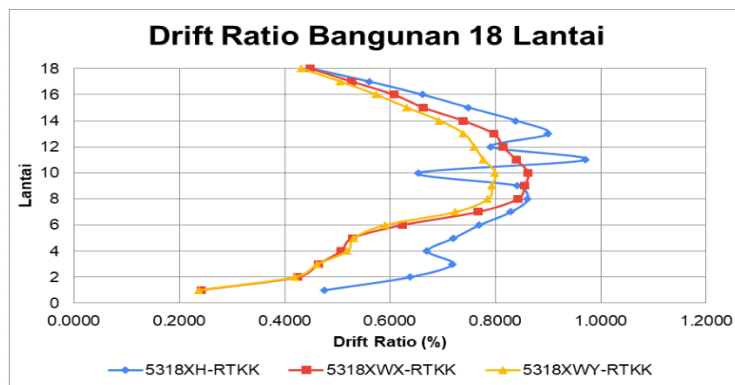
Gambar 2. Perbandingan *Displacement* untuk Bangunan 12 Lantai



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

Terdapat nilai-nilai batasan untuk drift rasio dan kaergori-kategori performa bangunan berdasarkan nilai *drift ratio* tersebut. Hal ini tercantum pada FEMA 356 Tabel C1-3. Pada penelitian ini seluruh bangunan yang diteliti telah memenuhi batasan *drift ratio* yang ada. Performa bangunan berdasarkan *drift ratio* dapat dilihat pada **Tabel 5**.

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

Jenis Bangunan	Drift Ratio (%)				Displacement (m)
	Immediate Occupancy (IO)	Life Safety (LS)	Collapse Prevention (CP)	Unacceptable (U)	
5312XH-RTKK	-	0.9516	-	-	0.3465
5312XWX-RTKK	0.4868	-	-	-	0.1947
5312XWY-RTKK	0.4835	-	-	-	0.1942
5318XH-RTKK	-	0.9717	-	-	0.5247
5318XWX-RTKK	-	0.8621	-	-	0.4394
5318XWY-RTKK	-	0.8003	-	-	0.4620
Batas Drift Ratio (%)	< 0.5	0.5 - 1.5	1.5-2.0	> 2.0	-

Pada **Tabel 5** di atas, dapat terlihat bahwa *drift ratio* bangunan 12 lantai tergolong menjadi 2 kategori yaitu kategori *immediete occupancy dan life safety*. Namun pada bangunan 18 lantai, tergolong pada satu kategori yang sama. Bangunan 5318XH-RTKK, 5318XWX-RTKK, dan 5318XWY-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
5312XH-RTKK	2.31 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	2.76 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B
	2.78 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Kolom Eksterior	B
5312XWX-RTKK	1.94 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	8.38 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B
5312XWY-RTKK	1.94 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
5318XH-RTKK	2.13 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	4.52 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B
5318XWX-RTKK	2.08 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	4.44 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B
	5.82 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Kolom Eksterior	B
5318XWY-RTKK	3.24 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Bresing	B
	5.15 s	Kemunculan Pertama Sendi Plastis Pada Balok Eksterior	B

Berdasarkan **Tabel 6**, seluruh bangunan yang didesain telah memenuhi konsep RTKK, yaitu elemen bresing mengalami kegagalan terlebih dahulu. Hal ini telah sesuai karena dalam konsep RTKK elemen fuse harus mengalami kerusakan terlebih dahulu, yang lalu diikuti oleh elemen balok ataupun kolom. Maka dari itu desain seluruh bangunan dalam penelitian ini dapat dikatakan berhasil karena urutan kegagalan sendi plastis telah benar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa bangunan dengan profil *hollow* sebagai bresing memiliki keunggulan dari segi berat struktur, tetapi bila ditinjau dari performa bangunan dengan profil wf sebagai bresing memiliki keunggulan, dalam hal *displacement* maupun *drift ratio*.

Selain itu setelah dilakukan *capacity design* bangunan dengan profil wf sebagai bresing memiliki kenaikan yang lebih besar dibandingkan dengan bangunan dengan profil *hollow* sebagai bresing. Pada bangunan dengan profil wf sebagai bresing konfigurasi pemasangan juga memiliki dampak, dimana bila profil wf dipasang arah sumbu lokal y maka performa bangunan akan lebih baik.

Konsep *capacity design* pada sistem RTKK dapat dikatakan telah terpenuhi untuk seluruh 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 profil *hollow* sebagai bresing merupakan pilihan utama. Hal ini dikarenakan dalam bangunan baja, berat struktur terhubung dengan cost. Maka bangunan yang lebih ringan memiliki keunggulan, yaitu bangunan dengan profil *hollow* sebagai bresing. Walaupun bangunan dengan profil *hollow* sebagai bresing memiliki performa bangunan, yaitu *displacement* dan *drift ratio*, yang lebih buruk dibandingkan dengan bangunan dengan profil wf sebagai bresing tetapi bangunan tetap memenuhi semua syarat yang ada.

6. DAFTAR REFERENSI

- Mehta, N.S., Patel, C., & Soni, Y.B. (2020). "Comparison of Braced Steel Building with Steel Plate Shearwall". *International Journal of Engineering Research and Applications*, 10(5), 07-12.
- Riani, E.Y.P., & Tania, A. (2018). *Perbandingan Sistem Tunggal dan Sistem Ganda pada Bangunan Terbreis Eksentris Berbentuk V Terbalik dan Diagonal pada Mid-rise Building*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Richard, Y., & Hanson, H. (2021). *Perbandingan Kinerja Struktur Baja Sistem Tunggal Rangka Terbreis Konsentris Khusus dan Rangka Terbreis Penahan Tekuk Tipe Multistory X dan Zipper Inverted V dengan 3 Bentang Bresing pada Bangunan 12 dan 18 Lantai*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Standar Nasional Indonesia. (2015). *Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung: SNI 1729:2015*, Jakarta, Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2019*, Jakarta, Indonesia.