

# PERBANDINGAN KINERJA STRUKTUR BAJA RANGKA TERBREIS KONSENTRIS KHUSUS TIPE MULTI-STORY X DENGAN BELT TRUSS DAN TANPA BELT TRUSS PADA BANGUNAN 18 LANTAI

Christopher Adisasmita<sup>1</sup>, Christian Timbulong<sup>2</sup>, Effendy Tanojo<sup>3</sup> dan Hasan Santoso<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** Banyak dampak negatif yang disebabkan oleh gempa bumi di Indonesia, salah satunya adalah bangunan roboh. Bangunan yang tidak di desain tahan gempa dapat menyebabkan korban jiwa dan juga kerugian secara finansial. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk selalu membuat perkembangan pada pengetahuan akan bangunan tahan gempa. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja struktur baja dengan RTKK (Rangka Terbreis Konsentris Khusus) yang menggunakan *belt truss* dengan yang tanpa *belt truss*. Bangunan yang ditinjau merupakan bangunan sistem tunggal 18 lantai (72 meter) dengan 5 bentang. Bangunan yang menggunakan *belt truss* memakai 2 bentang breising *multistory-X* dan untuk yang tidak menggunakan *belt truss* memakai 3 bentang breising *multistory-X*. Penambahan *belt truss* diharapkan memiliki pengaruh positif pada performa bangunan yang ditinjau. Dampak dari pemakaian *belt truss* juga harus dianalisis, oleh karena itu pada penelitian ini dipakai 2 macam tipe pada bangunan yang menggunakan *belt truss*, yaitu bangunan 2 pasang *belt truss* dan 3 pasang *belt truss*. Bangunan di analisa dengan *non-linear time history analysis* menggunakan program SAP2000 V.20.2.0 pada beban gempa periode ulang 2500 tahun. Performa bangunan ditinjau berdasarkan berat struktur, *drift ratio*, dan *displacement*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa bangunan yang menggunakan 3 pasang *belt truss* lebih baik dibandingkan bangunan yang tidak memakai *belt truss* dengan 3 bentang breising. Performa bangunan yang memakai 3 bentang breising tanpa *belt truss* lebih baik dibandingkan dengan bangunan yang menggunakan 2 pasang *belt truss*.

**KATA KUNCI:** gempa bumi, struktur baja, RTKK, analisis riwayat waktu, *multistory-X*, *displacement*, *drift ratio*, *belt truss*.

## 1. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah fenomena alam yang diakibatkan oleh interaksi lempeng tektonik dan bisa terjadi kapan saja. Indonesia merupakan salah satu daerah yang berpotensi terjadi gempa bumi karena terletak di pertemuan tiga lempeng utama dunia, yaitu Eurasia, Indoaustralia dan Pasifik. Seperti yang diketahui, banyak dampak-dampak negatif yang ditimbulkan gempa bumi antara lain korban jiwa dan kerugian akibat kerusakan bangunan. Untuk mengatasi ancaman yang ditimbulkan, dalam SNI perencanaan bangunan telah diwajibkan agar mendesain bangunan tahan gempa. Dengan harapan kerusakan dan keruntuhan bangunan akan berkurang sehingga korban jiwa yang disebabkan karena keruntuhan bangunan akan berkurang dan kerugian material akibat kerusakan bangunan juga berkurang. Untuk merencanakan bangunan tahan gempa, diperlukan untuk menggunakan sistem struktur penahan beban gempa sesuai SNI 1726:2012. Ada berbagai jenis sistem struktur penahan gempa, dan dapat dibagi menjadi sistem tunggal dan sistem ganda. Pada sistem tunggal, keseluruhan gaya gempa desain

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21416233@john.petra.ac.id

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21416237@john.petra.ac.id

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

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

dibebankan pada struktur eksterior atau struktur dengan rangka bresing tanpa bantuan dari struktur interior. Sistem tunggal memiliki batasan ketinggian yang terdapat pada pasal 7.2.5.4, yaitu 48 m sampai dengan 72 m tapi dengan tambahan syarat yang lebih khusus.

Dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Renaldi dan Setiawan (2019) serta Thiosalim dan Adiputro (2019) menghasilkan kesimpulan bahwa bresing *Multistory-X* lebih efektif dari bentuk bresing lainnya (*zipper V* terbalik dan *single diagonal*). Subjek penelitian kali ini adalah bangunan 18 lantai dengan ketinggian 72m. Pada penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa dari bentuk bresing yang sama tapi dengan konfigurasi pemasangan yang berbeda, yaitu berbentuk *Multistory-X* yang dipasang pada 3 bentang dan *Multistory-X* yang dipasang hanya pada 2 bentang tetapi dengan penambahan *belt truss*. *Belt truss* berfungsi sebagai pengaku horisontal yang mengikat kolom luar untuk ambil bagian dalam menahan rotasi yang terjadi pada kolom inti. Penggunaan *belt truss* dapat meningkatkan kekakuan bangunan sebesar 25% - 35% (Faimun, Tavio, dan Kurnianto, 2017). Bangunan ditentukan simetris berukuran 5 bentang. Panjang bentang sebesar 8 meter untuk memenuhi fungsi bangunan sebagai perkantoran. Metode analisis yang digunakan adalah metode DAM (*Direct Analysis Method*) sesuai AISC 360-16.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Respons Spektrum

Sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1, gaya geser dasar yang didapat dari metode respons spektrum harus lebih besar dari 85% gaya geser dasar yang dihitung dengan metode gaya lateral ekuivalen.

### 2.2. Rangka Terbreis Konsentris Khusus

Menurut AISC 341-16, rangka terbreis konsentris khusus (RTKK) adalah salah satu tipe rangka terbreis dengan kondisi komponen struktur yang berpotongan pada satu titik, dan membentuk sistem rangka batang vertikal yang dapat menerima beban lateral dan menerima gaya aksial sebagai gaya utama.

### 2.3. Sistem Tunggal

Pada sistem tunggal, direncanakan beban lateral yang ditimbulkan gempa dipikul sepenuhnya oleh portal eksterior.

### 2.4. Rangka Momen Khusus (RMK)

Untuk struktur yang di desain dengan RMK diharapkan dapat memberi kapasitas deformasi inelastis yang signifikan. Syarat yang harus dipenuhi untuk RMK ini dapat dilihat pada AISC 341-16 pasal E3.

### 2.5. Desain Kapasitas

Dalam mendesain RTKK, menurut *commentary* AISC 341-16 struktur bresing merupakan struktur utama yang menahan gaya lateral dari gempa sehingga bresing tersebut akan melalui *cyclic deformation* tarik dan tekan. Dengan RTKK yang umumnya didesain secara elastis, bresing dapat mengalami tekuk dan deformasi tarik akibat perilaku nonlinier yang melalui *cyclic deformation* saat terjadi gempa, hal itu akan menimbulkan gaya pada balok dan kolom yang terhubung dengan bresing. Sedangkan bangunan yang daktil hanya bisa terwujud bila tidak terjadi tekuk pada kolom dan balok. Sehingga dilakukan desain kapasitas dengan anggapan bresing mengalami pelelehan dan memberikan gaya tambahan sesuai dengan SNI 7860:2015 pasal F2.

### 2.6. Evaluasi Kinerja Bangunan

Bangunan diteliti dari detik ke-0 sampai detik ke-30 untuk melihat pada detik berapa elemen struktur mengalami kerusakan sendi plastis sesuai FEMA 356-2000 Tabel C1-3. Selain itu, evaluasi kinerja struktur kali ini membandingkan performa bangunan dari segi *displacement* dan *drift ratio* dengan batasan yang sudah ditetapkan FEMA 356 yang membagi jenis kerusakan menjadi 3 bagian, yaitu *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS) dan *Collapse Prevention* (CP). *Drift ratio* pada bangunan yang dikatakan *Collapse Prevention* memiliki batasan 2%.

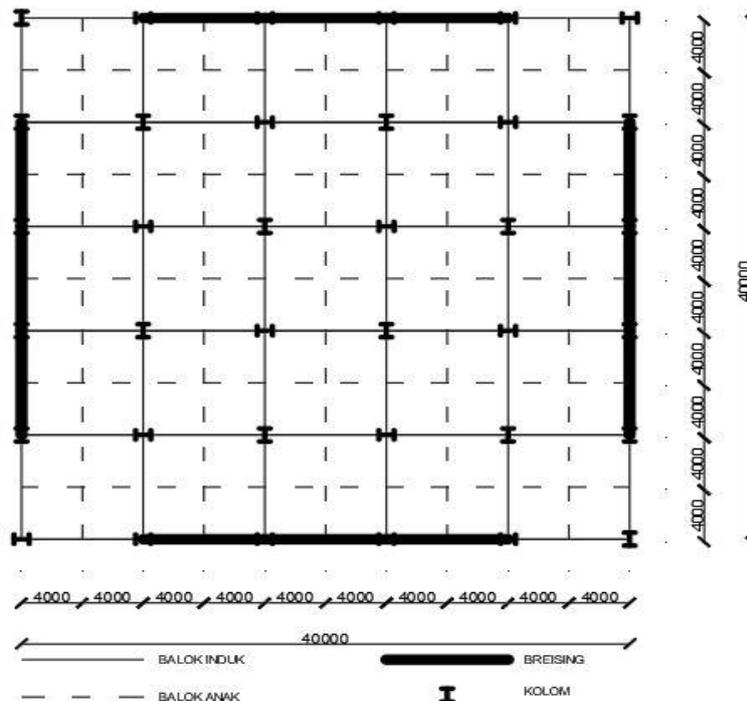
### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Berikut Langkah-langkah penelitian yang dilakukan :

1. Melakukan perencanaan bentuk struktur bangunan yang akan diteliti serta melakukan *preliminary design* dengan bantuan program SAP2000 v20.2.0. Untuk kode penamaan bangunan dapat dilihat pada **Tabel 1** dan denah bangunan dapat dilihat pada **Gambar 1**.

**Tabel 1. Kode Penamaan Bangunan**

Kode Bangunan	Makna Kode
52J18B2	Bangunan 5 Bentang 2 RTKK, pada wilayah gempa Jayapura, 18 lantai, breising <i>multistory-X</i> dengan 2 <i>belt truss</i>
52J18B3	Bangunan 5 Bentang 2 RTKK, pada wilayah gempa Jayapura, 18 lantai, breising <i>multistory-X</i> dengan 3 <i>belt truss</i>
53J18TB	Bangunan 5 Bentang 3 RTKK, pada wilayah gempa Jayapura, 18 lantai, breising <i>multistory-X</i> tanpa <i>belt truss</i>



**Gambar 1. Denah Bangunan 52J18B2, 52J18B3 dan 53J18TB**

2. Memodelkan struktur pada program SAP2000 v20.2.0 serta menginputkan pembebanan (beban mati, beban hidup dan beban gempa) yang akan diterima oleh struktur sesuai perencanaan.
3. Melakukan analisis perhitungan gaya geser dasar yang sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1 mengharuskan gaya geser dasar yang didapat dari program SAP2000 v20.2.0 harus lebih besar dari 85% gaya geser dasar yang dihitung dengan metode gaya lateral ekuivalen.
4. Melakukan perhitungan persentase gaya geser dasar yang diterima oleh portal eksterior. Karena pada sistem tunggal diharapkan agar portal eksterior menerima seluruh beban lateral. Sehingga, dilakukan *release* pada hubungan antara balok interior dengan bagian eksterior sesuai arah gempa yang ditinjau.
5. Melakukan perencanaan desain kekuatan tiap elemen struktur dengan bantuan fitur *steel check design* pada program SAP2000 v20.2.0 untuk mempercepat proses penelitian.

6. Melakukan desain kapasitas sesuai SNI 7860:2015 pasal F2.3(ii), kekuatan dari kolom dan balok yang berada dalam RTKK harus diperhitungkan ulang karena adanya gaya tambahan saat terjadinya kegagalan breising RTKK tersebut. Perhitungan desain kapasitas mengikuti FEMA P-1051.
7. Pengecekan *story drift* pada bangunan agar tidak melebihi batas yang sudah ditentukan FEMA 356-2000. Jika melebihi batas yang ditentukan maka dilakukan perubahan profil.
8. Analisis bangunan menggunakan metode *nonlinear time history analysis*.

#### 4. HASIL DAN ANALISIS

##### 4.1. Faktor Pengali Beban Gempa Respons Spektrum dan Distribusi Gaya Lateral

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1 gaya gempa respon spektrum perlu dikalikan dengan faktor pengali (*scale factor*) yang disajikan pada **Tabel 2**. Pembagian beban lateral pada sistem tunggal diharapkan diterima sepenuhnya oleh portal eksterior, tapi dengan analisis 3 dimensi pada SAP2000 v20.2.0 menghasilkan distribusi gaya lateral seperti pada **Tabel 3**.

**Tabel 2. Faktor Pengali Gaya Gempa Respons Spektrum**

Kode Bangunan	Scale Factor Ex	Scale Factor Ey
52J18B2	1.278	1.278
52J18B3	1.124	1.124
53J18TB	1.179	1.179

**Tabel 3. Distribusi Gaya Lateral**

Kode Bangunan	Distribusi Gaya Lateral (X=Y)	
	Interior	Eksterior
52J18B2	8.87%	91.13%
52J18B3	9.17%	90.83%
53J18TB	6.97%	93.03%

##### 4.2. Berat Bangunan

Mutu profil baja yang digunakan pada penelitian ini ada 3 jenis yaitu ASTM A36 ( $F_y = 245$  MPa), ASTM A992 Gr. 50 ( $F_y = 345$  MPa), dan ASTM A913 Gr. 65 ( $F_y = 450$  MPa). Sehingga jika dibandingkan berat profil dengan tujuan keekonomisan akan kurang relevan, oleh karena itu diberikan faktor pengali untuk mutu yang lebih tinggi yang disajikan pada **Tabel 4**.

**Tabel 4. Faktor Pengali Berat Bangunan**

Mutu	Faktor	Berat Bangunan Terfaktor (ton)		
		52J18B2	52J18B3	53J18TB
A36	1	1656.18	1803.71	1752.53
A992	1.38	220.91	295.35	297.01
A913 Gr. 65	1.8	713.77	282.37	390.38
Total =		2590.86	2381.43	2439.92

Dari data diatas dapat dilihat bahwa bangunan 53J18TB lebih berat dari bangunan 52J18B3 walaupun memiliki jumlah breising yang sama persis dan bangunan 52J18B2 memiliki berat total paling besar

walaupun jumlah breisingnya paling sedikit. Konfigurasi pemasangan breising adalah faktor pembeda yang mengakibatkan perbedaan berat total pada tiap bangunan. Untuk rata-rata berat profil per luasan lantai yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 5**.

**Tabel 5. Rata-rata Berat per Luasan Lantai**

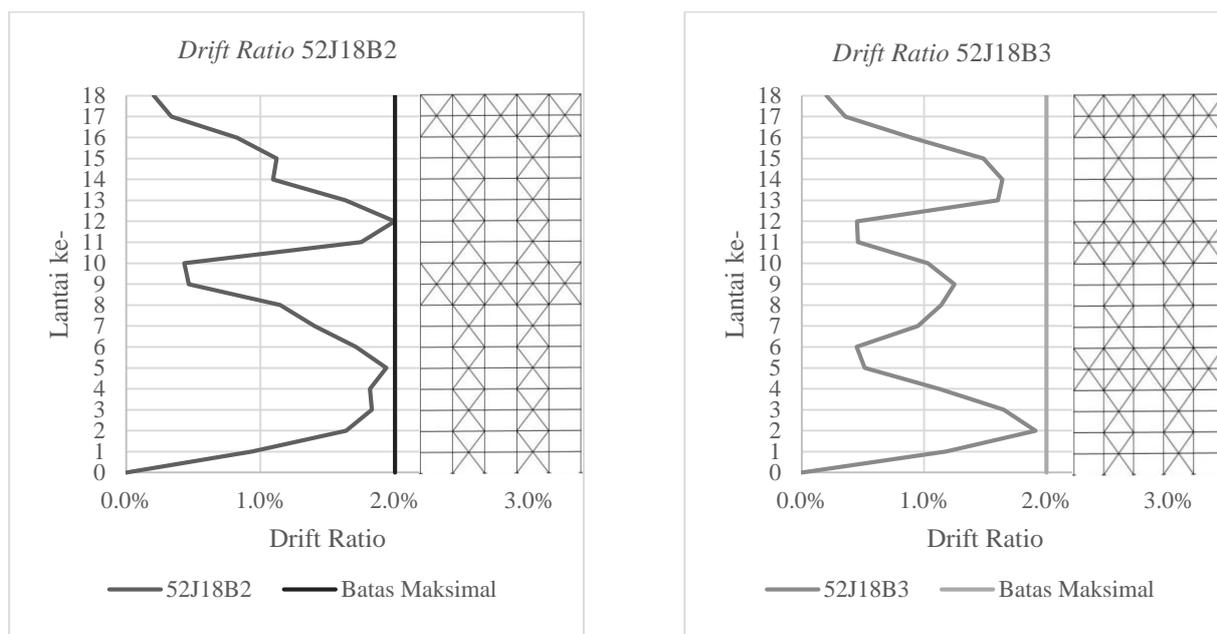
Bangunan	Berat total	Luas per Lantai	Jumlah Lantai	Luas Total	Rata-rata Berat per Luasan Lantai
	ton				kg/m <sup>2</sup>
52J18B2	2590.86	1600	18	28800	89.96
52J18B3	2381.43	1600	18	28800	82.69
53J18TB	2439.92	1600	18	28800	84.72

#### 4.3. Displacement dan Drift Ratio

Performa bangunan berdasarkan *drift ratio* dan *displacement* disajikan pada **Tabel 6**. Hasil yang didapat dengan pemasangan *belt truss* adalah *belt truss* dapat meminimalkan *story drift ratio* pada lantai atau tingkat yang dipasang *belt truss* dengan memberikan kekakuan, disaat yang bersamaan juga *drift ratio* pada lantai diatas dan dibawahnya mengalami peningkatan. Hal tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2**.

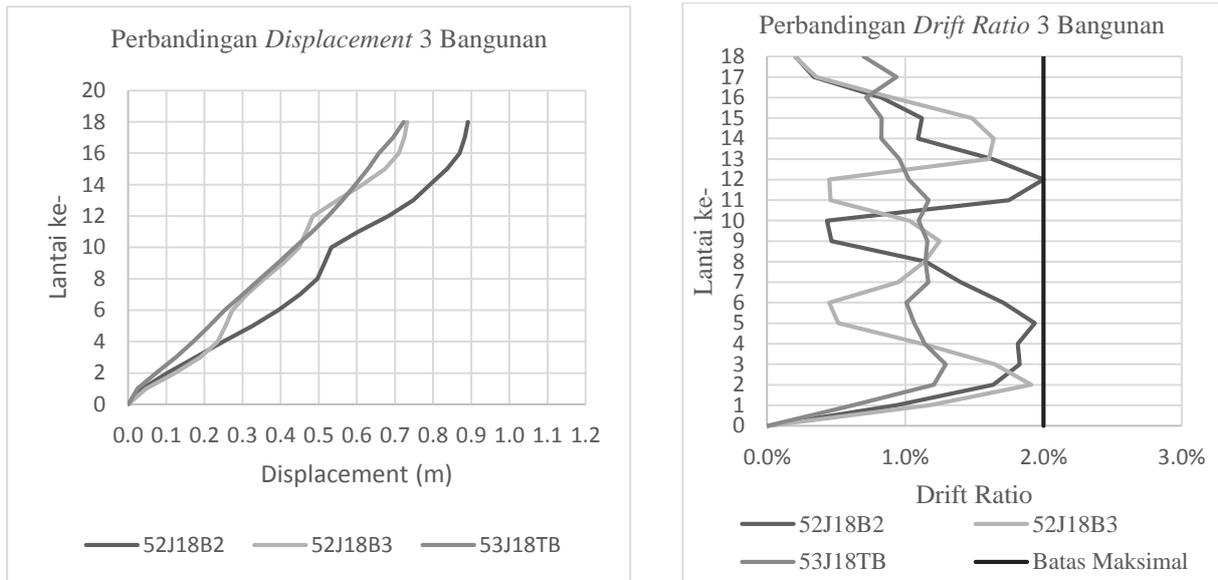
**Tabel 6. Performa Bangunan Berdasarkan Drift Ratio dan Displacement Maksimum (Gempa Rencana 2500 Tahun, Kurun Waktu 30 Detik)**

Bangunan	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Unacceptable	Displacement (m)
52J18B2		1.238%			0.891
52J18B3		1.017%			0.732
53J18TB		1.004%			0.723
Batas Drift Ratio	< 0.5%	0.5 % - 1.5 %	1.5 % - 2 %	> 2 %	



**Gambar 2. Drift Ratio Bangunan 52J18B2 dan 52J18B3**

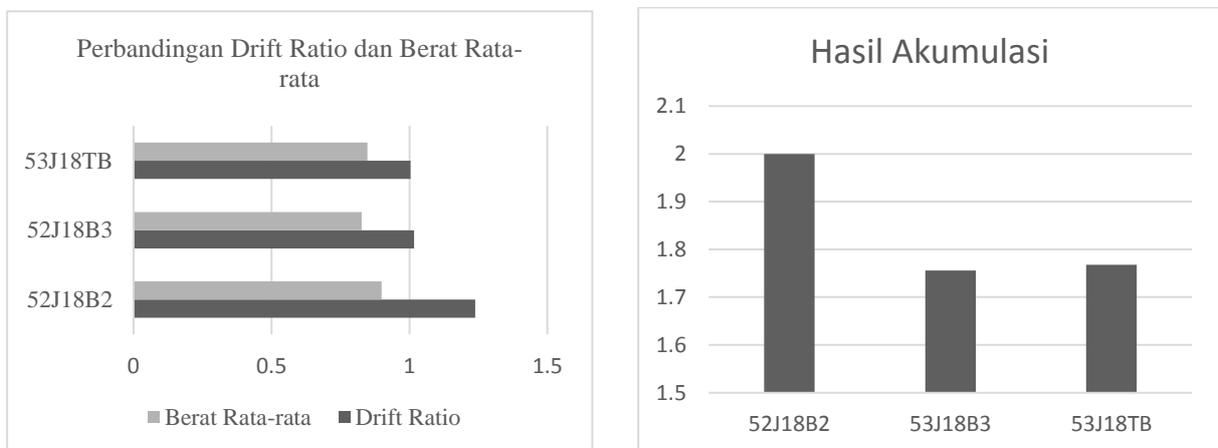
Untuk perbandingan *displacement* dan *drift ratio* pada ketiga bangunan dapat dilihat pada **Gambar 3**. Bangunan 52J18B3 didapatkan memiliki berat yang lebih kecil, sedangkan 53J18TB memiliki *displacement* yang lebih kecil. Oleh karena itu, untuk menentukan bangunan yang lebih efektif digunakan metode akumulasi *drift ratio* dan berat rata-rata yang telah dinormalisasi terlebih dahulu. Metode ini dilakukan normalisasi dengan cara nilai *drift ratio* tiap bangunan dibagi dengan *drift ratio* terbesar diantara ketiga bangunan tersebut begitu juga dengan berat rata-rata. Dari metode tersebut didapatkan bangunan 52J18B3 lebih efektif dari bangunan 53J18TB yang disajikan pada **Tabel 7**. Perbandingan berat dan *drift ratio* ketiga bangunan beserta akumulasi hasil normalisasi berat dan *drift ratio* disajikan pada **Gambar 4**.



**Gambar 3. Perbandingan *Displacement* dan *Drift Ratio* Bangunan 52J18B2, 52J18B3, 53J18TB**

**Tabel 7. Hasil Akumulasi dari Normalisasi *Drift Ratio* dan Berat Rata-rata**

Bangunan	Normalisasi <i>Drift</i>	Normalisasi Berat	Hasil Akumulasi
52J18B2	1	1	2
52J18B3	0.8215	0.9340	1.7555
53J18TB	0.8110	0.9570	1.7679



**Gambar 4. Perbandingan Berat dan *Drift Ratio* Bangunan 52J18B2, 52J18B3, 53J18TB serta Akumulasi dari Normalisasi *Drift Ratio* dan Berat Rata-rata**

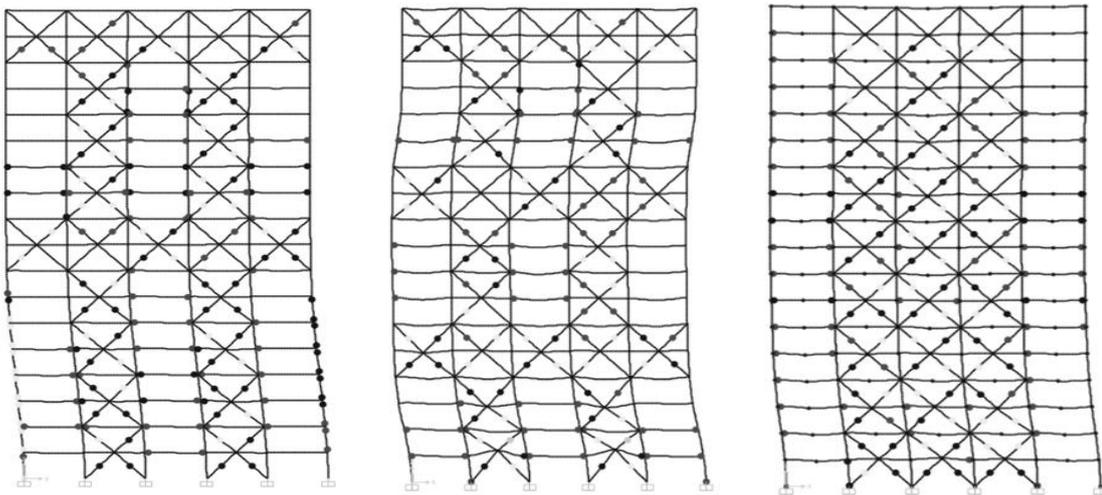
Pemakaian jumlah breising dan dimensi breising tidak terlalu berpengaruh pada *displacement* dan *story drift*, dilihat dari berat breising yang digunakan pada **Tabel 8**. Dimana bangunan 52J18B2 memiliki jumlah breising yang paling sedikit tetapi memiliki berat bangunan yang paling besar.

**Tabel 8. Berat Breising Terpakai**

Elemen	Bangunan	Berat (t)	Mutu
Breising	52J18B2	278	A36
	52J18B3	355	A36
	53J18TB	328	A36

#### 4.4. Lokasi Sendi Plastis

Ketiga bangunan sudah memenuhi konsep desain, dimana breising dari bangunan diharapkan untuk rusak terlebih dahulu sebelum kolom dan balok. Kerusakan yang terjadi pada ketiga bangunan disajikan pada **Gambar 5**. Untuk keterangan tingkat kerusakan struktur akibat terjadinya sendi plastis disajikan pada **Tabel 9**.



**Gambar 5. Sendi Plastis pada Portal Eksterior Bangunan 52J18B2, 52J18B3 dan 53J18TB Akibat Gempa dengan Periode Ulang 2500 Tahun (Detik ke-30)**

**Tabel 9. Keterangan 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 dan hasil yang didapatkan, dapat ditarik kesimpulan bahwa konfigurasi penempatan dari RTKK *multistory-X* (MX) adalah faktor yang paling berpengaruh terhadap perbedaan pola *displacement* dan *story drift ratio* yang terjadi pada penelitian ini. Selain itu, bangunan 52J18B2 memiliki konfigurasi penempatan breising MX yang paling tidak efisien dibandingkan dengan kedua bangunan lainnya. Konfigurasi breising ini memiliki *displacement* terbesar dan menyebabkan *story drift ratio* berlebihan di beberapa lantai, yang mengakibatkan berat total bangunan membengkak dan menjadi yang paling berat. Setelah melakukan *trial & error* didapatkan bahwa posisi *belt truss* awal pada bangunan 52J18B2 dan 52J18B3 sudah paling efektif. Berat total struktur pada konfigurasi lain ada yang lebih ringan, tapi *displacement* bangunan dengan konfigurasi awal memiliki nilai yang paling kecil. Secara keseluruhan bangunan 52J18B2 dan 52J18B3 yang diteliti sudah dipasangkan dengan *belt truss* yang paling efektif. Dari ketiga bangunan yang diteliti, bangunan 52J18B3 memiliki berat total paling ringan, sedangkan bangunan 53J18TB memiliki *displacement* yang paling kecil akibat kekakuan yang paling baik dan merata. Walaupun begitu, bangunan 52J18B3 merupakan bangunan yang paling efisien dan unggul pada penelitian ini. Dilihat dari akumulasi terskala dari berat total dengan *displacement* antara kedua bangunan, serta hasil perkalian drift dengan berat nya. Dari hasil *story drift ratio* yang sudah diteliti, ditemukan bahwa konfigurasi breising *belt truss* memiliki kemampuan yang sangat efektif untuk mengurangi *story drift ratio* di lantai yang bersangkutan, tetapi memiliki dampak yang membesarkan *story drift ratio* di sekitarnya.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings: ANSI/AISC 360-16*, Chicago, USA.
- American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification Provisions for Structural Steel Buildings: ANSI/AISC 341-16*, Chicago, USA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2012*. Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung: SNI 7860:2015*. Jakarta, Indonesia.
- Faimun, Tavio dan Kurnianto, F. (2017). "Desain Modifikasi Struktur Gedung Apartemen Gunawangsa Tidar Surabaya Menggunakan Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Outrigger dan Belt-Truss." *Jurnal Teknik ITS*. Vol.6, No. 2, 324-328.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings: FEMA 356*, Washington D. C., USA.
- Renaldi, C. Dan 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.
- Thiosalim, K.S. Dan Adiputro, J.A. (2019). *Perbandingan Kinerja Struktur Baja Rangka Terbreis Konsentris Khusus Sistem Tunggal dan Ganda Tipe Multi-story X dan Single Diagonal pada Bangunan 12 dan 18 Lantai*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.