

## **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**

Kevin Sulaiman Thiosalim<sup>1</sup>, Joshua Antonio Adiputro<sup>2</sup>, Effendy Tanojo<sup>3</sup> dan Hasan Santoso<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** Gempa bumi merupakan bencana alam yang sangat berbahaya yang sering terjadi di Indonesia. Ada banyak dampak-dampak negatif yang ditimbulkan dari gempa yaitu korban jiwa dan kerugian akibat kerusakan bangunan, sehingga bangunan wajib didesain bangunan tahan gempa. Penelitian ini mengevaluasi kinerja struktur baja rangka bangunan RTKK (Rangka Terbreis Konsentris Khusus) dengan 2 sistem yaitu sistem tunggal dan ganda. Pada sistem tunggal menggunakan RTKK sedangkan pada sistem ganda menggunakan RTKK dan Rangka Momen Khusus (RMK). Kedua sistem akan dibandingkan kinerjanya dengan menggunakan *Non-linear Time History Analysis*. Penelitian ini menggunakan 2 tipe breising, *multistory-x* dan *single diagonal*. Bangunan yang ditinjau adalah bangunan 12 lantai (48 meter) dan 18 lantai (72 meter) dengan 5 bentang. Metode yang digunakan adalah *Direct Analysis Method* (DAM). Pada penelitian ini, performa bangunan ditinjau berdasarkan berat struktur, nilai *drift ratio* dan *displacement*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada bangunan 12 lantai, berat struktur pada bangunan MX tunggal lebih baik daripada SD tunggal dan SD ganda lebih baik daripada MX ganda dengan nilai *drift ratio* yang tidak berbeda jauh. Pada bangunan 18 lantai, sistem tunggal MX menunjukkan performa yang lebih baik daripada SD. Sedangkan pada sistem ganda, SD menunjukkan performa yang lebih baik bila ditinjau berdasarkan berat struktur dengan nilai *drift ratio* yang tidak jauh berbeda.

**KATA KUNCI:** struktur baja, rangka terbreis konsentris khusus, analisis riwayat waktu, DAM

### **1. PENDAHULUAN**

Gempa merupakan ancaman berbahaya bagi bangunan. Oleh sebab itu dibutuhkan sistem struktur penahan beban gempa. Dari berbagai macam sistem struktur pada SNI 1726:2012 digunakan 2 jenis sistem yaitu sistem tunggal dan sistem ganda. Sistem tunggal hanya menggunakan Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK) sedangkan sistem ganda menggunakan RTKK dan Rangka Momen Khusus (RMK). Sistem ganda harus mengikuti persyaratan SNI 1726:2012 “Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka breising, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya” (BSN, 2012). Pada penelitian yang dilakukan oleh Saputra dan Tjandra (2018), mendapatkan kesimpulan bahwa pada bangunan tipe V terbalik 12 dan 18 lantai, sistem tunggal memiliki performa yang lebih baik dari sistem ganda. Sedangkan Pranoto dan Muktiwibowo (2018) mengatakan bahwa pada sistem tunggal

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, [m21416094@john.petra.ac.id](mailto:m21416094@john.petra.ac.id)

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, [m21416179@john.petra.ac.id](mailto:m21416179@john.petra.ac.id)

<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, [effendy@petra.ac.id](mailto:effendy@petra.ac.id)

<sup>4</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, [hasan@petra.ac.id](mailto:hasan@petra.ac.id)

tipe V terbalik, ketinggian bangunan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa bangunan. Kemudian Renaldi dan Setiawan (2019), melakukan penelitian pada bangunan tipe *multistory-x* dan *zipper V* terbalik pada 12 dan 18 lantai yang menunjukkan bahwa secara keseluruhan, performa dari *multistory-x* lebih baik dibandingkan dengan *zipper V* terbalik jika ditinjau dari segi *drift ratio* dan berat struktur. Maka dari itu, dilakukan penelitian menggunakan tipe *multistory-x* dan *single diagonal* pada sistem tunggal dan ganda untuk mengetahui performa kedua tipe breising dan kedua sistem penahan gempa tersebut. Penelitian dilakukan menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM) sebagai desain stabilitas karena dinilai lebih akurat dan riil dalam menunjukkan hasil desain.

## 2. GAMBAR DAN TABEL

### 2.1. Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK)

Berdasarkan AISC 341-16 (2016), RTKK merupakan rangka terbreis yang terdiri dari elemen yang terhubung secara konsentris. RTKK diharapkan memberikan kapasitas deformasi inelastik yang signifikan melalui *brace buckling* dan pelelehan dari breising tarik.

### 2.2. Rangka Momen Khusus (RMK)

Pada AISC 341-16 (2016), RMK harus memenuhi syarat dari strong-column/weak-beam. Perencanaan struktur baja RMK menggunakan referensi yang diambil dari AISC 360-16 (2016) yang mengatur tentang desain aksial, geser, lentur, dan kombinasi aksial-lentur.

### 2.3. Sistem Tunggal (ST)

Sistem tunggal sesuai dengan SNI 1726:2012, dimana gaya gempa dominan diterima oleh eksterior dan rangka breising.

### 2.4. Sistem Ganda (SG)

Sesuai dengan SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1, sistem ganda harus memenuhi syarat dimana bagian interior harus menahan minimal 25% dari gaya gempa dan harus memenuhi syarat RMK.

### 2.5. Desain Kapasitas

Berdasarkan AISC 341-16 pasal F2.3, desain kapasitas RTKK dilakukan dengan mengasumsikan struktur menahan gaya ekspektasi breising pasca kegagalan breising. Sedangkan pada RMK dilakukan dengan memenuhi syarat SC/WB.

### 2.6. Performance Based Design (PBD)

Bangunan perlu dianalisis berdasarkan performa struktur akibat beban seismik. Performa bangunan dikategorikan dengan *acceptance criteria* antara lain IO (*Immediate Occupancy*), LS (*Life Safety*), dan CP (*Collapse Prevention*) sesuai yang diisyaratkan pada FEMA 356:2000.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

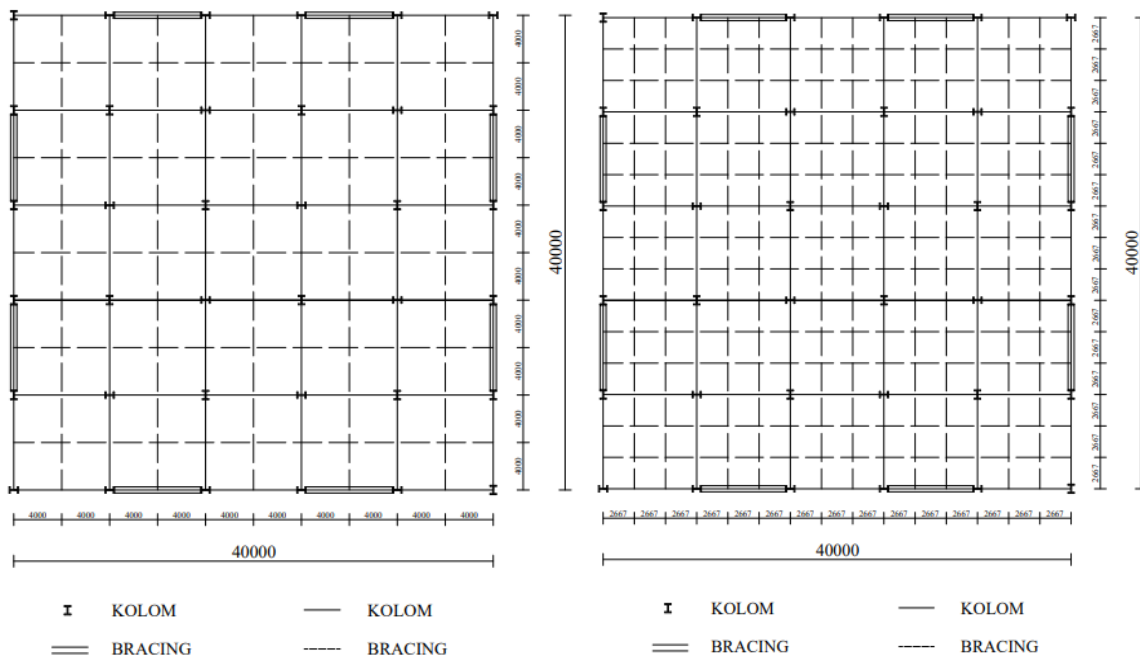
Penelitian ini dilaksanakan dengan urutan sebagai berikut:

1. Melakukan pemodelan struktur dan preliminary design menggunakan SAP2000 v20.2.0.

Terdapat 4 model bangunan sesuai **Gambar 1** yang dikerjakan menggunakan sistem tunggal dan ganda. Desain stabilitas menggunakan DAM. Adapun penamaan dan keterangan bangunan yang disajikan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1. Kode Penamaan Bangunan**

Kode	Makna Kode
52J12MX	Bangunan 5 bentang 2 RTKK, wilayah gempa Jayapura, 12 lantai, breising multi-story X
52J12SD	Bangunan 5 bentang 2 RTKK, wilayah gempa Jayapura, 12 lantai, breising <i>single diagonal</i>
52J18MX	Bangunan 5 bentang 2 RTKK, wilayah gempa Jayapura, 18 lantai, breising multi-story X
52J18SD	Bangunan 5 bentang 2 RTKK, wilayah gempa Jayapura, 18 lantai, breising <i>single diagonal</i>



**Gambar 1. (a) Denah Bangunan Sistem Tunggal; (b) Denah Bangunan Sistem Ganda**

2. Melakukan pembebanan pada bangunan, meliputi beban mati, hidup, dan gempa secara respon spektrum.
3. Melakukan pengecekan gaya geser dasar respon spektrum dengan syarat lebih besar atau sama dengan 85% statik ekuivalen. Untuk sistem tunggal (ST), diusahakan terdistribusi lebih dominan pada bagian eksterior atau bagian terbreis. Sedangkan untuk sistem ganda (SG), persentase gaya geser dasar interior minimal 25% dari gaya gempa desain.
4. Melakukan desain kapasitas sesuai syarat RTKK dan/atau RMK serta melakukan pengecekan *drift* bangunan.
5. Evaluasi kinerja struktur dengan analisis time history secara nonlinier.
6. Evaluasi performa bangunan, diskusi hasil, dan penarikan kesimpulan.

#### 4. HASIL DAN ANALISIS

##### 4.1. Berat Profil Bangunan Terpakai

Data berat profil terpakai untuk bangunan 12 lantai yang dikonversikan menjadi mutu ASTM A36 akan disajikan pada **Tabel 2** dan bangunan 18 pada **Tabel 3**. Data rata-rata berat per luasan lantai dan persentase berat bangunan disajikan pada **Tabel 4**.

**Tabel 2. Berat Profil Bangunan Terpakai 12 Lantai**

Mutu	Faktor	Berat Bangunan Terfaktor (t)			
		52J12MX – T	52J12MX – G	52J12SD – T	52J12SD – G
A36	1	1603,3	1649,7	1367,1	1575,23
A992	1,38	169,83	500,72	581,27	255,075
A913 Gr. 65	1,8	0	341,56	267,71	288,96
<b>Total =</b>		1773,09	2492,02	2216,11	2119,26

**Tabel 3. Berat Profil Bangunan Terpakai 18 Lantai**

Mutu	Faktor	Berat Bangunan Terfaktor (t)			
		52J18MX – T	52J18MX – G	52J18SD – T	52J18SD – G
A36	1	2447,02	2653,99	2823,89	2693,16
A992	1,38	860,09	452,59	579,5	409,913
A913 Gr. 65	1,8	170,78	668,12	558,49	370,29
<b>Total =</b>		3477,89	3774,76	3961,89	3473,36

**Tabel 4. Berat Rata-rata dan Persentase Berat Bangunan**

Bangunan	Berat total	Luas per Lantai	Jumlah Lantai	Luas Total	Rata-rata Berat per Luasan Lantai	Persentase
	ton				kg/m <sup>2</sup>	%
52J12MX - T	1773,1	1600	12	19200	92,348	100,00
52J12MX - G	2492	1600	12	19200	129,793	140,55
52J12SD - T	2216,1	1600	12	19200	115,422	124,99
52J12SD - G	2119,3	1600	12	19200	110,378	119,52
52J18MX - T	3477,9	1600	18	28800	120,760	100,13
52J18MX - G	3774,8	1600	18	28800	131,068	108,68
52J18SD - T	3961,9	1600	18	28800	137,566	114,07
52J18SD - G	3473,4	1600	18	28800	120,603	100,00

#### 4.2. Drift Ratio dan Displacement

Hasil drift ratio maksimum dan *displacement* maksimum akibat gempa dengan periode ulang 2500 tahun disajikan pada **Tabel 5**.

**Tabel 5. Drift Ratio dan Displacement Maksimum (Gempa Rencana 2500 Tahun)**

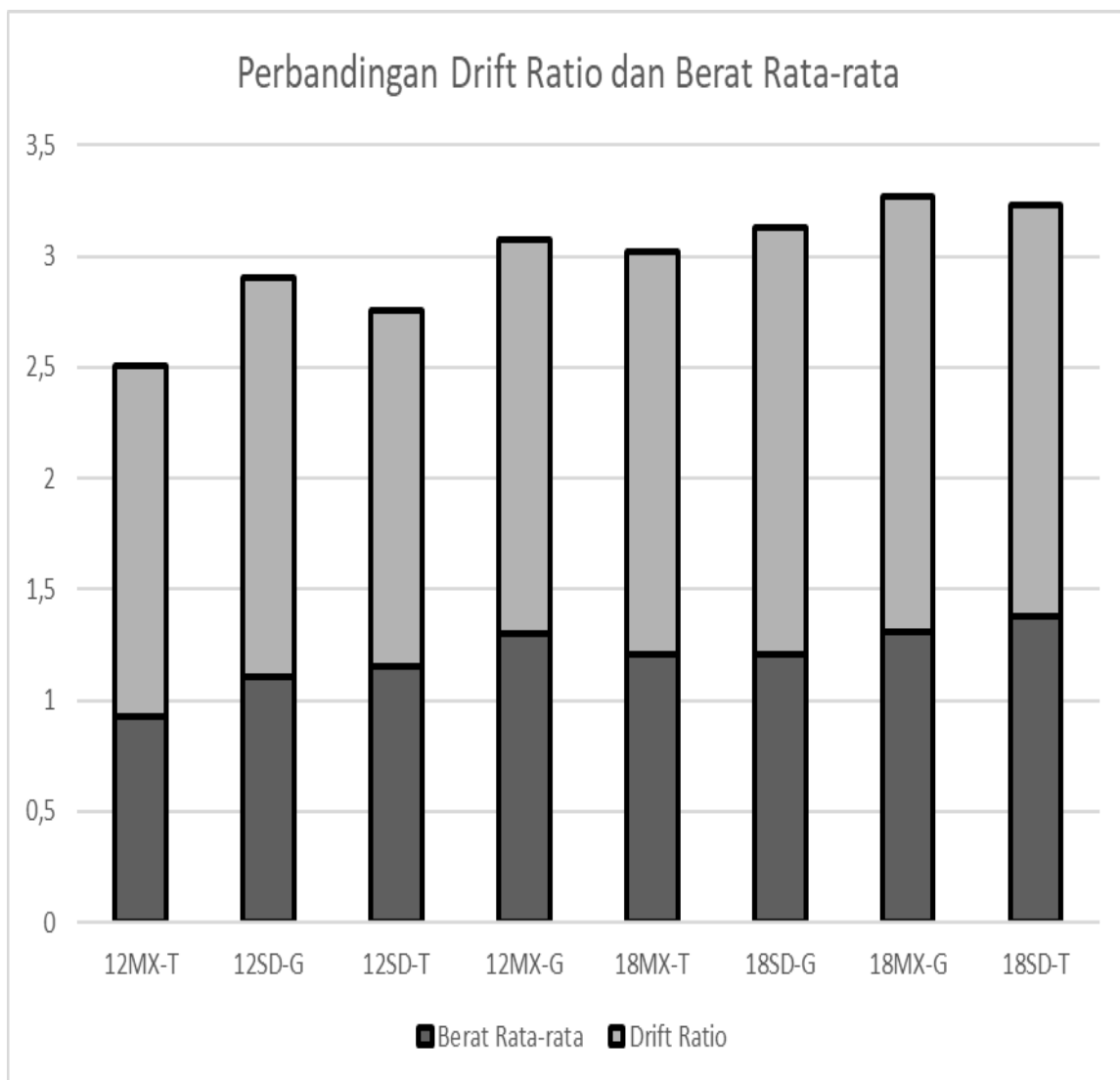
Bangunan	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Unacceptable	Displacement
					(m)
52J12MX-T	-	-	1,580%	-	0,632
52J12MX-G	-	-	1,780%	-	0,668
52J12SD-T	-	-	1,60%	-	0,569
52J12SD-G	-	-	1,80%	-	0,599
52J18MX-T	-	-	1,810%	-	1,1
52J18MX-G	-	-	1,956%	-	0,875
52J18SD-T	-	-	1,852%	-	1,038
52J18SD-G	-	-	1,920%	-	0,8424
Batas Drift Ratio	< 0.5%	0.5 % - 1.5 %	1.5 % - 2 %	> 2 %	

#### 4.3. Perbandingan Performa Berdasarkan Berat Rata-rata dan *Drift Ratio*

Perbandingan ataupun kenaikan dan penurunan berat rata-rata dan *drift ratio* bangunan disajikan pada **Tabel 6**. Perbandingan drift ratio dan berat rata-rata disajikan pada **Gambar 2**.

**Tabel 6. Kenaikan / Penurunan Berat Rata-rata dan *Drift Ratio***

Nama Bangunan	AVG Berat (kg/m)		Kenaikan/Penurunan (%)	Drift Ratio		Kenaikan/Penurunan (%)
	Tunggal	Ganda		Tunggal	Ganda	
12MX	92,348	129,793	140,55	1,58	1,78	112,66
12SD	115,422	110,378	95,63	1,6	1,8	112,50
18MX	120,76	131,068	108,54	1,81	1,956	108,07
18SD	137,566	120,603	87,67	1,852	1,92	103,67



**Gambar 2. Perbandingan Drift Ratio dan Berat Rata-rata**

#### 4.4. Lokasi Sendi Plastis

Lokasi terjadinya sendi plastis pada akhir pengujian time history disajikan pada **Tabel 7**. Penjelasan kategori tingkat kerusakan struktur akibat sendi plastis yang tertera pada **Tabel 7** disajikan pada **Tabel 8**.

**Tabel 7. Sendi Plastis Akibat Gempa 2500 Tahun**

Bangunan	Lokasi				Bangunan	Lokasi			
	Eksterior		Interior			Eksterior		Interior	
	Elemen Struktur	Tahap Kinerja	Elemen Struktur	Tahap Kinerja		Elemen Struktur	Tahap Kinerja	Elemen Struktur	Tahap Kinerja
52J12SD - T	Breising	C	Balok Interior	B	52J18SD - T	Breising	C	Balok Interior	IO
	Balok Breising	B	Kolom	-		Balok Breising	B	Kolom	-
	Balok ET	IO				Balok ET	IO		
	Balok EL	IO				Balok EL	IO		
	Kolom	IO				Kolom	C		
52J12MX - T	Breising	C	Balok Interior	B	52J18MX - T	Breising	C	Balok Interior	B
	Balok Breising	B	Kolom	-		Balok Breising	IO	Kolom	-
	Balok ET	IO				Balok ET	IO		
	Balok EL	IO				Balok EL	IO		
	Kolom	IO				Kolom	IO		
52J12SD - G	Breising	C	Balok Interior	B	52J18MX - G	Breising	C	Balok Interior	B
	Balok Breising	B	Kolom	-		Balok Breising	IO	Kolom	-
	Balok ET	IO				Balok ET	IO		
	Balok EL	B				Balok EL	IO		
	Kolom	C				Kolom	IO		
52J12MX - G	Breising	C	Balok Interior	B	52J18MX - G	Breising	C	Balok Interior	B
	Balok Breising	B	Kolom	-		Balok Breising	B	Kolom	-
	Balok ET	IO				Balok ET	IO		
	Balok EL	IO				Balok EL	B		
	Kolom	IO				Kolom	IO		

**Tabel 8. Tingkat Kerusakan Struktur Akibat Terjadinya Sendi Plastis**

Kategori	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 ini, didapatkan bahwa bangunan dengan RTKK *multistory X* (MX) memiliki berat bangunan yang lebih ringan pada sistem tunggal jika dibandingkan dengan sistem ganda. Hal ini dikarenakan syarat dari sistem ganda yang mengharuskan bagian interior harus memenuhi minimal 25% dari gempa desain, sehingga dibutuhkan kolom interior dengan ukuran dan mutu yang lebih tinggi untuk memenuhi syarat tersebut. Pada RTKK *single diagonal* (SD), berat bangunan yang lebih ringan adalah pada sistem ganda, berkebalikan dengan sistem tunggal. Hal ini dikarenakan distribusi gempa desain atau beban lateral SD lebih masuk ke interior dengan persentase diatas 30 persen dalam memenuhi syarat dari sistem ganda. Semua bangunan yang dikaji dalam penelitian ini memiliki performa di kategori yang sama yaitu “*collapse prevention*” dengan nilai *drift ratio* yang tidak terlalu signifikan perbedaannya. Maka dari itu untuk RTKK tipe MX lebih efisien jika menggunakan sistem tunggal sedangkan pada SD lebih baik atau efisien jika menggunakan sistem ganda. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan, RTKK tipe MX lebih baik daripada SD jika dilihat dari keekonomisan, performa, dan sendi plastis yang terjadi. Peningkatan berat struktur tidak berbanding lurus dengan peningkatan performa atau penurunan *drift ratio* dan *displacement*. Hal ini dikarenakan tidak semua peningkatan ukuran profil berpengaruh dalam menahan gaya lateral akibat gempa, komponen yang paling berpengaruh dalam menahan gaya lateral adalah breising. Sedangkan *displacement*, *drift ratio*, dan rata-rata berat bangunan meningkat seiring bertambahnya ketinggian bangunan.

## 6. DAFTAR REFERENSI

- American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification Provisions for Structural Steel Buildings: ANSI/AISC 341-16*. Chicago, USA.
- American Institute of Steel Construction. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings: ANSI/AISC 360-10*. Chicago, USA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2012*. Jakarta, Indonesia.
- 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). Unpublished Undergraduate Thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.

- 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*. (TA No. 11012327/SIP/2019). Unpublished Undergraduate Thesis, 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*. (TA No. 11012208/SIP/2018). Unpublished Undergraduate Thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.