

# PERBANDINGAN KINERJA SISTEM RANGKA TERBREIS EKSENTRIS DENGAN *SHORT LINK* PADA KONFIGURASI V DAN *MULTI-STORY X* MENGGUNAKAN 3 BENTANG BREISING PADA BANGUNAN 12 DAN 18 LANTAI

Michael Susanto<sup>1</sup>, Rivaldo<sup>2</sup>, Effendy Tanojo<sup>3</sup>, Hasan Santoso<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** Indonesia sering mengalami gempa bumi karena terletak pada kawasan *ring of fire*. Gempa bumi dapat menimbulkan kerusakan struktur yang dapat memakan korban jiwa. Oleh karena itu, dalam mendesain bangunan perlu memperhatikan gempa yang dapat terjadi, khususnya pada bangunan tinggi. Pada bangunan terdapat berbagai macam penahan lateral untuk menahan gaya lateral dari gempa bumi, salah satunya adalah breising. Pada penelitian ini akan ditinjau pengaruh breising pada bangunan 12 (48 meter) lantai dan 18 (72 meter) lantai menggunakan sistem tunggal. Sistem breising yang diteliti adalah Sistem Rangka Terbreis Eksentris (SRTE) menggunakan breising hollow. Bentuk breising yang akan diteliti adalah bentuk V dan *multi-story X* dengan 3 bentang. Performa dari setiap bangunan akan ditinjau menggunakan analisis *nonlinear time history*. Hasil penelitian secara umum menunjukkan bahwa SRTE dengan breising bentuk *multi-story X* lebih unggul dari SRTE dengan breising bentuk V dalam aspek berat struktur, tingkat kerusakan bangunan, *displacement* dan *drift ratio* yang terjadi.

**KATA KUNCI :** sistem rangka terbreis eksentris, bangunan tinggi, bentuk V, bentuk *multi-story X*, *nonlinear time history analysis*, *displacement*, *drift ratio*.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia sering mengalami gempa bumi karena terletak pada kawasan *ring of fire*. Gempa bumi dapat menimbulkan kerusakan struktur yang dapat memakan korban jiwa. Oleh karena itu, dalam mendesain bangunan perlu memperhatikan gempa yang dapat terjadi, khususnya pada bangunan tinggi. Dalam mendesain bangunan tahan gempa di Indonesia dapat mengacu pada peraturan yang dibuat oleh pemerintah Indonesia yaitu SNI 1726:2019. Salah satu sistem penahan gaya lateral yang sering digunakan adalah breising.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rafael (2017) menunjukkan bahwa performa bangunan yang menggunakan *short link* lebih bagus daripada *intermediate link* dan *long link*. Penelitian Tania dan Riani (2018) menunjukkan bahwa performa bangunan dengan sistem tunggal lebih baik daripada bangunan sistem ganda. Hasil penelitian yang dilakukan oleh David dan Sarif (2021) menunjukkan jika breising dengan bentuk V pada bangunan SRTE memiliki performa lebih baik daripada V terbalik, dan diagonal. Namun pada SRTK dalam penelitian Unal dan Kaltakci (2016) menunjukkan bahwa breising X paling unggul dalam segi performa yang dihasilkan diikuti dengan breising *inverted V* pada posisi kedua dan breising V pada posisi ketiga. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Sayed, et al. (2018) menunjukkan bahwa breising *multi-story X* memiliki performa yang lebih baik dalam hal *displacement* dan *drift ratio* dibandingkan breising X pada SRTK. Sehingga secara tidak langsung breising *Multi-Story X* lebih baik daripada breising V pada bangunan sistem rangka terbreis konsentris.

□□□□□□□□□□□□□□

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11180041@john.petra.ac.id

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11180193@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

Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa penelitian ini akan meninjau perbandingan kinerja sistem rangka terbreis eksentris (SRTE) dengan *short link* pada konfigurasi V dan *multi-story X* pada bangunan 12 dan 18 lantai menggunakan 3 bentang dimana lokasi breising pada bangunan yang menggunakan 3 bentang breising diposisikan berada di tengah bangunan karena penelitian [Metre, et al. \(2017\)](#) menunjukkan bahwa breising yang diposisikan pada bentang bangunan tengah memberikan displacement terkecil.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Struktur Baja Rangka Terbreis Eksentris (SRTE)

Pada SRTE terdapat ujung breis diagonal yang tersambung pada sebuah balok dengan suatu eksentrisitas. Segmen balok yang terpisah dari balok lainnya akibat adanya eksentrisitas pada breising disebut sebagai *link*. Elemen *link* berlaku sebagai *structural fuse* yang didesain untuk mengalami kegagalan terlebih dahulu pada SRTE. Sedangkan elemen lain diluar *link* didesain mampu untuk menahan beban yang timbul akibat pelelehan dan *strain hardening* dari *link* dan tetap dalam kondisi elastis.

### 2.2. Performance Based Design

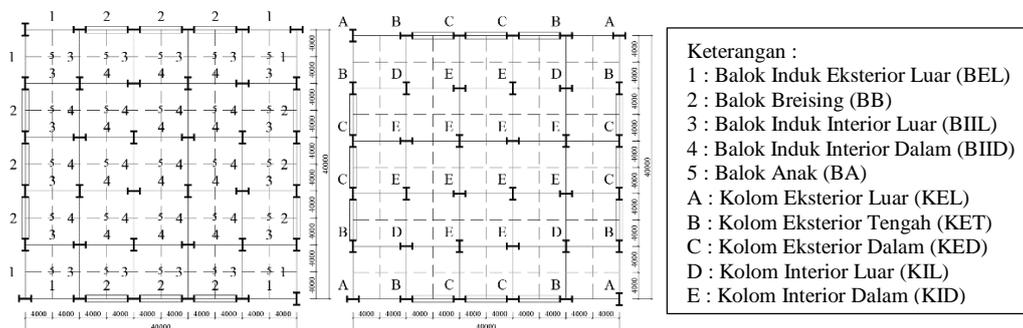
Bangunan yang telah didesain tahan gempa, diharapkan memiliki sifat daktail. Sehingga ketika bangunan dibebani oleh beban lateral, bangunan masih dapat mempertahankan bangunannya dan tidak langsung runtuh. Berdasarkan FEMA 356-2000 Tabel C1-2 dan Tabel C1-3, performa bangunan diklasifikasikan kedalam 3 tingkat, yaitu *Immediate Occupancy* (IO), *LifeSafety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP).

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk prosedur pelaksanaan penelitian diuraikan sebagai berikut.

### 1. Permodelan struktur secara 3 dimensi menggunakan ETABS v.18.

Pada penelitian ini, terdapat 4 bangunan SRTE yang akan dianalisis. Bangunan tersebut akan menggunakan 2 bentuk breising yaitu *multi-story X* dan V. Semua bangunan memiliki bentuk tipikal dengan 5 bentang yang dilengkapi dengan 3 bentang breising dan panjang setiap bentang 8 meter. Bangunan di desain menggunakan sistem tinggal pada tingkat 12 lantai dan 18 lantai. Tata nama elemen struktur disajikan pada **Gambar 1** sedangkan kode penamaan bangunan dapat dilihat pada **Tabel 1**.



**Gambar 1. Tata Nama Elemen Struktur**

**Tabel 1. Kode Penamaan Bangunan**

Kode	Makna
5.3.E.V.J.12.T	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 12 Lantai Sistem Tunggal ( <i>single system</i> )
5.3.E.V.J.18.T	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 18 Lantai Sistem Tunggal ( <i>single system</i> )
5.3.E.X.J.12.T	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk <i>multi-story X</i> , berlokasi di Jayapura, 12 Lantai Sistem Tunggal ( <i>single system</i> )
5.3.E.X.J.18.T	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk <i>multi-story X</i> , berlokasi di Jayapura, 18 Lantai Sistem Tunggal ( <i>single system</i> )

2. Pembebanan Struktur

Beban yang akan diaplikasikan pada struktur berupa beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3. Pengecekan *base shear*

Desain untuk struktur bangunan dilakukan sedemikian rupa agar memenuhi syarat kekuatan dan *story drift*. Pada penelitian ini diupayakan agar gaya gempa yang dipikul oleh portal eksterior portal berkisar pada 85%.

4. *Capacity Design*

Pada bangunan SRTE, elemen *structural fuse* berupa *link* didesain untuk mengalami leleh lebih dahulu dan dapat melindungi elemen struktur lainnya seperti breising, balok, dan kolom dari gaya berlebihan yang timbul akibat dari beban gempa yang terjadi. Desain kapasitas berpedoman pada SNI 7860:2015.

5. *Nonlinear time history analysis*

Bangunan dianalisis menggunakan analisis *Nonlinear time history analysis* dengan beban gempa El Centro 1940

6. Pembahasan analisis dan kesimpulan

Hasil analisis yang ditinjau dari setiap bangunan berupa *displacement*, *drift ratio* yang ditinjau berdasarkan *FEMA 356-2000*, berat bangunan, serta kerusakan sendi plastis.

**4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Setelah selesai melakukan permodelan bangunan pada ETABS v.18, selanjutnya dilakukan pengecekan besar distribusi gaya lateral yang terjadi pada setiap bangunan. Portal eksterior bangunan diharapkan menerima proporsi beban lateral semaksimal mungkin untuk mewujudkan sistem tunggal yang mendekati sempurna. Distribusi beban lateral pada setiap bangunan disajikan pada **Tabel 2**.

**Tabel 2. Distribusi Gaya Lateral pada Portal Eksterior dan Interior Seluruh Bangunan**

Jenis Bangunan	Base Shear (kN)	Distribusi Gaya (%)	
	$V = C_s \times W$	Eksterior	Interior
5.3.E.V.J.12.T	7411.1660	85.56%	14.44%
5.3.E.X.J.12.T	8066.0300	85.09%	14.91%
5.3.E.V.J.18.T	8849.0177	85.14%	14.86%
5.3.E.X.J.18.T	9287.7218	85.04%	14.96%

Pada penelitian ini mutu baja yang digunakan terdiri dari mutu baja A992Fy50 dan A913Gr65 sehingga perlu dilakukan konversi mutu ke mutu terendah yaitu mutu baja A992Fy50. Berat struktur setiap

bangunan sebelum dan sesudah tahap *capacity design* beserta konversi mutu ke mutu baja A992Fy50 dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

**Tabel 3. Konversi Mutu Sebelum *Capacity Design***

Jenis Bangunan	Berat Baja (kg)		
	A992Fy50	A913Gr65	Konversi A992Fy50
5.3.E.V.J.12.T	1386717.95	0	1386717.95
5.3.E.X.J.12.T	1298736.83	0	1298736.83
5.3.E.V.J.18.T	0	1830514.45	2387627.54
5.3.E.X.J.18.T	0	1736314.27	2264757.74

**Tabel 4. Konversi mutu Setelah *Capacity Design***

Jenis Bangunan	Berat Baja (kg)		
	A992Fy50	A913Gr65	Konversi A992Fy50
5.3.E.V.J.12.T	1809490.45	0	1809490.45
5.3.E.X.J.12.T	1767868.08	0	1767868.08
5.3.E.V.J.18.T	0	2632856.36	3434160.47
5.3.E.X.J.18.T	0	2613033.82	3408304.98

Nilai dari AVG berat didapat dengan membagi berat total profil baja yang digunakan pada setiap bangunan terhadap luas total bangunan. Setelah proses *capacity design*, berat struktur akan mengalami peningkatan seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 5**.

**Tabel 5. Kenaikan Berat Struktur Sebelum dan Sesudah *Capacity Design***

Jenis Bangunan	AVG Berat (kg/m <sup>2</sup> )		Kenaikan (%) = $(b-a)/a \cdot 100$
	Sebelum <i>Capacity Design</i> (a)	Setelah <i>Capacity Design</i> (b)	
5.3.E.V.J.12.T	72.22	94.24	30.49
5.3.E.X.J.12.T	67.64	92.08	36.12
5.3.E.V.J.18.T	82.9	119.24	43.84
5.3.E.X.J.18.T	78.64	118.34	50.48

Pada penelitian ini analisis dilakukan dengan menggunakan analisis *time history*. Kemudian dilakukan pengecekan terhadap lokasi dan kerusakan sendi plastis. Pada berbagai bangunan yang diteliti terlihat adanya sendi plastis pada elemen *non fuse*, walaupun tata cara desain sudah mengikuti AISC 360-16 dan AISC 341-16. Popov, Kasai dan Engelhardt (1986) menyatakan adanya kemungkinan sendi plastis yang terjadi diluar *link* pada bangunan SRTE. Berbeda dengan prosedur desain yang diajukan oleh AISC dimana nilai gaya ultimate yang timbul akibat link adalah sebesar 1.25Vp, Popov et al. (1986) menyebutkan bahwa nilai gaya ultimate yang timbul akibat *link* pada bangunan SRTE adalah sebesar 1.5 Vp. Perbedaan koefisien ini mempengaruhi besaran profil yang akan digunakan pada bangunan.

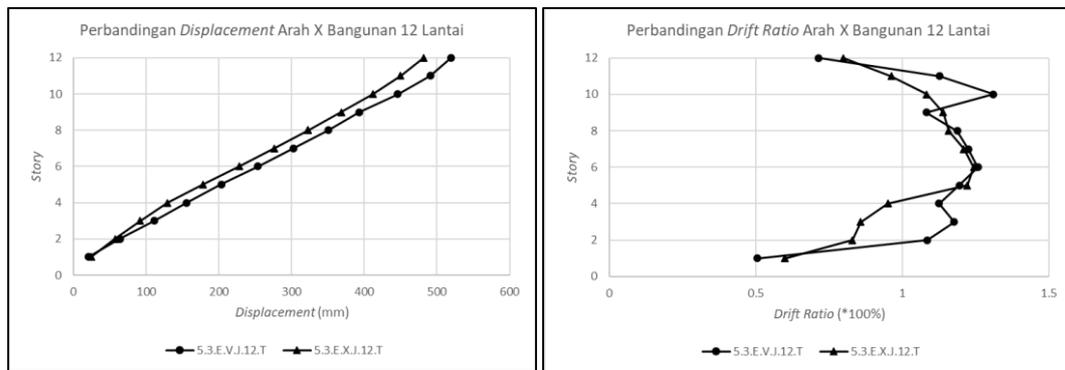
Penelitian yang dilakukan oleh Vemuri (2015) juga menyatakan bahwa nilai *overstrength* pada bangunan *Eccentrically Braced Frame* (EBF) kurang memadai untuk memberikan hasil yang seragam dan dapat diandalkan untuk mendesain elemen *non-fuse members*. Rekapitulasi tingkat dan lokasi kerusakan sendi plastis bangunan 12 lantai dan 18 lantai disajikan pada **Tabel 6**.

**Tabel 6. Rekapitulasi Kerusakan Sendi Plastis pada Bangunan**

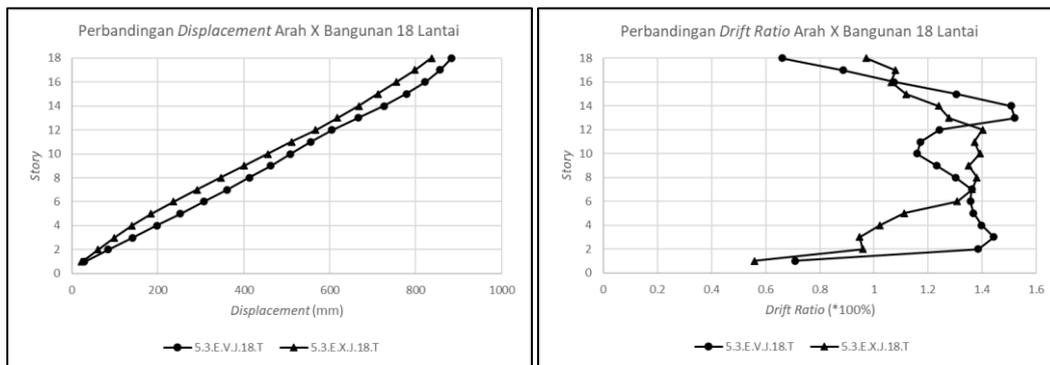
Bangunan	Lokasi Sendi Plastis			
	Eksterior		Interior	
	Elemen	Tingkat Kerusakan	Elemen	Tingkat Kerusakan
5.3.E.V.J.12.T	Link	B	Balok	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	-
	Breising	B		
5.3.E.X.J.12.T	Link	B-IO	Balok	B
	Balok	B		
	Kolom	-	Kolom	-
	Breising	B		
5.3.E.V.J.18.T	Link	B-IO	Balok	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	-
	Breising	B		
5.3.E.X.J.18.T	Link	B-IO	Balok	B
	Balok	B		
	Kolom	B-IO	Kolom	-
	Breising	B		

Pada **Tabel 6**, terlihat bahwa tingkat kerusakan sendi plastis pada bangunan SRTE dengan breising V dan Breising X hampir mirip, tingkat kerusakan semua elemen berada di tingkat B. Namun pada bangunan SRTE 12 lantai 5.3.E.X.J.12.T tidak terjadi sendi plastis di kolom seperti bangunan 5.3.E.V.J.12.T. Pada bagian interior performa semua bangunan juga serupa, dimana tidak terjadi sendi plastis pada kolom interior. Secara keseluruhan bangunan SRTE dengan breising *Multi-Story X* lebih baik dilihat dari jumlah dan kerusakan sendi plastis yang terjadi dibandingkan SRTE dengan breising V.

Hasil *displacement* dan *drift ratio* untuk bangunan 12 lantai dapat dilihat pada **Gambar 2**, sedangkan untuk bangunan 18 lantai dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 2. Perbandingan Displacement dan Drift Ratio Maksimum Bangunan 12 Lantai**



**Gambar 3. Perbandingan Displacement dan Drift Ratio Maksimum Bangunan 12 Lantai**

Berdasarkan **Gambar 2** dan **Gambar 3**, terlihat bahwa bangunan dengan breising *Multi-Story X* memiliki performa yang lebih unggul daripada bangunan dengan breising V. Selanjutnya hasil dari *drift ratio* maksimum akan diklasifikasikan berdasarkan peraturan FEMA 356-2000 yang mengelompokkan tingkat kerusakan untuk bangunan *steel braced frame*, seperti pada **Tabel 7**.

**Tabel 7. Klasifikasi Kerusakan Bangunan Steel Braced Frame Berdasarkan FEMA 356-2000**

Jenis Bangunan	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Unacceptable
	(IO)	(LS)	(CP)	(U)
5.3.E.V.J.12.T		1.311		
5.3.E.X.J.12.T		1.243		
5.3.E.V.J.18.T			1.521	
5.3.E.X.J.18.T		1.402		
<b>Drift Ratio (%)</b>	<b>&lt;0.5</b>	<b>0.5-1.5</b>	<b>1.5-2.0</b>	<b>&gt;2.0</b>

Hasil analisis untuk seluruh bangunan kemudian dibuat pemeringkatan disajikan pada **Tabel 8** hingga **Tabel 10**.

**Tabel 8. Peringkat Bangunan 12 Lantai**

	5.3.E.V.J.12.T	5.3.E.X.J.12.T
AVG Berat	94.24 kg/m <sup>2</sup>	92.08 kg/m <sup>2</sup>
	<b>2</b>	<b>1</b>
<i>Displacement</i> Maksimum	519.513 mm	481.947 mm
	<b>2</b>	<b>1</b>
<i>Drift Ratio</i> Maksimum	1.311 %	1.243 %
	<b>2</b>	<b>1</b>
Peringkat Keseluruhan	<b>2</b>	<b>1</b>

**Tabel 9. Peringkat Bangunan 18 Lantai**

	5.3.E.V.J.18.T	5.3.E.X.J.18.T
AVG Berat	119.24 kg/m <sup>2</sup>	118.34 kg/m <sup>2</sup>
	<b>2</b>	<b>1</b>
<i>Displacement</i> Maksimum	883.388 mm	836.607 mm
	<b>2</b>	<b>1</b>
<i>Drift Ratio</i> Maksimum	1.521 %	1.402 %
	<b>2</b>	<b>1</b>
Peringkat Keseluruhan	<b>2</b>	<b>1</b>

**Tabel 10. Peringkat Bangunan 12 dan 18 Lantai**

Jenis Bangunan	AVG Berat	<i>Displacement</i> Maksimum	<i>Drift Ratio</i> Maksimum	Peringkat Keseluruhan
5.3.E.V.J.12.T	2	2	2	2
5.3.E.X.J.12.T	1	1	1	1
5.3.E.V.J.18.T	4	4	4	4
5.3.E.X.J.18.T	3	3	3	3

## 5. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pada bangunan SRTE, bentuk breising *Multi-Story X* lebih baik daripada bentuk breising V karena berat bangunan yang lebih ringan serta performa yang dihasilkan lebih baik jika ditinjau dari aspek *displacement* dan *drift ratio* yang terjadi. Tingkat kerusakan non-fuse member bangunan dengan breising bentuk *Multi-Story X* dan bentuk V hampir serupa, yaitu pada tingkat

B. Namun pada bangunan dengan breising bentuk *Multi-Story X* sendi plastis yang terjadi lebih sedikit dibandingkan bangunan dengan breising bentuk V.

## 6. DAFTAR REFRENSI

- 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 Buildings: AISC 341-16*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- Author. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings: AISC 360-16*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung: SNI 7860:2015*, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2019*, Jakarta, Indonesia.
- Metre, S., Cghule, S., & Kiran, R. (2015). "Comparative Study of Different Types of Bracing Systems by Placing at Different Locations". *International Research Journal of Engineering and Technology*. Vol. 4, No. 8, 2023-2027.
- Popov, E.P., Kasai, K., & Engelhardt, M. D. (1986). "Advances in Design of Eccentrically Braced Frames". *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*. Vol. 20, No. 1, 22-29.
- Rafael, J.W. (2017). *Studi Perilaku dari Short Link, Intermediate Link dan Long Link pada Sistem Struktur Eccentrically Braced Frame (EBF)*. Unpublished Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Riani, E.P., & Tania, A. (2018). *Perbandingan Sistem Tunggal dan Sistem Ganda pada Bangunan Terbreis Eksentris Berbentuk V Terbalik dan Diagonal pada Mid Rise Building*. Unpublished Undergraduate Thesis, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Sayed, A.F., Wirawan, N.B., & Yudi, A. (2018). "Comparative Story Drift Analysis of High Rise Building Structure between X-Braced Frame and Two Story X-Braced Frame". *Journal of Science and Applicative Technology*. Vol. 2, No. 1, 10-19.
- Unal, A., & Kaltakci, M.Y. (2016). "Seismic Behavior of Concentrically Steel Braced Frames and Their Use in Strengthening of Reinforced Concrete Frames by External Application". *Steel and Composite Structures*. Vol. 21, No. 4, 687-702.
- Vemuri, J. (2016). "The Capacity Based Design Method for Eccentrically Braced Frames: A Critical Review". *Journal of Structural Engineering*. Vol. 43, No. 3, 319-325.