

# PENGARUH FAKTOR KUAT LEBIH PADA KINERJA STRUKTUR BAJA RANGKA TERBREIS EKSENTRIS DENGAN BREISING TIPE V PADA BANGUNAN 12 DAN 18 LANTAI

Sylvie<sup>1</sup>, Cindy Sugiarto<sup>2</sup>, Hasan Santoso<sup>3</sup>, Effendy Tanojo<sup>4</sup>

**ABSTRAK :** Bangunan tinggi di Indonesia yang terletak pada kawasan *ring of fire* perlu didesain terhadap beban gempa. Salah satu sistem penahan beban lateral adalah Sistem Rangka Terbreis Eksentris (SRTE). Pada SRTE, elemen *link* didesain untuk mengalami pelelehan dan bekerja sebagai elemen *fuse*. Untuk mencapai mekanisme pelelehan ini, elemen selain *link* harus didesain untuk memiliki kekuatan melebihi kapasitas geser *link*. Pengaruh *strain hardening* pada kapasitas geser *link* maksimum diperhitungkan menggunakan faktor kuat lebih *link*. Penelitian ini meninjau pengaruh variasi faktor kuat lebih *link* pada bangunan SRTE sistem tunggal dengan tiga bentang breising tipe V pada bangunan 12 dan 18 lantai. Pengaruh faktor kuat lebih *link* ditinjau berdasarkan lokasi terbentuknya sendi plastis dari hasil analisis nonlinear *time history*. Hasil penelitian mendapatkan faktor kuat lebih *link* sebesar 1.25 mampu menjamin sendi plastis terjadi pertama kali pada *link*. Selain itu, nilai faktor kuat lebih *link* sebesar 2.75 untuk bangunan 12 lantai dan 3.5 untuk bangunan 18 lantai baru dapat menjamin tidak terjadi pembentukan sendi plastis pada kolom selain pada perletakan kolom selama gempa berlangsung.

**KATA KUNCI :** sistem rangka terbreis eksentris, bangunan tinggi, tipe V, faktor kuat lebih *link*, *link*.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada cincin api dan pertemuan antar lempeng bumi yang rawan mengalami gempa. Kerusakan akibat gempa dapat menimbulkan kegagalan pada bangunan dan menimbulkan kerugian yang besar bahkan memakan korban jiwa. Oleh sebab itu, perencanaan bangunan tinggi di Indonesia perlu memperhitungkan bahaya dari beban dinamis gempa. Salah satu sistem penahan beban lateral yang terdapat dalam SNI 1726:2019 adalah sistem rangka terbreis eksentris, dimana *link* bekerja sebagai elemen *fuse* yang dikorbankan untuk mengalami pelelehan terlebih dahulu.

Penelitian oleh Tjandra dan Ratna (2022) menunjukkan bahwa sendi plastis pertama kali terjadi tidak pada *link* meskipun elemen *non-fuse* telah didesain berdasarkan kapasitas *link* yang diperbesar menggunakan faktor kuat lebih *link* sebesar 1.25 sesuai dengan AISC 341-16. Di samping itu, masih didapati sendi plastis pada kolom selain di perletakan, sehingga dibutuhkan kajian ulang terhadap besar faktor kuat lebih. Penelitian oleh Popov dan Engelhardt (1988) juga menunjukkan faktor kuat lebih *link* yang dianjurkan oleh AISC tidak cukup. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukannya mengusulkan besar nilai faktor kuat lebih *link* yang lebih besar dari peraturan yaitu sebesar 1.5. Pada desain bangunan dengan sistem SRTE, idealnya setelah melalui tahapan *capacity design*, diharapkan elemen *link* di semua tingkat mengalami pelelehan sedangkan elemen balok, kolom, dan breising tetap elastis sepanjang gempa berlangsung. Namun, Engelhardt dan Popov (1989), Bruneau, Uang, dan Sabelli (2011), serta AISC 341-16 pasal F3.3 menyatakan bahwa pelelehan pada elemen selain *link*, seperti

□□□□□□□□□□□□□□

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11190017@john.petra.ac.id

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, b11190036@john.petra.ac.id

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

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

pada elemen balok dan breising merupakan hal yang tidak bisa dihindari pada SRTE. Pelelehan pada balok dan breising diperbolehkan terjadi karena tidak mengganggu performa SRTE selama kestabilan balok terjamin dengan syarat balok dan breising didesain stabil dan memiliki cukup kekuatan untuk menahan beban dari *link* yang leleh dan mengalami *strain hardening* (Engelhardt dan Popov, 1989).

AISC 341-16 pasal F3.2 menyatakan bahwa sendi plastis pada kolom selain pada ujung perletakan kolom paling dasar harus dihindari karena pelelehan kolom ditambah dengan pelelehan *link* dapat menyebabkan kegagalan *soft story*. Berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya, maka penelitian kali ini difokuskan untuk mencari nilai faktor kuat lebih *link* yang cukup untuk menjamin pelelehan terjadi pada elemen *fuse* terlebih dahulu. Setelah itu, penelitian ini juga akan mencari besar faktor kuat lebih *link* yang dapat menjamin tidak terjadi pembentukan sendi plastis pada kolom. Selain untuk menghindari terjadinya mekanisme *soft story*, hal ini dilakukan karena apabila kolom mengalami kerusakan akibat gempa, perbaikan kolom akan sangat sulit untuk dilakukan. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat memberikan informasi berapa besar faktor kuat lebih *link* yang digunakan agar tidak terjadi kerusakan pada kolom sehingga perbaikan pada kolom tidak perlu dilakukan.

## 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. *Link* biasanya terletak antara dua ujung breis atau di antara kolom dengan breis. Pada sistem rangka baja terbreis eksentris, *short link* atau *link* dengan tipe kegagalan geser lebih umum dipakai karena memiliki kekuatan, daktilitas, dan kapasitas disipasi energi yang lebih baik jika dibandingkan dengan *long link* ataupun *intermediate link* (Musmar, 2012).

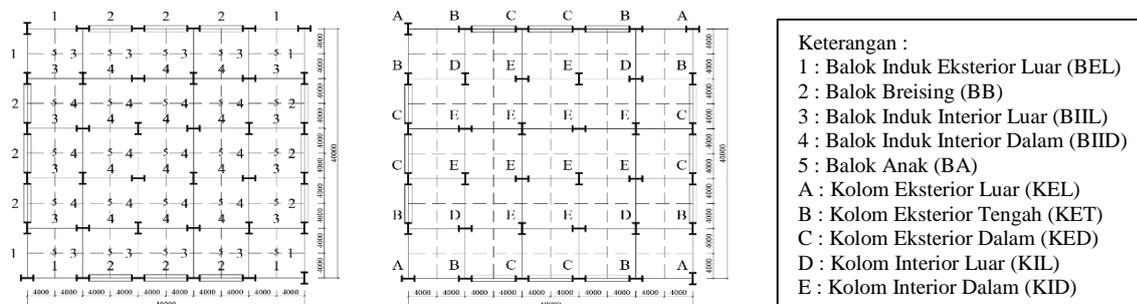
### 2.2. Faktor Kuat Lebih *Link*

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa nilai faktor kuat lebih *link* sebesar 1.25 tidak cukup untuk menjamin pelelehan terjadi pertama kali pada elemen *fuse* (*link*). Popov dan Engelhardt (1988) berdasarkan pengujian yang telah dilakukannya mengusulkan besar nilai faktor kuat lebih *link* sebesar 1.5. Penelitian lain yang dilakukan oleh Mohebkhah dan Chegeni (2014) memperoleh nilai faktor kuat lebih untuk *short link* berkisar 1.53-1.77. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Corte et al. (2013) juga memperoleh faktor kuat lebih untuk *short link* berkisar antar 1.4-1.9.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 1. Permodelan struktur secara 3D dengan ETABS 2019

Tahap *preliminary* struktur dimulai dengan memodelkan bangunan secara 3 dimensi pada ETABS 2019 dengan penamaan elemen struktur terlampir pada **Gambar 1**, sedangkan kode penamaan bangunan terlampir pada **Tabel 1**.



**Gambar 1. Tata Nama Elemen Struktur**

**Tabel 1. Kode Penamaan Bangunan**

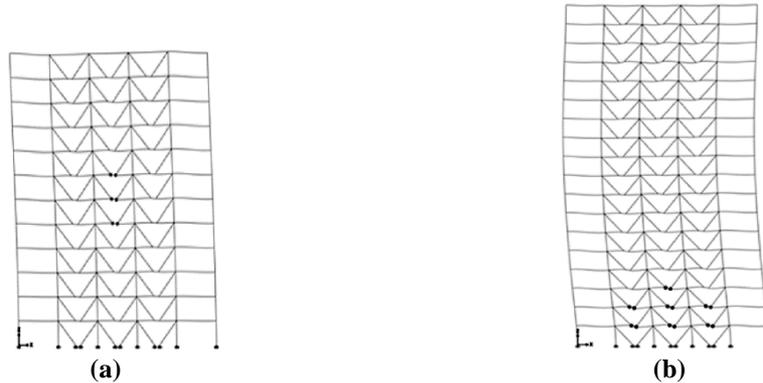
Kode	Makna
12-V-1.25	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 12 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 1.25
12-V-1.5	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 12 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 1.5
12-V-2	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 12 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 2
12-V-2.5	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 12 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 2.5
12-V-2.65	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 12 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 2.65
12-V-2.75	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 12 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 2.75
18-V-1.25	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 18 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 1.25
18-V-1.5	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 18 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 1.5
18-V-2	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 18 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 2
18-V-2.5	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 18 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 2.5
18-V-3.25	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 18 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 3.25
18-V-3.5	Bangunan dengan 5 bentang, 3 SRTE berbentuk V, berlokasi di Jayapura, 18 Lantai Sistem Tunggal, dengan faktor kuat lebih <i>link</i> sebesar 3.5

2. Pembebanan struktur  
Bangunan dibebankan beban hidup, beban mati, dan beban gempa.
3. Pengecekan *base shear* pada *joint reaction* dan *drift*  
Persentase *base shear* portal eksterior diusahakan memikul minimal 90% dari gaya lateral. Kemudian dilakukan penskalaan gaya dan tiap profil elemen struktur dicek terhadap syarat kekuatan dan syarat daktilitas, serta dilakukan pengecekan terhadap syarat *story drift*.
4. *Capacity design*  
Pelelehan dari *link* pada SRTE akan menghasilkan sepasang gaya momen dan geser yang menjadi beban pada struktur sehingga perlu dilakukan pengecekan kapasitas profil terhadap beban tersebut.
5. Analisis *nonlinear time history*  
Dilakukan analisis *nonlinear time history* untuk mengetahui mekanisme pembentukan sendi plastis pada elemen struktur dan tingkat kerusakan menggunakan beban gempa El Centro 18 Mei 1940.
6. Pembahasan analisis dan kesimpulan  
Setiap bangunan ditinjau berdasarkan lokasi pembentukan, waktu terjadi, dan tingkat kerusakan sendi plastis, serta *drift ratio* bangunan.

## 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

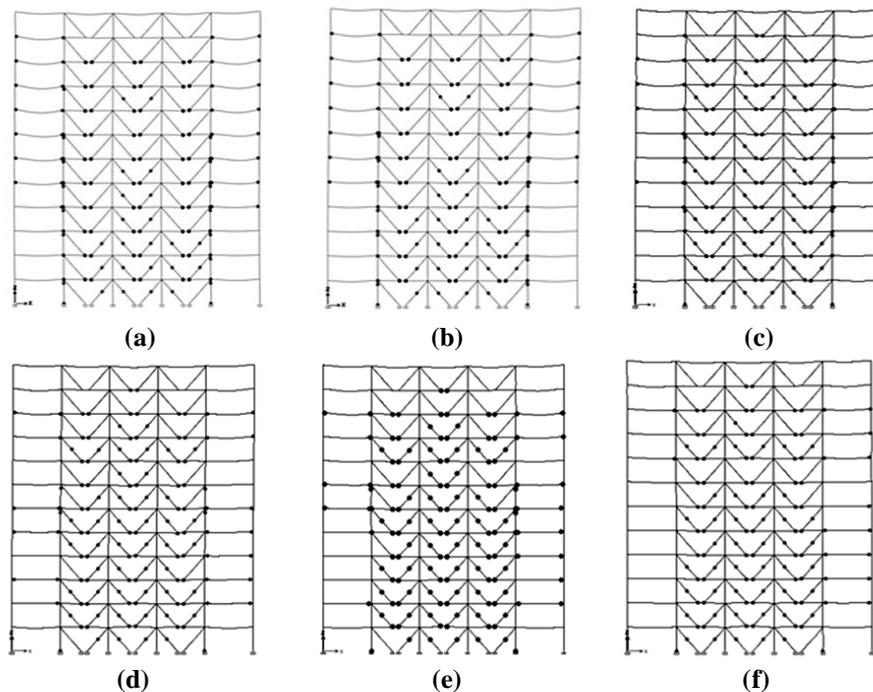
### 4.1. Lokasi Sendi Plastis

Pertama-tama dilakukan *capacity design* dengan faktor kuat lebih *link* sebesar 1.25 sesuai dengan anjuran AISC 341-16. Kemudian dilakukan analisis *nonlinear time history* untuk melihat lokasi terbentuknya sendi plastis. Hasil analisis ini menjadi bahan pertimbangan apakah selanjutnya bangunan dicoba didesain dengan besar faktor kuat lebih *link* yang diperbesar atau diperkecil. Penelitian dengan variasi nilai faktor kuat lebih *link* akan terus berlanjut hingga ditemukan besar faktor kuat lebih yang optimum.



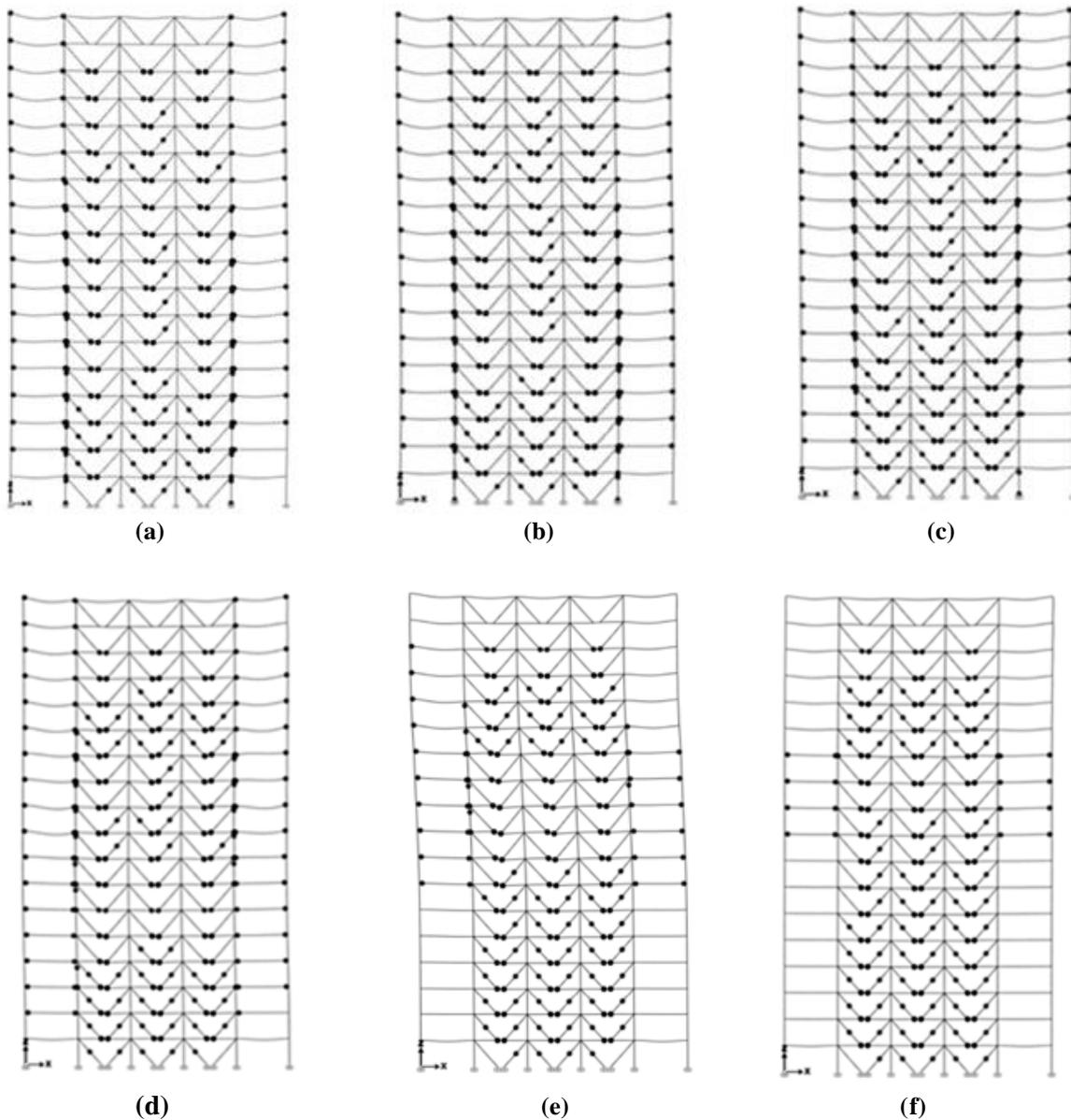
**Gambar 2. Pembentukan Sendi Plastis Pertama pada Bangunan 12-V-1.25 (a) dan 18-V-1.25 (b)**

Berdasarkan **Gambar 2**, menunjukkan bahwa pada detik ke-2.1 dan detik ke-2.0 terjadi pelelehan pertama kali pada *link* bangunan 12-V-1.25 dan 18-V-1.25 secara berurutan. Hasil tersebut menandakan bahwa faktor kuat lebih *link* sebesar 1.25 mampu menjamin *link* mengalami pelelehan pertama kali dan bekerja sebagai *structural fuse*.



**Gambar 3. Letak Sendi Plastis Portal Eksterior pada Detik ke-54 Bangunan 12-V-1.25 (a), 12-V-1.5 (b), 12-V-2 (c), 12-V-2.5 (d), 12-V-2.65 (e), dan 12-V-2.75 (f)**

Berdasarkan **Gambar 3**, performa bangunan semakin meningkat jika ditinjau dari pengurangan jumlah sendi plastis pada kolom. Pertama-tama digunakan besar faktor kuat lebih 1.25 sesuai AISC 341-16, kemudian berdasarkan penelitian oleh Popov dan Engelhardt (1988) faktor kuat lebih diperbesar menjadi 1.5. Namun, sendi plastis pada kolom hanya berkurang satu tingkat sehingga faktor kuat lebih kembali dinaikkan dengan interval yang lebih besar yaitu menjadi 2. Tetapi ternyata pada detik ke-54, sendi plastis masih terbentuk pada kolom sehingga faktor kuat lebih diperbesar kembali menjadi 2.5. Pada bangunan 12-V-2.5 hanya tersisa sendi plastis kolom pada dua tingkat saja sehingga faktor kuat lebih *link* diperbesar dengan interval yang lebih kecil menjadi 2.75. **Gambar 3.f** menunjukkan pada bangunan 12-V-2.75 tidak terdapat sendi plastis pada kolom selain pada ujung perletakan kolom pada detik terakhir gempa yaitu detik ke-54. Kemudian untuk mencari nilai paling optimum, faktor kuat lebih diperkecil menjadi 2.65, namun masih terdapat sendi plastis pada kolom. Sehingga didapat besar faktor kuat lebih optimum untuk bangunan 12 lantai sebesar 2.75.



**Gambar 4. Letak Sendi Plastis Portal Eksterior pada Detik ke-54 Bangunan 18-V-1.25 (a), 18-V-1.5 (b), 18-V-2 (c), 18-V-2.5 (d), 18-V-3.25 (e), dan 18-V-3.5 (f)**

Berdasarkan **Gambar 4**, pada bangunan 18 lantai dilakukan penelitian dengan menggunakan faktor kuat lebih *link* sebesar 1.25, 1.5, 2, dan 2.5 dengan alasan yang sama pada bangunan 12 lantai. Namun, pada bangunan 18 lantai dengan faktor kuat lebih 2.5 terdapat jumlah sendi plastis kolom yang lebih banyak daripada pada bangunan 12 lantai sehingga faktor kuat lebih diperbesar dengan interval yang lebih besar menjadi 3.5. Pada **Gambar 4.f** keseluruhan *link* telah leleh dan tidak terdapat sendi plastis pada kolom ketika detik terakhir gempa yaitu detik ke-54. Kemudian untuk mencari nilai paling optimum, faktor kuat lebih diperkecil menjadi 3.25, namun masih terdapat sendi plastis pada kolom. Sehingga didapat besar faktor kuat lebih optimum untuk bangunan 18 lantai sebesar 3.5.

Berdasarkan hasil penelitian pada bangunan 12 dan 18 lantai, nilai faktor kuat lebih *link* sebesar 1.25 pada bangunan 12 dan 18 lantai dapat menjamin *short link* mengalami pelelehan terlebih dahulu dan bekerja sebagai *structural fuse*. Selain itu, pada bangunan 12 lantai baru tidak terjadi sendi plastis pada elemen kolom selain pada perletakan ketika menggunakan faktor kuat lebih *link* sebesar 2.75. Sedangkan pada bangunan 18 lantai baru tidak terjadi sendi plastis pada elemen kolom ketika menggunakan faktor kuat lebih *link* sebesar 3.5. Sedangkan tingkat kerusakan sendi plastis yang terjadi pada bangunan merupakan tingkat kerusakan B yang berarti elemen berada pada batas linear dan diikuti dengan pelelehan pertama pada elemen tersebut. Rekapitulasi dari lokasi, waktu terjadi, serta tingkat kerusakan sendi plastis tertulis pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

**Tabel 2. Rekapitulasi Urutan Kemunculan Sendi Plastis Bangunan 12 Lantai**

Jenis Bangunan	Detik ke-	Kejadian	Tingkat Kerusakan
12-V-1.25	2.1 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	4.5 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
12-V-1.5	2.1 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	4.6 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
12-V-2	2.1 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	5.3 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
12-V-2.5	2.0 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	5.8 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
12-V-2.65	2.0 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	5.9 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
12-V-2.75	2.0 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	54 s	Tidak terjadi sendi plastis pada kolom eksterior	-

**Tabel 3. Rekapitulasi Urutan Kemunculan Sendi Plastis Bangunan 18 Lantai**

Jenis Bangunan	Detik ke-	Kejadian	Tingkat Kerusakan
18-V-1.25	2.0 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	4.6 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
18-V-1.5	2.0 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	4.6 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
18-V-2	2.0 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	5.5 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
18-V-2.5	2.0 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	5.5 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
18-V-3.25	2.0 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	5.5 s	Kemunculan pertama sendi plastis pada kolom eksterior	B
18-V-3.5	2.0 s	Kemunculan sendi plastis pertama bangunan terjadi pada <i>link</i>	B
	54 s	Tidak terjadi sendi plastis pada kolom eksterior	-

#### 4.2. Drift Ratio dan Displacement Akibat Gempa

Hasil *drift ratio* dan *displacement* maksimum pada tiap bangunan dapat dilihat pada **Tabel 4**. Hasil *drift ratio* dari semua bangunan telah memenuhi batasan 2% yang ditentukan FEMA 356-2000.

**Tabel 4. Klasifikasi Kerusakan Bangunan Steel Braced Frame Berdasarkan FEMA 356-2000**

Jenis Bangunan	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	<i>Life Safety (LS)</i>	<i>Collapse Prevention (CP)</i>	<i>Unacceptable (U)</i>	<i>Displacement Maksimum (mm)</i>
12-V-1.25			1.511		567.601
12-V-1.5		1.468			548.670
12-V-2		1.410			529.536
12-V-2.5		1.239			473.432
12-V-2.65		1.241			460.060
12-V-2.75		1.040			431.114
18-V-1.25			1.861		986.014
18-V-1.5			1.862		978.986
18-V-2			1.818		923.935
18-V-2.5			1.607		849.914
18-V-3.25			1.509		752.807
18-V-3.5		1.195			677.157
<i>Drift Ratio (%)</i>	<0.5	0.5-1.5	1.5-2.0	>2.0	

## 5. KESIMPULAN

Faktor kuat lebih *link* sebesar 1.25 dapat menjamin *short link* mengalami pelelehan terlebih dahulu dan bekerja sebagai *structural fuse* baik pada bangunan 12 dan 18 lantai. Kemudian, bangunan 12 lantai memiliki nilai faktor kuat lebih *link* optimum sebesar 2.75 yang dapat menjamin tidak terjadi pembentukan sendi plastis pada kolom selain pada perletakan kolom selama gempa berlangsung. Sedangkan pada bangunan 18 lantai, faktor kuat lebih *link* optimum sebesar 3.50 baru dapat menjamin tidak terjadi pembentukan sendi plastis pada kolom selama gempa berlangsung. Semakin banyaknya lantai bangunan mengakibatkan nilai faktor kuat lebih *link* semakin meningkat.

## 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 Buildings: AISC 341-16*, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2019*, Jakarta, Indonesia.
- Bruneau, M., Uang, C.M., and Sabelli, R. (2011). *Ductile Design of Steel Structures (12th ed.)*, McGraw-Hill, New York.
- Corte, G.D., D’Aniello, M., and Landolfo, R. (2013). “Analytical and Numerical Study of Plastic Overstrength of Shear Links.” *Journal of Constructional Steel Research*. Vol. 82, No. 3, 19–32.
- Engelhardt, M.D. and Popov, E.P. (1989). “On Design of Eccentrically Braced Frames.” *Earthquake Spectra*. Vol. 5, No. 3, 495–511.
- Mohebkhah, A. and Chegeni, B. (2014). “Overstrength and Rotation Capacity for EBF Links Made of European IPE Sections.” *Thin-Walled Structures*. Vol. 74, 255-260.
- Musmar, M.A. (2012). “Effect of Link on Eccentrically Braced Frames.” *Journal of Engineering Sciences, Assiut University*. Vol. 40, No. 1, 35-43.
- Popov, E.P. and Engelhardt, M.D. (1988). “Seismic Eccentrically Braced Frames.” *Journal of Constructional Steel Research*. Vol. 10, 321-354.
- Tjandra, C.T. dan Ratna, C.D. (2022). *Perbandingan Kinerja Struktur Baja Rangka Terbreis Eksentris dengan Rangka Terbreis Penahan Tekuk Eksentris Menggunakan Breising Tipe V dengan Variasi 2 Bentang dan 3 Bentang Breising pada Bangunan 12 dan 18 Lantai*. Skripsi, Universitas Kristen Petra, Surabaya.