

PENGARUH FAKTOR KUAT LEBIH PADA KINERJA STRUKTUR BAJA RANGKA TERBREIS EKSENTRIS DENGAN TIPE *MULTI-STORY X* PADA BANGUNAN 12 DAN 18 LANTAI

Andy Kevin Tanuwijaya¹, Felix Tanaya², Hasan Santoso³, and Effendy Tanojo⁴

ABSTRAK : Indonesia merupakan salah satu wilayah yang sering mengalami gempa bumi dikarenakan posisinya terletak pada daerah *ring of fire*. Gempa yang terjadi berpotensi merusak struktur bangunan bahkan dapat menimbulkan korban jiwa bila bangunan tersebut runtuh. Oleh karena itu, bangunan-bangunan dalam bidang teknik sipil, khususnya bangunan tinggi perlu memperhatikan gaya gempa yang mungkin terjadi. Salah satu cara menahan gaya gempa atau gaya lateral yang terjadi adalah dengan menggunakan sistem penahan lateral yaitu breising. Penelitian ini akan meninjau pengaruh faktor kuat lebih paling optimal yang dibutuhkan pada bangunan dengan sistem Struktur Baja Rangka Terbreis Eksentris (RBE) dengan tipe breising *multi-story X*. Penelitian akan menggunakan bangunan 12 (48 meter) dan 18 (72 meter) lantai dan menggunakan 3 bentang breising dengan sistem tunggal. Bangunan kemudian akan dinilai performanya menggunakan *nonlinear time history analysis*. Hasil penelitian secara garis besar menunjukkan bahwa bangunan 12 lantai membutuhkan nilai faktor kuat lebih sebesar 2Vp, sedangkan bangunan 18 lantai membutuhkan faktor kuat lebih sebesar 3Vp. Seluruh bangunan juga telah memenuhi syarat *drift ratio* yaitu kurang dari 3%.

KATA KUNCI: struktur baja rangka terbreis eksentris, breising *multi-story x*, *nonlinear time history analysis*, faktor kuat lebih, *drift ratio*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang berada di wilayah *ring of fire*, menyebabkan Indonesia rawan terjadinya gempa bumi. Maka dari itu, perencanaan bangunan tinggi di Indonesia perlu mengikutsertakan pengaruh dari beban gempa. Pada SNI 1726:2019, salah satu sistem yang dapat digunakan untuk menahan beban gempa adalah sistem rangka baja terbreis eksentris.

Hasil penelitian yang dilakukan Tjandra dan Ratna (2022) menyimpulkan bahwa kerusakan sendi plastis pertama pada salah satu bangunan RBE (Rangka Terbreis Eksentris) 12 lantai tidak terjadi pada balok link dan menunjukan masih adanya sendi plastis yang terjadi di elemen-elemen *non fuse* meskipun prosedur desain sudah mengikuti tata cara desain AISC 360-16 dan AISC 341-16 yang menentukan nilai faktor kuat lebih untuk gaya *ultimate* yang timbul akibat *link* sebesar 1.25Vp agar tidak timbulnya sendi plastis di elemen *non-fuse* saat terjadinya gempa. Sedangkan Popov, Kasai, dan Engelhardt (1987) menyatakan bahwa desain kolom untuk bangunan RBE saat *capacity design* menggunakan gaya *ultimate* yang sebesar 1.5Vp. Hasil penelitian lain yang membahas *overstrength factor*, Mohebkhah dan Chegeni (2014) menyatakan bahwa *short link* dengan perkuatan dengan jarak rapat membutuhkan desain *overstrength factor* rata-rata sebesar 1.6, sedangkan *short link* dengan perkuatan dengan jarak

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11190052@john.petra.ac.id

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, b11190062@john.petra.ac.id

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

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, effendy@petra.ac.id

lebih jarang membutuhkan desain *overstrength factor* rata-rata sebesar 1.39. Penelitian lain oleh Ji et al. (2015) menyimpulkan semakin pendek suatu *link*, semakin besar faktor kuat lebih yang diperlukan. *Link* dengan rasio $e/(M_p/V_p)$ 0.87 menghasilkan faktor kuat lebih 1.88, sedangkan *link* dengan rasio $e/(M_p/V_p)$ 0.58 menghasilkan faktor kuat lebih mencapai 2.04.

Maka dari itu, pada penelitian ini akan mencari nilai faktor kuat lebih optimum hingga tidak munculnya sendi plastis pada elemen *non-fuse* bangunan. Pencarian nilai *overstrength factor* dilakukan pada bangunan 12 dan 18 lantai, dimulai dari nilai 1.25 sesuai dengan tata cara desain AISC 360-16 dan AISC 341-16. Nilai *overstrength factor* lalu dilanjutkan sesuai dengan pernyataan Popov et al. (1986), yaitu 1.5. Setelah melihat kinerja bangunan dari kedua nilai *overstrength factor* tersebut, maka akan dianalisis apakah nilai perlu dinaikkan atau diturunkan.

2. LANDASAN TEORI

2.1. STRUKTUR RANGKA BAJA TERBREIS EKSENTRIS (RBE)

Menurut SNI 7860:2020, Rangka Terbreis Eksentris (RBE) merupakan Rangka terbreis diagonal yang memenuhi persyaratan Pasal F3 yang memiliki paling tidak salah satu ujung dari breis diagonal tersambung pada sebuah balok dengan suatu eksentrisitas terdefinisi dari sambungan balok ke breis atau sambungan balok ke kolom yang lain. Ketika Sistem Rangka Terbreis terkena beban lateral seperti gempa, gaya aksial yang terjadi pada breising akan menimbulkan gaya lentur pada balok. Kejadian ini diharapkan akan mengakibatkan *link* mengalami deformasi inelastis, sehingga *link* mengalami pelelehan (*ductile yielding*). Oleh karena itu, *link* harus memenuhi persyaratan panjang, kekompakan, dan *lateral bracing* pada *link* untuk mencegah terjadinya tekuk pada *web*. Selanjutnya, breising dan sambungannya wajib didesain cukup kuat agar kegagalan terjadi pada *link* sesuai peraturan SNI 7860:2020

2.2. Elemen Perangkai pada RBE / *Link*

Pada bangunan dengan sistem rangka terbreis eksentris, *link* berperan sebagai *structural fuse*. Ketika struktur terkena beban dari gempa, *link* akan berotasi sehingga timbul suatu sudut rotasi yang disebut γ_p . Ketika bangunan RBE menerima beban gempa, *link* lah yang akan menanggung beban geser dan momen lentur yang besar dan beban aksial yang kecil. Geser dan momen yang besar ini yang akan menjadikan *link* dapat mengalami dua kegagalan. Kegagalan karena dua jenis pelelehan, *shear yielding* atau leleh akibat geser dan *flexural yielding* atau leleh akibat lentur.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, topik yang diteliti adalah mengenai nilai *overstrength factor* dari bangunan dengan breising baja tipe *multi-story* x dengan tinggi 12 dan 18 lantai. Penelitian ini diawali dengan dilakukannya *preliminary design* dengan menentukan tipe penampang baja dan mutu baja yang akan dipakai tiap lantai, lalu dilakukan pemodelan struktur bangunan pada aplikasi ETABS v19. Setelah dilakukan *preliminary design*, dilakukan *capacity design* terhadap nilai *overstrength factor* tertentu. Pada tahap *capacity design* dari RBE, *link* yang dianggap mengalami leleh, akan dihapuskan dari struktur kemudian digantikan dengan gaya V_{ult} dan M_{ult} yang diaplikasikan ke dalam struktur sebagai E_{mh} . Bangunan kemudian akan dianalisa menggunakan metode *nonlinear time history* untuk mengetahui lokasi sendi plastis yang terjadi. Data gempa *nonlinear time history* yang akan dipakai adalah El Centro Imperial Valley, yang terjadi di Amerika Serikat tahun 1940.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bangunan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah Struktur Baja Rangka Terbreis Eksentris (RBE) dengan 3 bentang breising tipe *multi-story* X. Bangunan terdiri dari 12 dan 18 lantai, dan masing-masing lantai memiliki hasil *overstrength factor* yang berbeda-beda. Lantai 12 memiliki 4 macam nilai

overstrength yaitu 1.25, 1.5, 1.75, dan 2. Sedangkan lantai 18 memiliki 8 macam nilai *overstrength* yaitu 1.25, 1.5, 1.75, 2, 2.25, 2.5, 2.75, dan 3. Sehingga total bangunan adalah 12 bangunan.

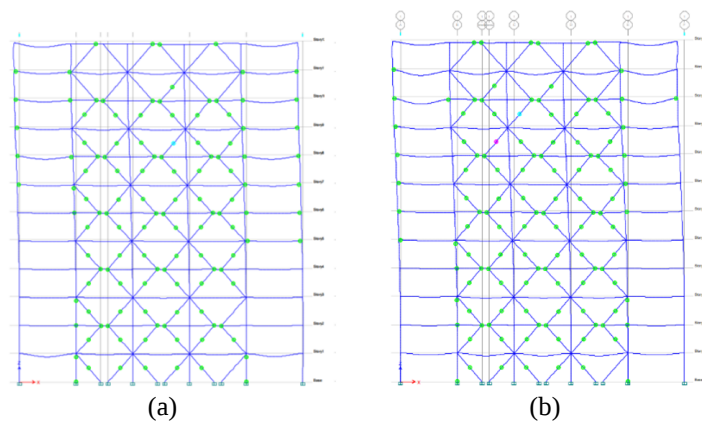
4.1. PENAMAAN KODE BANGUNAN

Tabel 1. Makna Penggunaan Kode Breising Tipe *Multi-Story X*

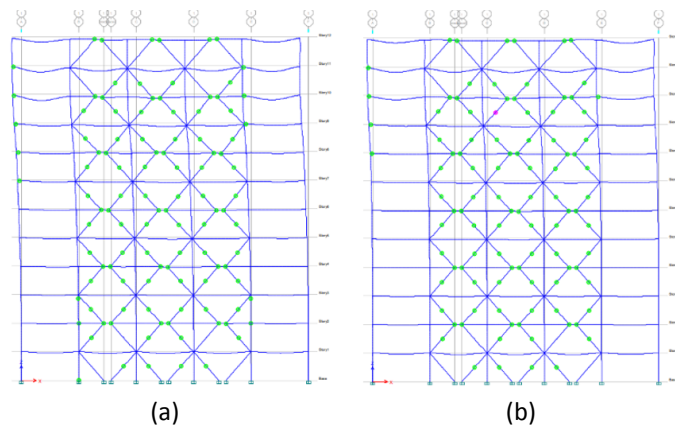
Kode	Makna
MX-12	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 12 lantai, hasil <i>preliminary design</i>
MX-18	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 18 lantai, hasil <i>preliminary design</i>
MX-12-1.25	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 12 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 1.25
MX-18-1.25	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 18 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 1.25
MX-12-1.5	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 12 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 1.5
MX-18-1.5	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 18 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 1.5
MX-12-1.75	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 12 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 1.75
MX-18-1.75	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 18 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 1.75
MX-12-2	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 12 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 2
MX-18-2	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 18 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 2
MX-18-2.25	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 18 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 2.25
MX-18-2.5	Bangunan RBE breising <i>multi-story X</i> , 18 lantai, dan <i>overstrength factor</i> 2.5

4.2. LOKASI SENDI PLASTIS

4.2.1. Lokasi Sendi Plastis Bangunan 12 Lantai



Gambar 1. Letak Sendi Plastis Bagian Eksterior Detik ke-54 bangunan MX-12-1.25 (a) dan MX-12-1.5 (b)

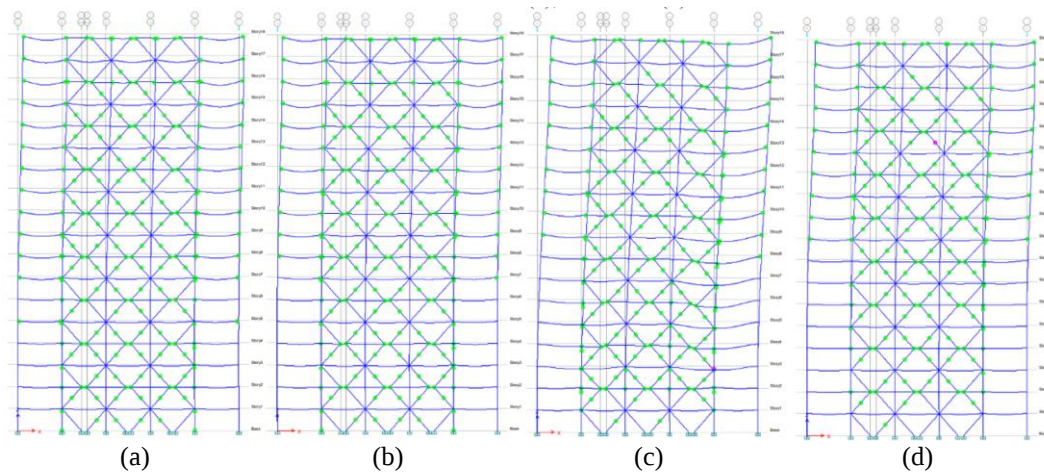


Gambar 2. Letak Sendi Plastis Bagian Eksterior Detik ke-54 bangunan MX-12-1.75 (a) dan MX-12-2 (b)

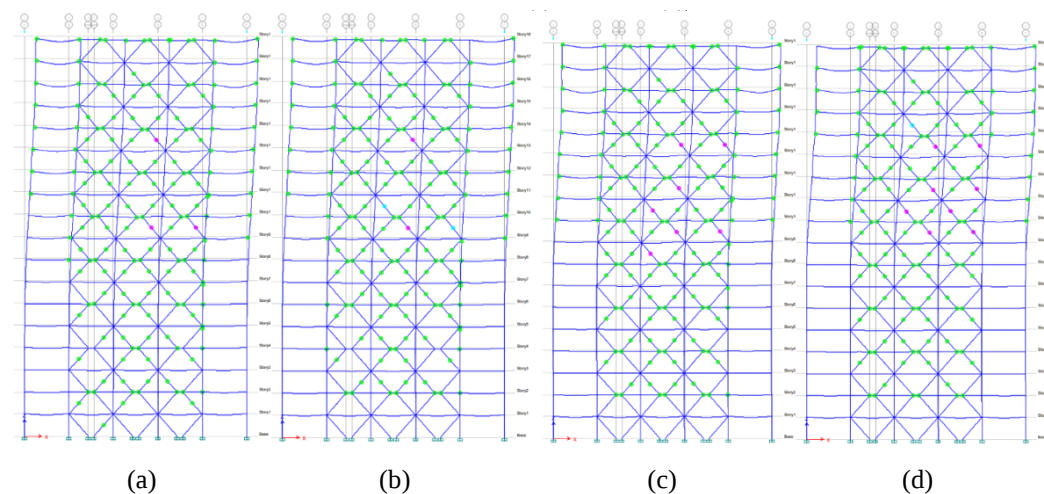
Terlihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**, saat detik terakhir yaitu detik ke-54 pada bagian eksterior bangunan semua *link* telah leleh dan beberapa elemen seperti breising, balok induk, dan kolom eksterior terjadi leleh. Meskipun diharapkan semua elemen selain *link* tidak leleh, namun AISC 341-16 Pasal F3.2 menyatakan bahwa semakin tinggi dan semakin banyak tingkat yang dimiliki bangunan, semakin sulit untuk mendapatkan hasil di mana kolom tidak terjadi leleh. Kemudian AISC 341-16 Pasal F3.3 menambahkan bahwa pelelehan pada elemen balok dan breising terkadang tidak dapat dihindari. Meski begitu, pelelehan yang terjadi pada balok dan breising tidak terlalu mempengaruhi kinerja bangunan RBE, selama balok dan breising tidak hancur terlebih dahulu dan memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban *link* saat leleh.

AISC 341-16 mengizinkan elemen balok diluar *link* untuk leleh, dalam penelitian ini maka balok induk yang terjadi pelelehan masih dapat diizinkan. Breising juga diizinkan untuk leleh selama *link* terjadi pelelehan terlebih dahulu. Akan tetapi kolom tidak diizinkan untuk leleh karena ketika *link* dan kolom leleh pada lantai tertentu, akan terjadi keruntuhan lokal pada lantai tersebut. Maka dari itu, didapati penggunaan *overstrength* 2 (**Gambar 2.b**) merupakan nilai yang optimal karena kolom sudah tidak mengalami leleh.

4.2.2. Lokasi Sendi Plastis Bangunan 18 Lantai



Gambar 3. Letak Sendi Plastis Bagian Eksterior Detik ke-54 pada bangunan MX-18-1.25 (a), MX-18-1.5 (b), MX-18-1.75 (c), MX-18-2 (d)



Gambar 4. Letak Sendi Plastis Bagian Eksterior Detik ke-54 pada bangunan MX-18-2.25 (a), MX-18-2.5 (b), MX-18-2.75 (c), MX-18-3 (d)

Terlihat pada **Gambar 3.a** hingga **3.d**, saat terakhir yaitu detik ke -54 pada bagian eksterior bangunan memiliki penurunan performa apabila ditinjau dari banyaknya sendi plastis yang terjadi pada elemen *non-fuse*. Hal ini disebabkan oleh pembesaran balok yang lebih signifikan dari pembesaran kolom pada saat *capacity design*.

Terlihat pada **Gambar 4.a** hingga **4.c**, saat detik terakhir yaitu detik ke-54 pada bagian eksterior bangunan mengalami peningkatan performa ditinjau dari menurunnya jumlah sendi plastis pada elemen *non-fuse*. Kemudian sama seperti bangunan 12 lantai, didapati penggunaan *overstrength* 3 (**Gambar 4.d**) merupakan nilai yang optimal karena kolom sudah tidak mengalami leleh. Walaupun, terjadi sendi plastis dengan interaksi berwarna ungu pada breising, hal ini masih diperbolehkan selama breising tidak hancur dan masih mampu menopang gaya dari *link*.

4.3. Tingkat Kerusakan Bangunan

Tabel 2. Tingkat Kerusakan Struktur Akibat Terjadinya Sendi Plastis

Color Level	Symbol	Description of Structural Strength Degradation
B		Showing the linear limit which is then followed by the first yielding of the structure
C		The maximum shear force limit can still be retained by the building
D		Strength degradation of the structure is large, the frame structure is unstable and almost collapse
E		The structure is unable to withstand shear forces and collapse

Sumber: Teguh, Mahlisani, dan Saleh (2019)

Tabel 3. Rekapitulasi Kerusakan Sendi Plastis pada Bangunan 12 Lantai

Jenis Bangunan	Lokasi Sendi Plastis			
	Eksterior		Interior	
	Elemen	Tingkat Kerusakan	Elemen	Tingkat Kerusakan
MX-12-1.25	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	-
	Breising	C		
MX-12-1.5	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	-
	Breising	D		
MX-12-1.75	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	-
	Breising	B		
MX-12-2	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	-	Kolom	-
	Breising	D		

Tabel 4. Rekapitulasi Kerusakan Sendi Plastis pada Bangunan 18 Lantai

Jenis Bangunan	Lokasi Sendi Plastis			
	Eksterior		Interior	
	Elemen	Tingkat Kerusakan	Elemen	Tingkat Kerusakan
MX-18-1.25	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	B
	Breising	B		
MX-18-1.5	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	B
	Breising	B		
MX-18-1.75	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	D	Kolom	B
	Breising	B		
MX-18-2	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	B
	Breising	D		
MX-18-2.25	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	B
	Breising	D		
MX-18-2.5	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	B
	Breising	D		
MX-18-2.75	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	B	Kolom	B
	Breising	D		
MX-18-3	<i>Link</i>	B	Balok Induk	B
	Balok	B		
	Kolom	-	Kolom	-

Berdasarkan **Tabel 3** dan **Tabel 4**, Tingkat kerusakan yang terjadi pada elemen *link*, balok, dan kolom berada pada tingkat B, sedangkan pada breising berada pada tingkat B hingga D. Tingkat B adalah di mana kondisi elemen berada pada batas elastis dan diikuti pelelehan pertama. Tingkat D adalah di mana struktur memiliki penurunan performa kekuatan dan hampir roboh. Meskipun ada beberapa elemen breising yang mengalami kerusakan hingga tingkat D, tetapi hal ini masih diizinkan selama struktur tidak hancur dan masih mampu menahan gaya dari *link*.

4.4. DISPLACEMENT DAN DRIFT RATIO GAMPA 2500 TAHUN

Setelah analisis *time history*, akan dilakukan pengecekan *displacement* dan *drift ratio* maksimum pada seluruh tipe bangunan. Besar *displacement* dan *drift ratio* dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Displacement dan Drift Ratio Maksimum Bangunan 12 dan 18 Lantai Akibat Gempa 2500 Tahun

Jenis Bangunan	Displacement (mm)	Drift Ratio Maksimum (%)
MX-12-1.25	462.759	1.205
MX-12-1.5	460.810	1.196
MX-12-1.75	437.100	1.147
MX-12-2	429.805	1.245
MX-18-1.25	1024.740	2.109
MX-18-1.5	1020.241	2.108
MX-18-1.75	968.141	1.856
MX-18-2	969.099	1.867
MX-18-2.25	931.160	1.804
MX-18-2.5	919.180	1.793
MX-18-2.75	903.659	1.768
MX-18-3	875.784	1.716

Terlihat pada **Tabel 5**, nilai *displacement* terkecil untuk 12 lantai terletak pada bangunan MX-12-2, dan untuk 18 lantai terletak pada bangunan MX-18-3. Semakin besar nilai *overstrength factor* yang digunakan, maka nilai *displacement* yang terjadi akan semakin kecil. Hal ini terjadi karena pembesaran profil dari bangunan akibat bertambahnya nilai *overstrength factor* memberikan kekakuan yang lebih pada bangunan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini dapat disimpulkan menjadi beberapa hal sebagai berikut :

- Bangunan 12 lantai memiliki nilai kuat lebih (*overstrength factor*) optimum sebesar 2.
- Bangunan 18 lantai memiliki nilai kuat lebih (*overstrength factor*) optimum sebesar 3.
- Berdasarkan tingkat kerusakan bangunan, tingkat kerusakan terburuk terjadi pada elemen *breising* pada bangunan baik 12 lantai maupun 18 lantai, yaitu tingkat D, sedangkan elemen *link*, balok, dan kolom memiliki tingkat kerusakan terburuk pada tingkat B. Hal ini dapat terjadi meskipun bangunan telah didesain sesuai prosedur yang ada karena pembesaran profil balok yang signifikan tetapi *breising* tidak mengalami pembesaran yang signifikan pada saat *capacity design*.
- Berdasarkan *story drift*, seluruh bangunan baik 12 lantai dan 18 lantai telah memenuhi syarat *story drift* untuk bangunan RBE sesuai pernyataan Chao dan Goel (2005) yaitu kurang dari 3%.
- Nilai *overstrength factor* akan bertambah seiring bertambahnya lantai bangunan.

6. DAFTAR REFERENSI

- 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. (2020). *Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung: SNI 7860:2020*, Jakarta, Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2019*, Jakarta, Indonesia.
- Chao, S. H. and Goel, S. C. (2005). "Performance-based Seismic Design of EBF Using Target Drift and Yield Mechanism as Performance Criteria." *Engineering Journal*, Vol. 43, No. 3.
- Ji, X., et al. (2015). "Cyclic Behavior of Very Short Steel Shear Links." *Journal of Structural Engineering*, Vol. 142, No.2.
- Mohebbkhah, A. and Chegeni, B. (2014). "Overstrength and Rotation Capacity for EBF Links Made of European IPE Sections." *Thin-Walled Structures*. Vol. 74, 255-260.
- Popov, E.P., Kasai, K., and Engelhardt, M. D. (1987). "Advances in Design of Eccentrically Braced Frames." *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*. Vol. 20, No.1, 22-29.
- Teguh, M., Mahlisani, N., dan Saleh, F. (2019). Pushover Analysis of Partially Strengthened Column Structures on an Existing Multi-story Building. *MATEC Web of Conferences*. Vol 280, No. 2.
- 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.