

PENGARUH VARIASI PANJANG LINK PADA SISTEM ECCENTRICALLY BRACED FRAMES DENGAN MENGUNAKAN TIPE SPLIT-D BRACED (THE EFFECT OF LINK LENGTH VARIATIONS ON THE ECCENTRICALLY BRACED FRAMES SYSTEM WITH USES SPLIT-D BRACED TYPE)

Oktavia Ully Artha Silalahi¹⁾, Pagit Juni Sartika Br Tarigan²⁾, Fenny Novita Meysabed Sianturi³⁾, Rudianto Surbakti⁴⁾

¹⁻⁴⁾Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan, Medan, Sumatera Utara
e-mail: oktaviasilalahi@polmed.ac.id¹⁾, pagitjunitarigan@polmed.ac.id²⁾,
fsianturi@polmed.ac.id³⁾, rudiantosurbakti@polmed.ac.id⁴⁾

ABSTRACT

The Eccentrically Braced Frames (EBF) system is a lateral earthquake resistance system in steel buildings which is considered as a combination of a moment stiffening frame system and an eccentrically braced system. The EBF system provides many variations of link type configurations that can be modeled to determine the most recommended link type according to its plastic deformation capacity and energy dissipation. In this research, analysis was carried out to find out failures in the link elements first. The building structure modeled is an 8-story steel residence with a Split D-Braced type horizontal link system using SAP 2000 in the form of linear and non-linear (pushover) analysis. The method using secondary data types. Secondary data was obtained from previous research (Bishay, et al) using existing floor plans, structural loads (SNI 1727-2020) and earthquake loads (1726-2019). From the results of the pushover analysis, it can be seen that the D-EBF structure experienced yielding at the peak floor displacement of 20.588 mm, base force of 4,662.379 kN. Furthermore, the D-EBF structure reaches the ultimate value at a displacement of 193.137 mm with a base force of 24,035.369 kN. The value of the performance point is $V = 4062.416$ kN, displacement = 17.538 mm; performance point at $S_a = S_d = 0.909$ and effective damping 5%. So from the results of the analysis it can be seen that the ductility of the D-EBF structure of the link type recommended using short links is 9.381. The analysis results show that the 8-story Split D-Braced type EBF building structure failed first at the link elements, this is in accordance with the Eccentrically structural concept.

Keywords: *eccentrically braced frames, split-d braced, link, pushover, displacement*

ABSTRAK

Sistem *Eccentrically Braced Frames* (EBF) merupakan sebuah sistem penahan gempa lateral pada bangunan baja yang dianggap sebagai gabungan antara sistem rangka pengaku momen dan sistem berpengaku eksentrik. Sistem EBF memberikan banyak variasi konfigurasi tipe *link* yang dapat dimodelkan untuk mengetahui tipe *link* yang paling direkomendasikan yang sesuai dengan kapasitas deformasi plastis dan disipasi energinya. Pada penelitian ini, dilakukan analisis untuk mengetahui kegagalan terlebih dahulu pada elemen *link*. Struktur gedung yang dimodelkan adalah residensial baja 8 lantai dengan sistem *link* horizontal tipe *Split D-Braced* menggunakan SAP 2000 berupa analisis linier dan non-linier (*pushover*). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan data sekunder didapatkan dari penelitian sebelumnya (bishay,dkk) menggunakan denah yang ada, beban struktur (SNI 1727-2020) dan beban gempa (1726-2019). Hasil analisis *pushover*, dapat diketahui bahwa struktur D-EBF mengalami pelelehan pada *displacement* lantai puncak sebesar 20,588 mm *base force* sebesar 4.662,379 kN. Selanjutnya struktur D-EBF mencapai nilai *ultimate* pada *displacement* sebesar 193,137 mm dengan *base force* sebesar 24.035,369 kN. Adapun nilai dari *performance point* nilai $V = 4062,416$ kN, *displacement* = 17,538 mm ; *performance point* pada $S_a = S_d = 0,909$. Sehingga dari hasil analisis dapat diketahui daktilitas dari struktur D-EBF tipe *link* yang direkomendasikan menggunakan *link* pendek adalah sebesar 9,381. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur gedung EBF tipe *Split D-Braced* 8 lantai mengalami kegagalan terlebih dahulu pada elemen *link*, hal ini sesuai dengan konsep struktur *Eccentrically Braced Frames* (EBF).

Kata Kunci: *eccentrically braced frames, split-d braced, link, pushover, perpindahan*

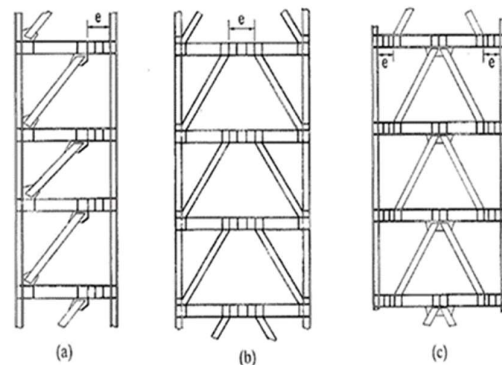
PENDAHULUAN

Saat ini desain struktur dengan material baja telah banyak digunakan sebagai struktur utama suatu bangunan, karena struktur ini memerlukan waktu yang relatif singkat dalam pelaksanaannya. Dalam perencanaan struktur bangunan, struktur dengan material baja masih menjadi pilihan para praktisi teknik sipil sebagai material struktur bangunan tahan gempa. Struktur baja merupakan salah satu sistem struktur tahan gempa dengan kinerja yang sangat bagus dengan mengandalkan pada sifat daktilitas dan kekuatannya yang tinggi. Struktur baja juga mampu mendisipasi energi yang besar untuk menghindari dan meminimalisir terjadinya keruntuhan [1]. Dengan sifat-sifat material baja yang daktil, kekuatan yang tinggi, dan kemampuan dalam mendisipasi energi yang baik, maka struktur baja sangat cocok apabila digunakan untuk daerah-daerah dengan tingkat seismisitas yang tinggi [1]. Dalam kaitannya dengan masalah kegempaan, adapun jenis-jenis model sistem struktur baja yang dapat diterapkan pada bangunan antara lain: Moment Resisting Frames (MRF), Concentrically Braced Frames (CBF), Eccentrically Braced Frames (EBF), Buckling Restrained Braced Frames (BRBF), dan Steel Plate Shear Walls (SPSW) [2].

Dari hasil - hasil riset yang pernah dilakukan sebelumnya, jenis model sistem MRF dan CBF masih lebih banyak digunakan dalam penerapannya. Sistem rangka baja penahan momen (MRF) mempunyai kemampuan disipasi energi yang cukup untuk dapat memberikan daktilitas yang diperlukan (*required ductility*) tetapi struktur ini kurang kaku sehingga memerlukan ukuran penampang yang lebih besar dan panel zone pelat ganda yang mahal untuk memenuhi persyaratan drift (*drift requirements*). Pada sisi lain sistem rangka berpengaku konsentrik (CBF) secara efisien dapat memenuhi batas-batas lendutan melalui aksi rangkanya tetapi tidak memberikan suatu mekanisme yang stabil dalam disipasi energi. Karena keterbatasan kedua sistem struktur tersebut maka dikembangkan suatu sistem struktur baru yang disebut struktur berpengaku eksentrik (*Eccentrically Braced Frame / EBF*). Beberapa faktor yang menjadi keunggulan penggunaan sistem EBF meliputi: mengurangi perpindahan

lateral dibandingkan dengan sistem MRF, ketinggian maksimum bangunan tingkat tinggi dengan menggunakan EBF di daerah dengan gempa besar tidak terlalu kompleks dibandingkan dengan menggunakan sistem CBF, mengurangi efek perpindahan gaya dibandingkan dengan MRF, dan kemampuan untuk memiliki ruang bukaan yang lebih luas dibandingkan dengan sistem CBF [3].

Pada sistem EBF, penopang diagonal (*diagonal braces*) didesain eksentris terhadap joint kolom. Hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode ini memberikan kombinasi kekuatan dan kekakuan dari sistem CBF dalam kondisi inelastik dengan kapasitas energi disipasi dari sistem MRF. Elemen yang sangat penting dalam desain EBF adalah bagian [3] dengan joint kolom-balok yang disebut dengan elemen *link*. Kunci yang menjadi ciri khas dari EBF adalah setidaknya ada 1 dari ujung tiap bracing yang terhubung balok sehingga menjadikan sebuah segmen terpisah pada balok yang disebut *link* [4]. Panjang *link* sangat berpengaruh pada sistem kekakuan dan daktilitas frame [4]. Elemen *link* merupakan elemen yang diharapkan sebagai elemen yang menyerap energi gempa dan mengalami proses plastifikasi pada bagian elemen yang rusak tersebut sebagai sarana pemancaran energi, hal ini dikarenakan area plastis tersebut memiliki rentang regangan energi yang begitu besar untuk bisa dimanfaatkan. Berdasarkan pada skema dari pengaruh rasio e/L , performa link akan sangat bagus jika menggunakan suatu rasio $e/L < 0,5$ dan sudut bracing kurang dari 60° [5]. konfigurasi elemen link pada struktur EBF seperti ditunjukkan pada **Gambar 1** [6].



Sumber: Prahlad Prasad, dkk (2019)

Gambar 1 Konfigurasi EBF

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan menganalisis struktur *Eccentrically Braced Frames* (EBF) dengan menggunakan tipe *Split-D Braced*. Ciri khas sistem EBF adalah salah satu ujung dari pengaku disambung ke pengaku yang lain atau kolom melalui balok yang disebut *link* [7]. Gaya pengaku disalurkan melalui gaya geser dan momen menuju balok link dari pengaku eksentris [7]. Kekakuan lateral sistem EBF bervariasi berdasarkan rasio dari panjang balok link yang dipasang secara horizontal (H-EBF) menjadi satu kesatuan dengan balok utama. Ketika struktur menerima beban gempa horizontal, elemen *link* yang ditempatkan di antara elemen balok utama akan mengalami pelelehan geser (deformasi inelastis) sedangkan elemen lain seperti kolom, balok, dan pengaku (*bracing*) tetap berperilaku elastis.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pengumpulan data secara deskriptif kuantitatif. Data-data yang dijadikan sebagai bahan acuan dalam pelaksanaan dan penyusunan penelitian. Adapun jenis data yang digunakan adalah data sekunder. Data sekunder didapatkan dari penelitian sebelumnya [8] menggunakan denah yang ada, beban struktur (SNI 1727-2020), beban gempa (1726-2019) dan persyaratan panjang link mengacu pada (AISC 341-16).

Dengan denah lantai ukuran (24x20) m dan tinggi lantai tipikal 3,5m [8]. Struktur EBF yang dianalisis pada SAP 2000 menggunakan kolom *King Cross* (KC) dengan bentang 8 meter dan tinggi 3,5 meter untuk masing-masing lantai, sedangkan elemen balok, *bracing*, dan *link* menggunakan profil *Wide Flange* (WF) dengan tipe *link* horizontal. Klasifikasi tipe *link* dan jenis pelelehan *link* yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**, untuk detail pendefinisian material dilihat pada **Tabel 2**, serta diagram tegangan-regangan untuk masing-masing material yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**. Jenis *link* yang direkomendasikan menggunakan *link* pendek atau *shear link*.

TABEL 1. Klasifikasi Tipe Link AISC 341-16

No	Nama Link	Panjang Link	Jenis Pelelehan	Nilai (e) mm
1	Link Pendek	$e < 1,6$ Mp/Vp	Dominan geser	1000

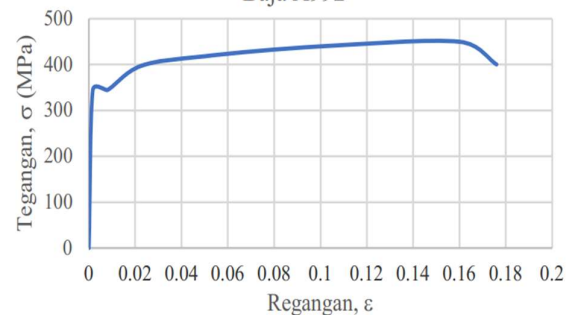
2	Link Menengah	$1,6$ Mp/Vp $< e < 2,6$ Mp/Vp	Kombinasi geser dan lentur	1500
3	Link Panjang	$2,6$ Mp/Vp $< e$	Dominan lentur	2000

Sumber: Americal Institute of Steel Construction (2016)

TABEL 2. Pendefinisian Material

Baja		Baja Link	
f_y (MPa)	345	f_y (MPa)	292
f_u (MPa)	450	f_u (MPa)	456
Berat Jenis (kg/m ³)	7850	Berat Jenis (kg/m ³)	7850
<i>Young's Modulus E</i> (MPa)	200000	<i>Young's Modulus E</i> (MPa)	200000
<i>Poisson's Ratio v</i>	0,3	<i>Poisson's Ratio v</i>	0,3
ε max	18%	ε max	16%

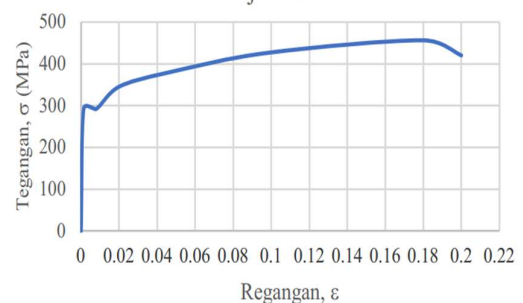
Grafik Tegangan-Regangan pada Material Baja A992



Sumber: Budi Suswanto, dkk (2017)

Gambar 2 Kurva Tegangan - Regangan Material Baja A992

Grafik Tegangan-Regangan pada Material Baja Link



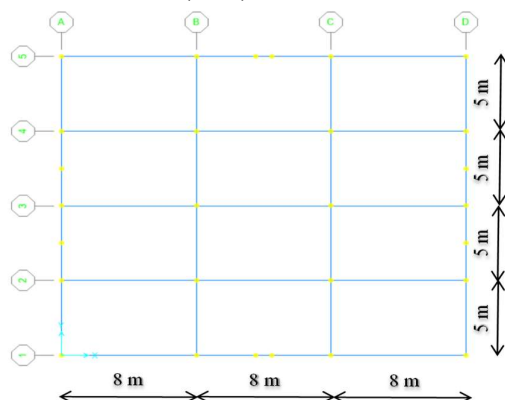
Sumber: Budi Suswanto, dkk (2017)

Gambar 3 Kurva Tegangan - Regangan Material Baja Link A36

TABEL 3. Dimensi Rencana Profil Masing-Masing Elemen

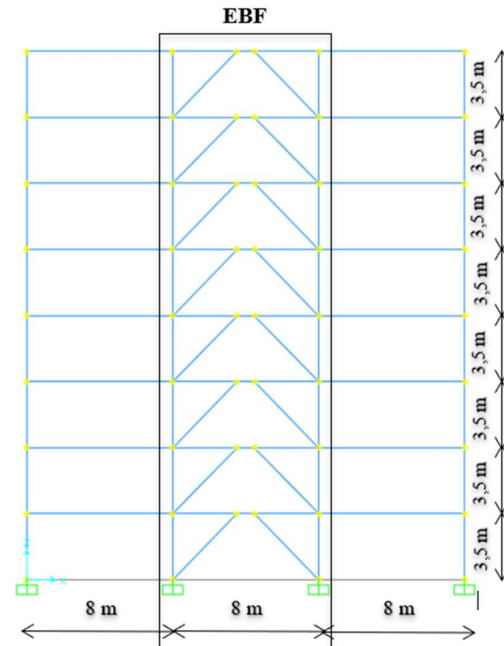
Lantai	Kolom	Balok	Link	Bracing
1-3	KC 700x300x1 3x24	WF 600x200x 11x17	WF 450x200x 9x14	WF 600x200x1 1x17
4-6	KC 588x300x1 2x20	WF 500x200x 10x16	WF 400x200x 8x13	WF 500x200x1 0x16
7-8	KC 488x300x1 1x18	WF 450x200x 9x14	WF 400x200x 8x13	WF 450x200x9 x14

Tabel 3 merupakan preliminary design dimensi masing-masing elemen yang digunakan dalam analisis menggunakan pemodelan SAP 2000. **Gambar 4** merupakan denah struktur pemodelan pada SAP 2000 **Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7** merupakan pemodelan portal dengan link pendek, link menengah, dan link panjang struktur gedung baja 8 lantai dengan sistem *Eccentrically Braced Frames* (EBF) yang mengacu pada penelitian bishay dkk [8]. Sedangkan pada **Gambar 8** adalah pemodelan 3D struktur gedung 8 lantai yang dianalisis. Jenis material yang digunakan untuk pemodelan pada SAP 2000 ditunjukkan pada **Tabel 2**. Pemodelan *Split D-Braced* 8 lantai kemudian diberi pembebanan sesuai dengan SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020. Hasil analisis dikontrol terhadap syarat partisipasi massa, periode, gaya gempa dasar, simpangan antar lantai, *steel check design*, serta dilakukan analisis non-linier *pushover* untuk mengetahui pola kegagalan pada struktur *Eccentrically Braced Frames* (EBF).

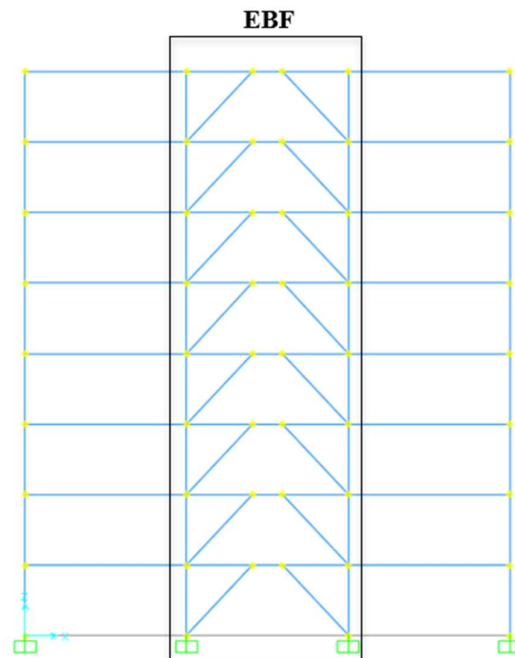


Sumber: Bishay, dkk (2019)

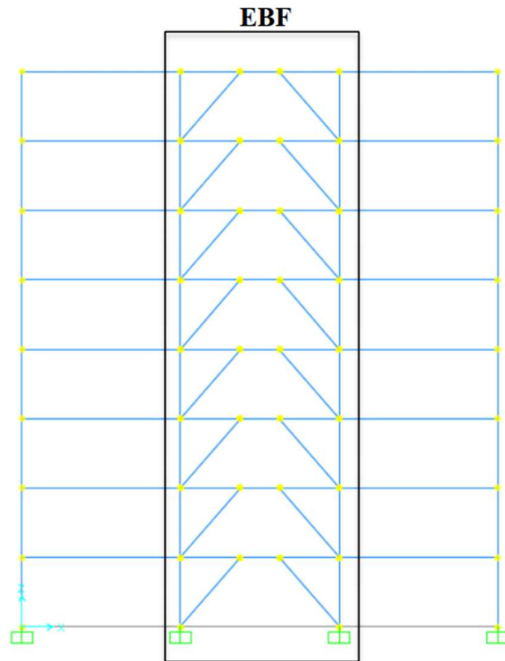
Gambar 4 Denah Struktur Pemodelan pada SAP 2000



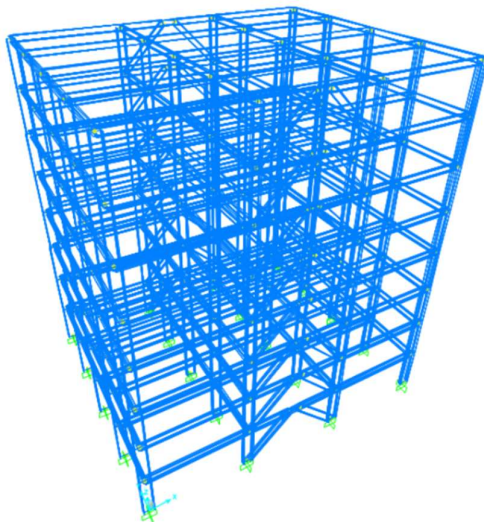
Gambar 5 Pemodelan Portal Gedung 8 Lantai dengan Sistem *Split D-Braced* EBF (Link Pendek)



Gambar 6 Pemodelan Portal Gedung 8 Lantai dengan Sistem *Split D-Braced* EBF (Link Menengah)



Gambar 7 Pemodelan Portal Gedung 8 Lantai dengan Sistem *Split D-Braced EBF (Link Panjang)*



Gambar 8 Pemodelan 3D Struktur Gedung

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pemodelan pada SAP 2000

1) Perencanaan Panjang *Link*

Berikut merupakan perhitungan panjang link (e) yang digunakan pada pemodelan:

$$f_y = 292 \text{ MPa}$$

$$d = 400 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$t_w = 8 \text{ mm}$$

$$t_f = 13 \text{ mm}$$

$$M_p = Z_x \times f_y$$

dimana:

a. Link Pendek

$$\begin{aligned} Z_x &= (b \cdot t_f) (h - t_f) + t_w (1/2h - t_f) (1/2h - t_f) \\ &= (200 \times 13) (400 - 13) + 8(1/2 \times 400 - 13) (1/2 \times 400 - 13) \\ &= 1285952 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 1285952 \text{ mm}^3 \times 292 \text{ N/mm}^2 \\ &= 375497984 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_p &= 0,6 \times f_y \times (d - 2t_f) \times t_w \\ &= 0,6 \times 292 \times (400 - 2 \times 13) \times 8 \\ &= 524198,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= 1,6 \times M_p / V_p \\ &= 1,6 \times 375497984 / 524198,4 \end{aligned}$$

$$e = 1146,12 \text{ mm}$$

Syarat panjang *link* pendek:

$$e < 1,6 \times M_p / V_p \text{ (dominan geser)}$$

Maka digunakan **panjang link (e)** sebesar **1000 mm < 1146,12 mm**

b. Link Menengah

$$\begin{aligned} Z_x &= (b \cdot t_f) (h - t_f) + t_w (1/2h - t_f) (1/2h - t_f) \\ &= (200 \times 13) (400 - 13) + 8(1/2 \times 400 - 13) (1/2 \times 400 - 13) \\ &= 1285952 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 1285952 \text{ mm}^3 \times 292 \text{ N/mm}^2 \\ &= 375497984 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_p &= 0,6 \times f_y \times (d - 2t_f) \times t_w \\ &= 0,6 \times 292 \times (400 - 2 \times 13) \times 8 \\ &= 524198,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= 2,6 \times M_p / V_p \\ &= 2,6 \times 375497984 / 524198,4 \end{aligned}$$

$$e = 1862,45 \text{ mm}$$

Syarat panjang *link* menengah:

$$1,6 \times M_p / V_p < e < 2,6 \times M_p / V_p \text{ (kombinasi geser dan lentur)}$$

Maka digunakan **panjang link (e)** sebesar **1000 mm < 1500 mm < 1862,45 mm**

c. Link Panjang

$$\begin{aligned} Z_x &= (b \cdot t_f) (h - t_f) + t_w (1/2h - t_f) (1/2h - t_f) \\ &= (200 \times 13) (400 - 13) + 8(1/2 \times 400 - 13) (1/2 \times 400 - 13) \\ &= 1285952 \text{ mm}^3 \\ M_p &= Z_x \times f_y \\ &= 1285952 \text{ mm}^3 \times 292 \text{ N/mm}^2 \\ &= 375497984 \text{ Nmm} \\ V_p &= 0,6 \times f_y \times (d - 2t_f) \times t_w \\ &= 0,6 \times 292 \times (400 - 2 \times 13) \times 8 \\ &= 524198,4 \text{ N} \\ e &= 2,6 \times M_p/V_p \\ &= 2,6 \times 375497984/524198,4 \\ e &= 1862,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat panjang *link* panjang:
 $2,6 \times M_p/V_p < e$ (dominan lentur)
Maka digunakan **panjang *link* (e)**
sebesar 1862,45 mm < 2000 mm

Dari ketiga mode *link* yang divariasikan, untuk *link* pendek (geser murni), dimana leleh pada *link* didominasi oleh geser penuh. Untuk *link* menengah (geser dan lentur) leleh pada *link* kombinasi oleh geser dan lentur. Sedangkan untuk *link* panjang (lentur murni) leleh pada *link* disebabkan oleh lentur. Pada analisis ini, diambil pemodelan *link* pendek sebagai analisis kontrol terhadap syarat partisipasi massa, periode, gaya gempa dasar, simpangan antar lantai, *steel check design*, serta analisis non-linier *pushover* untuk mengetahui pola kegagalan pada struktur *Eccentrically Braced Frames*.

2) Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur yang berupa beban mati tambahan dan beban hidup berdasarkan fungsi gedung residensial yang mengacu pada SNI 1727:2020 ditunjukkan pada **Tabel 4** Pembebanan Gempa yang digunakan mengambil dari wilayah Medan, dengan fungsi gedung sebagai gedung residensial, didetailkan pada **Tabel 5**.

Tabel 4 Pembebanan Struktur

Sumber: SNI 1727:2020 (2020)

Grafik Respon Spektra untuk penentuan pembebanan gempa diambil dari PuSGeN BALITBANG PUPR manual aplikasi RSA 2019. Adapun Nilai Spektrum Respons Desain pada aplikasi ini khusus untuk perhitungan bangunan sesuai SNI 1726:2019.

Tabel 5 Pembebanan Gempa

Parameter	Nilai	Keterangan
Wilayah	Medan	
<i>S_s</i>	0,6558 g	(0,6 - 0,7 g)
<i>S₁</i>	0,3634 g	(0,3 - 0,4 g)
Kategori resiko	II	
<i>I_e</i>	1	
Kelas situs	SD	Tanah Sedang
<i>F_a</i>	1,30	
<i>F_v</i>	1,95	
<i>SMS</i>	0,8525 g	<i>F_a</i> x <i>S_s</i>
<i>SMI</i>	0,7086 g	<i>F_v</i> x <i>S₁</i>
<i>SDS</i>	0,56 g	
<i>SDI</i>	0,47 g	
<i>T₀</i>	0,17 s	
<i>TS</i>	0,84 s	
Sistem rangka	EBF	
<i>R</i>	8	
<i>C_d</i>	4	
TL	20	
PGA	0,3038	(0,3 - 0,4 g)

Sumber: SNI 1726:2019 (2019)

3) Kontrol Partisipasi Massa

SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1 menjelaskan analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah dari respons yang ditinjau. **Tabel 6** merupakan nilai rasio partisipasi massa hasil analisis struktur *Split-D Braced* 8 lantai pada software SAP 2000. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur D-EBF telah memenuhi syarat kontrol partisipasi massa dari SNI 1726:2019 dengan rasio 90% pada masing-masing arah x dan y.

Tabel 6 Rasio partisipasi massa struktur D-EBF

Table: Modal Participating Mass Ratios					
Output Case	Step Type	Step Num	Period	Sum UX	Sum UY
MODAL	Mode	1	0,986716	0,51	3,114E-11
MODAL	Mode	2	0,956535	0,51	0,62
MODAL	Mode	3	0,792220	0,51	0,62
MODAL	Mode	4	0,457772	0,51	0,75
MODAL	Mode	5	0,449395	0,51	0,75
MODAL	Mode	6	0,431613	0,56	0,75
MODAL	Mode	7	0,338953	0,58	0,75
MODAL	Mode	8	0,247239	0,74	0,78
MODAL	Mode	9	0,245162	0,74	0,78
MODAL	Mode	10	0,239969	0,85	0,86
MODAL	Mode	11	0,229723	0,85	0,86
MODAL	Mode	12	0,225000	0,92	0,90

4) Kontrol Periode

Pemberian batasan nilai waktu getar fundamental (periode) bertujuan untuk mencegah perilaku struktur gedung yang terlalu fleksibel yang mengarah pada kenyamanan pengguna atau penghuni bangunan. SNI 1726:2019 memberikan batasan nilai waktu getar fundamental (periode) pada pasal 7.8.2.1 dengan rumusan berikut.

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Dimana:

Nilai parameter periode pendekatan C_t dan x diambil sesuai tipe struktur pada SNI 1726:2019.

$$C_t = 0,0731 \text{ (untuk nilai EBF)}$$

$$x = 0,75 \text{ (untuk nilai EBF)}$$

$$h_n = 28 \text{ m}$$

Batas nilai T_a :

$$T_{a \text{ min}} = C_t \cdot h_n^x = 0,8897 \text{ s}$$

$T_{a \text{ max}} = T_{a \text{ min}} \cdot C_u = 1,335 \text{ s}$ (C_u didapat dari tabel 17 SNI 1726:2019, bergantung pada nilai SD1)

$$T_{a \text{ min}} < T \text{ hasil analisis SAP 2000} < T_{a \text{ max}} \\ 0,8897 \text{ s} < 0,9867 \text{ s} < 1,335 \text{ s}$$

Maka struktur D-EBF telah sesuai dengan persyaratan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.2.1

5) Kontrol Gaya Gempa Dasar

Dilakukan kontrol terhadap gaya dinamis struktur dengan tujuan agar gaya gempa yang bekerja sesuai dengan yang diisyaratkan oleh SNI 1726:2019 pasal 7.8, dengan persamaan gaya geser dasar seismic (V) sesuai persamaan berikut.

$$V = C_s \cdot W$$

Perhitungan koefisien respons seismic C_s adalah sebagai berikut:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I\right)} = \frac{0,56}{(8/1)} = 0,07$$

Untuk $T \leq T_L$, nilai C_s yang dihitung tidak melebihi:

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,47}{0,9867(8/1)} = 0,059$$

Untuk $T \geq T_L$, harus tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 \cdot SDS \cdot I \geq 0,01$$

$$C_s = 0,044 \cdot 0,56 \cdot 1 \geq 0,01$$

$$C_s = 0,0246 \geq 0,01$$

Maka diambil nilai $C_s = 0,059$

Sehingga didapat nilai:

$$T = 0,9867 \text{ detik}$$

$$C_s = 0,059 \text{ (koefisien respons seismik)}$$

$$W = 32121,733 \text{ kN}$$

$$V_{\text{statis arah x}} = C_s \cdot W_t = 0,059 \times 32121,733 \\ = 1895,182 \text{ kN}$$

$$V_{\text{statis arah y}} = C_s \cdot W_t = 0,069 \times 32121,733 \\ = 1895,182 \text{ kN}$$

6) Kontrol Simpangan

Batas simpangan lantai diatur dalam SNI gempa pasal 7.8.6. Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya seismic desain yang ditetapkan dalam 0 tanpa reduksi untuk desain tegangan izin. Berikut disajikan pada **Tabel 7** nilai simpangan antar lantai $\Delta \leq \Delta_a$ (Nilai Δ_a mengacu pada Tabel 20 SNI 1726:2019).

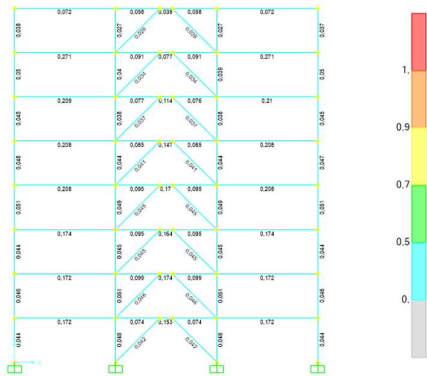
Tabel 7 Simpangan Antar Lantai

Lantai	H (mm)	δ (mm)	Δx (mm)	Δa (mm)	Keterangan
Atap	3500	10,579	6,412	70	Aman
7	3500	8,976	5,860	70	Aman
6	3500	7,511	7,240	70	Aman
5	3500	5,701	7,460	70	Aman
4	3500	3,836	6,508	70	Aman
3	3500	2,209	4,016	70	Aman
2	3500	1,205	4,820	70	Aman

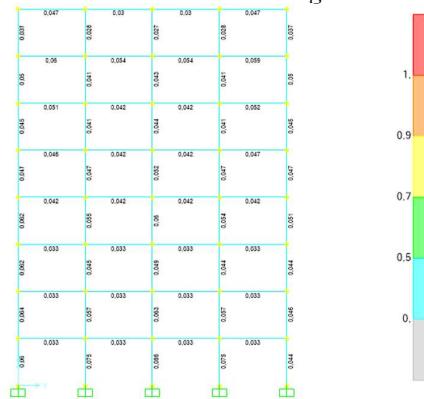
7) Steel Check Design (Kontrol Penampang)

Kontrol penampang dilakukan dengan menggunakan *Steel Check Design* pada *Software* SAP2000, dengan tujuan untuk memastikan bahwa profil yang digunakan telah sesuai dengan persyaratan dan kuat dalam menahan beban struktur yang telah diberikan

sesuai dengan SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020.



Gambar 9 Hasil *steel check design* sumbu X-Z

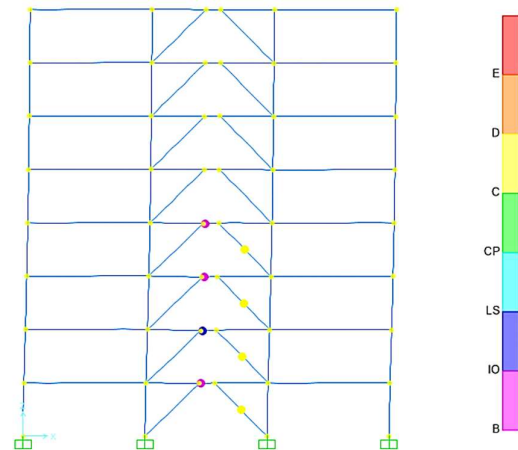


Gambar 10 Hasil *steel check design* sumbu Y-Z

Gambar 9 dan **Gambar 10** merupakan hasil kontrol penampang sesuai dengan *preliminary design*. Indikator warna menunjukkan bahwa penampang masih dalam kondisi aman, yaitu dengan warna biru, dimana rasio terbesar pada sumbu X-Z sebesar $0,271 < 1,0$ dan rasio terbesar pada sumbu Y-Z sebesar $0,1 < 1,0$.

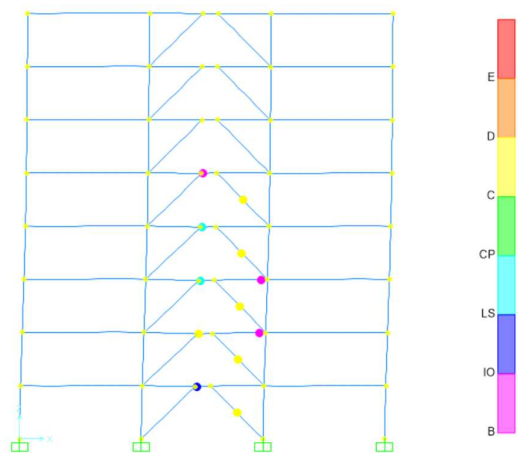
8) Kontrol Analisis *Pushover*

Tujuan dilakukannya analisis *pushover* ini adalah untuk mengetahui perilaku struktur dan keruntuhan atau pelelehan pada elemen-elemen struktur. Pada struktur jenis *Eccentrically Braced Frames* tipe *Split-D Braced* elemen yang diharuskan mengalami pelelehan terlebih dahulu adalah elemen *link*.



Gambar 11 Analisis *Pushover* pelelehan pertama

Hasil analisis *Pushover* arah x pada struktur *Eccentrically Braced Frames* (EBF) 8 lantai dengan jenis link horizontal, dari **Gambar 11** dapat dilihat bahwa pelelehan pertama terjadi pada elemen *link* pada lantai 1 hingga 4 step ke 4, dengan nilai *displacement* kolom paling bawah pada *frame* dengan elemen yang mengalami pelelehan yaitu lantai 1 adalah sebesar 13,86 mm dan nilai *displacement* kolom paling atas pada *frame* dengan elemen yang mengalami pelelehan yaitu lantai 4 adalah sebesar 79,54 mm.



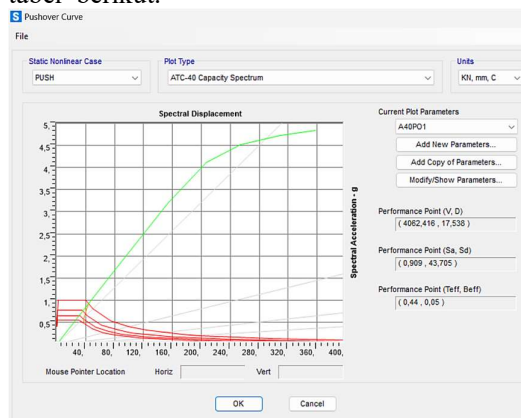
Gambar 12 Analisis *Pushover* kerusakan terakhir

Gambar 12 merupakan grafik hasil analisis *pushover*, dapat diketahui bahwa struktur *Split D-Braced EBF* mengalami pelelehan pada *displacement* lantai puncak sebesar 20,588 mm dengan *base force* sebesar 4.662,379 kN. Selanjutnya struktur *Split D-Braced EBF* mencapai nilai *ultimate* pada

displacement sebesar 193,137 mm dengan base force sebesar 24.035,369 kN. Sehingga dari hasil analisis dapat diketahui daktilitas dari struktur D-EBF tipe link pendek adalah sebesar 9,381.

9) Level Kinerja Struktur

Level kinerja struktur ditentukan berdasarkan kapasitas spektrum ATC-40. Level kinerja struktur secara global dapat ditentukan berdasarkan rasio nilai perpindahan atap saat *performance point* dengan tinggi total bangunan. Sesuai ATC-40 level kinerja struktur secara keseluruhan dapat ditentukan melalui tabel berikut:



Gambar 13 Grafik hasil analisis dengan ATC-40 Capacity Spectrum

Berdasarkan grafik ATC-40 pada **Gambar 5.15**, didapat nilai $V = 4062,416$ kN ; Displacement = 17,538 mm ; Titik kerja (*performance point*) $S_a = S_d = 0,909$ dan redaman efektif 5%.

Selanjutnya untuk menentukan tingkat kinerja parameter yang diperlukan adalah nilai perpindahan atap saat *performance point* dan nilai perpindahan atap saat beban dorong step ke-1 dimana tinggi total bangunan adalah 28 meter.

- Simpangan Total Maksimum

$$\text{Arah x-x} = \frac{D_t}{H_{\text{total}}} = \frac{193,137 \text{ mm}}{28000 \text{ mm}} = 0,01$$

(Damage Control)

$$\text{Arah y-y} = \frac{D_t}{H_{\text{total}}} = \frac{193,137 \text{ mm}}{28000 \text{ mm}} = 0,01$$

(Damage Control)

- Simpangan Inelastis Maksimum

$$\text{Arah x-x} = \frac{D_t - D_1}{H_{\text{total}}} = \frac{193,137 \text{ mm} - 20,588 \text{ mm}}{28000 \text{ mm}} = 0,006$$

(Damage Control)

$$\text{Arah y-y} = \frac{D_t - D_1}{H_{\text{total}}} = \frac{193,137 \text{ mm} - 20,588 \text{ mm}}{28000 \text{ mm}} = 0,006$$

(Damage Control)

Maka sesuai ATC-40 struktur termasuk dalam level kategori *Damage Control* (DO) yang berarti transisi antara *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS). Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa sangat kecil.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil analisis linier menggunakan SAP 2000 menunjukkan struktur memenuhi syarat dalam kontrol partisipasi massa, periode, gaya gempa dasar, simpangan, dan *steel check design*. Hasil analisis non-linier *pushover*,
2. Hasil analisis *Pushover*, dapat diketahui bahwa struktur D-EBF mengalami pelelehan pada displacement lantai puncak sebesar 20,588 mm base force sebesar 4.662,379 kN. Selanjutnya struktur D-EBF mencapai nilai *ultimate* pada displacement sebesar 193,137 mm dengan base force sebesar 24.035,369 kN. Sehingga dari hasil analisis dapat diketahui daktilitas dari struktur D-EBF tipe link pendek adalah sebesar 9,381.
3. Nilai *performance point* dengan spektrum kapasitas ATC-40 didapat nilai $V = 4062,416$ kN, displacement = 17,538 mm, titik kerja $S_a = S_d = 0,909$ dan redaman efektif 5%.
4. Simpangan total maksimum sebesar 0,01 dan simpangan inelastis maksimum sebesar 0,006. Maka sesuai ATC-40 struktur termasuk dalam level kategori *Damage Control* (DO) yang berarti transisi antara *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS).
5. Elemen yang mengalami kegagalan terlebih dahulu adalah elemen link, sehingga struktur sesuai dengan konsep *Eccentrically Braced Frames* (EBF).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Politeknik Negeri Medan untuk dukungan moral dan dana yang



diberikan dari DIPA POLMED 2024 sehingga penelitian fundamental ini boleh terselesaikan dengan baik. Terimakasih juga untuk seluruh peneliti yang terlibat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. S. Pramesta Armanisag Pangestuti, "Analisis Performa Eccentrically Braced Frames (EBF) Vertikal Link menggunakan Wide Flange (WF) Link," *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, p. 10, 2021.
- [2] A. Y. L. Jusuf Wilson Meynerd Rafael, "Comparison Study of Bracing Configuration with Shear Link in Eccentrically Braced Frame Steel Structure," *Journal Innovation of Civil Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 7-17, 2020.
- [3] M. H. Alireza Bahrami, "Dynamic Analysis of Steel Eccentrically Braced Frames with Shear Link," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 233-239, 2020.
- [4] H. M. B. M. M. O. Reivaldy F. Manope, "Analisis Portal Struktural Baja Berdasarkan Konfigurasi Tipe dan Variasi Panjang Link Sistem EBF (Eccentrically Braced Frames)," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, no. 9, pp. 1191-1196, 2019.
- [5] S. H. L. U. U. Nidiasari, "Numerical Study: Effect of Various Link Length to Lateral Force in Eccentrically Braced Frame," *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 304-310, 2020.
- [6] P. P. a. B. Prasad, "Performance Behavior of Eccentrically Braced Steel Frame under Seismic Loading," *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 8, no. 9S, pp. 1077-1090, 2019.
- [7] S. N. Rinu G David, "Seismic Performance of Eccentrically Braced Frames," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, pp. 1-8, 2020.
- [8] G. Nagui William Bishay, "An Alternative System for Eccentrically Braced Frames Resisting Lateral Loads," *Engineering, Technology and Applied Science Research*, vol. 9, no. 3, pp. 4281-4286, 2019.
- [9] S. A. R. Ardila Mulyani Larasati, "Perbandingan Daktilitas dengan Analisa Pushover pada Struktur Rangka Baja Model Eccentrically Braced Frame Tipe K (EBF) dan Eccentrically Braced Frame Tipe Y (EBF) Melalui Program SAP 2000," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 51-54, 2021.
- [10] R. I. -. B. S. Nasional, "Penetapan Standar Nasional Indonesia 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain Sebagai Revisi dari Srandar Nasional Indonesia 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain," 2020.