

## Studi Numerik Performa Rangka Bresing Eksentrik Link Vertikal Profil Tubular

Dzul Fikri Muhammad<sup>1,\*</sup>, Budi Suswanto<sup>1</sup>

Departemen Teknik Sipil, Insitut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [dzulfikrimuhammad@gmail.com](mailto:dzulfikrimuhammad@gmail.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	4 Desember 2019	<i>Eccentrically Braced Frames (EBF) have been used as earthquake suppression systems, especially in buildings. This system relies on yielding at link. EBF with horizontal link has important weaknesses to review. In the event of an earthquake that causes the link beam to rotate vertically, causing the structure above the beam damaged. Also it is not easy to repair the beam link at H-EBF after a severe earthquake. To overcome the problems in the H-EBF system, a new system was proposed, called Vertical-EBF (V-EBF). Links with WF and tubular profiles are two profiles commonly used in structures. In this research, EBF specimen modeling with tubular profile vertical links was compared with EBF horizontal links. The results showed a structure with V-EBF had a lighter weight. Yielding only occur at link so its better for earthquake rehabilitation.</i>
Diperbaiki	30 Januari 2020	
Disetujui	30 Januari 2020	

Keywords: *eccentrically braced frame, earthquake rehabilitation, finite element method, hysteresis curve*

Kata kunci: *rangka bresing eksentrik, rehabilitasi gempa, metode elemen hingga, kurva histeresis*

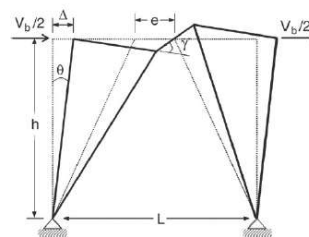
### Abstrak

*Eccentrically Braced Frames (EBF) telah digunakan sebagai sistem penahan beban gempa, terutama pada bangunan gedung. Sistem ini mengandalkan pada lelehnya link terlebih dahulu. EBF dengan link horizontal (H-EBF) memiliki kelemahan yang penting untuk ditinjau. Pada saat terjadi gempa bumi yang menyebabkan link balok akan memutar secara vertikal sehingga menyebabkan struktur diatas balok akan rusak. Selain itu tidak mudah memperbaiki link balok di H-EBF setelah gempa bumi yang parah. Untuk mengatasi masalah dalam sistem H-EBF, terdapat sistem yang telah diusulkan, disebut Vertikal-EBF (V-EBF). Link dengan profil WF dan tubular adalah dua profil yang biasa digunakan pada struktur. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan spesimen EBF link horizontal dibandingkan dengan EBF dengan link vertikal berprofil tubular. Hasil penelitian menunjukkan struktur dengan V-EBF memiliki berat lebih ringan. Pelelehan pada V-EBF hanya terjadi pada bagian link sehingga lebih baik dalam rehabilitasi gempa.*

### 1. Pendahuluan

*Eccentrically Braced Frame (EBF)* telah digunakan sebagai sistem penahan gempa, terutama pada bangunan gedung[1]. Sistem ini telah terbukti memberikan daktilitas dan disipasi energi yang baik pada gempa dan perilakunya telah diteliti[2]. Saat terjadi beban gempa, *link* pada EBF akan berfungsi sebagai sekring daktil, berotasi plastis sementara komponen struktur lain akan tetap elastis[3],[4]. Sistem ini menyediakan kekakuan seperti rangka bresing konsentrik (CBF) dan juga memiliki daya serap energi seperti rangka penahan momen (MRF)[5], Sehingga sistem ini bisa disebut dengan sistem *hybrid*. Terdapat 3 tipe *link* yaitu *link* geser, menengah, dan lentur[6]. *Link* geser lebih stabil dan daktil [7],[8]. Perilaku histeresis yang sangat baik dari *Eccentrically Braced Frames (EBF)* menggunakan *link* geser telah menjadi sistem alternatif yang efektif daripada sistem rangka penahan momen maupun struktur rangka bresing konsentris[9]. Namun pola keruntuhan pada rangka bresing eksentrik yang mengandalkan *link* horizontal (H-EBF) pada umumnya akan merusak struktur yang berada di atasnya seperti digambarkan pada pola keruntuhan

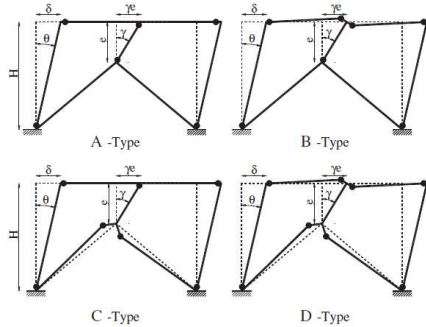
menurut Bosco dan Rossi[10] seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola Keruntuhan EBF dengan *Link* Horizontal  
Sumber: Bosco dan Rossi[10]

Struktur yang sensitif seperti pembangkit listrik memerlukan struktur yang tetap berada di tempatnya agar tetap berfungsi dengan baik [9]. Sehingga pola keruntuhan H-EBF tidak memungkinkan dalam rehabilitasi gempa untuk struktur ini. Sistem rangka bresing eksentrik dengan *link* vertikal (V-EBF) memiliki keruntuhan yang berbeda dengan H-EBF menurut Gambar 2 pada penelitian Rosario [11] pada tahun 2014. Dalam sistem ini, bresing berbentuk

V terbalik melekat pada balok lantai melalui panel geser. Deformasi inelastik intensif hanya terjadi di panel geser dan energi internal diserap oleh bagian ini[9].



**Gambar 2.** Mode Kegagalan *frame* V-EBF[11]  
 Sumber: Montouri dkk.[11]

Montuori dkk [11] melakukan analisa Push Over pada portal rangka bresing eksentrik dengan *link* vertical seperti terlihat pada **Gambar 3**. Pada penelitian ini memakai rumus panjang *link* yaitu

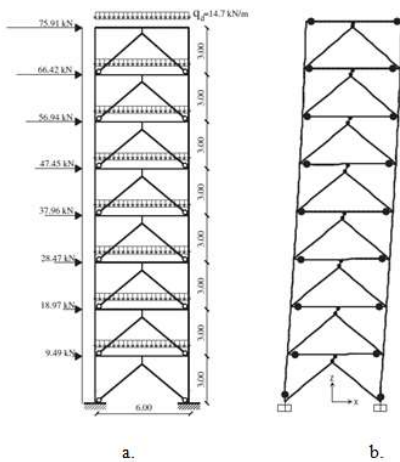
$$e = 1.6 \frac{M_p}{V_p} \tag{1}$$

dimana:

$M_p$  = Kapasitas Momen Plastik

$V_p$  = Kapasitas Geser Plastik

$e$  = Panjang *Link*



**Gambar 3.** Mode Kegagalan Portal V-EBF[2]  
 Sumber: Bowkamp dkk. 2016

Pada penelitian ini diturunkan rumus panjang *link* untuk *link* geser vertikal, yaitu:

$$e \leq \frac{2 \times 1.2 M_p}{2 V_p} = 1.2 \frac{M_p}{V_p} \tag{2}$$

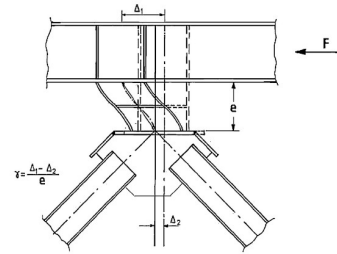
dimana:

$M_p$  = Kapasitas Momen Plastik

$V_p$  = Kapasitas Geser Plastik

$e$  = Panjang *Link*

Selain itu Bowkamp[2] menyimpulkan bahwa V-EBF terindikasi sebagai sistem daktail dengan rasio daktilitas tinggi dan dapat mendisipasi energi dengan grafik hysteresis yang stabil tanpa *pinching* sampai terjadi kegagalan (**Gambar 4**).



**Gambar 4.** Leleh pada *Link* V-EBF [2]  
 Sumber: Bowkamp dkk., [2]

Suswanto[12] pada tahun 2018 melakukan penelitian perbandingan *link* dengan profil WF dan profil tubular. *Link* dengan profil tubular mempunyai nilai daktilitas yang lebih baik daripada *link* dengan profil WF[12]. *Link* dengan panjang melebihi batas ketentuan *link* pendek atau *link* geser tidak dapat mencapai gaya geser nominal baik dengan profil WF dan profil tubular[12]. Sehingga dengan *link* berprofil tubular, *link* tipe geser tetap lebih baik dalam menahan gaya geser daripada *link* menengah dan *link* panjang. Berdasarkan hasil penelitian Suswanto dkk[12]. pada tahun 2018, saat beban rotasi diberikan kepada *link* pendek, gaya geser pada *link* WF berkurang rata-rata 2.75% setiap langkah, ini terjadi karena tekuk lokal pada WF. Sementara itu, gaya geser pada *link* tubular lebih stabil saat penambahan beban rotasi siklik, sehingga dapat disimpulkan bahwa *link* pendek tubular memiliki daktilitas yang lebih baik daripada *link* WF (**Gambar 5**). Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui bagaimana performa *link* vertikal profil tubular pada struktur rangka bresing eksentrik. Persamaan konstitutif baja tegangan regangan dapat didekati dengan persamaan Mander[13] dalam Rofiq dkk [14].

a. *Elastic Loading* ( $0 \leq \epsilon_s \leq \epsilon_y$ )

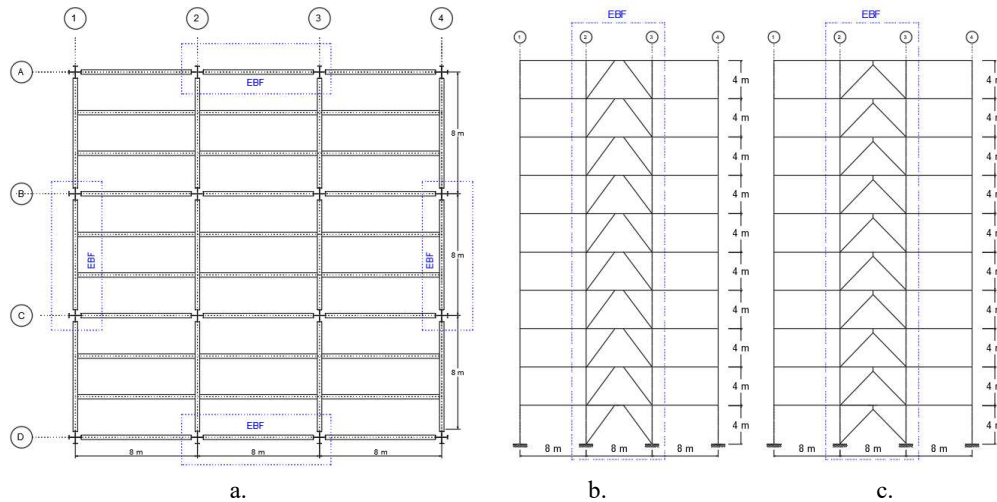
$$f_s = E_s \epsilon_s \tag{3}$$

b. *Yield Plateu* ( $\epsilon_y \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}$ )

$$f_s = f_y \tag{4}$$

c. *Strain Hardened Curve* ( $\epsilon_{sh} \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{su}$ )

$$f_s = f_{su} + (f_y - f_{su}) \left[ \frac{\epsilon_{su} - \epsilon_s}{\epsilon_{su} - \epsilon_{sh}} \right]^P \tag{5}$$



**Gambar 5.** a. Denah Pemodelan Makro b. Portal Rangka Bresing Eksentrik *Link* Horizontal c. Portal Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal Profil Tubular

Sumber: Hasil Analisis

$$P = E_{sh} \left( \frac{\epsilon_{su} - \epsilon_{sh}}{f_y - f_{su}} \right) \quad (6)$$

Dimana:

- $f_{su}$  : Tegangan Ultimit Baja
- $f_y$  : Tegangan leleh
- $E_s$  : Modulus elastisitas baja.
- $\epsilon_{sh}$  : Regangan baja saat awal *stain hardening*
- $\epsilon_{su}$  : Regangan baja ultimit
- $f_s$  : Tegangan baja
- $\epsilon_s$  : Regangan baja

**2. Metode**

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa metode elemen hingga secara makro dan mikro. Analisa makro

menggunakan gedung dengan tiga portal 3 dimensi berjumlah 10 lantai dengan bentang 8 meter.

Portal rangka bresing eksentrik berada di tengah pada masing-masing portal tepi pada arah x dan arah y. *Link* pada pemodelan rangka bresing eksentrik menggunakan *link* pendek dengan rumus panjang *link*  $e = 1.6 Mp/Vp$ . Pemodelan yang dilakukan yaitu Rangka Bresing Eksentrik *Link* Horizontal (H-EBF) dan Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal Profil Tubular (V-EBF) seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Model tersebut akan dimodelkan secara 3 dimensi. Pada model tersebut akan menggunakan denah, pembebanan, dan material yang sama. Pada pemodelan ini elemen kolom (K) menggunakan profil *King Cross* (KC), elemen balok induk (BI) dan balok anak (BA) menggunakan profil *Wide Flange* (WF), elemen *link* pada

**Tabel 1.** Profil Rangka Bresing Eksentrik *Link* Horizontal (H-EBF)

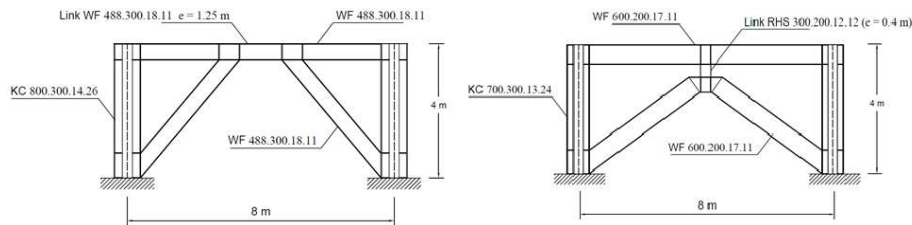
Lantai	Kolom	Balok	Bresing	<i>Link</i>
1-4	KC 800.300.14.26	WF 488.300.18.11	WF 488.300.18.11	WF 488.300.18.11 (e = 1.25 m)
5-7	KC 588.300.12.20	WF 390.300.16.10	WF 390.300.16.10	WF 390.300.16.10 (e = 1.25 m)
8-10	KC 488.300.11.18	WF 400.200.13.8	WF 400.200.13.8	WF 400.200.13.8 (e = 1m)

Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 2.** Profil Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal Profil Tubular (V-EBF)

Lantai	Kolom	Balok	Bresing	<i>Link</i>
1-4	KC 700.300.13.24	WF600.200.17.11	WF 600.200.17.11	RHS 300.200.12.12 (e = 0.4 m)
5-7	KC 588.300.12.20	WF 450.200.14.9	WF 450.200.14.9	RHS 300.200.8.8 (e = 0.4 m)
8-10	KC 488.300.11.18	WF 400.200.13.8	WF 400.200.13.8	RHS 300.200.6.6 (e = 0.4 m)

Sumber: Hasil Analisis



**Gambar 6.** Portal pemodelan mikro rangka bresing eksentrik a. *Link* Horizontal b. *Link* vertikal profil tubular  
 Sumber: Hasil Analisis

EBF Horizontal menggunakan profil *Wide Flange* (WF), EBF Vertikal menggunakan *Rectangular Hollow Section* (RHS) dengan profil seperti ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **2**. Seluruh elemen menggunakan BJ 41  $f_y = 250$  MPa  $f_u = 410$  MPa. Pada pemodelan makro akan dilakukan beberapa kontrol yang terdiri dari:

1. Kontrol Partisipasi Massa
2. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum
3. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental
4. Kontrol Simpangan Antar Lantai

Kemudian selanjutnya dilakukan pengecekan profil dan *Push over*. Evaluasi hasil pemodelan SAP 2000 berisi perbandingan perilaku dari spesimen penelitian. Perbandingan perilaku spesimen terdiri dari:

1. Perpindahan Lateral
2. Simpangan Antar Lantai
3. Perbandingan efisiensi / berat.

Setelah mekanisme runtuh secara global pada pemodelan struktur sesuai dengan metodologi desain, maka dilakukan pemodelan mikro. Pada pemodelan ini akan dimodelkan satu portal seperti pada **Gambar 6** dengan ukuran profil sama dengan pemodelan makro pada lantai 1-4 seperti ditunjukkan pada **Tabel 3**. Pemodelan yang dilakukan yaitu membandingkan perilaku pada H-EBF dan V-EBF. Pada pemodelan Abaqus diperlukan beberapa penyesuaian di dalam *software* antara lain:

1. *Model Geometry*

Model geometri pada kedua pemodelan yaitu satu portal pada lantai bawah dari pemodelan 3D seluruh rangka. Dengan bentang balok 8 meter dan tinggi kolom 4 meter seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**.

2. *Model Meshing*

Meshing pada *frame* dimodelkan dengan tipe C3D8R. ukuran meshing sebesar 100 mm.

3. *Material properties*

Material yang digunakan adalah BJ 41 dengan  $f_y = 250$  MPa dan  $f_u = 410$  MPa. *Input* pada bagian elastic menggunakan modulus elastisitas sebesar 200000 MPa dan 0.3 untuk nilai *poisson ratio*. *Input* pada bagian *plastic* material menggunakan data  $f_y$  dan regangan plastis material (**Tabel 4**).

**Tabel 4.** Input material pada pemodelan mikro [15]

No.	Yield Stress	Plastic Strain
1	250	0
2	251	0.015
3	345	0.04
4	410	0.1

Sumber: Suswanto dkk.[12]

4. *Interaction*

Sambungan antar elemen struktur dimisalkan dengan sambungan las atau menempel sempurna. Sehingga interaksi antar elemen pemodelan menggunakan tipe *tie constraint*.

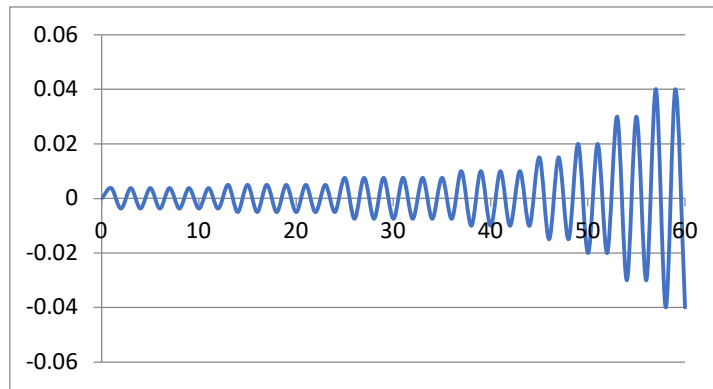
5. *Boundary Condition (BC)*

Pada dasar kedua kolom menggunakan BC tipe *encastre* dan pada kedua kolom bagian atas menggunakan BC tipe *displacement*. Fungsi BC pada dasar kolom yaitu mengikat seperti jepit pada dasar kolom pada umumnya. Pada BC kolom bagian atas berfungsi sebagai pembebanan AISC *Seismic Provision* 2010 seperti ditunjukkan pada **Gambar 7**. Pembebanan dari AISC *Seismic Provision* 2010 akan dikonversi menjadi *displacement*. Nilai *displacement* ini akan menjadi *input* pada pemodelan mikro.

**Tabel 3.** Profil Spesimen Pemodelan Mikro

Kode	Jenis EBF	Kolom	Balok	Bresing	Link
H-EBF	EBF <i>Link</i> Horizontal	KC 800.300.14.26	WF 488.300.18.11	WF 488.300.18.11	WF 488.300.18.11 ( $e = 1.25$ m)
V-EBF	EBF <i>Link</i> Vertikal	KC 700.300.13.24	WF 600.200.17.11	WF 600.200.17.11	RHS 300.200.12.12 ( $e = 0.4$ m)

Sumber: Hasil Analisis



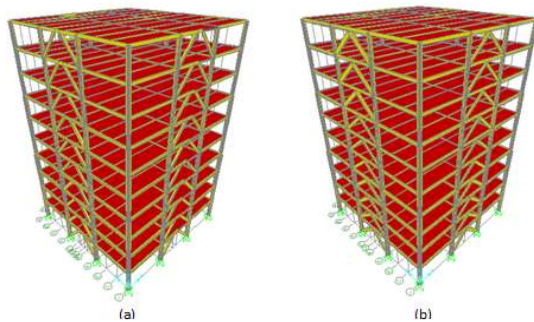
**Gambar 7.** Pembebanan Pada Pemodelan Mikro[6]  
 Sumber: AISC 2010 Seismic Provision

**3. Hasil dan Pembahasan**

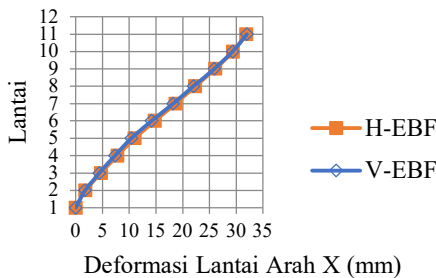
**a. Pemodelan Makro**

Dari **Gambar 9** dan **10** dapat dilihat bahwa nilai deformasi lantai arah x dan arah y pada H-EBF dan V-EBF terlihat saling berhimpit. Sehingga dapat dikatakan deformasi lantai arah x pada kedua pemodelan hampir sama.

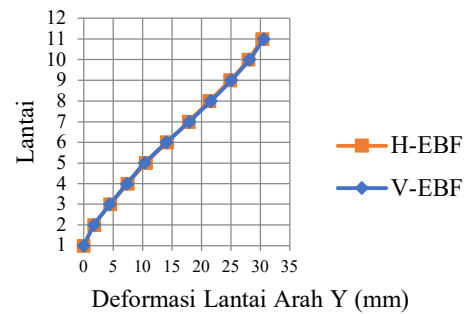
Pada **Gambar 11** dapat dilihat bahwa nilai deformasi antar lantai arah x pada H-EBF dan V-EBF pada lantai 1,2, dan 6 memiliki nilai yang hampir sama. Pada lantai 3,4, dan 5 H-EBF memiliki nilai lebih besar. Pada lantai 7-atap V-EBF memiliki nilai lebih besar.



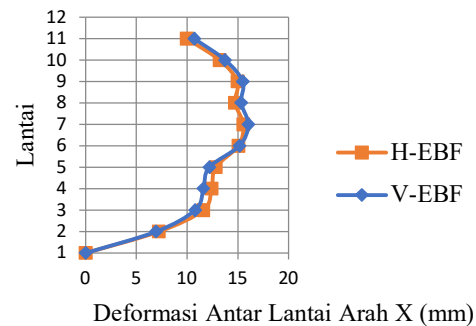
**Gambar 8.** Pemodelan Makro 3D; a. H-EBF, b. V-EBF  
 Sumber: Hasil Analisis



**Gambar 9.** Perbandingan Deformasi Lantai Arah X  
 Sumber: Hasil Analisis

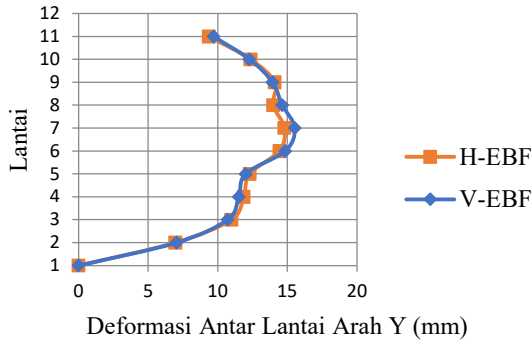


**Gambar 10.** Perbandingan Deformasi Lantai Arah Y  
 Sumber: Hasil Analisis

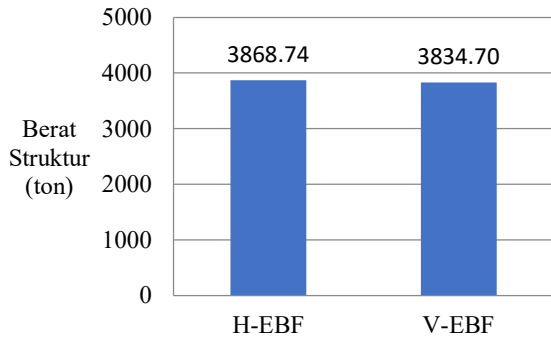


**Gambar 11.** Perbandingan Deformasi Antar Lantai Arah X  
 Sumber: Hasil Analisis

Pada **Gambar 12** dapat dilihat bahwa nilai deformasi antar lantai arah y pada H-EBF dan V-EBF pada lantai 1,2, 9, dan 10 memiliki nilai yang hampir sama. Pada lantai 3,4, dan 5 rangka bresing eksentrik memiliki nilai lebih besar. Pada lantai 6,7,8,9, dan atap V-EBF memiliki nilai lebih besar.



**Gambar 12.** Perbandingan Deformasi Antar Lantai Arah Y  
 Sumber: Hasil Analisis



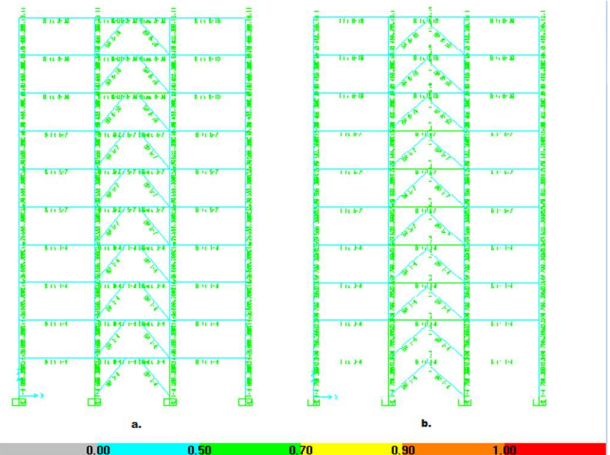
**Gambar 13.** Perbandingan Berat Struktur H-EBF dan V-EBF  
 Sumber: Hasil Analisis

Pada gambar 13 dapat dilihat bahwa dari hasil pemodelan yang dilakukan, berat struktur pada H-EBF sebesar 3868740.3 Kg dan berat V-EBF didapatkan 3834700.47 Kg. Berdasarkan hasil diatas, maka dengan denah struktur, pembebanan, dan material yang sama, V-EBF mempunyai berat struktur yang lebih ringan sebesar 34089,83 Kg.

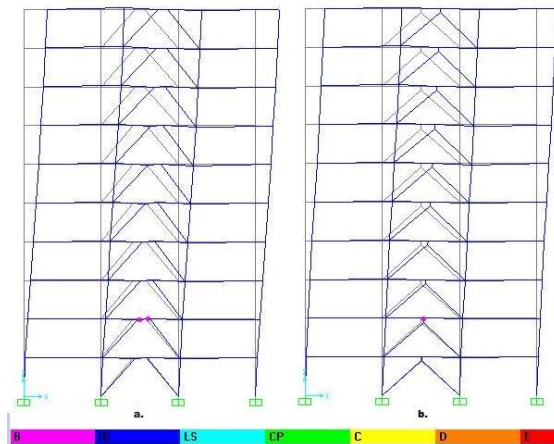
Pada masing-masing pemodelan terdapat kolom berwarna hijau pada lantai 1. Warna biru pada pemodelan menandakan bahwa profil aman untuk menahan beban yang bekerja pada gedung tersebut. Pada kedua pemodelan terdapat kolom berwarna hijau pada lantai dasar. Pada pemodelan rangka bresing eksentrik profil tubular terdapat balok berwarna hijau pada portal rangka bresing eksentrik pada lantai 2-7.

Pada pemodelan H-EBF pelepasan pertama terjadi di elemen struktur *link* pada lantai 2. Simpangan pada kolom pada lantai paling atas adalah 121.01 mm. Simpangan antar lantai pada kolom yang terdapat pada *frame* yang memiliki *link* leleh di lantai 2 adalah 13 mm. mekanisme runtuh pada

pemodelan H-EBF telah memenuhi syarat yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu.



**Gambar 14.** Steel Check Design Pemodelan Makro; a. H-EBF, b. V-EBF  
 Sumber: Hasil Analisis

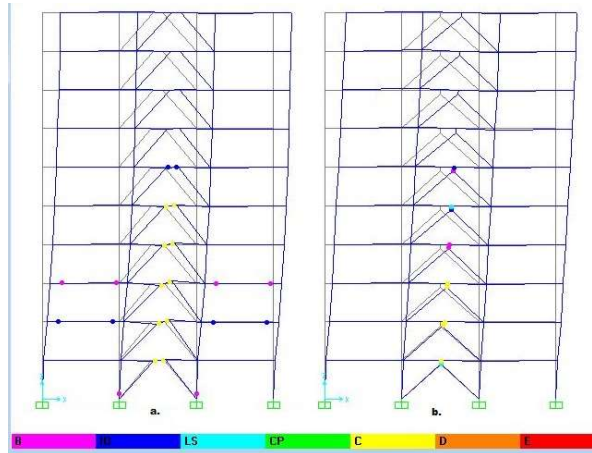


**Gambar 15.** Leleh Awal Push Over Pemodelan ; a. H-EBF, b. V-EBF  
 Sumber: Hasil Analisis

Pelepasan pertama terjadi di elemen struktur *link* pada lantai 2. Simpangan pada kolom pada lantai paling atas adalah 66.92 mm. Simpangan antar lantai pada kolom yang terdapat pada *frame* yang memiliki *link* leleh di lantai 2 adalah 6.6 mm. mekanisme runtuh pada pemodelan rangka bresing eksentrik vertikal telah memenuhi syarat yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu.

Pada pemodelan H-EBF pelepasan mode akhir terjadi di elemen struktur *link* pada lantai 1-6, balok pada lantai 2 dan 3, dan kolom pada lantai 1 pada *frame* rangka bresing eksentrik. Simpangan pada kolom pada lantai paling atas adalah 236.37 mm. Simpangan antar lantai pada kolom

yang terdapat pada *frame* yang memiliki *link* leleh di lantai 2 adalah 42.8 mm.



**Gambar 16.** Leleh Akhir *Push Over* Pemodelan Makro  
 Sumber: Hasil Analisis

Pelelehan mode akhir terjadi di elemen struktur *link* pada lantai 1-6. Simpangan pada kolom pada lantai paling atas adalah 109.82 mm. Simpangan antar lantai pada kolom yang terdapat pada *frame* yang memiliki *link* leleh di lantai 2 adalah 16.6 mm. Pada pemodelan V-EBF terbentuknya sendi plastis hanya terjadi pada *link*. Untuk elemen struktur lainnya tidak terbentuk sendi plastis.

Pelehan mode akhir terjadi di elemen struktur *link* pada lantai 1-6. Simpangan pada kolom pada lantai paling atas adalah 109.82 mm. Simpangan antar lantai pada kolom yang terdapat pada *frame* yang memiliki *link* leleh di lantai 2 adalah 16.6 mm. Pada pemodelan V-EBF terbentuknya sendi plastis hanya terjadi pada *link*. Untuk elemen struktur lainnya tidak terbentuk sendi plastis.

Pada **Tabel 5** dapat dijelaskan bahwa  $\Delta$  Awal Leleh adalah deformasi pada struktur saat terjadi pada kolom bagian atas saat mode awal terjadinya sendi plastis seperti ditunjukkan pada **Gambar 15**.  $\Delta$  leleh terakhir adalah deformasi pada kolom bagian atas struktur saat mode akhir terjadinya sendi plastis dalam analisa *push over* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 16**. Daktilitas diambil dari nilai  $\Delta$  leleh terakhir dibagi dengan  $\Delta$  Awal Leleh.

**Tabel 5.** Perbandingan Nilai Daktilitas H-EBF dan V-EBF pada Pemodelan Makro

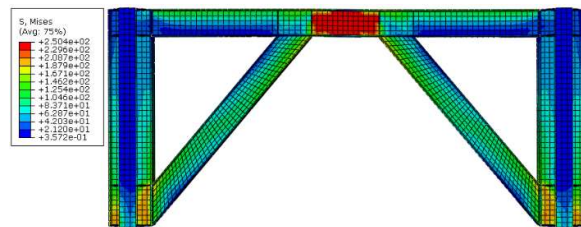
Rangka	$\Delta$ Awal Leleh (mm)	$\Delta$ Leleh Terakhir (mm)	Daktilitas $\Delta$	Selisih (%)
H-EBF	121.03	236.38	1.953	15.97
V-EBF	66.92	109.83	1.641	

Sumber: Hasil Analisis

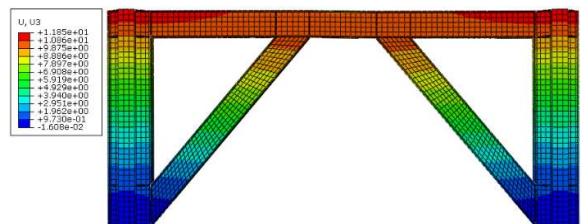
Pola Keruntuhan pada V-EBF tidak menyebabkan struktur lainnya leleh. Sehingga V-EBF lebih mencegah kerusakan pada struktur lain. Sehingga lebih dimungkinkan saat melakukan rehabilitasi struktur setelah gempa terjadi. H-EBF memiliki nilai *base shear* sebesar 9543.826 KN lebih besar daripada V-EBF sebesar 6250.416 KN. Sehingga H-EBF lebih rentan terhadap beban gempa daripada V-EBF.

**b. Pemodelan Mikro**

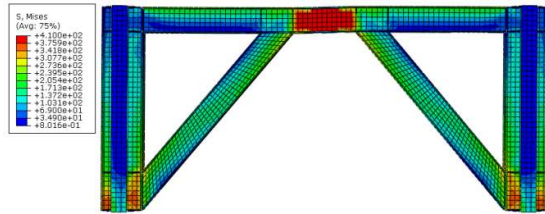
Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* horizontal (H-EBF), elemen struktur *link* pada *frame* mencapai tegangan maksimum 250 MPa saat deformasi portal kolom 8 mm seperti ditunjukkan pada **Gambar 18** pada bagian atas kolom. Elemen balok, kolom, dan bresing belum mengalami pelelehan dengan tegangan maksimum yang terjadi adalah 229 MPa, Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa seperti ditunjukkan pada **Gambar 17**, dimana sesuai dengan  $f_y$  material yang digunakan yaitu BJ-41. Pada pola keruntuhan spesimen H-EBF telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu sehingga elemen struktur lain direncanakan mencapai tegangan leleh sesudah *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa. Setelah *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa maka dilanjutkan pembebanan sampai *link* mengalami tegangan maksimum 410 MPa.



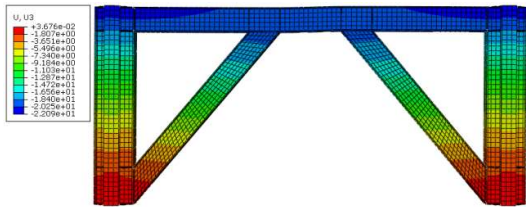
**Gambar 17.** Tegangan pada *frame* H-EBF saat *Link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa  
 Sumber: Hasil Analisis



**Gambar 18.** Perpindahan *Frame* H-EBF saat *Link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa  
 Sumber: Hasil Analisis



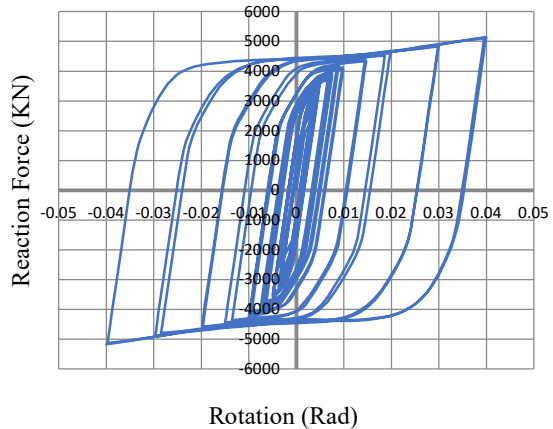
**Gambar 19.** Tegangan pada *frame* H-EBF saat *Link* Mencapai Tegangan Maksimum 410 MPa  
 Sumber: Hasil Analisis



**Gambar 20.** Perpindahan *Frame* H-EBF saat *Link* Mencapai Tegangan Maksimum 410 MPa  
 Sumber: Hasil Analisis

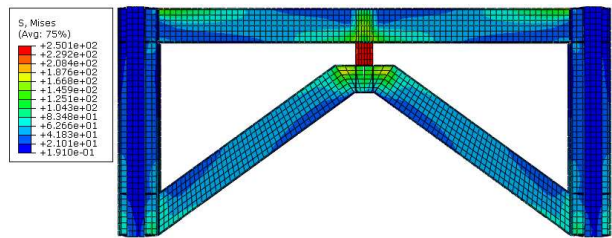
Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* horizontal (H-EBF), elemen struktur pada *frame* runtuh pada *link* pada deformasi portal 18.8 mm seperti ditunjukkan pada **Gambar 19** pada bagian atas kolom. Elemen balok, kolom, dan bresing belum mengalami keruntuhan dengan tegangan maksimum yang terjadi adalah 375.9 MPa, elemen *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa seperti ditunjukkan pada **Gambar 20** dimana sesuai dengan  $f_u$  material yang digunakan yaitu BJ-41. Pemodelan *frame* H-EBF pada saat *link* mencapai 410 MPa, bagian *link* tidak mengalami putus. Pembebanan pada *frame* dijalankan sampai rotasi kolom mencapai 0.04 sesuai pada AISC loading protocol. Pada pola keruntuhan spesimen H-EBF telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu.

Kurva histeresis pada **Gambar 21** didapatkan dengan mengkombinasikan nilai *reactional force* (RF) pada dasar kolom *frame* dengan nilai displacement pada ujung kolom atas (U). Kondisi *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa pada saat rotasi kolom bernilai 0.0029. Kondisi *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa saat rotasi kolom bernilai 0.00552. Nilai rotasi tersebut didapatkan dari nilai defromasi yang dikonversi menjadi rotasi. Pada perpindahan sebesar 160 mm atau rotasi kolom sebesar 0.04 didapat reaksi dasar maksimum pada *frame* H-EBF sebesar 5179.33 KN seperti ditunjukkan pada **Gambar 21**.



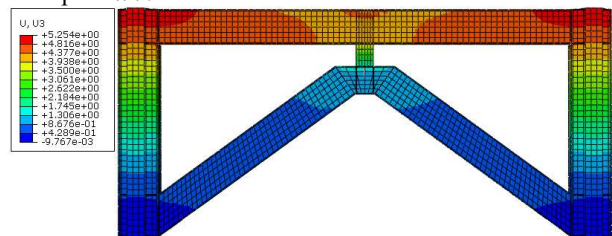
**Gambar 21.** Kurva Histeresis H-EBF  
 Sumber: Hasil Analisis

Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* vertikal (V-EBF), elemen struktur pada *frame* leleh pertama pada *link* pada deformasi portal 5.259 mm seperti ditunjukkan pada **Gambar 23** pada bagian atas kolom. Elemen *link* mencapai tegangan 250 MPa, dimana sesuai dengan  $f_y$  material yang digunakan yaitu BJ-41 seperti ditunjukkan pada **Gambar 22**. Elemen struktur balok, kolom, dan bresing belum mengalami pelepasan dengan tegangan maksimum yang terjadi adalah 229.2 MPa.



**Gambar 22.** Tegangan pada *frame* V-EBF saat *Link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa  
 Sumber: Hasil Analisis

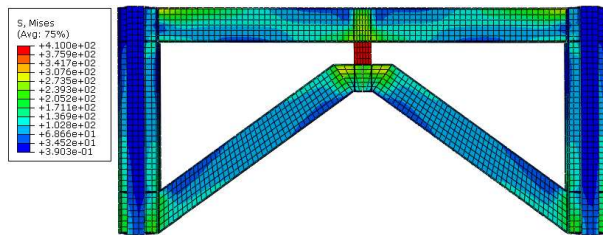
Pada pola keruntuhan spesimen V-EBF telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu.



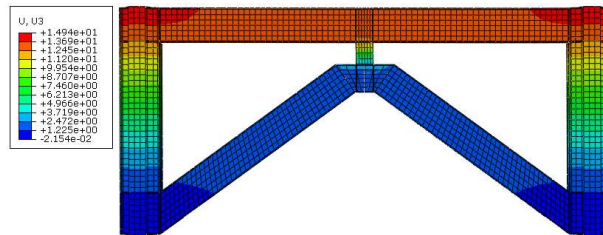
**Gambar 23.** Perpindahan *Frame* V-EBF saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa  
 Sumber: Hasil Analisis



Pada spesimen rangka bresing eksentrik link vertikal (V-EBF), elemen struktur pada *frame* runtuh pada link pada deformasi portal 14.5 mm pada bagian atas kolom seperti ditunjukkan pada **Gambar 25**. Elemen balok, kolom, dan bresing belum mengalami keruntuhan dengan tegangan maksimum yang terjadi adalah 341.8 MPa. Elemen link mencapai tegangan maksimum 410 MPa, dimana sesuai dengan  $f_u$  material yang digunakan yaitu BJ-41 seperti ditunjukkan pada **Gambar 24**. Pemodelan *frame* V-EBF pada saat *link* mencapai 410 MPa, bagian *link* tidak mengalami putus. Pembebanan pada *frame* dijalankan sampai rotasi kolom mencapai 0.04 sesuai pada AISC *loading protocol*.



**Gambar 24.** Tegangan pada *frame* V-EBF saat *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa  
 Sumber: Hasil Analisis

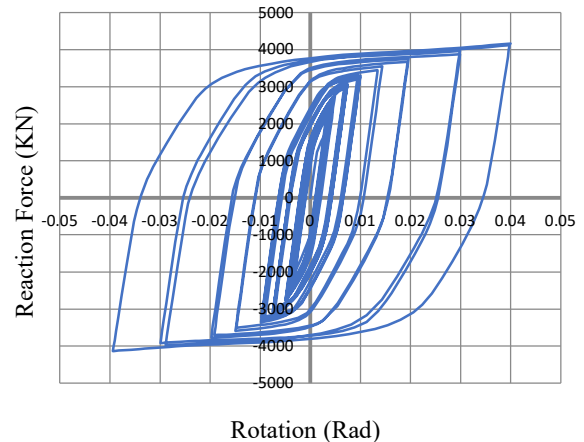


**Gambar 25.** Perpindahan *Frame* V-EBF saat *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa  
 Sumber: Hasil Analisis

Pada pola keruntuhan spesimen V-EBF telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu leleh pada link terlebih dahulu.

Kurva histeresis pada **Gambar 26** didapatkan dengan mengkombinasikan nilai *reaction force* (RF) pada dasar kolom *frame* dengan nilai *displacement* pada ujung kolom atas (U). Elemen link mencapai tegangan maksimum 250 MPa saat rotasi kolom bernilai 0.0013 dan mencapai tegangan maksimum 410 MPa saat rotasi 0.00373. Nilai rotasi tersebut didapatkan dari deformasi yang dikonversikan menjadi rotasi. Pada perpindahan sebesar 160

mm atau rotasi kolom sebesar 0.04 didapat reaksi dasar maksimum pada *frame* V-EBF sebesar 4165.85 KN seperti ditunjukkan pada **Gambar 26**.



**Gambar 26.** Kurva Histeresis V-EBF  
 Sumber: Hasil Analisis

Nilai *reaction force* maksimum saat rotasi kolom 0.04 pada spesimen H-EBF memiliki nilai lebih besar 1013.48 KN dibandingkan dengan spesimen V-EBF atau sebesar 19.57%.

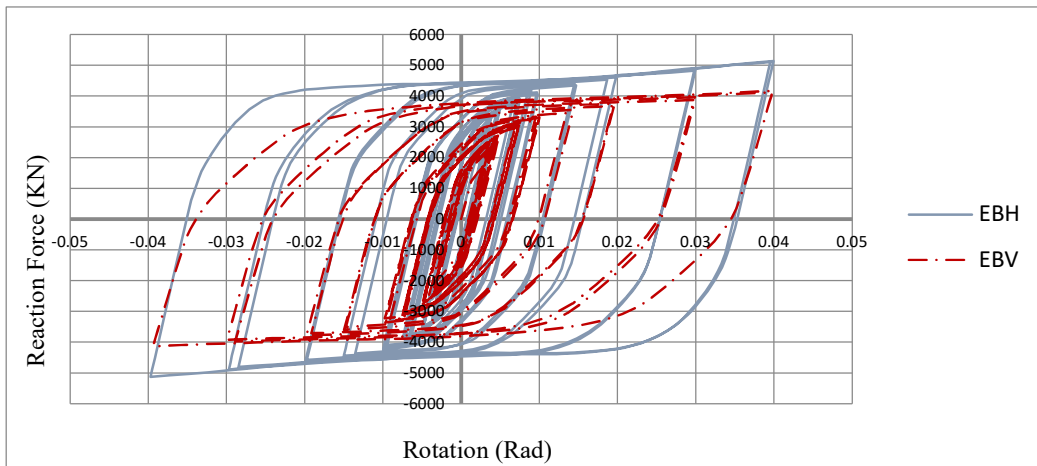
**Tabel 6.** Perbandingan *Reaction Force* maksimum H-EBF dan V-EBF saat rotasi kolom 0.04

Tipe Struktur	Base Shear (KN)	Selisih (%)
H-EBF	5179.33	
V-EBF	4165.85	19.57

Sumber: Hasil Analisis

Dari **Tabel 6** dapat dijelaskan bahwa *Reaction Force* pada rangka bresing eksentrik horizontal (H-EBF) lebih besar dari rangka bresing horizontal tubular (V-EBF) karena pada pemodelan makro semakin bertambahnya berat pada struktur mengakibatkan bertambahnya reaksi dasar pada kolom.

Berdasarkan luasan kurva histeresis pada **Gambar 27** didapatkan besar energi disipasi saat rotasi kolom 0.04 pada spesimen H-EBF adalah 24641.10 KNm, sedangkan pada spesimen V-EBF 1 energi disipasi didapatkan sebesar 19492.71KNm.



**Gambar 27** Kurva Histeresis H-EBF dan V-EBF 1  
 Sumber: Hasil Analisis

**Tabel 7.** Perbandingan Deformasi *frame* H-EBF dan V-EBF Saat Link Mencapai Tegangan maksimum 250 Mpa dan maksimum 410 MPa

Spesimen	Deformasi		Selisih (%)	
	Link 250 MPa (mm)	Link 410 MPa (mm)	Link 250 MPa	Link 410 MPa
H-EBF	11.05	22.09	11.05	22.09
V-EBF	5.25	14.9		

Sumber: Hasil Analisis

Energi disipasi maksimum saat rotasi kolom 0.04 pada spesimen H-EBF lebih besar daripada spesimen V-EBF dengan selisih 5148.38KNm seperti ditunjukkan pada **Tabel 8** atau sebesar 20.89%.

Selisih perpindahan portal seperti ditunjukkan pada **Tabel 7** saat *link* leleh yaitu 5.8 mm atau 11.05%, saat *link* runtuh sebesar 7.19 mm atau 22.09%.

**Tabel 8.** Perbandingan Energi Disipasi H-EBF dan V-EBF

Tipe Struktur	Energi Disipasi (KNm)	Selisih (%)
H-EBF	24641.10	20.89
V-EBF	19492.71	

Sumber: Hasil Analisis

**4. Simpulan**

Berdasarkan hasil pemodelan makro dan mikro, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. V-EBF mempunyai berat struktur yang lebih ringan sebesar 34089,83 Kg atau 0.88% dari berat H-EBF.
2. Saat pemodelan makro V-EBF memiliki nilai daktilitas lebih kecil daripada H-EBF dengan selisih 0.31 atau

15.97% dari nilai daktilitas H-EBF. Sendi plastis pada V-EBF hanya terjadi pada *link* saja. Sehingga lebih baik dalam rehabilitasi gempa.

3. Saat pemodelan mikro, V-EBF memiliki perpindahan lantai lebih kecil daripada H-EBF dengan prosentase 11.05% saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan 22.09% saat *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa. Sehingga V-EBF memiliki kekakuan lebih besar daripada H-EBF.
4. V-EBF memiliki nilai *base shear* lebih kecil 19.57 % daripada H-EBF. Energi disipasi pada V-EBF lebih kecil 20.89%.

**Daftar Pustaka**

- [1] J. W. Berman and M. Bruneau, “Tubular Links for Eccentrically Braced Frames . I: Finite Element Parametric Study,” pp. 692–701, 2008.
- [2] J. Bouwkamp, M. Ghasem, and A. Ghamari, “Case Studies in Structural Engineering An analytical model for inelastic cyclic response of eccentrically braced frame with vertical shear link ( V-EBF ),” *Tissue Cell*, vol. 6, pp. 31–44, 2016.
- [3] B. Suswanto, A. Rizki, E. Wahyuni, and J. Wilson, “Numerical Behavior Study of Short Link , Intermediate Link and Long Link in Eccentrically Braced Frame Steel Structure,” vol. 12, no. 21, pp. 11460–11471, 2017.
- [4] P. W. Richards and C. Uang, “Testing Protocol for Short Links in Eccentrically Braced Frames,” no. August, pp. 1183–1191, 2006.
- [5] E. Mohammadrezapour and F. Danesh, “Experimental investigation of bolted link-to-column connections in eccentrically braced frames,” *J.*

- Constr. Steel Res.*, vol. 147, pp. 236–246, 2018.
- [6] AISC 341-10 - American Institute of Steel Construction, “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,” *Seism. Provisions Struct. Steel Build.*, no. 1, p. 402, 2010.
- [7] T. Okazaki, M. D. Engelhardt, A. Drolas, E. Schell, J. Hong, and C. Uang, “Experimental investigation of link-to-column connections in eccentrically braced frames,” *J. Constr. Steel Res.*, vol. 65, no. 7, pp. 1401–1412, 2009.
- [8] M. A. Musmar, “Effect Of Link On Eccentrically Braced Frames,” vol. 40, no. 1, pp. 35–43, 2012.
- [9] M. Ghasem, A. Ghamari, and J. Bouwkamp, “Investigating the nonlinear behavior of Eccentrically Braced Frame with vertical shear links ( V-EBF ),” *J. Build. Eng.*, vol. 10, no. February, pp. 47–59, 2017.
- [10] M. Bosco and P. P. Rossi, “Seismic behaviour of eccentrically braced frames,” *Eng. Struct.*, vol. 31, no. 3, pp. 664–674, 2009.
- [11] R. Montuori, E. Nistri, and V. Piluso, “Theory of plastic mechanism control for eccentrically braced frames with inverted y-scheme,” *JCSR*, vol. 92, pp. 122–135, 2014.
- [12] B. Suswanto, A. R. Amalia, E. Wahyuni, and N. Al Farisy, “Comparison of WF & tubular links on the eccentrically brace frame system due to cyclic loads,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 799–804, 2018.
- [13] John Barry Mander, “Seismic Design of Bridge Piers.” University of Canterbury, 1983.
- [14] M. A. Rofiq, H. Alrasyid, D. Iranata, and D. Irawan, “Prediksi Perilaku Lentur Kolom Beton Bertulang Mutu Tinggi Terhadap Kombinasi Beban Perpindahan Monotonik dan Aksial Rendah,” vol. 16, pp. 43–50, 2019.
- [15] B. Suswanto, J. Wilson, and W. Sutrisno, *Sistem Struktur Eccentrically Braced Frames Teori Dasar dan Analisis Elemen Hingga*. Surabaya, 2018.

