

STUDI PERBANDINGAN PERILAKU STRUKTUR *ECCENTRICALLY BRACED FRAMES INVERTED V* DAN *ECCENTRICALLY BRACED FRAMES INVERTED Y* TERHADAP BEBAN LATERAL GEMPA

Rizqi Amalia, Budi Suswanto dan Data Iranata
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: budi_suswanto@ce.its.ac.id

Abstrak - *Eccentrically braced frames* (EBF) merupakan sistem struktur baja penahan gempa, dimana pada salah satu dari ujung pengaku terhubung pada balok sehingga terdapat segmen terpisah pada balok yang disebut *link*. Pada beberapa kasus, konstruksi dengan menggunakan *inverted V* (*link* horizontal) tipe *link* geser tidak mungkin dilaksanakan pada semua lantai karena pada beberapa lantai yang memikul beban vertikal yang sangat besar, *link* yang harus mengalami plastis sedangkan balok diluar *link* harus tetap berperilaku elastis bahkan dibawah kondisi gempa besar, maka muncul gagasan mengenai pemakaian EBF dengan *link* vertikal atau disebut EBF *Inverted Y*.

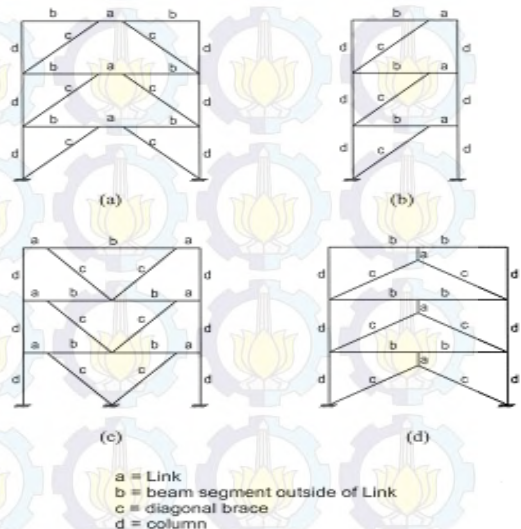
Tugas akhir ini menganalisa perilaku struktur pada EBF tipe *Inverted V* dan *Inverted Y*. Sistem struktur dimodelkan sebagai struktur 10 lantai dengan fungsi perkantoran dan berada di wilayah gempa Padang. Dari hasil analisa pushover menunjukkan bahwa model EBF *Inverted V* memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan EBF *Inverted Y* dengan prosentase 32,21%. Kekakuan elastis dari EBF *Inverted V* juga lebih besar 8,8% dibandingkan EBF *Inverted Y*. Dari tabel pushover, daktilitas yang dimiliki EBF *Inverted V* 46,9% relatif lebih besar dibanding dengan EBF *Inverted Y*. Level kinerja pada saat gempa rencana, EBF *inverted V* menunjukkan level kinerja B sedangkan EBF *Inverted Y* berada pada level LS. Dengan ukuran *link*, balok, *bracing* dan kolom yang relatif sama, dari segi mekanisme keruntuhan, kegagalan EBF *Inverted Y* dapat terkontrol pada elemen *link* saja namun pada EBF *Inverted V* perlu dipastikan elemen diluar *link* memiliki kapasitas yang lebih besar.

Kata Kunci - Analisa Pushover, *Eccentrically Braced Frames*, *Inverted V*, *Inverted Y*, Perilaku Struktur.

I. PENDAHULUAN

Sistem EBF (*Eccentrically Braced Frames*) merupakan sebuah sistem penahan gaya lateral pada bangunan baja yang dapat dianggap sebagai gabungan antara sistem rangka berpengaku momen dan sistem rangka berpengaku sentrik. EBF mempunyai dua kelebihan sekaligus, dimana memiliki kekakuan elastik yang tinggi dan daktilitas yang tinggi pada story drift yang cukup besar. Sistem ini mendisipasi energi seismik dengan mengatur terjadinya leleh geser, lentur, atau kombinasi keduanya pada sebuah segmen kecil di balok yang disebut *link*. Pada EBF, *link* perlu didesain dan dilakukan pendetailan sehingga memiliki kekuatan dan daktilitas yang memenuhi syarat. Struktur lain selain *link* (segmen balok diluar *link*, *bracing*, kolom dan sambungan) direncanakan secara proporsional sesuai desain dasar kapasitas sehingga elemen elemen tersebut

tetap berperilaku elastis selama gempa rencana berlangsung [1].



Gambar 1. Konfigurasi *link* pada beberapa sistem portal
(Sumber : AISC 2005)

Dari tiga konfigurasi EBF yang sering dipakai antara lain D-EBF, V-EBF dan *Inverted V*. Konfigurasi EBF dengan *link* berada ditepi balok harus dihindari karena momen sambungan balok-kolom mengakibatkan rawannya kegagalan *brittle* pada lokasi tersebut. Jenis EBF dengan konfigurasi *Inverted V* (lihat gambar 1 a) merupakan konfigurasi yang terbaik karena momen terbesar yang menjadikan sendi plastis tidak terjadi didekat kolom, melainkan berada diujung-ujung *link* beam diantara dua join *bracing*. Sendi plastis yang terjadi pada balok menyebabkan mekanisme keruntuhan pada balok. Sedangkan sendi plastis yang terjadi pada kolom menyebabkan mekanisme keruntuhan kolom yang berarti terjadinya keruntuhan bangunan (*collapse*). Oleh karena itu struktur model *Inverted V* akan lebih menguntungkan karena sendi plastis yang terjadi tidak menyebabkan keruntuhan pada bangunan [2]. Pada beberapa kasus, konstruksi dengan menggunakan *inverted V* dan *link* geser untuk semua lantai tidak mungkin dilaksanakan karena pada beberapa lantai yang memikul beban vertikal sangat besar, balok diluar *link* harus tetap berperilaku elastis bahkan dibawah kondisi gempa besar [3][4]. Pada saat terjadinya gempa yang besar, deformasi *link* yang cukup besar harus dapat diterima oleh balok juga. Meskipun demikian, pada penggunaan *link* vertikal (lihat gambar 1 d), lokasi deformasi plastis dipindahkan pada lokasi dimana perbaikan pasca gempa lebih mudah

dilaksanakan. Oleh sebab itulah pada sistem struktur penahan gempa pemakaian vertikal *link* perlu dipertimbangkan [5].

Mengacu pada penelitian penelitian sebelumnya, pada tugas akhir ini akan menganalisa perilaku struktur EBF tipe *inverted V* dan *inverted Y*, yang dievaluasi kekuatan, kekakuan, nilai daktilitas, tingkat kinerja serta mekanisme keruntuhan pada kedua konfigurasi tersebut.

II. METODE PENELITIAN

a. Konsep Penelitian

Pada tugas akhir ini akan dibuat permodelan struktur EBF tipe *inverted V* dan *inverted Y* yang selanjutnya akan dievaluasi kekuatan, kekakuan, nilai daktilitas, tingkat kinerja serta mekanisme keruntuhan pada kedua konfigurasi tersebut dengan menggunakan analisa pushover. Kriteria gedung yang akan dijadikan permodelan terdapat pada poin c. Dari hasil penelitian tersebut dapat ditentukan sistem mana yang lebih stabil.

b. Diagram alir

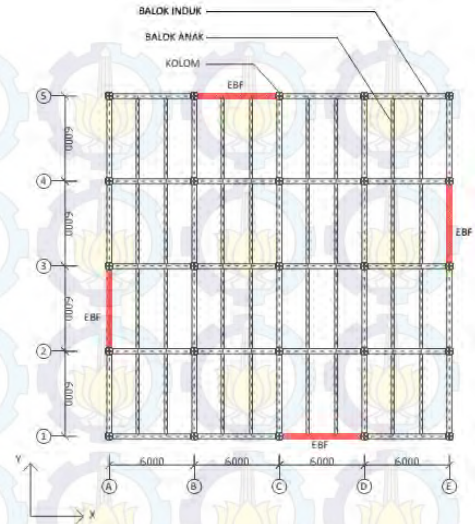


c. Kriteria pemodelan

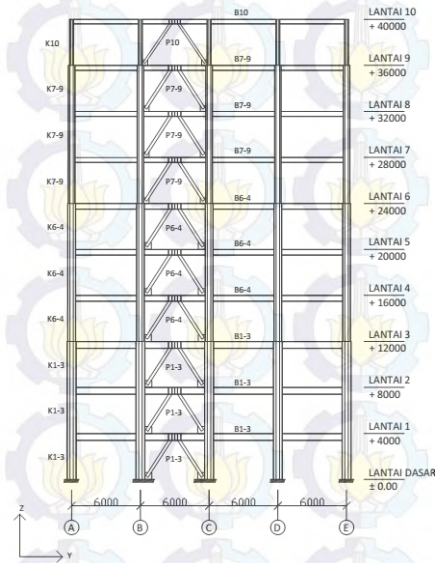
Perencanaan pemodelan pada penelitian ini meliputi :

- Variabel desain : EBF tipe Inverted-V
EBF tipe Inverted-Y
- Material : Baja dan beton (untuk plat lantai)
- Mutu baja : BJ 41
- Mutu beton : 30 MPa
- Jumlah lantai : 10 (tipikal)
- Tinggi tiap lantai : 4 m
- Tinggi gedung : 40 m
- Jumlah baris : 4
- Lebar antar baris : 6 m
- Luasan gedung : 24 m x 24 m
- Fungsi bangunan : Perkantoran

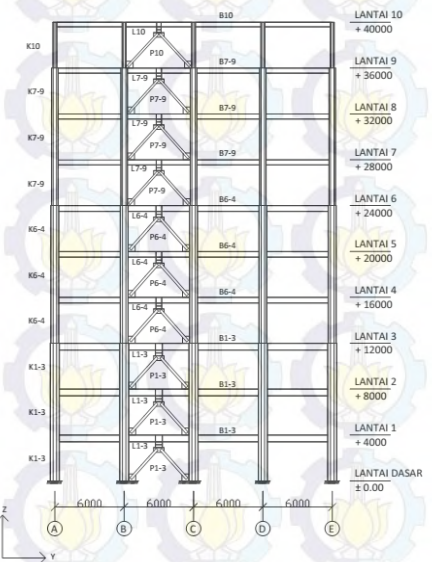
Lokasi : Padang
Jenis tanah : Tanah lunak



Gambar 2. Denah Pemodelan



Gambar 3. Tampak Depan EBF Inverted V



Gambar 4. Tampak Depan EBF Inverted Y

III. HASIL DAN ANALISA DATA

a. Desain Elemen Struktur Sekunder dan Struktur Utama

- EBF Inverted V

Perencanaan panjang link

Pada EBF tipe inverted V penampang link sama dengan penampang balok induk. Panjang link untuk link geser ialah

$$e = \frac{1,6 M_p}{V_p}, \text{ dimana } M_p = Z_x F_y \text{ dan } V_p = 0,6 F_y (d - 2t_f) t_w$$

Tabel 1. Evaluasi panjang dan kapasitas link horizontal

Tingkat	Profil link	Z_x (cm ³)	M_p (kg.cm)	V_p (kg)	$\frac{1,6M_p}{V_p}$ (cm)	e (cm)
10	400.200.7.11	1088	2720000	39690	109,6	50
9-7	450.200.8.12	1393	3482500	51120	108,9	50
6-5	500.200.9.14	1836	4590000	63720	115,2	50
3-1	600.200.12.20	3317	8292500	100800	131,6	50

Perencanaan Elemen Struktur Utama dan Sekunder

Tabel 2. Data elemen struktur EBF Inverted V

Tingkat	Balok anak (WF)	Balok induk (WF)	Link (WF)	Kolom (K)	Bracing (WF)
10	300.150.5,5.8	400.200.7.11	400.200.7.11	350.175	350.250.8.12
9-7	350.175.6.9	450.200.8.12	450.200.8.12	588.300	350.250.9.14
6-4	350.175.6.9	500.200.9.14	500.200.9.14	700.300	400.300.10.16
3-1	350.175.6.9	600.200.12.20	600.200.12.20	800.300	450.300.11.18

- EBF Inverted Y

Perencanaan panjang link

Untuk link horizontal, batasan panjang untuk link geser mengacu pada EC8, dengan peraturan sebagai berikut :

$$e < e_s \text{ dimana}$$

$$e_s = 0,8 (1 + \alpha) \frac{M_p}{V_p}$$

dengan α ialah rasio dari momen terkecil pada ujung link terhadap momen terbesar pada ujung link satunya dimana sendi plastis terbentuk, kedua nilai momen diambil nilai absolutnya.

Tabel 3. Evaluasi panjang dan kapasitas link vertikal

Tingkat	Profil link	Z_x (cm ³)	M_p (kg.cm)	V_p (kg)	$\frac{0,8M_p}{V_p}$ (cm)	e (cm)
10	400.200.7.11	1088	2720000	39690	54,8	50
9	450.200.9.14	1621	4052500	56970	56,9	50
6	500.200.11.19	2462	6155000	79530	61,9	50
3	600.200.13.23	3778	9445000	108030	69,9	50

Perencanaan Elemen Struktur Utama dan Sekunder

Tabel 4. Data elemen struktur EBF Inverted V

Tingkat	Balok anak (WF)	Balok induk (WF)	Link (WF)	Kolom (K)	Bracing (WF)
10	300.150.5,5.8	400.200.7.11	400.200.7.11	350.175	350.250.8.12

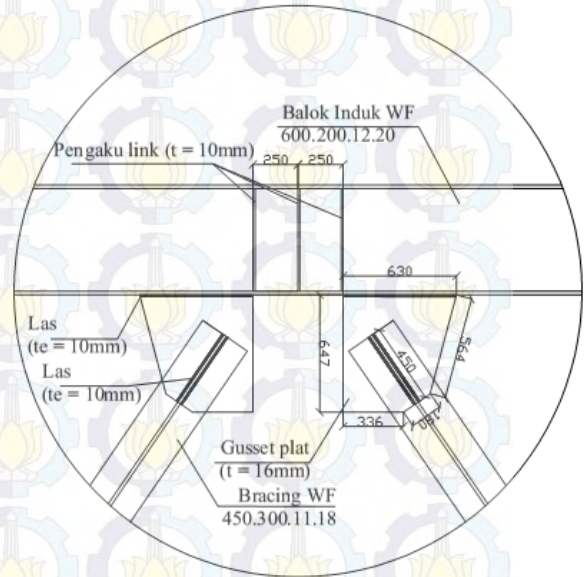
9-7	350.175.6.9	450.200.8.12	450.200.9.14	588.300	350.250.9.14
6-4	350.175.6.9	500.200.11.19	500.200.11.19	700.300	400.300.10.16
3-1	350.175.6.9	600.200.12.20	600.200.13.23	800.300	450.300.11.18

b. Desain Sambungan

Dengan konfigurasi link sistem EBF Inverted V dan Y \ berbeda, maka detail sambungan link terhadap balok maupun bracing perlu diperhatikan.

- EBF Inverted V

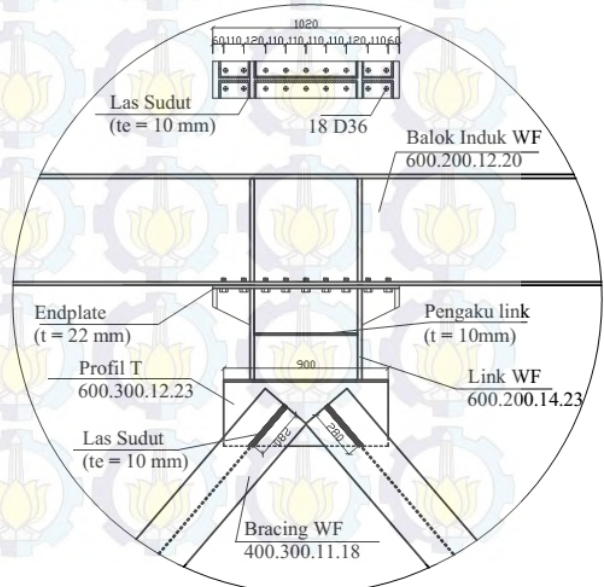
Perhitungan perencanaan sambungan tercantum pada R. Amalia 2015 [6].



Gambar 5. Detail Sambungan Link- Bracing EBF Inverted V

- EBF Inverted Y

Sambungan link ke sayap balok menggunakan tipe sambungan end-plate, sedangkan elemen link terhadap bracing dihubungkan dengan profil T. konfigurasi link vertikal menyebabkan momen diujung link menjadi cukup besar. Perhitungan perencanaan sambungan tercantum pada R. Amalia 2015 [6].



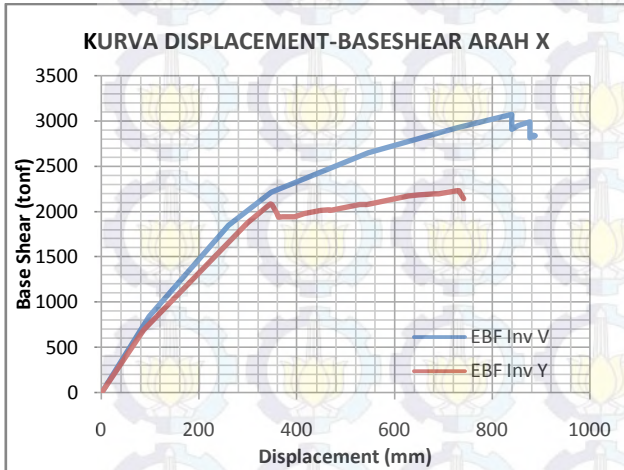
Gambar 6 Detail Sambungan Link-Bracing EBF Inverted Y

c. Analisa Pushover

• Kurva Pushover

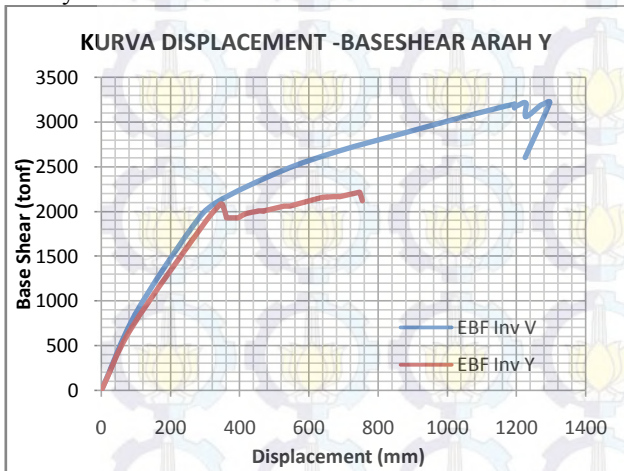
Analisa Pushover dilakukan dengan memberikan beban lateral pada arah x dan y. Dari analisa tersebut didapatkan kurva antara perpindahan dan gaya geser dasar sebagai berikut:

Arah x



Gambar 7. Kurva Pushover Arah X

Arah y



Gambar 8. Kurva Pushover Arah Y

∴ Kekuatan

Kekuatan struktur ditentukan berdasarkan gaya geser dasar ultimit.

Arah x

EBF Inverted V : $V_{ult} = 2834425$ kg

EBF Inverted Y : $V_{ult} = 2143878$ kg

Arah y

EBF Inverted V : $V_{ult} = 2603728$ kg

EBF Inverted Y : $V_{ult} = 2120711$ kg

Pada arah x gaya geser EBF Inverted V memiliki kekuatan 32,21 % relatif lebih besar dibandingkan EBF Inverted Y, sedangkan pada arah y gaya geser EBF Inverted V memiliki kekuatan 22,78 % relatif lebih besar dibandingkan EBF Inverted Y. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa kekuatan struktur EBF Inverted V lebih besar dibandingkan EBF Inverted Y.

∴ Kekakuan

Diperoleh dari rasio gaya geser dasar pada saat terjadi leleh pertama terhadap perpindahan saat leleh pertama.

Arah x

EBF Inverted V : kekakuan = 8656,549 kg/mm

EBF Inverted Y : kekakuan = 8027,906 kg/mm

Arah y

EBF Inverted V : kekakuan = 8657,469 kg/mm

EBF Inverted Y : kekakuan = 7955,968 kg/mm

Perbedaan kekakuan dari kedua struktur cukup kecil, pada arah x EBF Inverted V relatif lebih besar 7,8%, sedangkan pada arah y EBF Inverted V juga lebih unggul 8,8% dibandingkan EBF Inverted Y. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa kekakuan struktur EBF Inverted V lebih besar dibandingkan EBF Inverted Y baik pada arah x maupun y.

∴ Daktilitas

Nilai kekakuan elastik ditinjau dari rasio gaya geser yang menyebabkan leleh pertama pada elemen link terhadap simpangan yang terjadi pada saat leleh pertama terjadi.

Arah x

EBF Inverted V : $\mu = 9,174$

EBF Inverted Y : $\mu = 8,596$

Arah y

EBF Inverted V : $\mu = 12,512$

EBF Inverted Y : $\mu = 8,517$

Nilai daktilitas pada arah x EBF Inverted V (6,72%) lebih besar dibandingkan EBF Inverted Y, sedangkan pada arah y EBF Inverted V (46,9%) relatif lebih besar dibandingkan EBF Inverted Y. Dari keempat hasil tersebut disimpulkan bahwa daktilitas struktur EBF Inverted V lebih besar dibandingkan EBF Inverted Y pada arah x dan arah y.

d. Evaluasi Kinerja

- Evaluasi kinerja EBF Inverted V

Arah x

Sesuai dengan perhitungan diatas, nilai δ_x terbesar ialah menurut perhitungan ATC-40 yaitu $\delta_x = 0,264$ m. Target perpindahan tersebut berada diantara perpindahan pada step 2-3, oleh karena itu diambil nilai yang paling besar $\delta_x = 0,347$ m. Target perpindahan tersebut berada pada tingkat kinerja B.

Arah y

Target perpindahan terbesar menurut ATC-40, nilai $\delta_y = 0,262$ m. Target perpindahan tersebut berada diantara perpindahan pada step 2-3, oleh karena itu diambil nilai yang paling besar $\delta_y = 0,329$ m. Target perpindahan tersebut berada pada tingkat kinerja B.

- Evaluasi kinerja EBF Inverted Y

Arah x

Target perpindahan terbesar menurut ATC-40, nilai $\delta_x = 0,285$ m. Target perpindahan tersebut berada diantara perpindahan pada step 1-2, oleh karena itu diambil nilai yang paling besar $\delta_x = 0,299$ m. Target perpindahan tersebut berada pada tingkat kinerja LS.

Arah y

Target perpindahan terbesar menurut ATC-40, nilai $\delta_y = 0,286$ m. Target perpindahan tersebut berada diantara perpindahan pada step 1-2, oleh karena itu

diambil nilai yang paling besar $\delta_y = 0,3017$ m. Target perpindahan tersebut berada pada tingkat kinerja LS.

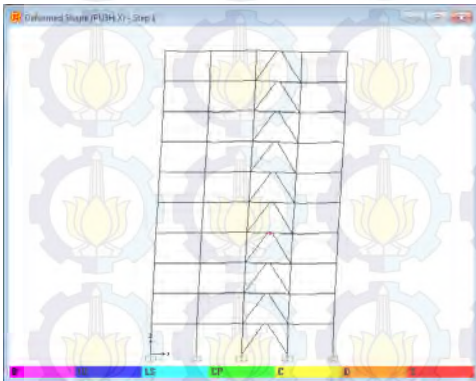
∴ Kesimpulan

Pada struktur EBF Inverted V, pada arah X maupun Y tingkat kinerja menunjukkan pada tingkatan B, dimana tidak ada kerusakan berarti pada struktur dan non struktur. Sedangkan pada struktur EBF Inverted Y, pada arah X maupun Y tingkat kinerja menunjukkan pada tingkatan LS, terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan.

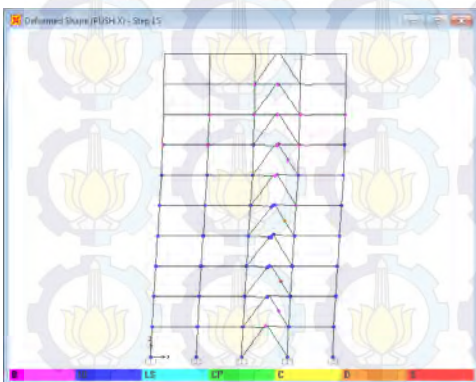
e. Mekanisme Keruntuhan

Pada analisa Pushover dapat dilihat mekanisme keruntuhan yang terjadi pada setiap step dimana gaya lateral ditingkatkan. Dari tiap step tersebut dapat diketahui elemen mana yang mengalami leleh terlebih dahulu serta elemen mana yang mengalami Collapse pada step terakhir.

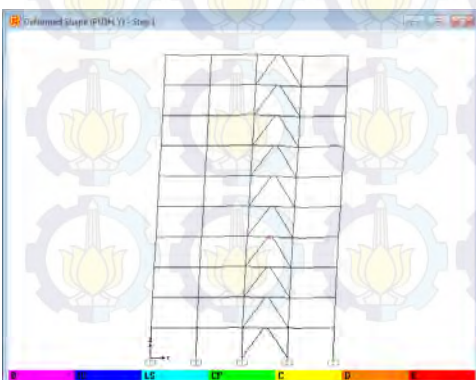
- EBF Inverted V



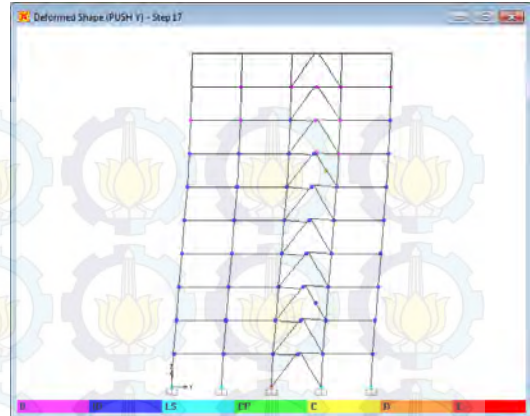
Gambar 9. Plastifikasi pada step 1 arah x EBF Inverted V



Gambar 10. Plastifikasi pada step akhir arah x EBF Inverted V



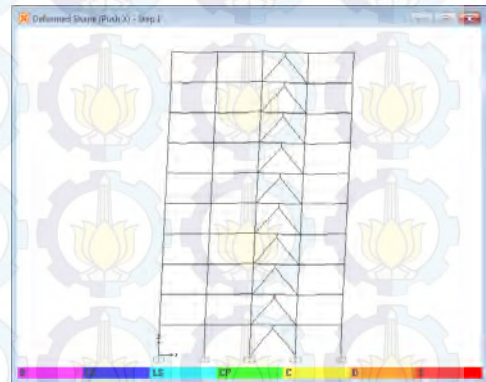
Gambar 11. Plastifikasi pada step 1 arah y EBF InvertedV



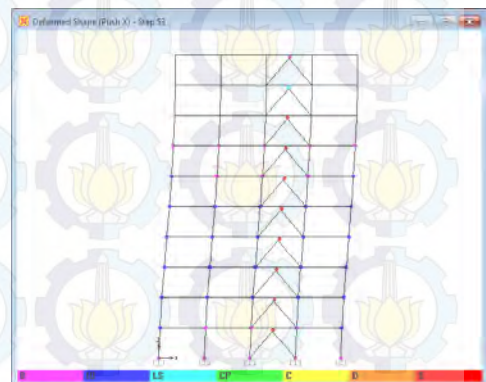
Gambar 12. Plastifikasi pada step terakhir arah y EBF Inverted V

Pada step 1 akibat beban pushover arah x terjadi leleh pertama pada link lantai 4, step selanjutnya leleh juga terjadi pada link lantai 1-8 serta pada beberapa ujung balok diluar link. Pada step terakhir dapat dilihat bahwa terjadi sendi plastis pada link lantai 1-9, ujung balok, bracing serta kolom terbawah. Hal serupa juga terjadi pada arah y. Pada gambar 10 menunjukkan bahwa persebaran sendi plastis terjadi cukup merata, namun sayangnya kegagalan pada arah x terjadi pada bracing bukan pada link, sedangkan pada arah y kegagalan juga terjadi pada kolom terbawah. Hal tersebut menunjukkan bahwa elemen bracing yang direncanakan memiliki kemampuan yang lebih kecil daripada link. Oleh sebab itu dalam perencanaan EBF Inverted V perlu dipastikan elemen balok, bracing serta kolom memiliki kapasitas yang lebih besar daripada link.

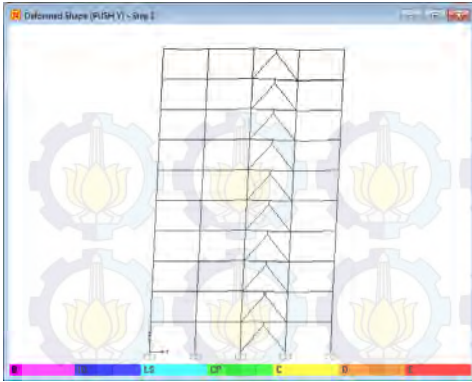
- EBF Inverted Y



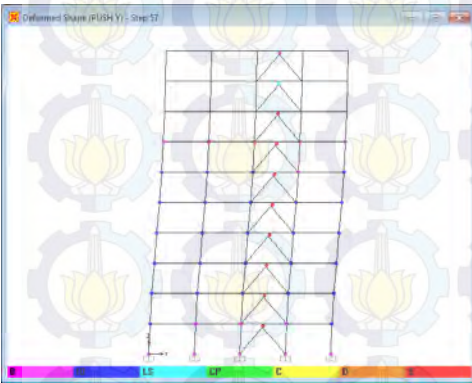
Gambar 13. Plastifikasi pada step 1 arah x EBF Inverted Y



Gambar 11. Plastifikasi pada step akhir arah x EBF Inverted Y



Gambar 11. Plastifikasi pada step 1 arah y EBF Inverted Y



Gambar 12. Plastifikasi pada step terakhir arah y EBF Inverted Y

Pada EBF Inverted Y baik pada arah x atau y hampir memiliki perilaku yang sama, pelelehan terjadi terlebih dahulu pada link lantai 2. Pada step selanjutnya sebagian besar pelelehan tersebar pada elemen link lantai 1-8, sedangkan pada step terakhir seluruh link mengalami pelelehan, persebaran pelelehan diluar link terjadi cukup merata karena selain link, pelelehan juga terjadi pada pada ujung-ujung balok lantai 1-7, sedangkan bracing dan kolom cukup stabil. Keruntuhan arah x maupun y terjadi pada elemen link lantai 1-8, hal tersebut sesuai dengan yang diharapkan karena keruntuhan terjadi pada link. Dari segi mekanisme keruntuhan, EBF Inverted Y cukup bagus karena dengan ukuran balok, bracing dan kolom yang relatif sama dengan EBF Inverted V, kegagalan dapat dipastikan terjadi pada elemen link. Meskipun demikian, dari segi kekuatan, kekakuan, daktilitas dan tingkat kinerja EBF Inverted Y lebih rendah dibandingkan EBF Inverted V. Oleh karena itu perlu dipastikan link memiliki kestabilan dan kapasitas yang cukup sehingga dapat menerima deformasi yang cukup besar.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil analisa pushover dapat disimpulkan :

1. Kekuatan EBF Inverted V pada arah x (32,21%) dan pada arah y (22,78%) relatif lebih besar dibandingkan EBF Inverted Y.
2. Dari segi kekakuan, EBF Inverted V dan EBF Inverted Y memiliki kekakuan yang hampir sama, EBF Inverted V pada arah x (7,8%) dan pada arah y (8,8%) relatif lebih kaku dibandingkan EBF Inverted Y.
3. Nilai daktilitas EBF Inverted V pada arah x sebesar (6,72%) dan pada arah y (46,9%) relatif lebih besar dibandingkan EBF Inverted Y.

4. Hasil evaluasi kinerja struktur EBF Inverted V menunjukkan kinerja lebih baik. Pada arah x maupun y EBF Inverted V menunjukkan level kinerja B, sedangkan model EBF Inverted Y pada kedua arahnya menunjukkan level kinerja LS.
5. Sendi plastis yang terjadi pada EBF Inverted V menyebar pada hampir seluruh balok dan link serta beberapa bracing dan kolom, tetapi keruntuhan terjadi pada elemen diluar link. Sedangkan pada EBF Inverted Y sendi plastis tersebar pada seluruh link dan pada beberapa ujung balok sedangkan bracing dan kolom cukup stabil. Keruntuhan terkontrol terjadi pada link. Pada EBF Inverted V perlu dipastikan elemen diluar link memiliki kekuatan lebih besar dibanding link, sedangkan EBF Inverted Y keruntuhan terjadi pada link namun kekuatan, kekakuan dan daktilitasnya lebih rendah. Oleh karena itu perlu dipastikan link memiliki kestabilan dan kapasitas yang cukup sehingga dapat menerima deformasi yang cukup besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua yang telah memberi dukungan moril maupun materil, dan teman-teman sejurusan atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan. Penulis juga berterima kasih kepada Bapak Budi Suswanto, ST, MT, Ph.D dan Data Iranata, ST, MT, Ph.D selaku pembimbing.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Popov, E.P, dan Engelhardt, M.D. 1988. "Seismic Eccentrically Braced Frames". **J. Construct. Steel Research.** 10 : 321-354.
- [2] Bruneau, M., Uang, C.M., dan Whittaker, A. 1998. **Ductile Design of Steel Structure.** Mcgraw-Hill International Edition.
- [3] Fehling, E., Pauli, W. and Bauwkamp, J.C. 1992, "Use of Vertical Shear Link in Eccentrically Braced Frames", *Earthquake Engineering, 10th World conference, Rotterdam.* 4475-4479.
- [4] Daryan, A.S., Bahrampoor, H., Ziaei, M., Golafshar, A., dan Assareh, A.M. 2008. "Seismic Behavior of Vertical Shear Links Made of Easy-Going Steel". **American J. of Engineering and Applied Science** 1 (4) : 368-377
- [5] Perera, R., Gomez, S., dan Alarcon, E. 2004. "Experimental and Analytical Study of Masonry Infill Reinforced Concrete Frames Retrofitted with Steel Braces". **J. Struct. Eng.** 130 : 2032-2039
- [6] Amalia, Rizqi. 2015. "Studi Perbandingan Perilaku Struktur *Eccentrically Braced Frames Inverted V* Dan *Eccentrically Braced Frames Inverted Y* Terhadap Beban Lateral Gempa". Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Surabaya.