

ANALISIS PORTAL STRUKTUR BAJA BERDASARKAN KONFIGURASI TIPE DAN VARIASI PANJANG *LINK* SISTEM EBF (*ECCENTRICALLY BRACED FRAMES*)

Reivaldy F. Manope

Hieryco Manalip, Bonny M. M. Ointoe

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: reivaldy.manope@gmail.com

ABSTRAK

EBF merupakan sebuah sistem penahan gaya lateral untuk bangunan gedung berstruktur baja di mana sistem ini dapat juga diartikan sebagai suatu hybrid antara SRPM yang konvensional dan CBF. Kinerja link yang efektif menyerap beban lateral ditunjukkan dengan kelelahan yang mampu membentuk sudut rotasi inelastik yang cukup besar pada link, di mana penyerapan maksimum ini diharapkan terjadi pada saat struktur sudah mengalami deformasi yang besar akibat gempa besar, dengan tetap mempertahankan komponen-komponen struktur lain seperti balok, kolom, dan bracing berada dalam kondisi elastik. Penggunaan EBF akan menjadi lebih ekonomis apabila link yang telah rusak akibat gempa dapat diganti tanpa mengganti komponen struktur lainnya (balok, kolom, bracing) yang masih tetap elastik memikul beban gravitasi. Terdapat tipe-tipe geometri dari EBF yang mendeskripsikan posisi bracing yang diagonal yang terhubung dengan ujung link pada posisi-posisi yang vital untuk terjadi deformasi plastis. Analisis statik nonlinier merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisis pushover atau analisis beban dorong statik. Kecuali untuk suatu struktur yang sederhana, maka analisis ini memerlukan komputer program untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata. Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap. Untuk hasil tinjauan parameter Target Displacement maka struktur yang menggunakan EBF Tipe K memiliki sifat daktail yang lebih baik dibandingkan dibandingkan EBF Tipe V berdasarkan; sedangkan hasil tinjauan parameter Base Shear maka struktur yang menggunakan EBF Tipe V lebih menambah kekakuan struktur dibandingkan struktur yang menggunakan Tipe K. Pemasangan sistem penahan gaya lateral yang tidak searah tinjauan tidak memiliki pengaruh yang signifikan baik struktur yang dipasang EBF Tipe K dan Tipe V. Semakin membesarnya panjang link, (rasio panjang link terhadap lebar bentang), maka struktur yang menggunakan EBF Tipe V semakin berkurang kemampuannya memikul aplikasi beban luar yang berarah lateral, dan hal ini justru berkebalikan dengan struktur yang menggunakan EBF Tipe K, di mana semakin bertambah besarnya panjang link, justru kekuatan untuk memikul beban luar arah lateral semakin bertambah.

Kata Kunci : *EBF, Link, Pushover Analysis, Baja, Tipe K, Tipe V, Statik Non Linear*

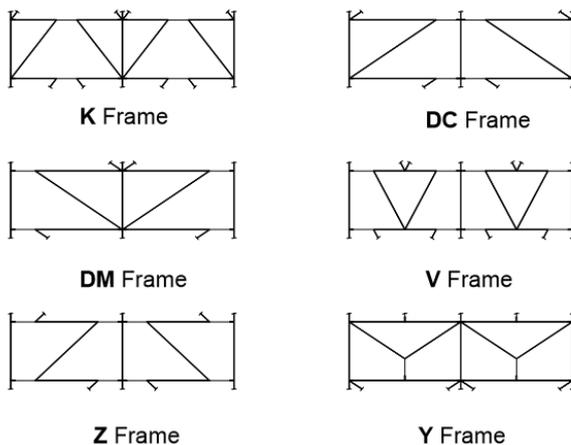
LATAR BELAKANG

Semakin populernya struktur EBF sebagai alternatif sistem struktur pada bangunan tahan gempa dari konstruksi baja disebabkan struktur EBF menggabungkan keunggulan rangka batang (*truss*) yang kaku dan efisien karena akan memanfaatkan perilaku aksial dan sistem portal lentur yang kurang kaku tapi berperilaku daktail. Hasilnya akan menjadikan struktur EBF menjadi cukup kaku sekaligus cukup daktail. Kinerja *link* yang efektif menyerap gempa ditunjukkan dengan kelelahan yang mampu membentuk sudut rotasi

inelastik yang cukup besar pada *link*, di mana penyerapan maksimum ini diharapkan terjadi pada saat struktur sudah mengalami deformasi yang besar akibat gempa besar, dengan tetap mempertahankan komponen-komponen struktur lain seperti balok, kolom, dan *bracing* berada dalam kondisi elastik. Penggunaan EBF akan menjadi lebih ekonomis apabila *link* yang telah rusak akibat gempa dapat diganti tanpa mengganti komponen struktur lainnya (balok, kolom, *bracing*) yang masih tetap elastik memikul beban gravitasi.

LANDASAN TEORI

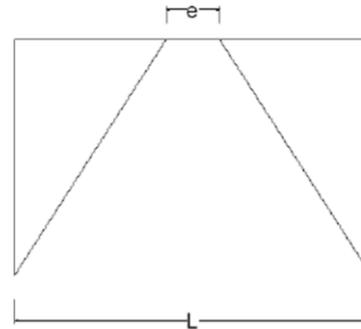
Eccentrically Braced Frames. Sistem struktur EBF merupakan struktur portal baja penahan gaya lateral yang merupakan perpaduan dari 2 sistem portal konvensional, yaitu MRF dan CBF. EBF menggabungkan kelebihan dari tiap frame konvensional tersebut dengan meminimalisasi kekurangannya. EBF memiliki kekakuan elastik yang tinggi, daktilitas yang sempurna, respons yang stabil pada beban siklik lateral, dan mempunyai kapasitas disipasi energi yang besar. 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 beam*. Panjang *Link* sangat berpengaruh pada sistem kekakuan dan daktilitas frame. Terdapat 6 tipe geometri EBF yang menetapkan posisi suatu link. Tipe-tipe geometri ini dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Tipe-tipe geometri EBF

Link beam merupakan elemen struktur yang direncanakan untuk berperilaku inelastis serta mampu untuk berdeformasi plastis yang besar pada saat terjadi beban lateral. Bagian *Link* ini berfungsi untuk menyerap energi pada saat terjadi beban lateral (gempa). Mekanisme leleh pada elemen *Link* terdiri dari 2 mekanisme leleh, yaitu kelelahan geser dan kelelahan lentur, tergantung dari panjang *Link* (e) yang digunakan. Pada sistem struktur EBF, kekakuan lateral merupakan fungsi dari perbandingan antara panjang *Link* (e) dengan panjang elemen balok (L). Jika panjang elemen *Link* lebih pendek, maka struktur portal menjadi lebih kaku mendekati kekakuan struktur CBF dan jika panjang *Link* lebih panjang, maka kekakuan struktur portal EBF mendekati kekakuan struktur *Momen Resisting Frames* (MRF). Batasan

mengenai panjang dan pendeknya elemen *Link* akan dibahas pada sub bab selanjutnya. Pada struktur EBF, elemen struktur di luar *Link* direncanakan untuk berperilaku elastis sedangkan bagian *Link* direncanakan untuk dapat berdeformasi inelastis pada saat terjadi beban lateral (gempa). Panjang elemen *link* (e) dan panjang elemen balok (L) untuk EBF Tipe K dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini :



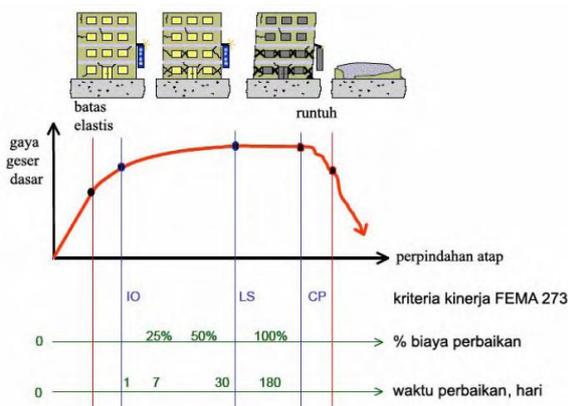
Gambar 2. Panjang elemen *Link* dan panjang elemen balok pada Split K-Braced EBF

Dari contoh-contoh geometri EBF tersebut di atas, terdapat konfigurasi yang mempunyai keuntungan karena bentuknya yang simetris dan letak *Link* yang tidak langsung terhubung oleh kolom sehingga terhindar dari masalah *full moment connection* pada kolom (sendi plastis tidak terjadi di dekat kolom). Walaupun sistem bresing eksentrik bukan merupakan konsep yang baru, aplikasi sistem ini pada konstruksi tahan gempa sangat dapat diterima. Ketahanan bresing eksentrik pada konstruksi tahan gempa sangat tergantung pada kestabilan sistem struktur dan sifat inelastik di bawah beban siklik lateral. Pada desain struktur EBF yang baik, aktifitas inelastik di bawah beban siklik dibatasi terutama hanya terjadi pada elemen *Link* yang didesain untuk dapat mengalami deformasi inelastik yang besar tanpa kehilangan kekuatan. Pada struktur EBF ini, elemen- elemen struktur di luar *Link* (balok, kolom, dan bresing) didesain berdasarkan kapasitas *Link*. Dengan membuat elemen *Link* lebih lemah dari elemen-elemen struktur lainnya, kehancuran daktail diharapkan terjadi pada elemen *Link* dan mengantisipasi agar elemen-elemen di luar *Link* mengalami kehancuran non daktail, seperti *buckling* pada elemen bresing. Karakteristik sistem struktur EBF tergantung dari karakteristik elemen *Link*nya. Seperti telah disebutkan sebelumnya, kekakuan struktur EBF merupakan fungsi dari panjang *Link*nya (e). Kekuatan struktur EBF dipengaruhi oleh nilai perbandingan e/L nya. Kekuatan struktur EBF

meningkat seiring dengan penurunan nilai e/L atau pemendekan elemen *Link* hingga mencapai batas kapasitas geser plastis dari *Link*. Pada struktur EBF, *Link* pendek (e/L kecil) memiliki keunggulan dalam menyediakan kekakuan dan kekuatan struktur yang tinggi. Nilai e/L yang kecil mengakibatkan kebutuhan rotasi *Link* yang sangat besar. *Link* panjang (e/L besar) menghasilkan kekakuan dan kekuatan yang rendah serta kebutuhan rotasi *Link* yang lebih kecil. Nilai e/L yang besar menghasilkan struktur EBF yang mendekati sifat struktur MRF, sedangkan nilai e/L yang kecil menghasilkan struktur EBF yang mendekati sifat struktur CBF.

Analisis Statik Non Linear (Pushover Analysis).

Analisis statik nonlinier merupakan prosedur analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisis *pushover* atau analisis beban dorong statik. Kecuali untuk suatu struktur yang sederhana, maka analisis ini memerlukan komputer program untuk dapat merealisasikannya pada bangunan nyata. Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Biasanya titik tersebut adalah titik pada atap, atau lebih tepat lagi adalah pusat massa atap. Analisis *pushover* menghasilkan kurva *pushover* seperti yang terlihat pada Gambar 3, kurva yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan titik acuan pada atap (D).



Gambar 3. Grafik Analisis *Pushover*

Pada proses *pushover*, struktur didorong sampai mengalami leleh disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan

memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku non-linier. Kurva *pushover* dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong.

Tujuan analisis *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Cukup banyak studi menunjukkan bahwa analisis statik *pushover* dapat memberikan hasil mencukupi (ketika dibandingkan dengan hasil analisis dinamik nonlinier) untuk bangunan regular dan tidak tinggi.

METODOLOGI PENELITIAN

Proses Analisis Penelitian.

Untuk melakukan proses analisis maka akan digunakan bantuan *software* komputer *Tekla Structural Designer 2018 (TSD2018)* dan *Evaluation Three Dimensional Analysis Building Structures 2013 (ETABS2013)*. Material yang digunakan yakni material baja dengan sistem struktur yakni portal 3D. Metode - metode yang akan digunakan pada penelitian ini yakni metode desain struktur elastis linier untuk mendesain elemen-elemen penampang struktur baja, dimana untuk beban lateral yang digunakan yakni tipe pembebanan gempa dan metode yang digunakan untuk desain yakni analisis statik ekuivalen; perhitungan pada tahap ini dilakukan dengan bantuan *software* TSD2018. Untuk selanjutnya dilakukan analisis static non liner (*pushover analysis*) untuk meninjau parameter-parameter *Target Displacements*, *Base shear*, dan *Steps*; perhitungan pada tahap ini dilakukan dengan bantuan *software* ETABS2013.

Teknik Analisis Data.

Penetapan pemodelan struktur merupakan bagian awal terpenting di dalam proses analisis. Hal ini disebabkan karena penentuan pemodelan diharapkan mampu mewakili atau merepresentasi struktur bangunan, dalam hal ini gedung portal struktur baja EBF 3D. Pemodelan yang dilakukan terdiri dari 2 (dua) tipe geometri EBF di mana pada masing-masing tipe akan dilakukan variasi panjang *link* untuk melihat pengaruhnya terhadap *Target Displacements*, *Base Shear*, dan *Steps*. Penetapan variasi panjang *link* dilakukan secara linier, dimulai dari $e/L = 10\%$ sampai $e/L = 20\%$,

dengan pertambahan kenaikan e/L sebesar 1%, e = panjang link dan L = panjang bentang arah-X yakni 8,00 meter, untuk melihat pengaruhnya terhadap parameter-parameter yang akan ditinjau. Selanjutnya dilakukan perbandingan terhadap masing-masing tipe untuk kategori panjang *link* yang sama untuk melihat pengaruh variasi tipe geometri EBF terhadap simpangan dari struktur portal baja. Hal ini dilakukan dalam rangka mencapai batasan-batasan yang diinginkan sehingga diharapkan mampu mewakili perilaku struktur gedung portal baja EBF serta pengaruh panjang *link* terhadap parameter-parameter struktur yang ditinjau.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil.

Seperti telah diuraikan sebelumnya maka pada langkah ini maka proses analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan software ETABS 2013, di mana parameter-parameter yang akan ditinjau yakni *Target Displacements* (TD), *Base Shear*, dan *Steps* (Jumlah dorongan sampai struktur runtuh). Hasil selengkapnya diuraikan sebagai berikut pada tabel-tabel di bawah ini :

a. Target Displacements (TD)

Tabel 1. Target Displacements EBF Tipe K dan Tipe V

NO	Ratio Panjang Link Terhadap Lebar Bentang	Panjang Masing-masing Link Arah-X (milimeter)	Panjang Masing-masing Link Arah-Y (milimeter)	Target Displacements (TD) (centimeter)			
				Tipe - K		Tipe - V	
				No Restraint	Restraint	No Restraint	Restraint
1	20%	1600	900	72.890	72.870	51.150	51.120
2	19%	1520	855	73.402	73.380	50.320	50.304
3	18%	1440	810	71.440	71.430	49.430	49.450
4	17%	1360	765	69.450	69.140	48.650	48.650
5	16%	1280	720	65.070	65.060	47.890	47.901
6	15%	1200	675	62.420	62.420	47.220	47.226
7	14%	1120	630	61.570	61.570	46.490	46.491
8	13%	1040	585	56.350	56.350	45.990	45.988
9	12%	960	540	55.080	55.080	45.420	45.415
10	11%	880	495	55.410	55.410	44.910	44.910
11	10%	800	450	5.210	5.240	80.004	80.002

Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan Gambar Tabel 1 di atas maka dapat diberikan penjelasan sebagai berikut, nilai *Target Displacements*, dari EBF, Tipe K lebih besar dari Tipe V. Untuk nilai $e/L = 10\%$ maka pada Tipe K merupakan nilai sangat kecil apabila dibandingkan dengan nilai-nilai lainnya, sedangkan pada Tipe V, berperilaku sebaliknya, yakni merupakan nilai yang terbesar dari nilai-nilai lainnya. Dapat dilihat juga, dengan dikecualikan nilai $e/L = 10\%$ maka nilai TD cenderung membesar seiring dengan nilai e/L

bertambah besar. Untuk perbandingan antara *No Restraints* dan *Restrained Y*, maka pada EBF Tipe K, nilai TD sama besar pada $e/L = 11\%$ sampai $e/L = 15\%$, dan pada $e/L = 16\%$ sampai $e/L = 20\%$, nilai TD *No Restraints* menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan *Restrained Y*, pada arah tinjauan sumbu X. Berbeda dengan EBF Tipe K, maka pada Tipe V, untuk nilai $e/L = 11\%$ sampai $e/L = 14\%$ dan nilai $e/L = 19\%$ sampai $e/L = 20\%$, nilai TD *Restrained Y* cenderung lebih kecil dari *No Restraints*, dan lebih besar pada $e/L = 15\%$ sampai $e/L = 18\%$.

b. Base Shear dan Steps

Untuk hasil selengkapnya dari hubungan antara gaya geser dasar dengan e/L serta jumlah *steps* yang dicapai sampai pada saat struktur runtuh dapat dilihat pada Tabel-tabel di halaman berikut.

Tabel 2. Base Shear EBF Tipe K dan Tipe V

NO	Ratio Panjang Link Terhadap Lebar Bentang	Panjang Masing-masing Link Arah-X (milimeter)	Panjang Masing-masing Link Arah-Y (milimeter)	Gaya Geser Dasar (kilo Newton)			
				Tipe - K		Tipe - V	
				No Restraint	Restraint	No Restraint	Restraint
1	20%	1600	900	7560.10	7560.45	9333.905	9305.49
2	19%	1520	855	7674.30	7674.39	9428.930	9422.33
3	18%	1440	810	7675.14	7674.75	9465.820	9467.22
4	17%	1360	765	7671.50	7671.24	9536.670	9541.31
5	16%	1280	720	7574.61	7573.67	9598.480	9602.65
6	15%	1200	675	7535.89	7535.79	9677.010	9677.39
7	14%	1120	630	7587.53	7587.60	9722.440	9718.86
8	13%	1040	585	7410.67	7411.05	9828.690	9826.96
9	12%	960	540	7402.09	7402.47	9878.340	9878.44
10	11%	880	495	7555.12	7555.62	9945.210	9945.21
11	10%	800	450	7091.13	7091.26	9925.130	9926.88

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 3. Steps EBF Tipe K dan Tipe V

NO	Ratio Panjang Link Terhadap Lebar Bentang	Panjang Masing-masing Link Arah-X (milimeter)	Panjang Masing-masing Link Arah-Y (milimeter)	Jumlah Step (steps)			
				Tipe - K		Tipe - V	
				No Restraint	Restraint	No Restraint	Restraint
1	20%	1600	900	16	16	24	20
2	19%	1520	855	15	15	18	22
3	18%	1440	810	15	15	21	21
4	17%	1360	765	15	15	23	25
5	16%	1280	720	15	15	24	24
6	15%	1200	675	16	16	23	22
7	14%	1120	630	16	16	19	19
8	13%	1040	585	15	15	22	22
9	12%	960	540	16	16	19	19
10	11%	880	495	13	13	19	19
11	10%	800	450	4	4	18	19

Sumber : Hasil Analisis

Pada Tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa nilai Gaya Geser Dasar untuk EBF Tipe V cenderung lebih besar rata-rata sebesar 30% dibanding dengan EBF Tipe K. Di samping itu juga dapat dilihat bahwa nilai Gaya Geser Dasar Tipe V cenderung mengecil seiring dengan bertambah besarnya e/L . Sedangkan untuk EBF Tipe K berperilaku sebaliknya, yakni nilai Gaya Geser Dasar cenderung membesar seiring bertambah

besarnya nilai e/L . Untuk hubungan antara *No Restraints* dan *Restrained* pada masing-masing tipe dapat dilihat bahwa untuk kedua Tipe EBF, nilai *Restrained* sedikit lebih besar disbanding dengan nilai *No Restrained*.

Untuk jumlah *steps* yang diperlukan bagi struktur ketika mengalami keruntuhan maka berdasarkan Tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa seiring dengan membesarnya e/L maka jumlah *steps* semakin banyak jumlahnya, dan nilai *steps* yang diperlukan oleh EBF Tipe V lebih besar dibandingkan dengan EBF Tipe K. Bahkan dapat dilihat bahwa nilai EBF Tipe V untuk $e/L = 10\%$ lebih besar jika dibandingkan dengan nilai EBF Tipe K untuk $e/L = 20\%$.

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk hasil tinjauan parameter *Target Displacement* maka struktur yang menggunakan EBF Tipe K memiliki sifat daktil yang lebih baik dibandingkan

dibandingkan EBF Tipe V berdasarkan; sedangkan hasil tinjauan parameter *Base Shear* maka struktur yang menggunakan EBF Tipe V lebih menambah kekakuan struktur dibandingkan struktur yang menggunakan Tipe K. Pemasangan sistem penahan gaya lateral yang tidak searah tinjauan tidak memiliki pengaruh yang signifikan baik struktur yang dipasang EBF Tipe K dan Tipe V.

2. Semakin membesarnya panjang *link*, (rasio panjang *link* terhadap lebar bentang), maka struktur yang menggunakan EBF Tipe V semakin berkurang kemampuannya memikul aplikasi beban luar yang berarah lateral, dan hal ini justru berkebalikan dengan struktur yang menggunakan EBF Tipe K, di mana semakin bertambah besarnya panjang *link*, justru kekuatan untuk memikul beban luar arah lateral semakin bertambah.
3. Grafik *pushover* struktur dengan EBF Tipe K lebih memperlihatkan secara jelas proses pelelehan *link* dari pada struktur dengan EBF Tipe V. Berbeda dengan struktur yang menggunakan EBF Tipe K, keruntuhan struktur EBF Tipe V mengalami fase sempurna ketika mengalami proses keruntuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, A., 2012, "Studi Perilaku Sistem Rangka Baja K-Split EBF (*Eccentrically Braced Frames*) Terhadap Beban Gempa Dengan Analisa *Pushover*", Skripsi, Universitas Indonesia, Jakarta.
- AISC, 2005, *ANSI/AISC 341-05 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Include Supplement No.1*.
- Becker, R., et. all, 1996, *Seismic Design Practice For Eccentrically Braced Frames, Based On The 1994 UBC*.
- Chouhan, M., 2017, *Pushover Analysis of Steel Frame Structures with Different Types of Bracing System, Journal IJSTE Vol.4 | 2, ISSN : 2349-784X*.
- Dewobroto, W, 2006, "Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000", <http://journalsipiluph.files.wordpress.com/2006/12/vol312.pdf>.
- Dewobroto, W, 2005, "Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisis Pushover", Jurusan Teknik Sipil, UPH
- Golara, A., 2015, *The Study of X-Bracings On Limit State Behavior Of Buckling mRestrained Brace (BRB) In Steel Frames Using Pushover Analysis, Journals, 5th ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*
- Hague, S., D., 2013, *Eccentrically Braced Steel Frames, As A Seismic Force Resistant System*, Thesis, Kansas State University, USA

- Joseph, N., 2017, *Steel Frames with Knee Braces Based On Pushover Analysis*, *Journal IRJET*, Vol.4 | 3, p-ISSN: 2395-0072
- Kalibhat, M., G., 2018, *Seismic Performance Of Concentric Braced Steel Frames From Pushover Analysis*, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, ISSN 2278-1684
- Leslie, R., 2017, *A Study on Pushover Analysis using Capacity Spectrum Method based on Eurocode 8*, 16th *World Conference on Earthquake Engineering*, Reg Code : S-P148645023, Santiago, Chile
- Lee, G., 1992, *Stability and Ductility of Steel Structures Under Cyclic Loading*, *Book, CRC Press, Inc*, Florida, USA
- Mahmod, M., 2017, *Nonlinear Pushover Analysis for Steel Beam-Column Connection*, *Research*, Doi : 10.23918/eajse.v3i1sip83
- Mastrandrea, L., 2008, *Plastic Design of Eccentrically Braced Frames, II : Failure Mode Control*, *Journal of Constructional Steel Research*
- Mohod, M., 2017, *Pushover Analysis of Structures with Plan Irregularity*, *Journal IOSR Vol.12 | 4 Ver. VII*, p-ISSN : 2320-334X
- Oshaki, M., 2010, *Optimization of Energy Dissipation Property of Eccentrically Braced Steel Frames*, *Journal 9th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization*, Shizuoka, Japan
- Popov, E., 1988, *Seismic Eccentrically Braced Frames*, *Journal Construction Steel Research* 10. 321-354
- Pranata, Y., A., 2005, “Studi Analisis Beban Dorong Untuk Gedung Beton Bertulang Beraturan dan Tidak Beraturan”, Thesis, Unika Parahyangan
- Ryan, B., 2009, “Evaluasi Kinerja *Eccentrically Braced Frames* Sebagai Sistem Penahan Gaya Lateral Dengan Analisis *Pushover*”, Laporan Penelitian, Universitas Indonesia, Jakarta
- Sachin, 2016, *Pushover Analysis Of Circular Steel Diagrid Structures*, *Journals IRJET*, Vol.3, p-ISSN : 2395-0072
- Soltangharai, V., 2017, *Response Modification Factor for Cold-Formed Steel Structures Using Pushover Analysis*, *Journal IJESC*, Vol.7 | 12, USA
- Standar Nasional Indonesia, 2012, “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2012”, Badan Standarisasi Nasional BSN, Jakarta
- Tafheem, Z., 2013, *Structural Behaviour of Steel Building with Concentric and Eccentric Bracing : A Comparative Study*, *International Journal of Civil and Structural Engineering* Vol.4, No.1, ISSN 0976-4399
- Yadav, R., 2017, *Performance Levels of RC Structures by Non-Linear Pushover Analysis*, *Journal IJERA*, Vol.7 | 4, pp.01-08, ISSN : 2248-9622
- Yang, C., S., 2008, *Pushover Response of A Braced Frame with Suspended Zipper Struts*, *Journal of Structural Engineering @ASCE*