



TESIS-RC 185401

STUDI NUMERIK PERFORMA RANGKA BRESING EKSENTRIK *LINK* VERTIKAL PROFIL TUBULAR

DZUL FIKRI MUHAMMAD
03111850020001

Dosen Pembimbing
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020



TESIS-RC 185401

**STUDI NUMERIK PERFORMA RANGKA BRESING EKSENTRIK
LINK VERTIKAL PROFIL TUBULAR**

DZUL FIKRI MUHAMMAD
03111850020001

Dosen Pembimbing
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020



TESIS-RC 185401

NUMERICAL STUDY OF ECCENTRICALLY BRACED FRAME VERTICAL TUBULAR PROFILE LINK PERFORMANCE

DZUL FIKRI MUHAMMAD
03111850020001

Supervisor
Budi Suswanto, ST., MT., Ph.D

Department of Civil Engineering
Faculty of Civil Engineering, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DZUL FIKRI MUHAMMAD

NRP: 03111850020001

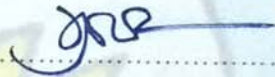
Tanggal Ujian: 13 Januari 2020

Periode Wisuda: Maret 2020

Disetujui Oleh:

Pembimbing :

1. Budi Suswanto, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 197301281998021002



Penguji :

1. Prof. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M.,M.S.
NIP: 195503251980031004



2. Bambang Piscesa, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 19840318 2008121002



3. Data Iranata, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 198004302005011002



Kepala Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan



Dr. techn. Enoro Lasminto, S.T., M.Sc.
NIP: 197212021998021001

STUDI NUMERIK PERFORMA RANGKA BRESING EKSENTRIK *LINK* VERTIKAL PROFIL TUBULAR

Nama Mahasiswa : Dzul Fikri Muhammad
NRP : 03111850020001
Dosen Pembimbing : Budi Suswanto ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Eccentrically Braced Frames (EBF) telah digunakan sebagai sistem penahan beban gempa, terutama pada bangunan gedung. Sistem ini mengandalkan lelehnya *link* terlebih dahulu. EBF dengan *link* horizontal (H-EBF) memiliki kelemahan yang penting untuk ditinjau. Pada saat terjadi gempa bumi yang menyebabkan *link* leleh, balok akan memutar secara vertikal sehingga menyebabkan struktur di atas balok akan rusak. Selain itu, tidak mudah memperbaiki *link* balok pada H-EBF setelah gempa bumi yang parah. Selain itu, terkadang balok digunakan untuk menahan peralatan yang berat dan sangat sensitif yang menuntut bekerja dengan akurat, sehingga saat terjadi gempa sistem rangka bresing eksentrik dengan *link* horizontal tidak bisa mendukung struktur tersebut. Untuk mengatasi masalah dalam sistem H-EBF, sebuah sistem diusulkan, yaitu EBF dengan *link* vertikal (V-EBF). *Link* dengan profil WF dan tubular adalah dua profil yang biasa digunakan pada struktur. *Link* dengan profil tubular mempunyai daktilitas yang lebih baik daripada profil WF. Penelitian ini menggunakan spesimen pemodelan H-EBF dan V-EBF dengan material BJ-41. Pada spesimen V-EBF dilakukan pemodelan dengan *link* berprofil tubular dengan variasi panjang dan penggunaan pengaku. Hasil penelitian menunjukkan pada struktur V-EBF memiliki berat lebih ringan daripada H-EBF. Pola keruntuhan pada V-EBF lebih baik untuk rehabilitasi gempa, karena kelelahan hanya terjadi pada *link*. Pada pemodelan portal V-EBF deformasi saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa lebih kecil 52.49% dan saat tegangan maksimum 410 MPa lebih kecil 32.55% daripada V-EBF. Pengurangan panjang *link* 25% pada EBF *link* Vertikal Tubular menyebabkan penambahan energi disipasi 0.68% dan gaya dasar 5.9% pada portal. Penambahan pengaku *link* pada V-EBF kurang memiliki efek pada kekuatan struktur.

Kata Kunci: Rangka Bresing Eksentrik, Rehabilitasi Gempa, Metode Elemen Hingga, Kurva Histeresis

NUMERICAL STUDY OF ECCENTRICALLY BRACED FRAME VERTICAL TUBULAR PROFILE LINK PERFORMANCE

Student Name : Dzul Fikri Muhammad

Student Reg. Number : 03111850020001

Supervisor : Budi Suswanto ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

Eccentrically Braced *Frames* (EBF) have been used as earthquake resisting systems, especially in buildings. This system relies on first yielding at link. EBF with horizontal link (H-EBF) has important weaknesses to review. In the event of an earthquake causing a yielding link, the beam will rotate vertically, causing the structure above the beam to be damaged. In addition, it is not easy to repair the beam link on H-EBF after a severe earthquake. Sometimes beams are used to hold heavy and very sensitive equipment that demands to work accurately, when an earthquake occurs the eccentrically braced frame, system with horizontal links cannot support the structure. To overcome the problems in the H-EBF system, a system was proposed, EBF with vertical link (V-EBF). Links with WF and tubular profiles are two profiles commonly used in structures. Links with tubular profiles have better ductility than WF profiles. This research carried out modeling H-EBF and V-EBF specimens with tubular profile links with length variations and use of stiffeners. The results showed the structure of V-EBF has a lighter weight than H-EBF. The collapse pattern of V-EBF is better for earthquake rehabilitation, because the yielding only occurs at the link. In the V-EBF portal modeling the deformation when the link reach maximum stress at 250 MPa is 52.49% smaller and when maximum stress reach 410 MPa, 32.55% smaller than H-EBF. Reduction of link length 25% on EBF Vertical Tubular links causes 0.68% additional dissipation energy and 5.9% base shear in the portal. The addition of stiffener links on V-EBF has less effect on structural strength.

Key word: Eccentrically Braced Frame, Earthquake Rehabilitation, Finite Element Method, Hysteresis Curve

KATA PENGANTAR

Puji syukur terpanjatkan kehadirat Allah S.W.T. atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, sehingga tesis dengan judul “Studi Numerik Performa Rangka Bresing Eksentrik Link Vertikal Profil Tubular” dapat terselesaikan dengan tepat waktu. Tersusunnya tesis ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan. Untuk itu begitu banyak ucapan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua serta saudara tercinta, sebagai penyemangat dan telah memberikan banyak dukungan moril maupun materiil, serta doa.
2. Keluarga besar yang selalu mendukung dan mendoakan dalam penyusunan tesis ini
3. Bapak Budi Suswanto ST., MT., Ph.D selaku dosen pembimbing tesis yang tidak pernah lelah dan bosan memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan Tesis ini.
4. Ibu Dr. Eng. Januarti Jaya Ekaputri ST., MT., selaku dosen wali yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam perkuliahan S2 Teknik Sipil ITS.
5. Teman Jamaah Al-Bajaiyah, Mas Rizal, Lila Indira, Ari Paving, dan Mbak Suwarni yang telah berjuang bersama mengerjakan tesis.
6. Teman-teman Pascasarjana ITS yang telah bersama-sama berkuliah dan mengerjakan tugas. Mbak yaya, Lila, Mbak Nia, Ipong, Mas Angga, Mas Lutfi, Mas Rizal, Ari, Mas Max, Mbak Suwarni, Sando, Wahyu, Mbak Pesta. Juga grup Giat Belajar yang mulai karam.
7. Staff Pascasarjana Teknik Sipil ITS yang membantu kelancaran dalam proses terselesaikannya tesis ini.
8. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, terimakasih atas bantuan dan saran selama proses pengerjaan tesis ini.

Disadari bahwa dalam penyusunan tesis ini terdapat masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu diharapkan terdapat kritik dan saran yang membangun demi tesis ini. Akhir kata, semoga Tesis ini bermanfaat bagi penulis dan orang lain.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Pembahasan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 Tinjauan Pustaka	5
2.1 Sistem Rangka Bresing Eksentrik	5
2.2 Sistem Rangka Bresing Eksentrik <i>Link</i> Vertikal	8
2.3 <i>Link</i> Profil Tubular	13
2.4 Pengaruh Stiffener pada <i>Link</i>	14
2.5 Pemodelan SAP 2000	14
2.6 Pemodelan Abaqus	15
BAB 3 Metodologi	19
3.1 Flowchart Metodologi	19
3.2 Penjelasan Flowchart Metodologi	21
3.2.1 Studi Literatur	21
3.2.2 Preliminary Design	21
3.2.3 Pemodelan SAP 2000	27
3.2.4 Evaluasi Hasil Pemodelan SAP 2000	31
3.2.5 Pemodelan Abaqus	32
3.2.6 Evaluasi Hasil Pemodelan Abaqus	34
3.2.7 Kesimpulan yang diharapkan	35
BAB 4 Analisa dan Pembahasan	37
4.1 Preliminary Design	37

4.2	Pemodelan Struktur Rangka Bresing Eksentrik dengan SAP 2000	39
4.2.1	Kontrol Pemodelan SAP 2000	39
4.2.2	Analisa Kontrol Pemodelan SAP 2000.....	52
4.2.3	Kontrol Penampang.....	55
4.2.4	Analisa Kontrol Penampang	56
4.2.5	Kontrol <i>Push over</i>	57
4.2.6	Analisa Kontrol <i>Push over</i>	62
4.3	Pemodelan Portal Rangka Bresing Eksentrik dengan Abaqus	62
4.3.1	Pemodelan Abaqus EBF <i>Link</i> Horizontal	70
4.3.2	Pemodelan Abaqus EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular (V-EBF 1)	74
4.3.3	Pemodelan Abaqus EBF Vertikal Profil Tubular $e = 1.2M_p/V_p$ (V-EBF2)	77
4.3.4	Pemodelan Abaqus EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular dengan Stiffener (V-EBF 3).....	80
4.3.5	Analisa Hasil Pemodelan Abaqus	84
BAB 5 Kesimpulan dan Saran.....		91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA.....		93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Denah Rangka Bresing Eksentrik (Suswanto dkk., 2017)	6
Gambar 2. 2 (a) EBF <i>Link</i> Pendek (b) EBF <i>Link</i> Menengah (c) EBF <i>Link</i> Panjang (Suswanto dkk., 2017)	7
Gambar 2. 3 Lokasi <i>link</i> di <i>frame</i> (Mohammadrezapour, 2018).....	7
Gambar 2. 4 Pola Keruntuhan EBF dengan <i>Link</i> Horizontal (Bosco dan Rossi, 2007)	8
Gambar 2. 5 Skema Analisis pada penelitian Montuori dkk pada tahun 2014.....	9
Gambar 2. 6 Pola Keruntuhan EBF dengan <i>Link</i> Vertikal (Montuori dkk., 2014).....	10
Gambar 2. 7 Skema Struktur pada penelitian (Montuori dkk, 2014).....	10
Gambar 2. 8 Rotasi pada Vertikal <i>Link</i> (Bouwkamp dkk, 2016).....	11
Gambar 2. 9 <i>Frame</i> Spesimen pada penelitian Bouwkamp pada tahun 2016	12
Gambar 2. 10 Detail spesimen eksperimen pada 3 lantai dan 1 lantai (Vetr dkk, 2017)	12
Gambar 2. 11 Pengaturan tes pada penelitian Berman dan Bruneau 2008	13
Gambar 2. 12 Spesimen pada penelitian Berman dan Bruneau tahun 2008	14
Gambar 2. 13 Analisa <i>Steel Check Design</i> (Suswanto dkk, 2017)	15
Gambar 2. 14 a. Elemen dengan 8 node, b. Integrasi Poin pada C3D8, c. Integrasi poin pada C3D8R (MIT.edu, 2014).....	16
Gambar 2. 15 Pemodelan Rangka dengan software Abaqus (Suswanto dkk., 2017)	17
Gambar 2. 16 Kurva Histeresis pada <i>Link</i> akibat beban siklik (Suswato dkk,2017)	17
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi.....	20
Gambar 3. 2 Gambar Denah untuk Pemodelan SAP 2000	24
Gambar 3. 3 Portal Rangka Bresing Eksentrik untuk pemodelan pada SAP 2000.....	24
Gambar 3. 4 Spesimen H-EBF.....	25
Gambar 3. 5 Spesimen V-EBF 1.....	25
Gambar 3. 6 Spesimen V-EBF 2.....	26
Gambar 3. 7 Spesimen V-EBF 3.....	26
Gambar 3. 8 Pemodelan Portal SAP 2000	28
Gambar 3. 9 Pemodelan 3 dimensi SAP 2000	28
Gambar 3. 10 Respon Spektrum (SNI 1729:2012)	29
Gambar 3. 11 Contoh Parameter <i>Steel check design</i> pada SAP 2000.....	30
Gambar 3. 12 Analisa <i>Push over</i> (Nastri, 2014).....	31
Gambar 3. 13 Contoh <i>Push over Analysis</i>	31
Gambar 3. 14 Simpangan Antar Lantai (Suswanto,2017)	32
Gambar 3. 15 Perpindahan Lateral (Suswanto, 2017)	32
Gambar 3. 16 Permodelan Portal EBF (Suswanto, 2017).....	33
Gambar 3. 17 Pembebanan Siklik AISC 2005.....	33
Gambar 3. 18 Contoh Permodelan dengan Abaqus (Rahnavard dkk., 2017)	34
Gambar 3. 19 Kurva Histeresis (Suswanto, 2018).....	35

Gambar 4. 1 Denah untuk pemodelan EBF Horizontal dan EBF Vertikal.....	37
Gambar 4. 2 Gambar pemodelan 3D (a) EBF <i>Link</i> Horizontal dan (b) EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	38
Gambar 4. 3 Gambar portal (a) EBF <i>Link</i> Horizontal dan (b) EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	38
Gambar 4. 4 Letak Kolom Kontrol Pemodelan Struktur.....	40
Gambar 4. 5 Perbandingan Deformasi Lantai Arah X	52
Gambar 4. 6 Perbandingan Deformasi Lantai Arah Y	52
Gambar 4. 7 Perbandingan Deformasi Antar Lantai Arah X	53
Gambar 4. 8 Perbandingan Deformasi Antar Lantai Arah Y	54
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Berat Struktur EBF <i>link</i> Horizontal dan EBF <i>link</i> vertikal profil tubular.....	55
Gambar 4. 10 Hasil <i>Steel Check Design</i> EBF <i>Link</i> Horizontal	56
Gambar 4. 11 Hasil <i>Steel Check Design</i> EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	56
Gambar 4. 12 Analisa <i>Push over</i> Leleh Pertama EBF <i>Link</i> Horizontal	57
Gambar 4. 13 Analisa <i>Push over</i> Leleh <i>Link</i> Terakhir EBF <i>Link</i> Horizontal	58
Gambar 4. 14 Analisa <i>Push over</i> Leleh Terakhir EBF <i>Link</i> Horizontal.....	58
Gambar 4. 15 Grafik <i>Push over</i> Step EBF <i>Link</i> Horizontal.....	59
Gambar 4. 16 Analisa <i>Push over</i> Leleh Pertama EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	60
Gambar 4. 17 Hasil Analisa <i>Push over</i> Step Terakhir EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	60
Gambar 4. 18 Grafik <i>Push over</i> Step EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	61
Gambar 4. 19 <i>Frame</i> EBF <i>Link</i> Horizontal Untuk Pemodelan Abaqus	63
Gambar 4. 20 <i>Frame</i> EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular V-EBF 1.....	64
Gambar 4. 21 <i>Frame</i> EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular V-EBF 2.....	64
Gambar 4. 22 <i>Frame</i> EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular V-EBF 3.....	64
Gambar 4. 23 Tipe Penampang <i>Link</i> (a) H-EBF , (b) V-EBF 1 dan V-EBF 2, (c) V-EBF 3	65
Gambar 4. 24 Tampak depan spesimen (a) V-EBF 1, (b) V-EBF 2, (c) V-EBF 3	66
Gambar 4. 25 Kolom baja pada modul <i>part</i>	66
Gambar 4. 26 Contoh modul <i>Assembly</i> pada salah satu spesimen	67
Gambar 4. 27 Modul <i>step</i> pada seluruh pemodelan spesimen	68
Gambar 4. 28 Modul <i>Interaction</i> pada salah satu spesimen.....	68
Gambar 4. 29 Boundary Condition pada salah satu spesimen	69
Gambar 4. 30 Contoh meshing pada spesimen.....	70
Gambar 4. 31 Pemodelan spesimen H-EBF pada Abaqus	70
Gambar 4. 32 Perpindahan <i>frame</i> H-EBF saat <i>link</i> mencapai f_y	71
Gambar 4. 33 Tegangan pada <i>frame</i> H-EBF saat <i>link</i> mencapai f_y	71
Gambar 4. 34 Perpindahan <i>frame</i> H-EBF saat <i>link</i> mencapai f_u	72
Gambar 4. 35 Tegangan pada <i>frame</i> H-EBF saat <i>link</i> mencapai f_u	72
Gambar 4. 36 Kurva Histeresis <i>frame</i> EBF <i>Link</i> Horizontal (H-EBF)	73
Gambar 4. 37 Pemodelan EBF <i>Link</i> Vertikal (V-EBF 1).....	74

Gambar 4. 38 Perpindahan <i>frame</i> V-EBF 1 saat <i>link</i> mencapai f_y	74
Gambar 4. 39 Tegangan <i>frame</i> V-EBF 1 saat <i>link</i> mencapai f_y	74
Gambar 4. 40 Perpindahan <i>Frame</i> V-EBF 1 saat <i>link</i> mencapai f_u	75
Gambar 4. 41 Tegangan <i>Frame</i> V-EBF 1 saat <i>link</i> mencapai f_u	75
Gambar 4. 42 Kurva Histeresis pada <i>frame</i> EBF <i>Link</i> Vertikal V-EBF 1.....	76
Gambar 4. 43 Pemodelan <i>frame</i> spesimen V-EBF 2 pada Abaqus.....	77
Gambar 4. 44 Perpindahan <i>frame</i> V-EBF 2 saat <i>link</i> mencapai f_y	77
Gambar 4. 45 Tegangan <i>frame</i> V-EBF 2 saat <i>link</i> mencapai f_y	78
Gambar 4. 46 Perpindahan <i>frame</i> V-EBF 2 saat <i>link</i> mencapai f_u	78
Gambar 4. 47 Tegangan <i>frame</i> V-EBF 2 saat <i>link</i> mencapai f_u	79
Gambar 4. 48 Kurva Histeresis EBF <i>Link</i> Vertikal V-EBF 2.....	80
Gambar 4. 49 Pemodelan spesimen V-EBF 3 pada Abaqus.....	81
Gambar 4. 50 Perpindahan <i>Frame</i> V-EBF 3 saat <i>link</i> mencapai f_y	81
Gambar 4. 51 Tegangan <i>Frame</i> V-EBF 3 saat <i>link</i> mencapai f_y	81
Gambar 4. 52 Perpindahan <i>Frame</i> V-EBF 3 saat <i>link</i> mencapai f_u	82
Gambar 4. 53 Tegangan <i>Frame</i> V-EBF 3 saat <i>link</i> mencapai f_u	82
Gambar 4. 54 Kurva Histeresis EBF <i>Link</i> Vertikal Tubular (V-EBF 3).....	83
Gambar 4. 55 Kurva Histeresis H-EBF dan V-EBF 1.....	84
Gambar 4. 56 Kurva Histeresis EBF <i>Link</i> Vertikal V-EBF 1 dan V-EBF 2.....	87
Gambar 4. 57 Kurva Histeresis EBF <i>Link</i> Vertikal V-EBF 1 dan V-EBF 3.....	89

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jenis Profil Spesimen pada Pemodelan SAP 2000	25
Tabel 3. 2 Jenis Profil Spesimen pada Pemodelan Abaqus	26
Tabel 4. 1 Profil Rangka Bresing Eksentrik <i>Link</i> Horizontal	39
Tabel 4. 2 Profil Rangka Bresing Eksentrik <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular.....	39
Tabel 4. 3 Perhitungan Beban Kolom EBF <i>Link</i> Horizontal Lantai 1-7	40
Tabel 4. 4 Perhitungan Beban Kolom EBF <i>Link</i> Horizontal Lantai 8-10.....	41
Tabel 4. 5 Perhitungan Beban Kolom EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular Lantai 5-7	41
Tabel 4. 6 Perhitungan Beban Kolom EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular Lantai 8- 10.....	42
Tabel 4. 7 Tabel Rasio Partisipasi Massa EBF <i>Link</i> Horizontal Mode 1-6	42
Tabel 4. 8 Tabel Rasio Partisipasi Massa EBF <i>Link</i> Horizontal Mode 7-37	43
Tabel 4. 9 Tabel Rasio Partisipasi Massa EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	44
Tabel 4. 10 Berat Struktur Struktur EBF	47
Tabel 4. 11 Gaya Geser Dasar Struktur EBF Akibat Beban Gempa	48
Tabel 4. 12 Kontrol Simpangan antar lantai EBF <i>link</i> horizontal arah x.....	50
Tabel 4. 13 Kontrol Simpangan antar lantai EBF <i>link</i> horizontal arah y.....	50
Tabel 4. 14 Kontrol Simpangan antar lantai EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular arah x.....	51
Tabel 4. 15 Kontrol Simpangan antar lantai EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular arah y.....	51
Tabel 4. 16 Nilai <i>Push over Curve</i> EBF <i>link</i> Vertikal Profil Tubular.....	59
Tabel 4. 17 Nilai <i>Push over Curve</i> EBF <i>link</i> Vertikal Profil Tubular.....	61
Tabel 4. 18 Perbandingan Nilai Daktilitas EBF <i>Link</i> Horizontal dan <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	62
Tabel 4. 19 Profil Rangka Bresing Eksentrik Pemodelan Abaqus.....	63
Tabel 4. 20 Detail Penampang <i>Link</i> Spesimen Abaqus	65
Tabel 4. 21 <i>Loading protocol</i> pada pemodelan mikro	69
Tabel 4. 22 Deformasi <i>frame</i> H-EBF Saat <i>Link</i> mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan 410 MPa.....	73
Tabel 4. 23 Deformasi <i>frame</i> V-EBF 1 Saat <i>Link</i> mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan 410 MPa.....	76
Tabel 4. 24 Deformasi <i>frame</i> V-EBF 2 saat <i>link</i> mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan 410 MPa.....	79
Tabel 4. 25 Deformasi <i>frame</i> V-EBF 3 Saat <i>Link</i> Mencapai Tegangan Maksimum 250 MPa dan 410 MPa.....	83
Tabel 4. 26 Perbandingan Nilai <i>Base Shear</i> H-EBF dan V-EBF 1 saat Rotasi 0.04	85
Tabel 4. 27 Perbandingan Nilai Energi Disipasi H-EBF dan V-EBF 1	85
Tabel 4. 28 Perbandingan Deformasi <i>frame</i> H-EBF dan V-EBF 1 Saat <i>Link</i> mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan tegangan maksimum 410 MPa	86

Tabel 4. 29 Perbandingan nilai deformasi spesimen H-EBF dan V-EBF 1	86
Tabel 4. 30 Perbandingan Deformasi <i>frame</i> V-EBF 1 dan V-EBF 2 Saat <i>Link</i> mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan maksimum 410 MPa	88
Tabel 4. 31 Perbandingan Nilai Base Shear V-EBF 1 dan V-EBF 2 saat Rotasi 0.04	88
Tabel 4. 32 Perbandingan Nilai Energi Disipasi V-EBF 1 dan V-EBF 2	88
Tabel 4. 33 Perbandingan Deformasi <i>frame</i> V-EBF 1 dan V-EBF 3 Saat <i>Link</i> mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan 410 MPa.....	90
Tabel 4. 34 Perbandingan Nilai Base Shear V-EBF 1 dan V-EBF 3 saat Rotasi 0.04	90
Tabel 4. 35 Perbandingan Nilai Energi Disipasi V-EBF 1 dan V-EBF 3	90

BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Eccentrically Braced Frames (EBF) telah digunakan sebagai sistem penahan beban seismik, terutama pada bangunan gedung (Berman dan Bruneau, 2007). Sistem ini membatasi perilaku inelastis hanya pada balok *link* penghubung yang terletak di antara dua bresing eksentrik. Pada balok *link* horizontal antara bresing eksentrik (H-EBF), telah terbukti memberikan daktilitas dan disipasi energi yang baik pada beban gempa, dan perilakunya dalam berbagai konfigurasi telah diteliti (Bouwkamp, 2016).

Saat beban gempa terjadi pada struktur, *link* akan leleh terlebih dahulu karena berfungsi sebagai sekring daktil dan akan berotasi plastis sementara komponen lain akan tetap dalam kondisi elastis (Suswanto dkk., 2017). Klasifikasi *link* menurut AISC *Seismic Provision* dibagi menjadi tiga yaitu *link* geser, *link* lentur, dan *link* pertengahan. *Link* geser bereaksi dengan gaya geser yang besar dengan gaya momen yang tidak signifikan saat terjadi rotasi plastis sementara *link* lentur lebih bereaksi dengan gaya momen yang besar dengan gaya geser yang tidak signifikan saat terjadi rotasi plastis (Okazaki dkk., 2009). *Link* pertengahan bereaksi dengan gaya geser dan momen yang signifikan (Berman dan Bruneau, 2007). *Link* geser lebih stabil dan lebih daktil daripada *link* lentur (Musmar, 2011). Suswanto pada tahun 2017 melakukan studi perbandingan *link* geser, menengah, dan *link* lentur dengan software SAP 2000 dan Abaqus, menyimpulkan bahwa *link* geser memberikan respon yang lebih baik.

H-EBF Meskipun memiliki disipasi energi seismik yang baik, EBF dengan *link* horizontal memiliki kelemahan yang penting untuk ditinjau. Pada saat terjadi gempa bumi yang menyebabkan rotasi inelastik, *link* balok akan memutar secara vertikal (Bosco dan Rossi, 2009) sehingga menyebabkan struktur diatas balok akan rusak. Selain itu tidak mudah mengganti atau memperbaiki *link* balok di EBF dengan *link* horizontal (H-EBF) setelah gempa bumi yang parah. Masalah utama ini yang menjadi kerugian dari sistem ini. Selain itu, dalam struktur industri

seperti struktur pembangkit listrik, terkadang balok digunakan untuk menahan peralatan yang berat dan sangat sensitif. Dalam kasus ini, untuk memastikan peralatan bekerja dengan akurat, bagian yang menahan beban seperti balok dan kolom harus tetap dalam tahap elastis sebanyak mungkin (Vetr dkk., 2017). Sehingga, penggunaan sistem rangka bresing eksentrik dengan *link* horizontal tidak bisa diterapkan pada struktur tersebut. Untuk mengatasi masalah dalam sistem H-EBF, sebuah sistem diusulkan, disebut Vertikal-EBF (V-EBF).

Pada sistem V-EBF, bresing berbentuk V terbalik disambungkan ke balok melalui *link* vertikal. Deformasi inelastik intensif hanya terjadi pada panel *link* geser dan penyerapan energi dilakukan oleh bagian ini (Bouwkamp, 2016). Karena semuanya deformasi inelastik terjadi di panel *link* geser, tidak ada kerusakan yang terjadi pada struktur utama (Montuori dkk., 2014), dan juga perbaikan *link* setelah gempa kuat lebih mudah dilakukan daripada sistem H-EBF. Menggunakan *link* vertikal untuk rehabilitasi dibangunan yang ada sangat memungkinkan dan tanpa perubahan besar pada struktur utama.

Setelah gempa bumi yang parah terjadi, *link* vertikal dapat dengan mudah diganti sehingga struktur dapat diperbaiki dengan efisien. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa deformasi inelastik hanya terjadi pada *link* vertikal (Montouri dkk., 2014). Kejadian ini membuktikan bahwa *link* geser vertikal bertindak sebagai sekering daktail untuk menyerap energi (Bouwkamp, 2016). Sistem panel geser adalah salah satu peredam energi pasif yang paling sederhana dan termurah. Dengan menggunakan *link* vertikal, dalam analisis dinamis, sebagian besar gaya geser lantai bisa ditransfer dan ditahan melalui elemen *link* geser vertikal. Disipasi energi yang seragam juga kemampuan yang diinginkan (Vetr, 2017).

Link dengan profil WF dan tubular adalah dua profil yang biasa digunakan pada struktur (Suswanto, 2018). Berman pada tahun 2007 telah melakukan penelitian *link* vertikal menggunakan profil tubular mendapatkan konfigurasi *link* dengan rotasi plastis maksimum sebesar 0.079. Sehingga rotasi ini hampir memenuhi syarat AISC yaitu 0.08. *Link* dengan profil tubular lebih mempunyai daktilitas yang lebih baik daripada profil WF (Suswanto, 2018).

Dalam penelitian ini, perilaku dari sistem V-EBF dengan menggunakan profil tubular dievaluasi menggunakan software SAP 2000 dan Abaqus CAE. Analisa portal gedung *Push over* dan Steel Design Check dengan menggunakan SAP 2000. Analisa beban siklik menggunakan Abaqus. Sebagai validasi penggunaan software Abaqus, dilakukan pemodelan dari penelitian eksperimental dari Berman dan Bruneau pada tahun 2008 berbentuk *link* vertikal dengan profil tubular. Penelitian ini menggunakan 3 spesimen dengan konfigurasi yang berbeda pada *link* vertikal. *Link* didesain berperilaku sebagai sekring daktail dan menyerap energi seismik tetapi tanpa menyebabkan bresing tertekuk. Tipe *link* yang digunakan pada penelitian ini adalah *link* geser dan menggunakan profil tubular.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang akan dibahas dalam tesis ini adalah:

Masalah Utama:

Bagaimana performa struktur *Eccentrically Braced Frame* berbentuk vertikal berprofil tubular

Detail Permasalahan:

1. Bagaimana *preliminary design* spesimen Rangka Bresing Eksentrik untuk pemodelan
2. Bagaimana pemodelan SAP 2000 struktur spesimen Rangka Bresing Eksentrik
3. Bagaimana pemodelan Abaqus *frame* spesimen Rangka Bresing Eksentrik
4. Bagaimana hasil evaluasi analisa kurva histeresis hasil dari pemodelan Rangka Bresing Eksentrik

1.3 Tujuan Pembahasan

Dari permasalahan yang ada diatas, tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tesis ini adalah:

1. Membuat *preliminary design* spesimen Rangka Bresing Eksentrik untuk pemodelan
2. Membuat pemodelan SAP 2000 struktur spesimen Rangka Bresing Eksentrik
3. Memuat pemodelan Abaqus *frame* spesimen Rangka Bresing Eksentrik
4. Menganalisa kurva histeresis hasil dari permodelan Rangka Bresing Eksentrik

1.4 Batasan Masalah

Lingkup pembahasan yang tidak dianalisa mencakup:

1. Tidak melakukan permodelan *link* menengah dan *link* panjang
2. Tidak melakukan pemodelan seluruh gedung
3. Tidak melakukan perhitungan sambungan

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diberikan pada tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan masukan bagi perencanaan struktur gedung konstruksi baja yang menggunakan sistem Rangka Bresing Eksentrik dengan *link* vertikal
2. Sebagai bahan pertimbangan konfigurasi *link* vertikal dalam mendesain gedung konstruksi baja

BAB 2

Tinjauan Pustaka

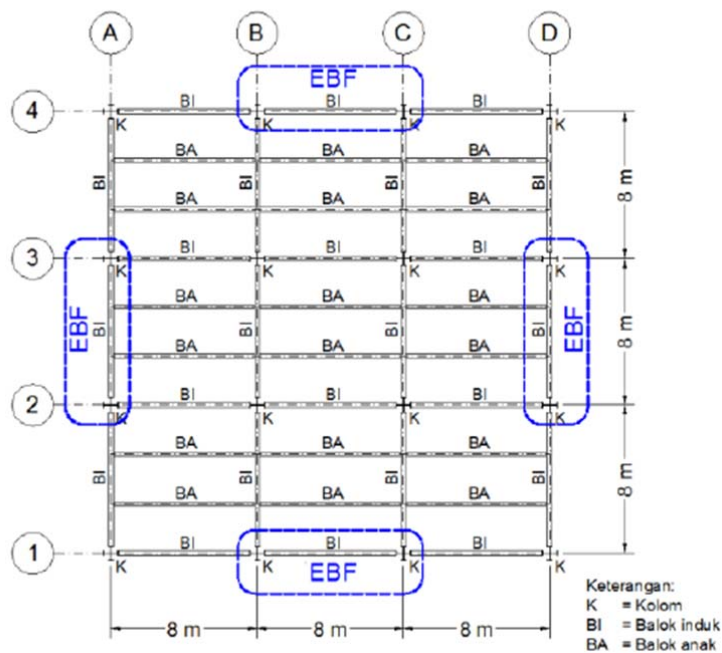
2.1 Sistem Rangka Bresing Eksentrik

Sistem rangka bresing eksentrik adalah sistem rangka yang terdiri dari balok, kolom, dan bresing. Balok dan bresing terhubung melalui bagian yang terisolasi yang disebut *link* (Engelhardt, 2007). 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 (Vetr dkk, 2017). Sistem ini menyediakan kekakuan seperti rangka bresing konsentrik (CBF) dan juga memiliki daya serap energi seperti rangka penahan momen (MRF) (Mohammadrezapour, 2018), sehingga sistem ini bisa disebut dengan sistem *hybrid*.

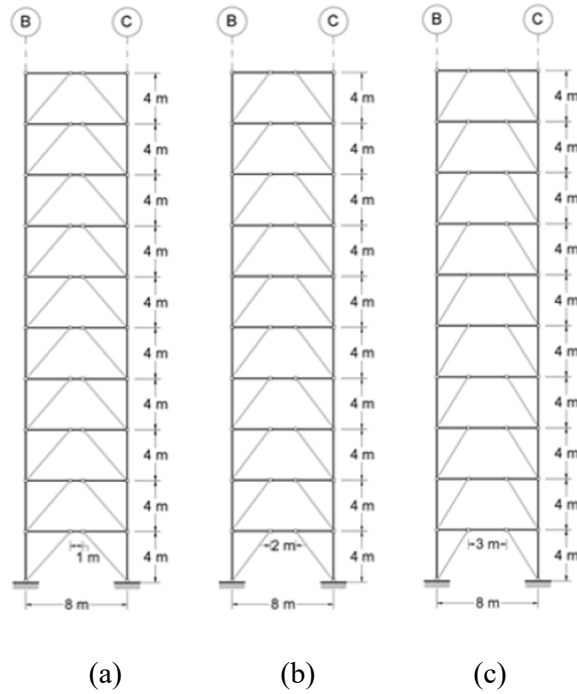
Sistem struktur *Eccentrically Braced Frame* (EBF) merupakan sistem yang membatasi perilaku inelastik hanya terjadi pada balok *link* yang berada diantara dua pengekang eksentrik, sedangkan bagian balok luar, kolom dan pengekang diagonal tetap elastik selama beban seismik bekerja (Suswanto dkk, 2018). *Link* berfungsi sebagai sekring struktur dan menyerap energi seismik melalui deformasi plastis dan mencegah bagian struktur lain masuk zona plastis (Mohammadrezapour dan Danesh, 2018).

Link dikelompokkan menurut panjangnya menjadi tiga kelompok. Jika *link* panjangnya lebih pendek dari $1,6 M_p / V_p$ (di mana M_p adalah kapasitas momen plastis dari bagian *link* dan V_p adalah kapasitas geser plastis), disebut *link* pendek. Pelelehan akibat geser akan mendominasi perilaku inelastis. Jika panjang *link* lebih besar dari $2,6 M_p / V_p$, *link* itu disebut *link* panjang dan pelelehan akibat lentur lebih mendominasi. *Link* panjang menghasilkan momen yang sangat besar dan geser yang kurang. Untuk panjang *link* di antara dua batas tersebut, kombinasi geser dan leleh lentur akan terjadi (Berman dan Bruneau, 2008). Suswanto dkk. Pada tahun 2017 melakukan penelitian Rangka Bresing Eksentrik

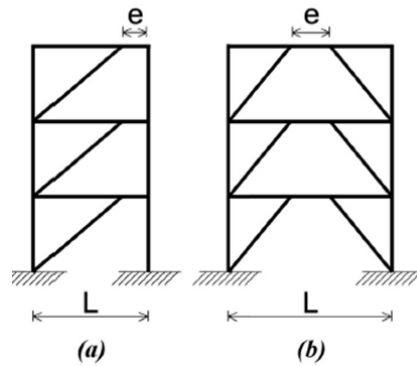
menggunakan *link* pendek, menengah, dan panjang. *Link* pendek atau geser memiliki kemampuan lebih baik dalam menyerap energi daripada *link* menengah dan *link* panjang (Suswanto dkk., 2017). *Link* juga dapat dibagi menjadi dua kelompok sesuai dengan lokasinya pada *frame*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.3. Dalam bentuk pertama, elemen *link* ditempatkan antara bresing diagonal dan kolom (Gambar. 2.3 [a]), sementara, bentuk kedua, *link* ditempatkan di antara dua bresing (Gambar. 2.3 [b]) (Mohammadrezapour dan Danesh, 2018).



Gambar 2. 1 Denah Rangka Bresing Eksentrik (Suswanto dkk., 2017)

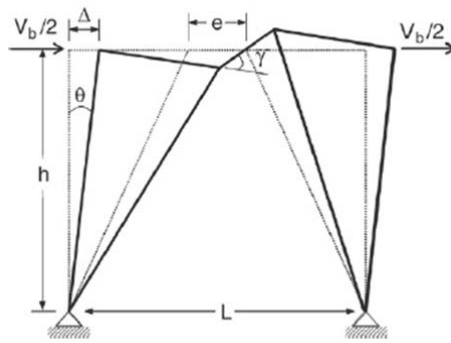


Gambar 2. 2 (a) EBF *Link* Pendek (b) EBF *Link* Menengah (c) EBF *Link* Panjang (Suswanto dkk., 2017)



Gambar 2. 3 Lokasi *link* di *frame* (Mohammadrezapour, 2018)

Pola keruntuhan pada sistem rangka bresing eksentrik didahului pada *link* terlebih dahulu, karena bagian ini berfungsi sebagai sekring (Vetr dkk., 2017). Rotasi plastis pada *link* berputar searah vertikal, menyebabkan balok berdeformasi secara vertikal juga sesuai dengan **gambar 2.4** pada penelitian Bosco dan Rossi 2007.



Gambar 2. 4 Pola Keruntuhan EBF dengan *Link* Horizontal (Bosco dan Rossi, 2007)

Saat terjadi beban gempa pada stuktur rangka bresing eksentrik, *link* berfungsi sebagai sekring daktail akan berotasi inelastik sedangkan komponen lainnya akan tetap elastis (Richard dan Uang, 2006). Namun pola keruntuhan pada rangka bresing eksentrik yang mengandalkan *link* horizontal pada umumnya akan merusak struktur yang berada di atasnya seperti digambarkan pada pola keruntuhan menurut Bosco dan Rossi 2007. Struktur yang sensitif seperti pembangkit listrik memerlukan struktur yang tetap berada di tempatnya agar tetap berfungsi dengan baik (Vetr dkk., 2017). Sehingga diperlukan struktur rangka bresing eksentrik tanpa merusak komponen yang berada di atasnya. Sehingga muncul usulan rangka bresing eksentrik dengan *link* vertikal. Menurut pola keruntuhan pada penelitian montouri 2014, karena rotasi inelastik hanya terbatas pada *link*, maka balok tidak akan berputar vertikal sehingga komponen yang berada diatas balok tidak hancur.

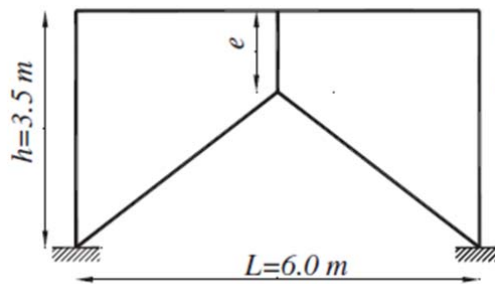
2.2 Sistem Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal

Secara umum diketahui bahwa salah satu tujuan utama desain tahan gempa adalah untuk menghindari mekanisme keruntuhan sebagian dan mekanisme runtuh soft storey yang secara signifikan merusak kapasitas disipasi energi dari struktur (Montuori dkk, 2014). Meskipun sistem rangka bresing eksentrik memiliki disipasi energi yang baik, namun dengan pola keruntuhan seperti pada gambar 2.1, struktur balok akan berubah dari posisi semula. Struktur yang digunakan untuk menahan peralatan yang berat dan sensitif, balok dan kolom harus tetap dalam tahap elastis sebanyak mungkin (Vetr dkk., 2017). Sehingga

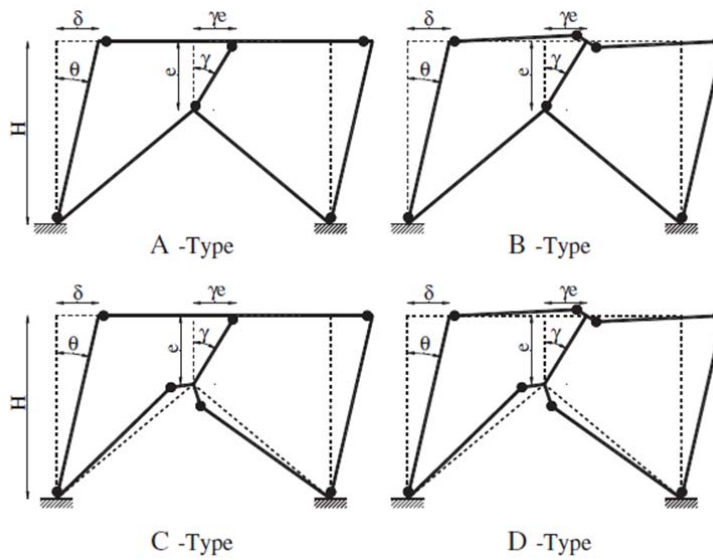
pola keruntuhan sistem rangka bresing eksentrik dengan *link* horizontal tidak memungkinkan dalam rehabilitasi gempa untuk struktur ini.

Sistem rangka bresing eksentrik dengan *link* vertikal memiliki keruntuhan yang berbeda dengan *link* horizontal menurut gambar 2.4 pada penelitian Rosario 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 (Vetr dkk., 2017). Sehingga saat struktur terjadi deformasi inelastik, balok akan tetap pada tempatnya tanpa bergeser secara vertikal. Penggunaan *link* vertikal untuk rehabilitasi seismik pada bangunan yang ada memungkinkan dengan perubahan kecil pada struktur utama (Montuori dkk., 2014). Dengan kata lain, setelah gempa bumi yang parah terjadi *link* vertikal dapat dengan mudah diganti sehingga struktur dapat diperbaiki dengan efisien (Vetr dkk., 2017).

Montuori pada tahun 2014 melakukan penelitian untuk mencari mekanisme runtuh global pada rangka bresing eksentrik *link* vertikal. Pada penelitian ini Montuori melakukan analisa numeric dengan spesimen portal. Penelitian ini menggunakan rumus oanjang *link* $e = 1.6 M_p/V_p$ dimana rumus ini adalah rumus panjang *link* geser.

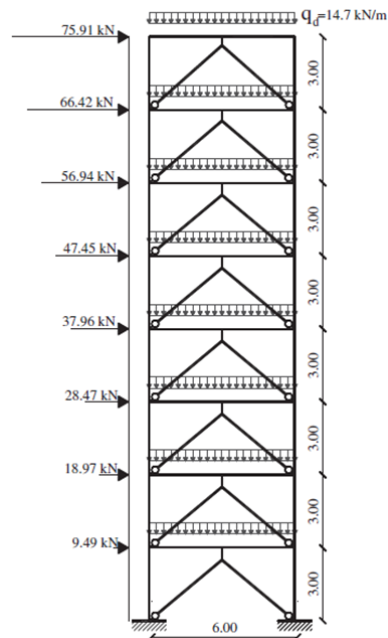


Gambar 2. 5 Skema Analisis pada penelitian Montuori dkk pada tahun 2014



Gambar 2. 6 Pola Keruntuhan EBF dengan *Link* Vertikal (Montuori dkk., 2014)

Pada jurnal yang berbeda pada tahun yang sama, Montuori dkk melakukan analisa *Push Over* pada portal rangka bresing eksentrik dengan *link* vertikal. Pada penelitian ini memakai rumus panjang *link* $e = 1.6 Mp/Vp$.



Gambar 2. 7 Skema Struktur pada penelitian (Montuori dkk, 2014)

Bouwkamp dkk pada tahun 2016 melakukan penelitian *link* vertikal. Pada penelitian ini diturunkan rumus panjang *link* untuk *link* geser vertikal, yaitu:

$$e \leq \frac{2 \times 1.2 M_p}{2 V_p} = 1.2 \frac{M_p}{V_p} \quad (2.1)$$

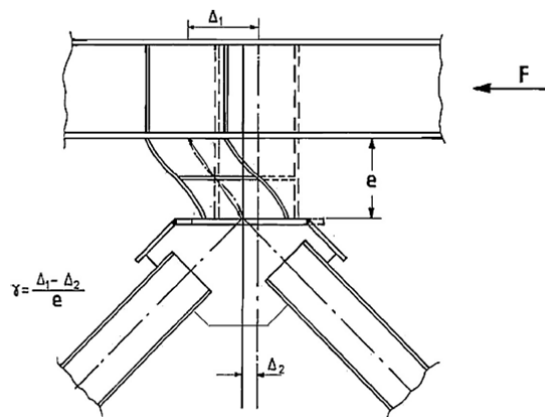
dimana:

M_p = Kapasitas Momen Plastis

V_p = Kapasitas Geser Plastis

e = Panjang *Link*

Selain itu Bowkamp 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 2. 8 Rotasi pada Vertikal *Link* (Bouwkamp dkk, 2016)

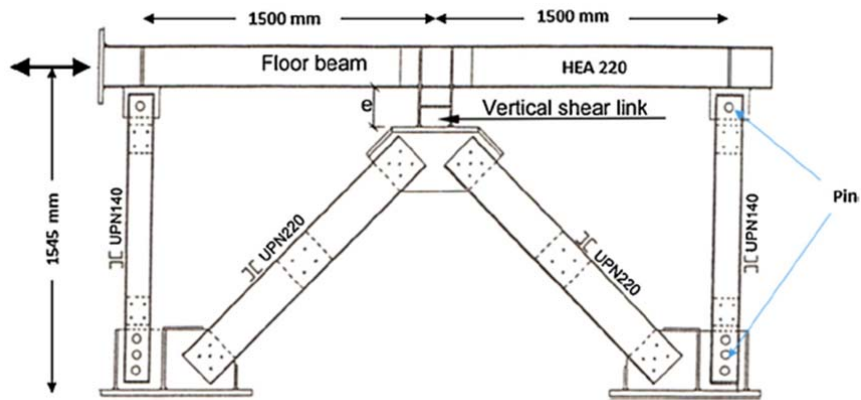
Perhitungan rotasi *link* pada penelitian Bouwkamp yaitu:

$$\gamma = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{e} \quad (2.2)$$

dimana:

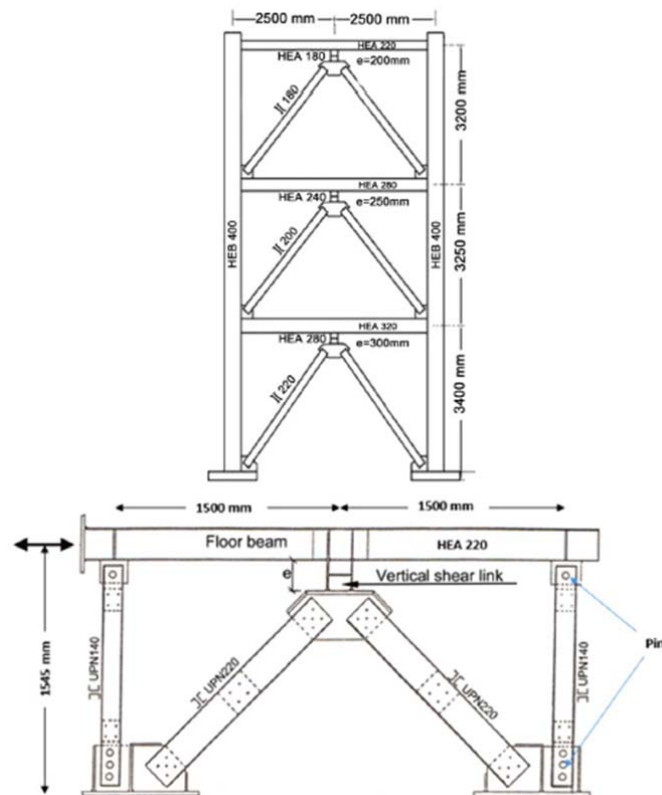
Δ_1 = Perpindahan As Vertikal *link* vertikal ditambah Δ_2

Δ_2 = Jarak potongan As Horizontal ke As *link* vertikal



Gambar 2. 9 *Frame* Spesimen pada penelitian Bouwkamp pada tahun 2016

Mohammad Ghazem Vetr pada tahun 2017 melakukan penelitian rangka bresing eksentrik *link* vertikal. Pada penelitian ini menggunakan *link* geser dengan tujuan mendapat perilaku hysteretic yang baik untuk alternatif Rangka penahan momen dan Rangka Bresing Konsentris.

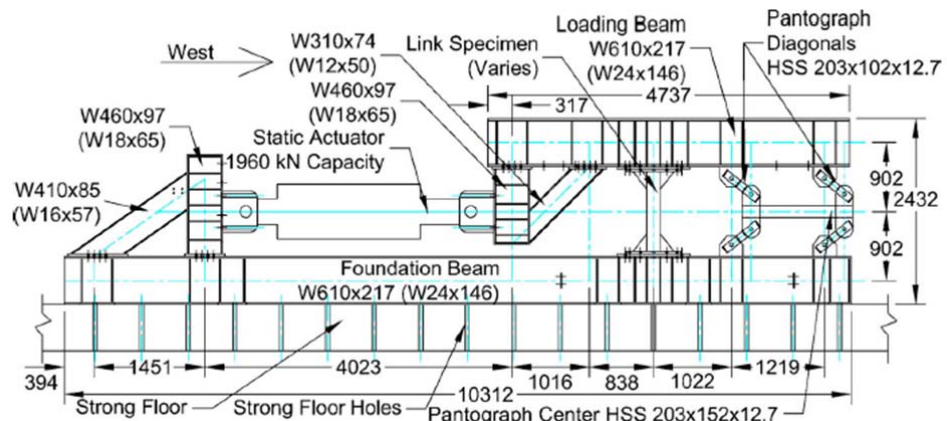


Gambar 2. 10 Detail spesimen eksperimen pada 3 lantai dan 1 lantai (Vetr dkk, 2017)

Pada penelitian ini menyimpulkan bahwa *link* geser vertikal berperilaku sebagai sekring daktil untuk menyerap energi. *Lateral Bracing* pada bagian ujung bawah *link* tidak diperlukan dalam merencanakan sistem V-EBF, pada tengah balok lantai atau di ujung atas elemen *link* geser sudah cukup. Panjang *link* geser harus menggunakan $e = 1.2 M_p/V_p$.

2.3 *Link* Profil Tubular

Berman pada tahun 2007 telah melakukan penelitian *link* menggunakan profil tubular menghasilkan dengan menggunakan *link* berprofil tubular, *link* dapat berotasi hampir dua kali lipat dari ketentuan AISC. Pada tahun 2008 Berman melakukan penelitian *link* tubular dengan posisi vertikal. *Link* dapat berotasi plastis sampai 0,09 rad. Namun pada studi ini Berman belum melakukan penelitian *link* tubular vertikal terpasang pada rangka.



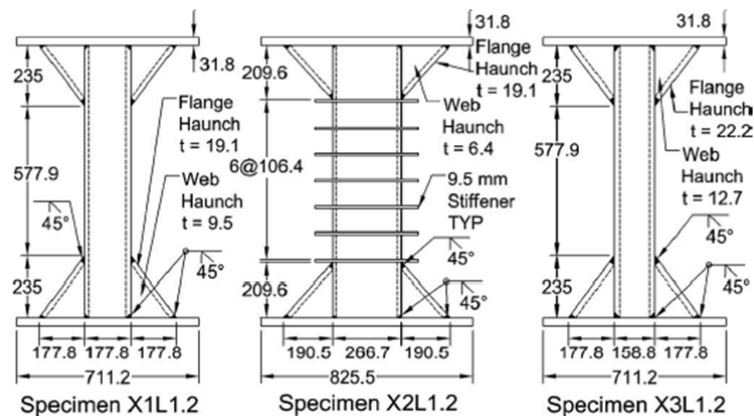
Gambar 2. 11 Pengaturan tes pada penelitian Berman dan Bruneau 2008

Suswanto 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 (Suswanto, 2018). *Link* dengan panjang melebihi batas ketentuan *link* pendek atau *link* geser tidak dapat mencapai gaya geser nominal baik dengan profil WF dan profil tubular (Suswanto, 2018). 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. 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.

2.4 Pengaruh Stiffener pada *Link*

Suswanto dkk pada tahun 2017 melakukan penelitian tentang efek penambahan *stiffener* pada *link* rangka bresing eksentrik. Pada penelitian ini profil section yang digunakan adalah profil WF. Penambahan pengaku web diagonal ke *link* dapat meningkatkan kapasitas *link* tetapi dapat memberikan lebih banyak kekakuan dan kekuatan pada *link* sehingga mekanisme keruntuhan dapat berubah (Suswanto dkk.,2017). Seluruh model portal EBF dengan penambahan pengaku web berdasarkan AISC telah memenuhi mekanisme keruntuhan sistem EBF yang menghasilkan keruntuhan dimulai pada elemen balok *link*. Berman dan Bruneau 2008 melakukan penelitian *link* berprofil tubular dengan *stiffener*. Rotasi *link* tubular dengan *Stiffener* lebih mendekati dengan syarat ketentuan AISC seismic provision.

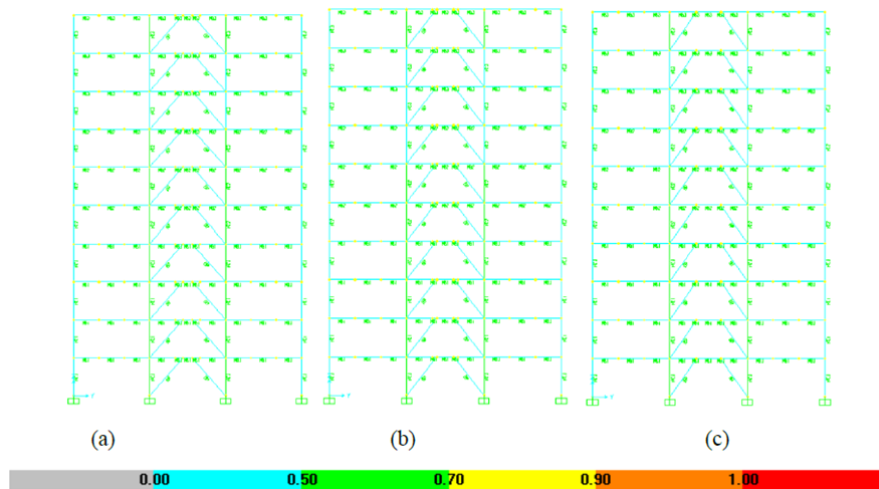


Gambar 2. 12 Spesimen pada penelitian Berman dan Bruneau tahun 2008

2.5 Pemodelan SAP 2000

Analisis *Push over* dengan software sap 2000 dilakukan untuk perencanaan rangka bresing eksentrik. Tujuan analisis *push over* adalah sebagai analisa *collapse mechanism* dari masing-masing spesimen agar sesuai dengan metodologi desain (Montuori dkk., 2014). Natri dkk. Pada tahun 2016

melakukan penelitian analisa *push over* rangka bresing eksentrik dengan menggunakan SAP 2000. Dengan permodelan SAP akan mendapat gaya dan deformasi pada elemen dan pengecekan dengan fitur *steel design check* untuk mengecek apakah telah memenuhi peraturan AISC (Suswanto dkk, 2017) . Permodelan pada SAP menghasilkan mekanisme leleh secara global. Pada permodelan SAP 2000 terdapat input material, pembebanan, dan model gedung yang diteliti.



Gambar 2. 13 Analisa *Steel Check Design* (Suswanto dkk, 2017)

2.6 Permodelan Abaqus

Permodelan dengan Abaqus berfungsi untuk menganalisa pada satu bagian portal yang terdiri dari *link*, balok, dan kolom. Permodelan pada Abaqus menggunakan pembebanan *loading protocol* yang terdapat pada AISC. Permodelan Abaqus dalam penelitian ini untuk mendapatkan tahanan geser, rotasi *link*, dan kurva histeresis. Suswanto dkk. pada tahun 2017 melakukan penelitian numerik dengan menggunakan software Abaqus. Pada penelitian ini Suswanto dkk. menganalisa kurva histeresis, kurva tegangan regangan, dan disipasi energi menggunakan software Abaqus. Pada penelitian rangka bresing eksentrik *link* vertikal dari Rahnavard dkk. pada tahun 2017, terdapat beberapa penyesuaian *input* pada permodelan Abaqus. Penyesuaian tersebut antara lain model geometri, Loading, Model Meshing, dan Material Properties.

1. *Model Geometri*

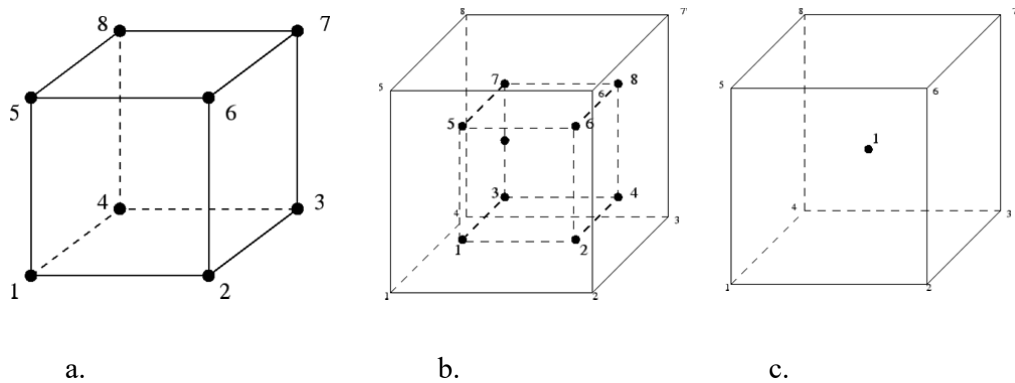
Pada tahap ini menjelaskan tentang ukuran portal yang akan dimodelkan pada penelitian Rahnavard dkk. Penjelasan terdiri dari jumlah bentang, tinggi kolom, bentang balok, dan tipe profil baja yang digunakan.

2. *Loading*

Pada bagian ini berisi tentang penjelasan tipe pembebanan yang dipakai pada penelitian. Pada penelitian Rahnavard dkk. pembebanan menggunakan *cyclic displacement* berdasarkan *SAC loading protocol*. Pada penelitian Suswanto dkk pada tahun 2018, pembebanan menggunakan *cyclic displacement* berdasarkan *AISC Seismic Provision*.

3. *Model Meshing*

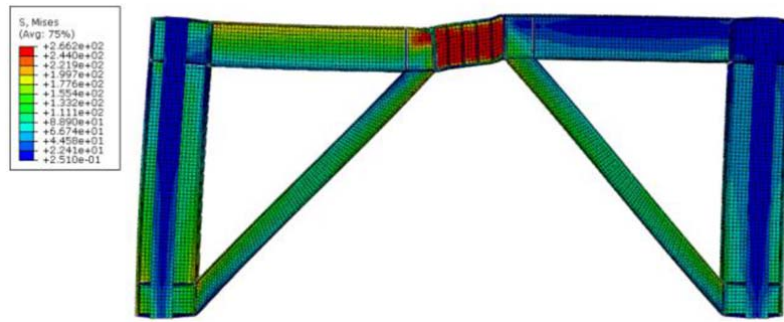
Pada bagian ini berisi tentang penjelasan tipe *meshing* yang dipakai pada penelitian. Pada penelitian Rahnavard dkk. pemodelan menggunakan C3D8R. Elemen ini mempunyai 8 *node* dengan 3 derajat kebebasan.



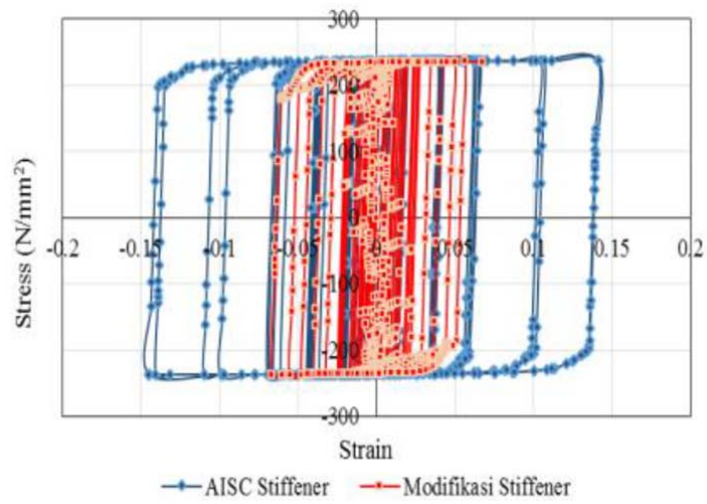
Gambar 2. 14 a. Elemen dengan 8 node, b. Integrasi Poin pada C3D8, c. Integrasi poin pada C3D8R (MIT.edu, 2014)

4. *Material Properties*

Berisi data-data material yang digunakan pada penelitian. Terdiri dari tegangan leleh dan runtuh material, poisson ratio, dan modulus young. Von mises digunakan untuk mensimulasikan deformasi plastis dari komponen.



Gambar 2. 15 Pemodelan Rangka dengan software Abaqus (Suswanto dkk., 2017)



Gambar 2. 16 Kurva Histeresis pada *Link* akibat beban siklik (Suswato dkk,2017)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Eccentrically Braced Frames (EBF) telah digunakan sebagai sistem penahan beban seismik, terutama pada bangunan gedung (Berman dan Bruneau, 2007). Sistem ini membatasi perilaku inelastis hanya pada balok *link* penghubung yang terletak di antara dua bresing eksentrik. Pada balok *link* horizontal antara bresing eksentrik (H-EBF), telah terbukti memberikan daktilitas dan disipasi energi yang baik pada beban gempa, dan perilakunya dalam berbagai konfigurasi telah diteliti (Bouwkamp, 2016).

Saat beban gempa terjadi pada struktur, *link* akan leleh terlebih dahulu karena berfungsi sebagai sekring daktil dan akan berotasi plastis sementara komponen lain akan tetap dalam kondisi elastis (Suswanto dkk., 2017). Klasifikasi *link* menurut AISC *Seismic Provision* dibagi menjadi tiga yaitu *link* geser, *link* lentur, dan *link* pertengahan. *Link* geser bereaksi dengan gaya geser yang besar dengan gaya momen yang tidak signifikan saat terjadi rotasi plastis sementara *link* lentur lebih bereaksi dengan gaya momen yang besar dengan gaya geser yang tidak signifikan saat terjadi rotasi plastis (Okazaki dkk., 2009). *Link* pertengahan bereaksi dengan gaya geser dan momen yang signifikan (Berman dan Bruneau, 2007). *Link* geser lebih stabil dan lebih daktil daripada *link* lentur (Musmar, 2011). Suswanto pada tahun 2017 melakukan studi perbandingan *link* geser, menengah, dan *link* lentur dengan software SAP 2000 dan Abaqus, menyimpulkan bahwa *link* geser memberikan respon yang lebih baik.

H-EBF Meskipun memiliki disipasi energi seismik yang baik, EBF dengan *link* horizontal memiliki kelemahan yang penting untuk ditinjau. Pada saat terjadi gempa bumi yang menyebabkan rotasi inelastik, *link* balok akan memutar secara vertikal (Bosco dan Rossi, 2009) sehingga menyebabkan struktur diatas balok akan rusak. Selain itu tidak mudah mengganti atau memperbaiki *link* balok di EBF dengan *link* horizontal (H-EBF) setelah gempa bumi yang parah. Masalah utama ini yang menjadi kerugian dari sistem ini. Selain itu, dalam struktur industri

seperti struktur pembangkit listrik, terkadang balok digunakan untuk menahan peralatan yang berat dan sangat sensitif. Dalam kasus ini, untuk memastikan peralatan bekerja dengan akurat, bagian yang menahan beban seperti balok dan kolom harus tetap dalam tahap elastis sebanyak mungkin (Vetr dkk., 2017). Sehingga, penggunaan sistem rangka bresing eksentrik dengan *link* horizontal tidak bisa diterapkan pada struktur tersebut. Untuk mengatasi masalah dalam sistem H-EBF, sebuah sistem diusulkan, disebut Vertikal-EBF (V-EBF).

Pada sistem V-EBF, bresing berbentuk V terbalik disambungkan ke balok melalui *link* vertikal. Deformasi inelastik intensif hanya terjadi pada panel *link* geser dan penyerapan energi dilakukan oleh bagian ini (Bouwkamp, 2016). Karena semuanya deformasi inelastik terjadi di panel *link* geser, tidak ada kerusakan yang terjadi pada struktur utama (Montuori dkk., 2014), dan juga perbaikan *link* setelah gempa kuat lebih mudah dilakukan daripada sistem H-EBF. Menggunakan *link* vertikal untuk rehabilitasi bangunan yang ada sangat memungkinkan dan tanpa perubahan besar pada struktur utama.

Setelah gempa bumi yang parah terjadi, *link* vertikal dapat dengan mudah diganti sehingga struktur dapat diperbaiki dengan efisien. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa deformasi inelastik hanya terjadi pada *link* vertikal (Montuori dkk., 2014). Kejadian ini membuktikan bahwa *link* geser vertikal bertindak sebagai sekering daktail untuk menyerap energi (Bouwkamp, 2016). Sistem panel geser adalah salah satu peredam energi pasif yang paling sederhana dan termurah. Dengan menggunakan *link* vertikal, dalam analisis dinamis, sebagian besar gaya geser lantai bisa ditransfer dan ditahan melalui elemen *link* geser vertikal. Disipasi energi yang seragam juga kemampuan yang diinginkan (Vetr, 2017).

Link dengan profil WF dan tubular adalah dua profil yang biasa digunakan pada struktur (Suswanto, 2018). Berman pada tahun 2007 telah melakukan penelitian *link* vertikal menggunakan profil tubular mendapatkan konfigurasi *link* dengan rotasi plastis maksimum sebesar 0.079. Sehingga rotasi ini hampir memenuhi syarat AISC yaitu 0.08. *Link* dengan profil tubular lebih mempunyai daktilitas yang lebih baik daripada profil WF (Suswanto, 2018).

Dalam penelitian ini, perilaku dari sistem V-EBF dengan menggunakan profil tubular dievaluasi menggunakan software SAP 2000 dan Abaqus CAE. Analisa portal gedung *Push over* dan Steel Design Check dengan menggunakan SAP 2000. Analisa beban siklik menggunakan Abaqus. Sebagai validasi penggunaan software Abaqus, dilakukan pemodelan dari penelitian eksperimental dari Berman dan Bruneau pada tahun 2008 berbentuk *link* vertikal dengan profil tubular. Penelitian ini menggunakan 3 spesimen dengan konfigurasi yang berbeda pada *link* vertikal. *Link* didesain berperilaku sebagai sekring daktail dan menyerap energi seismik tetapi tanpa menyebabkan bresing tertekuk. Tipe *link* yang digunakan pada penelitian ini adalah *link* geser dan menggunakan profil tubular.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka permasalahan yang akan dibahas dalam tesis ini adalah:

Masalah Utama:

Bagaimana performa struktur *Eccentrically Braced Frame* berbentuk vertikal berprofil tubular

Detail Permasalahan:

1. Bagaimana *preliminary design* spesimen Rangka Bresing Eksentrik untuk pemodelan
2. Bagaimana pemodelan SAP 2000 struktur spesimen Rangka Bresing Eksentrik
3. Bagaimana pemodelan Abaqus *frame* spesimen Rangka Bresing Eksentrik
4. Bagaimana hasil evaluasi analisa kurva histeresis hasil dari permodelan Rangka Bresing Eksentrik

1.3 Tujuan Pembahasan

Dari permasalahan yang ada diatas, tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tesis ini adalah:

1. Membuat *preliminary design* spesimen Rangka Bresing Eksentrik untuk pemodelan
2. Membuat pemodelan SAP 2000 struktur spesimen Rangka Bresing Eksentrik
3. Memuat pemodelan Abaqus *frame* spesimen Rangka Bresing Eksentrik
4. Menganalisa kurva histeresis hasil dari permodelan Rangka Bresing Eksentrik

1.4 Batasan Masalah

Lingkup pembahasan yang tidak dianalisa mencakup:

1. Tidak melakukan permodelan *link* menengah dan *link* panjang
2. Tidak melakukan pemodelan seluruh gedung
3. Tidak melakukan perhitungan sambungan

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diberikan pada tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan masukan bagi perencanaan struktur gedung konstruksi baja yang menggunakan sistem Rangka Bresing Eksentrik dengan *link* vertikal
2. Sebagai bahan pertimbangan konfigurasi *link* vertikal dalam mendesain gedung konstruksi baja

BAB 2 Tinjauan Pustaka

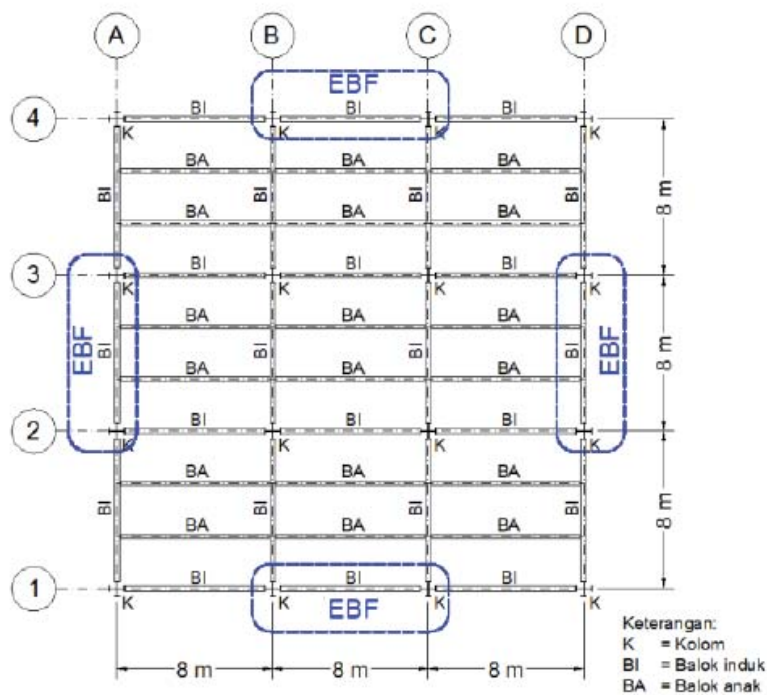
2.1 Sistem Rangka Bresing Eksentrik

Sistem rangka bresing eksentrik adalah sistem rangka yang terdiri dari balok, kolom, dan bresing. Balok dan bresing terhubung melalui bagian yang terisolasi yang disebut *link* (Engelhardt, 2007). 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 (Vetr dkk, 2017). Sistem ini menyediakan kekakuan seperti rangka bresing konsentrik (CBF) dan juga memiliki daya serap energi seperti rangka penahan momen (MRF) (Mohammadrezapour, 2018), sehingga sistem ini bisa disebut dengan sistem *hybrid*.

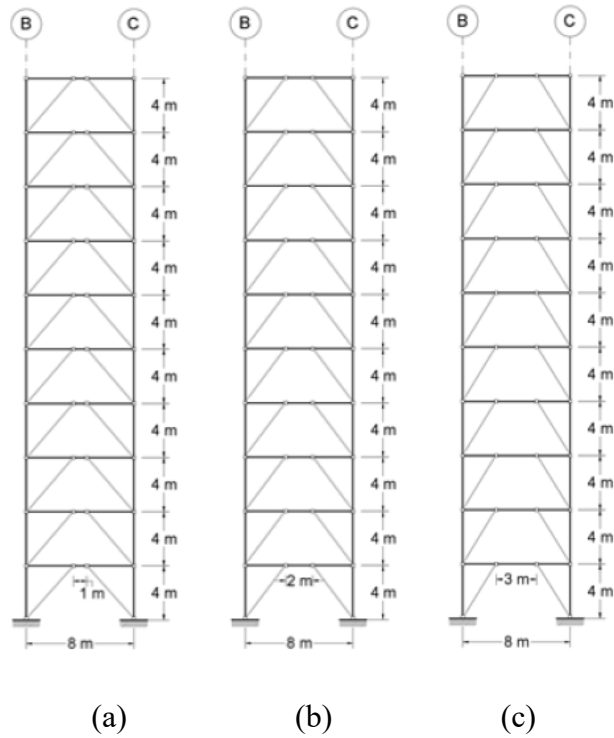
Sistem struktur *Eccentrically Braced Frame* (EBF) merupakan sistem yang membatasi perilaku inelastik hanya terjadi pada balok *link* yang berada diantara dua pengekang eksentrik, sedangkan bagian balok luar, kolom dan pengekang diagonal tetap elastik selama beban seismik bekerja (Suswanto dkk, 2018). *Link* berfungsi sebagai sekering struktur dan menyerap energi seismik melalui deformasi plastis dan mencegah bagian struktur lain masuk zona plastis (Mohammadrezapour dan Danesh, 2018).

Link dikelompokkan menurut panjangnya menjadi tiga kelompok. Jika *link* panjangnya lebih pendek dari $1,6 M_p / V_p$ (di mana M_p adalah kapasitas momen plastis dari bagian *link* dan V_p adalah kapasitas geser plastis), disebut *link* pendek. Pelelehan akibat geser akan mendominasi perilaku inelastis. Jika panjang *link* lebih besar dari $2,6 M_p / V_p$, *link* itu disebut *link* panjang dan pelelehan akibat lentur lebih mendominasi. *Link* panjang menghasilkan momen yang sangat besar dan geser yang kurang. Untuk panjang *link* di antara dua batas tersebut, kombinasi geser dan leleh lentur akan terjadi (Berman dan Bruneau, 2008). Suswanto dkk. Pada tahun 2017 melakukan penelitian Rangka Bresing Eksentrik

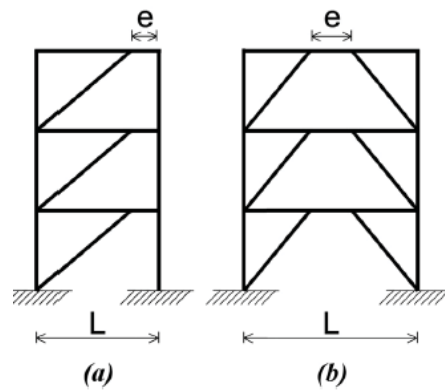
menggunakan *link* pendek, menengah, dan panjang. *Link* pendek atau geser memiliki kemampuan lebih baik dalam menyerap energi daripada *link* menengah dan *link* panjang (Suswanto dkk., 2017). *Link* juga dapat dibagi menjadi dua kelompok sesuai dengan lokasinya pada *frame*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.3. Dalam bentuk pertama, elemen *link* ditempatkan antara bresing diagonal dan kolom (Gambar. 2.3 [a]), sementara, bentuk kedua, *link* ditempatkan di antara dua bresing (Gambar. 2.3 [b]) (Mohammadrezapour dan Danesh, 2018).



Gambar 2. 1 Denah Rangka Bresing Eksentrik (Suswanto dkk., 2017)

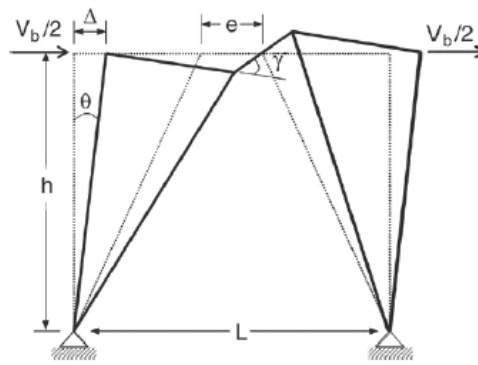


Gambar 2. 2 (a) EBF *Link* Pendek (b) EBF *Link* Menengah (c) EBF *Link* Panjang (Suswanto dkk., 2017)



Gambar 2. 3 Lokasi *link* di *frame* (Mohammadrezapour, 2018)

Pola keruntuhan pada sistem rangka bresing eksentrik didahului pada *link* terlebih dahulu, karena bagian ini berfungsi sebagai sekring (Vetr dkk., 2017). Rotasi plastis pada *link* berputar searah vertikal, menyebabkan balok berdeformasi secara vertikal juga sesuai dengan **gambar 2.4** pada penelitian Bosco dan Rossi 2007.



Gambar 2. 4 Pola Keruntuhan EBF dengan *Link* Horizontal (Bosco dan Rossi, 2007)

Saat terjadi beban gempa pada struktur rangka bresing eksentrik, *link* berfungsi sebagai sekring daktail akan berotasi inelastik sedangkan komponen lainnya akan tetap elastis (Richard dan Uang, 2006). Namun pola keruntuhan pada rangka bresing eksentrik yang mengandalkan *link* horizontal pada umumnya akan merusak struktur yang berada di atasnya seperti digambarkan pada pola keruntuhan menurut Bosco dan Rossi 2007. Struktur yang sensitif seperti pembangkit listrik memerlukan struktur yang tetap berada di tempatnya agar tetap berfungsi dengan baik (Vetr dkk., 2017). Sehingga diperlukan struktur rangka bresing eksentrik tanpa merusak komponen yang berada di atasnya. Sehingga muncul usulan rangka bresing eksentrik dengan *link* vertikal. Menurut pola keruntuhan pada penelitian montouri 2014, karena rotasi inelastik hanya terbatas pada *link*, maka balok tidak akan berputar vertikal sehingga komponen yang berada di atas balok tidak hancur.

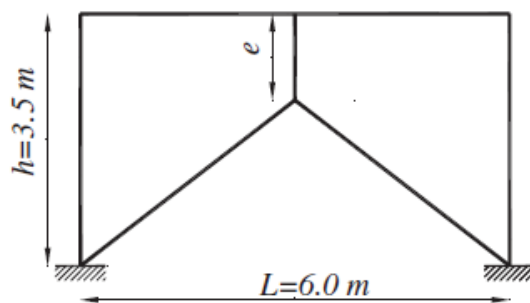
2.2 Sistem Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal

Secara umum diketahui bahwa salah satu tujuan utama desain tahan gempa adalah untuk menghindari mekanisme keruntuhan sebagian dan mekanisme runtuh soft storey yang secara signifikan merusak kapasitas disipasi energi dari struktur (Montuori dkk, 2014). Meskipun sistem rangka bresing eksentrik memiliki disipasi energi yang baik, namun dengan pola keruntuhan seperti pada gambar 2.1, struktur balok akan berubah dari posisi semula. Struktur yang digunakan untuk menahan peralatan yang berat dan sensitif, balok dan kolom harus tetap dalam tahap elastis sebanyak mungkin (Vetr dkk., 2017). Sehingga

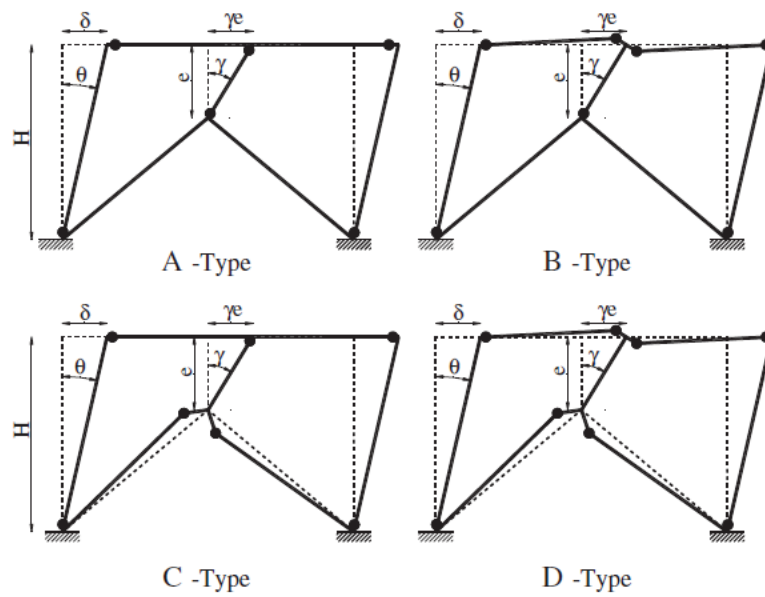
pola keruntuhan sistem rangka bresing eksentrik dengan *link* horizontal tidak memungkinkan dalam rehabilitasi gempa untuk struktur ini.

Sistem rangka bresing eksentrik dengan *link* vertikal memiliki keruntuhan yang berbeda dengan *link* horizontal menurut gambar 2.4 pada penelitian Rosario 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 (Vetr dkk., 2017). Sehingga saat struktur terjadi deformasi inelastik, balok akan tetap pada tempatnya tanpa bergeser secara vertikal. Penggunaan *link* vertikal untuk rehabilitasi seismik pada bangunan yang ada memungkinkan dengan perubahan kecil pada struktur utama (Montuori dkk., 2014). Dengan kata lain, setelah gempa bumi yang parah terjadi *link* vertikal dapat dengan mudah diganti sehingga struktur dapat diperbaiki dengan efisien (Vetr dkk., 2017).

Montuori pada tahun 2014 melakukan penelitian untuk mencari mekanisme runtuh global pada rangka bresing eksentrik *link* vertikal. Pada penelitian ini Montuori melakukan analisa numeric dengan spesimen portal. Penelitian ini menggunakan rumus panjang *link* $e = 1.6 M_p/V_p$ dimana rumus ini adalah rumus panjang *link* geser.

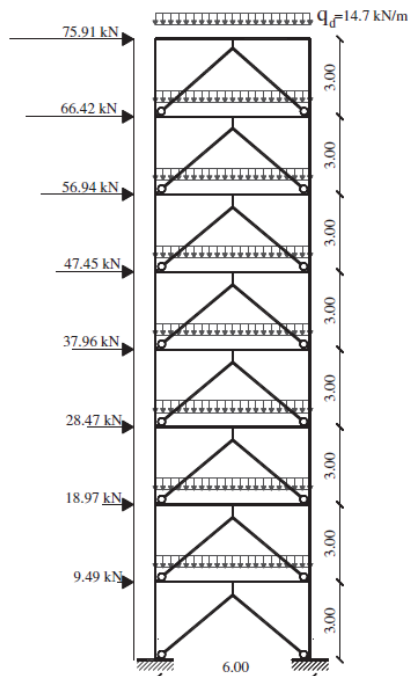


Gambar 2. 5 Skema Analisis pada penelitian Montuori dkk pada tahun 2014



Gambar 2. 6 Pola Keruntuhan EBF dengan *Link* Vertikal (Montuori dkk., 2014)

Pada jurnal yang berbeda pada tahun yang sama, Montuori dkk melakukan analisa *Push Over* pada portal rangka bresing eksentrik dengan *link* vertikal. Pada penelitian ini memakai rumus panjang *link* $e = 1.6 Mp/Vp$.



Gambar 2. 7 Skema Struktur pada penelitian (Montuori dkk, 2014)

Bouwkamp dkk pada tahun 2016 melakukan penelitian *link* vertikal. Pada penelitian ini diturunkan rumus panjang *link* untuk *link* geser vertikal, yaitu:

$$e \leq \frac{2 \times 1.2 M_p}{2 V_p} = 1.2 \frac{M_p}{V_p} \quad (2.1)$$

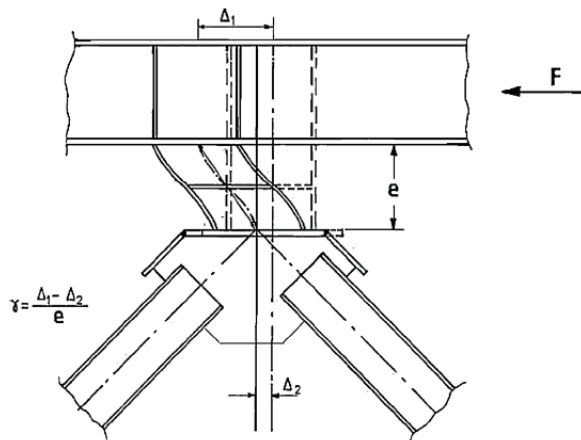
dimana:

M_p = Kapasitas Momen Plastis

V_p = Kapasitas Geser Plastis

e = Panjang *Link*

Selain itu Bouwkamp 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 2. 8 Rotasi pada Vertikal *Link* (Bouwkamp dkk, 2016)

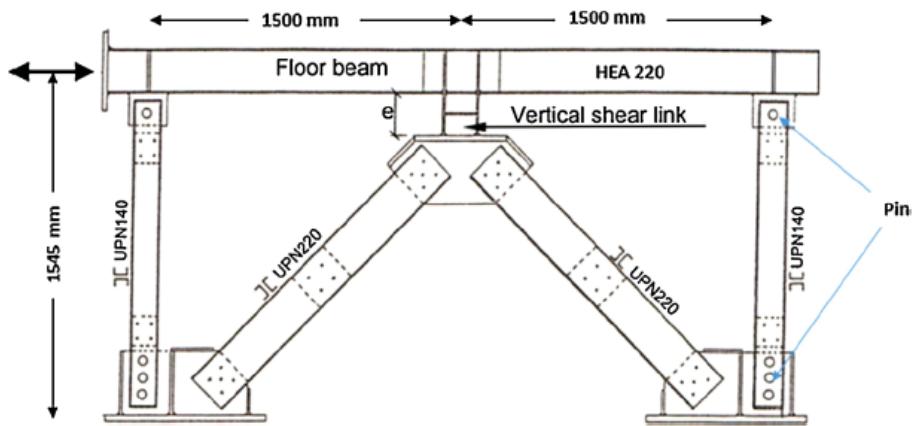
Perhitungan rotasi *link* pada penelitian Bouwkamp yaitu:

$$\gamma = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{e} \quad (2.2)$$

dimana:

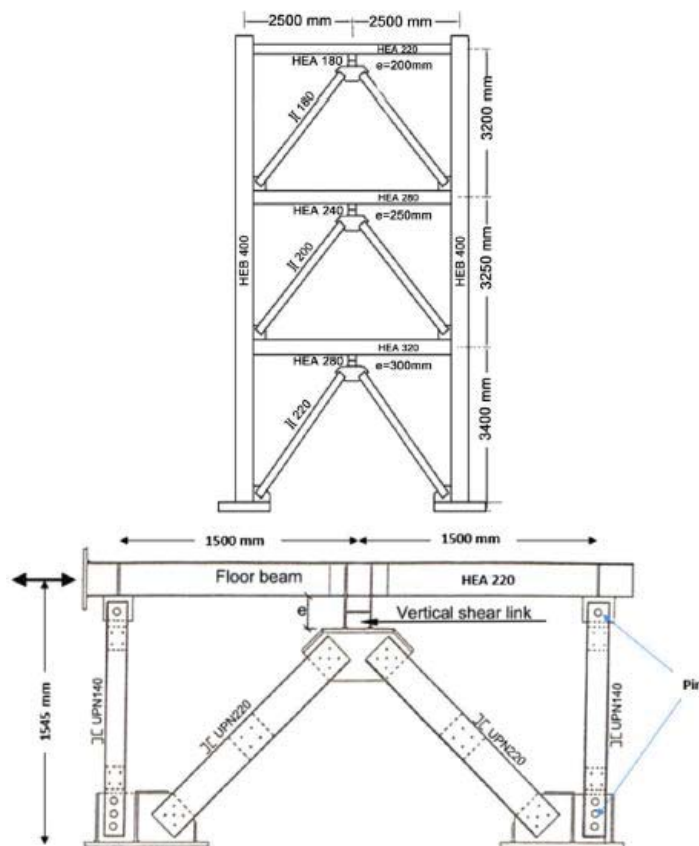
Δ_1 = Perpindahan As Vertikal *link* vertikal ditambah Δ_2

Δ_2 = Jarak potongan As Horizontal ke As *link* vertikal



Gambar 2. 9 *Frame* Spesimen pada penelitian Bouwkamp pada tahun 2016

Mohammad Ghazem Vetr pada tahun 2017 melakukan penelitian rangka bresing eksentrik *link* vertikal. Pada penelitian ini menggunakan *link* geser dengan tujuan mendapat perilaku hysteretic yang baik untuk alternatif Rangka penahan momen dan Rangka Bresing Konsentris.

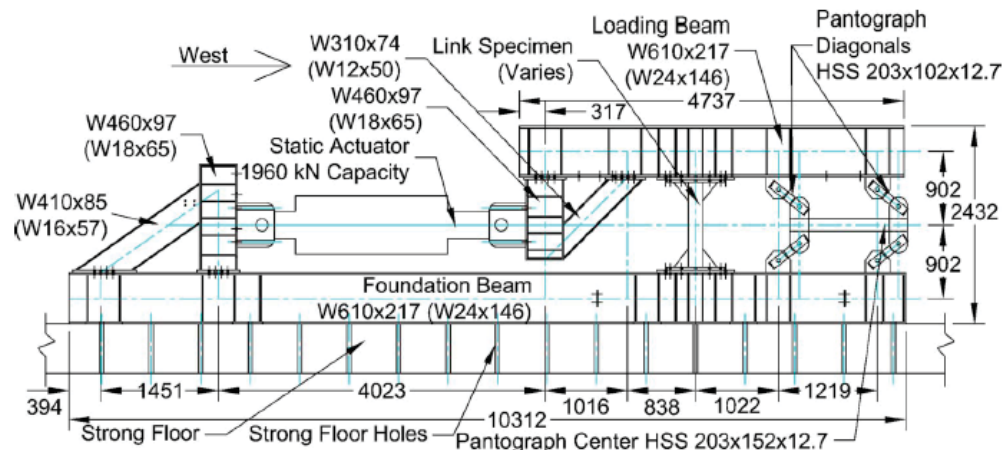


Gambar 2. 10 Detail spesimen eksperimen pada 3 lantai dan 1 lantai (Vetr dkk, 2017)

Pada penelitian ini menyimpulkan bahwa *link* geser vertikal berperilaku sebagai sekering daktail untuk menyerap energi. *Lateral Bracing* pada bagian ujung bawah *link* tidak diperlukan dalam merencanakan sistem V-EBF, pada tengah balok lantai atau di ujung atas elemen *link* geser sudah cukup. Panjang *link* geser harus menggunakan $e = 1.2 M_p/V_p$.

2.3 Link Profil Tubular

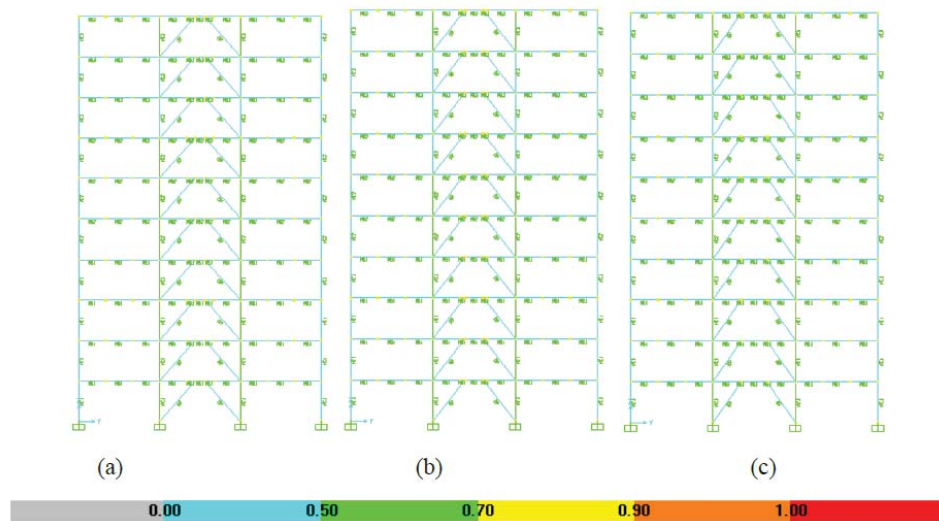
Berman pada tahun 2007 telah melakukan penelitian *link* menggunakan profil tubular menghasilkan dengan menggunakan *link* berprofil tubular, *link* dapat berotasi hampir dua kali lipat dari ketentuan AISC. Pada tahun 2008 Berman melakukan penelitian *link* tubular dengan posisi vertikal. *Link* dapat berotasi plastis sampai 0,09 rad. Namun pada studi ini Berman belum melakukan penelitian *link* tubular vertikal terpasang pada rangka.



Gambar 2. 11 Pengaturan tes pada penelitian Berman dan Bruneau 2008

Suswanto 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 (Suswanto, 2018). *Link* dengan panjang melebihi batas ketentuan *link* pendek atau *link* geser tidak dapat mencapai gaya geser nominal baik dengan profil WF dan profil tubular (Suswanto, 2018). 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. pada tahun 2018, saat beban rotasi diberikan kepada *link* pendek, gaya geser pada *link* WF berkurang rata-rata 2.75%

melakukan penelitian analisa *push over* rangka bresing eksentrik dengan menggunakan SAP 2000. Dengan permodelan SAP akan mendapat gaya dan deformasi pada elemen dan pengecekan dengan fitur *steel design check* untuk mengecek apakah telah memenuhi peraturan AISC (Suswanto dkk, 2017) . Permodelan pada SAP menghasilkan mekanisme leleh secara global. Pada pemodelan SAP 2000 terdapat input material, pembebanan, dan model gedung yang diteliti.



Gambar 2. 13 Analisa *Steel Check Design* (Suswanto dkk, 2017)

2.6 Pemodelan Abaqus

Permodelan dengan Abaqus berfungsi untuk menganalisa pada satu bagian portal yang terdiri dari *link*, balok, dan kolom. Pemodelan pada Abaqus menggunakan pembebanan *loading protocol* yang terdapat pada AISC. Permodelan Abaqus dalam penelitian ini untuk mendapatkan tahanan geser, rotasi *link*, dan kurva histeresis. Suswanto dkk. pada tahun 2017 melakukan penelitian numerik dengan menggunakan software Abaqus. Pada penelitian ini Suswanto dkk. menganalisa kurva histeresis, kurva tegangan regangan, dan disipasi energi menggunakan software Abaqus. Pada penelitian rangka bresing eksentrik *link* vertikal dari Rahnavard dkk. pada tahun 2017, terdapat beberapa penyesuaian *input* pada pemodelan Abaqus. Penyesuaian tersebut antara lain model geometri, Loading, Model Meshing, dan Material Properties.

1. Model Geometri

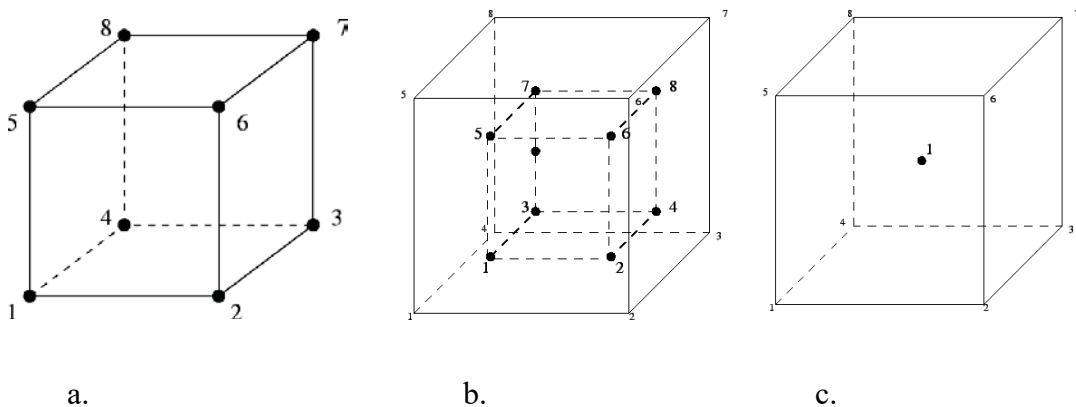
Pada tahap ini menjelaskan tentang ukuran portal yang akan dimodelkan pada penelitian Rahnavard dkk. Penjelasan terdiri dari jumlah bentang, tinggi kolom, bentang balok, dan tipe profil baja yang digunakan.

2. Loading

Pada bagian ini berisi tentang penjelasan tipe pembebanan yang dipakai pada penelitian. Pada penelitian Rahnavard dkk. pembebanan menggunakan *cyclic displacement* berdasarkan *SAC loading protocol*. Pada penelitian Suswanto dkk pada tahun 2018, pembebanan menggunakan *cyclic displacement* berdasarkan *AISC Seismic Provision*.

3. Model Meshing

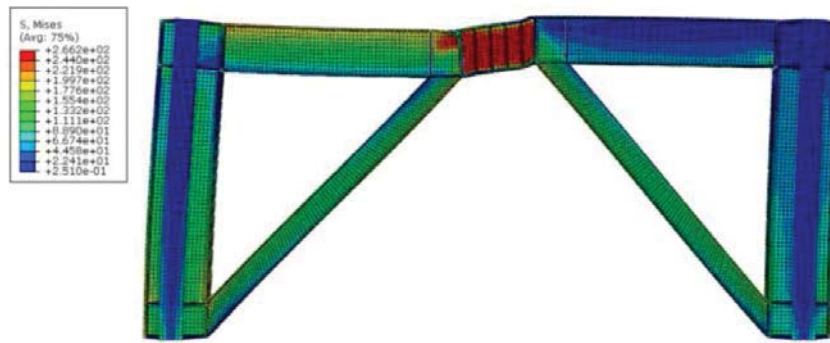
Pada bagian ini berisi tentang penjelasan tipe *meshing* yang dipakai pada penelitian. Pada penelitian Rahnavard dkk. pemodelan menggunakan C3D8R. Elemen ini mempunyai 8 *node* dengan 3 derajat kebebasan.



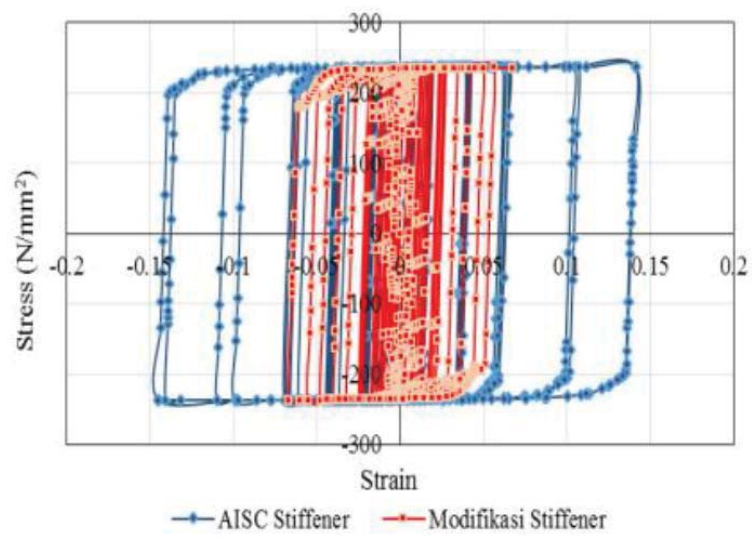
Gambar 2. 14 a. Elemen dengan 8 node, b. Integrasi Poin pada C3D8, c. Integrasi poin pada C3D8R (MIT.edu, 2014)

4. Material Properties

Berisi data-data material yang digunakan pada penelitian. Terdiri dari tegangan leleh dan runtuh material, poisson ratio, dan modulus young. Von mises digunakan untuk mensimulasikan deformasi plastis dari komponen.



Gambar 2. 15 Pemodelan Rangka dengan software Abaqus (Suswanto dkk., 2017)



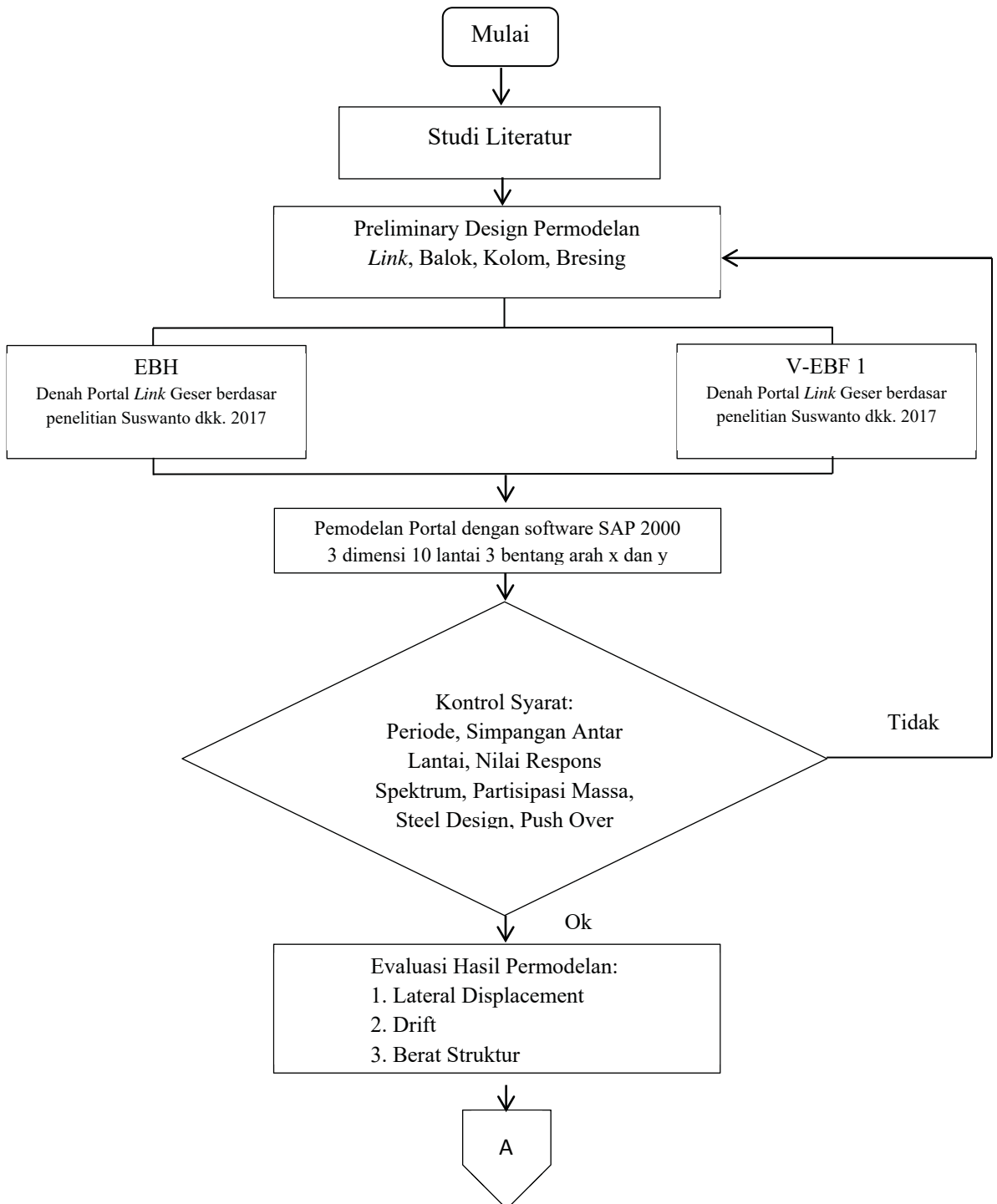
Gambar 2. 16 Kurva Histeresis pada *Link* akibat beban siklik (Suswato dkk.,2017)

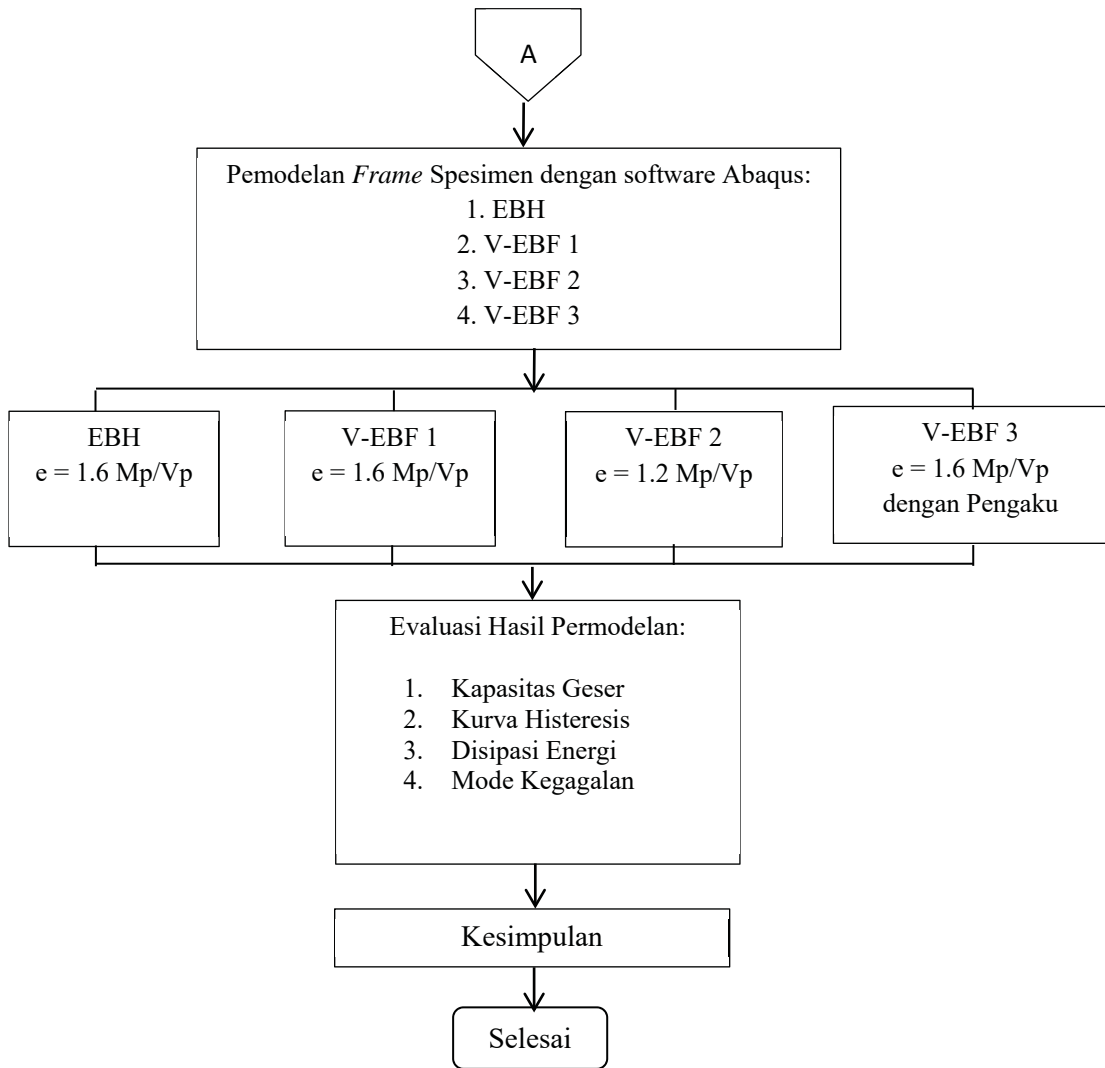
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3 Metodologi

3.1 Flowchart Metodologi

Berikut ini adalah diagram alir dari proses pengerjaan tesis ini. Diagram alir ini merepresentasikan keseluruhan proses pengerjaan tesis yang dimulai dengan Studi literatur sampai penarikan kesimpulan.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi

3.2 Penjelasan Flowchart Metodologi

Diagram flowchart metodologi akan dijelaskan pada sub bab berikut:

3.2.1 Studi Literatur

Pada tahap ini, adalah tahap mencari beberapa sumber yang menunjang proses penelitian. Sumber berupa peraturan, jurnal eksperimental, dan jurnal permodelan numerik. Dalam tahap ini juga tahap menelusuri penelitian terdahulu sebagai acuan. Dengan adanya acuan, maka penelitian dapat lebih terarah dalam pembuatan analisa dan penyelesaian penelitian ini. Peraturan yang dipakai antara lain:

1. AISC *Seismic Provision* 2010
2. SNI 1729 2015 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural
3. SNI 1726 2017 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung
4. SNI 1727 2013 Beban Minimum untuk Perencanaan Gedung dan Struktur lain

3.2.2 Preliminary Design

Sebelum dilakukan pemodelan, maka perlu ditentukan dimensi dari profil yang akan dimodelkan. Penentuan profil terdapat pada tahap *preliminary design*. *Preliminary design* pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian yaitu pemodelan SAP dan pemodelan Abaqus. Pada pemodelan SAP 2000 dilakukan pemodelan 3 spesimen. Denah pada pemodelan SAP berdasarkan penelitian Suswanto dkk. pada tahun 2017. Pemodelan Abaqus berdasarkan penelitian oleh Berman dan Bruneu pada tahun 2008 dan Jack pada tahun 2016 pada bagian *link*. Hasil preliminary design akan digunakan untuk pemodelan SAP dan Abaqus.

a. Preliminary Design Panjang *Link* pada spesimen:

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

$$e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad (3.1)$$

Panjang *link* menggunakan rumus penelitian dari Berman dan Bruneu pada tahun 2008 dimana rumus ini sama dengan rumus pada AISC seismic provision

2. Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal tipe 1 (V-EBF 1)

Panjang *link* menggunakan rumus penelitian dari Bouwkamp dkk. pada tahun 2016.

$$e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad (3.2)$$

3. Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal tipe 2 (V-EBF 2)

$$e \leq \frac{2 \times 1.2 M_p}{2 V_p} = 1.2 \frac{M_p}{V_p} \quad (3.3)$$

Panjang *link* menggunakan rumus penelitian dari Berman dan Bruneu pada tahun 2008 dimana rumus ini sama dengan rumus pada AISC seismic provision

4. Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal tipe 3 (V-EBF 3)

Panjang *link* menggunakan rumus dari sama dengan V-EBF 1 dengan menggunakan pengaku.

Dimana:

$$V_p = \frac{2}{\sqrt{3}} F_{yw} t_w (d - 2t_f) \quad (3.4)$$

dimana d adalah tinggi profil, F_{yw} adalah kapasitas leleh web, t_f adalah tebal flens, dan t_w adalah tebal web.

Kekuatan momen plastis dapat dirumuskan:

$$M_p = F_{yf} t_f (b - 2t_w)(d - t_f) + F_{yw} \frac{t_w d^2}{2} \quad (3.5)$$

Apabila kekuatan leleh web dan flens sama V_p dapat ditulis:

$$V_p = 0.6 F_y A_w \quad (3.6)$$

Dimana F_y adalah kuat leleh dan A_w adalah luas web. Kekuatan Momen plastis dapat dirumuskan:

$$M_p = Z_x F_y \quad (3.7)$$

Z_x adalah modulus plastis dari profil dan F_y adalah kuat leleh

dimana:

M_p = Kapasitas Momen Plastis

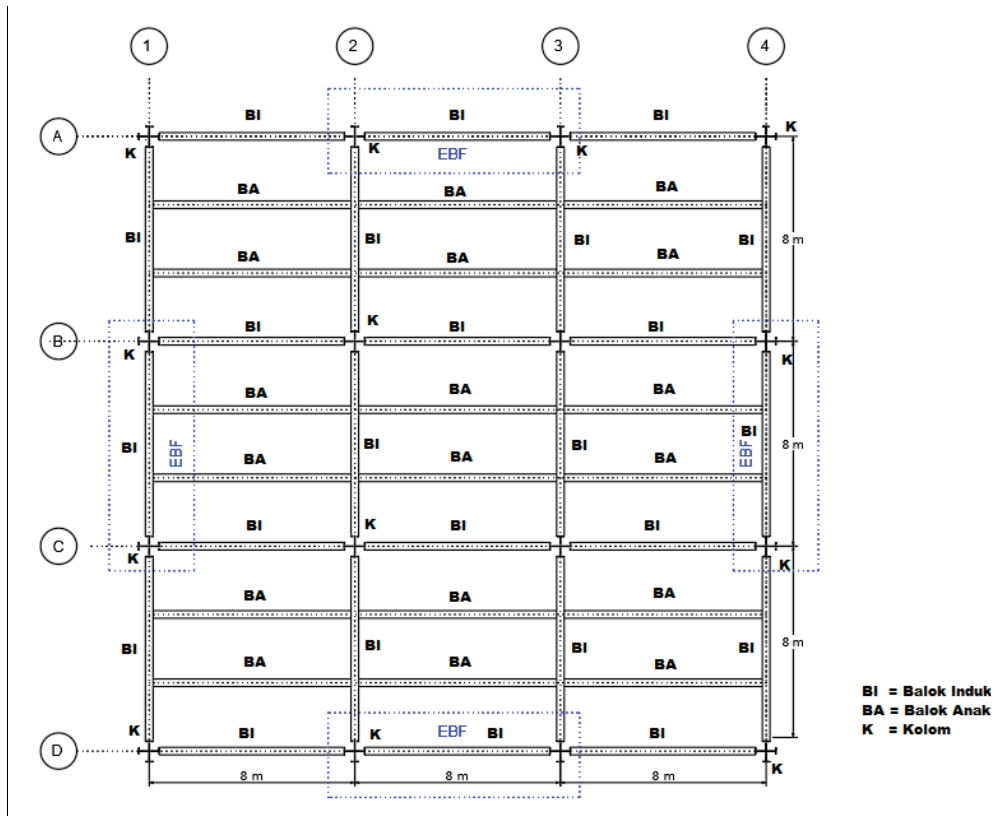
V_p = Kapasitas Geser Plastis

e = Panjang *Link*

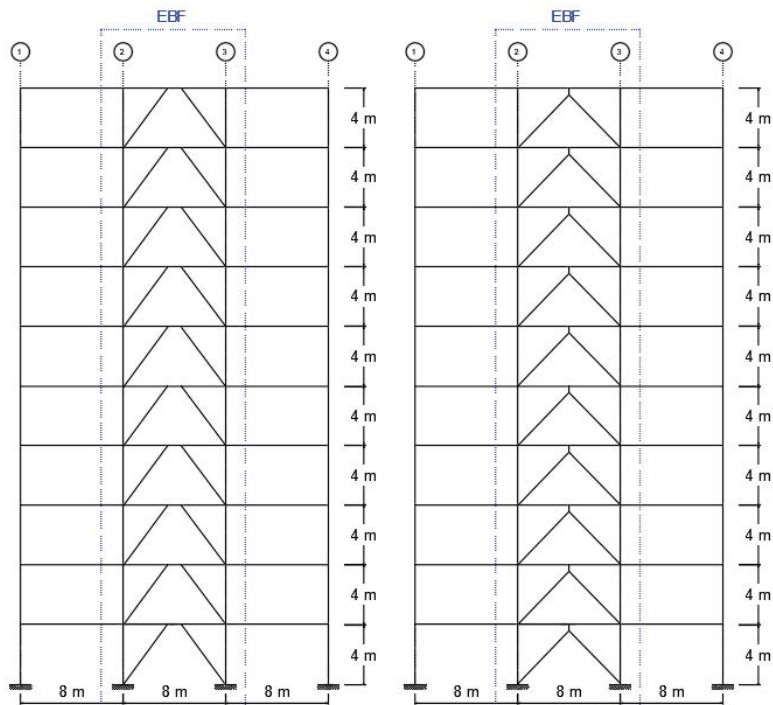
b. Preliminary Design Pemodelan SAP 2000

Permodelan portal 3 dimensi dengan SAP 2000 dilakukan agar desain telah memenuhi syarat *link* leleh terlebih dahulu. Permodelan dengan 3 bentang balok berjumlah 10 tingkat. Pada bentang tengah terdapat Rangka Bresing Eksentrik. Pemodelan terdiri dari spesimen H-EBF dan V-EBF 1. Preliminary desain pada penelitian antara lain:

1. Mutu Baja : BJ 41 $f_y = 250$ MPa $f_u = 410$ MPa
2. Lebar bentang EBF : 8 meter
3. Jumlah Bentang : 3
4. Tinggi Lantai : 4 meter
5. Luasan denah : 576 m²
6. Jumlah lantai : 10 Lantai
7. Nilai R : 8



Gambar 3. 2 Gambar Denah untuk Pemodelan SAP 2000



a. H-EBF

b. V-EBF1

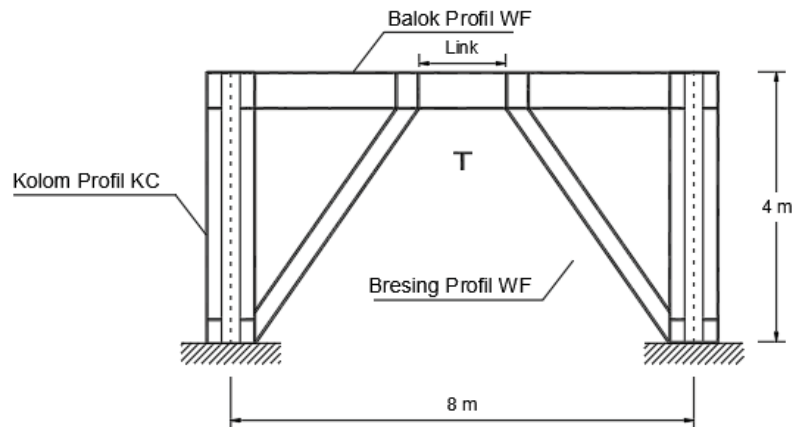
Gambar 3. 3 Portal Rangka Breding Eksentrik untuk pemodelan pada SAP 2000

Tabel 3. 1 Jenis Profil Spesimen pada Pemodelan SAP 2000

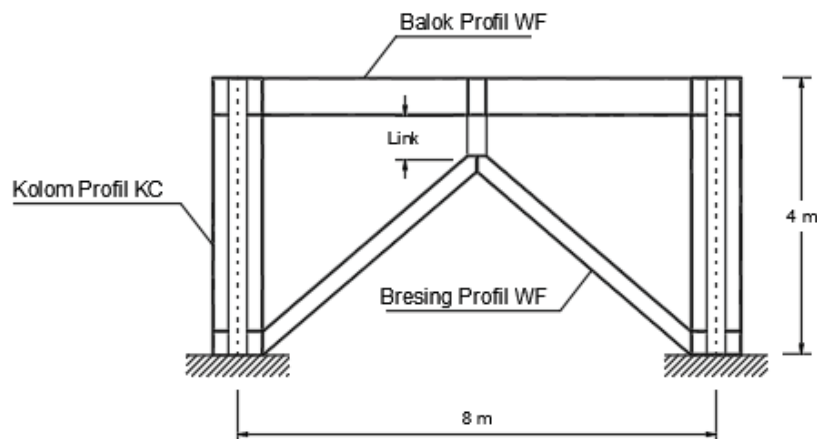
Spesimen	Kolom	Balok	Bresing	Link
H-EBF	<i>King Cross</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Wide Flange Horizontal</i>
V-EBF 1	<i>King Cross</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Tubular Vertical</i>

c. Preliminary Design Pemodelan Abaqus

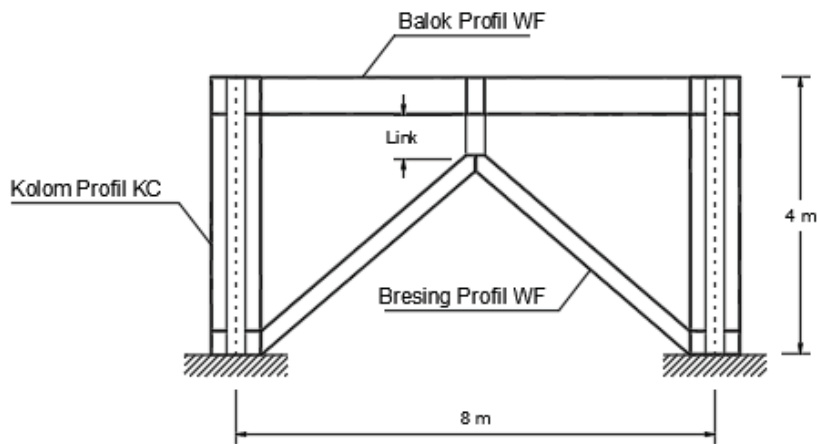
Permodelan mikro dari pemodelan gedung pada SAP 2000 menggunakan software Abaqus. Pada pemodelan abaqus terdapat 4 spesimen yaitu H-EBF, V-EBF 1, V-EBF 2, dan V-EBF 3. Pemodelan ini berupa *frame* Rangka Bresing Eksentrik *Link* horizontal dan vertikal tubular yang terdiri dari balok, kolom, bresing, dan *link*.



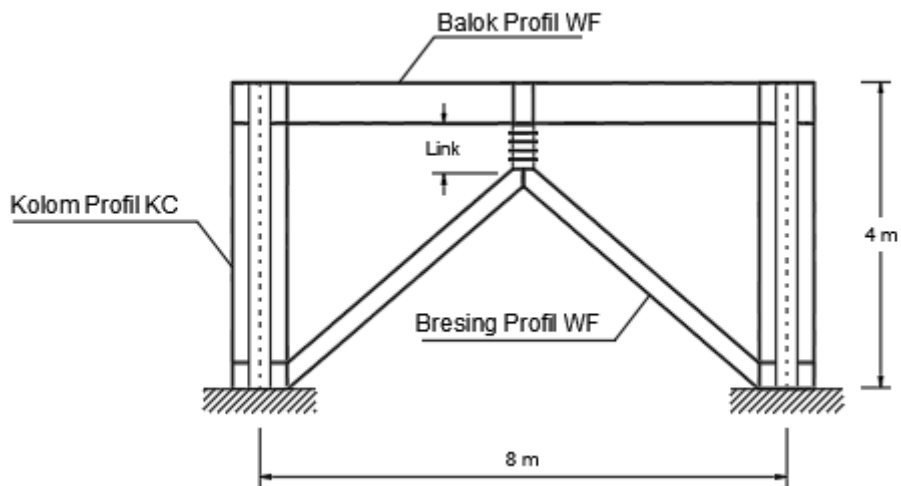
Gambar 3. 4 Spesimen H-EBF



Gambar 3. 5 Spesimen V-EBF 1



Gambar 3. 6 Spesimen V-EBF 2



Gambar 3. 7 Spesimen V-EBF 3

Tabel 3. 2 Jenis Profil Spesimen pada Pemodelan Abaqus

Spesimen	Kolom	Balok	Bresing	Link
H-EBF	<i>King Cross</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Wide Flange</i>
V-EBF1	<i>King Cross</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Tubular Vertical</i>
V-EBF2	<i>King Cross</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Tubular Vertical</i>
V-EBF3	<i>King Cross</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Wide Flange</i>	<i>Tubular Vertical stiffened</i>

Tekuk *link* flens pada EBF dapat menyebabkan tegangan yang tinggi, yang dapat menyebabkan fraktur prematur serta pemicu tekuk torsional lateral atau

tekuk web, yang semuanya menyebabkan degradasi kekuatan yang signifikan dan membatasi perilaku daktail (Berman dan Bruneau, 2008).

3.2.3 Pemodelan SAP 2000

Setelah dimensi balok kolom dan bresing telah ditentukan, maka pemodelan dengan SAP 2000 dapat dilakukan. Pemodelan SAP 2000 bertujuan untuk mencari mekanisme runtuh global, perpindahan lateral, dan simpangan antar lantai. Tujuan pemodelan SAP 2000 pada penelitian ini yaitu membandingkan Rangka Bresing Eksentrik *link* horizontal dengan *link* vertikal. Pada pemodelan SAP 2000 dilakukan pemodelan spesimen H-EBF dan V-EBF 1,. Langkah-langkah pemodelan SAP 2000 yaitu:

1. Menentukan Material

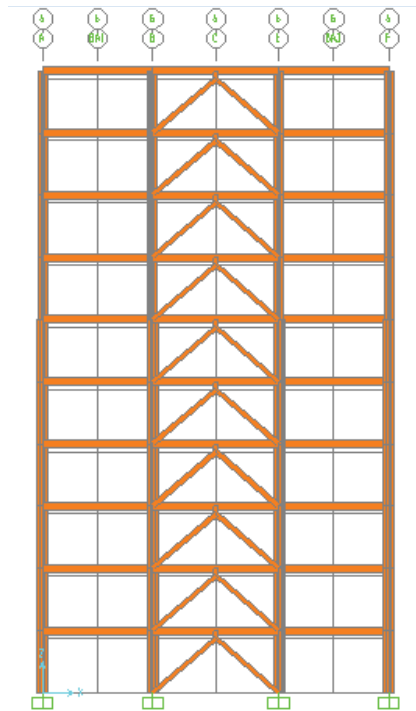
Material berdasarkan hasil preliminary design yaitu menggunakan baja BJ 41. Pada penelitian ini semua elemen struktur direncanakan mempunyai material yang sama

2. Menentukan section

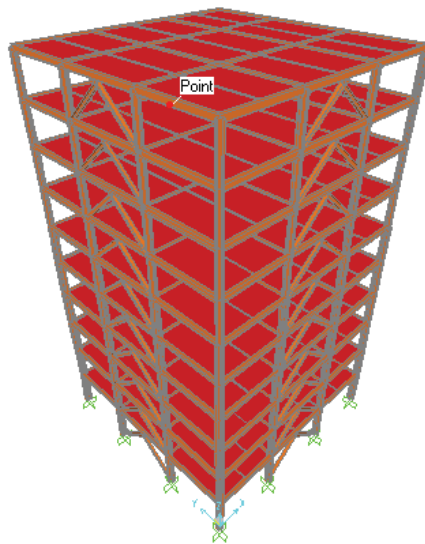
Penentuan profil balok, kolom, bresing, dan *link* sesuai dengan hasil preliminary design

3. Menggambar struktur

Penggambaran struktur menggunakan denah pada penelitian Suswanto 2017 dengan jumlah lantai sebanyak 10 lantai



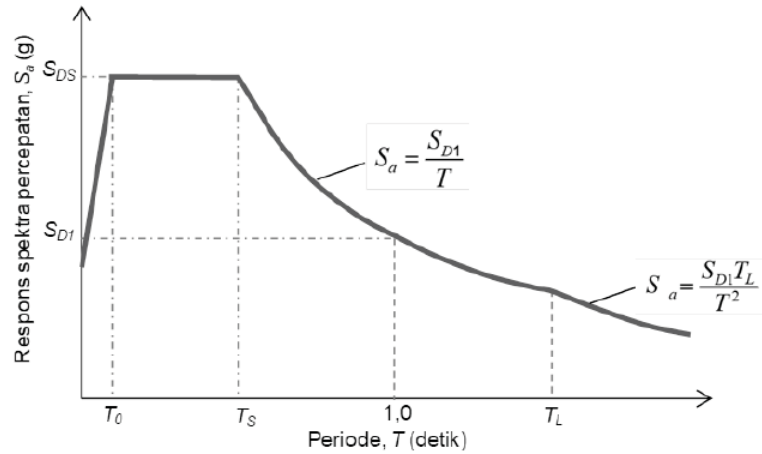
Gambar 3. 8 Pemodean Portal SAP 2000



Gambar 3. 9 Pemodelan 3 dimensi SAP 2000

4. Pembebanan

Pembebanan beban mati dan hidup pada analisa SAP 2000 menggunakan SNI 1727 2013. Beban gempa menggunakan respon spektrum berdasarkan SNI 1729 2012. $R = 8$ (Rangka Bresiing Eksentrik)



Gambar 3. 10 Respon Spektrum (SNI 1729:2012)

5. Kontrol Permodelan

a) Kontrol Partisipasi Massa

Perhitungan respon dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus sekurang-kurangnya 90%.

b) Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

SNI 1726:2012 menjelaskan bahwa nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan tidak boleh kurang dari 85% nilai respons statiknya

c) Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental (T) dari struktur gedung harus dibatasi dengan perumusan

$$T = C_t \cdot h_n^x \quad (3.8)$$

Dimana nilai parameter untuk SRBE adalah:

$$C_t = 0,0731$$

$$x = 0,75$$

h_n = Tinggi gedung

d) Kontrol Simpangan Antar Lantai

Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyamanan penghuni.

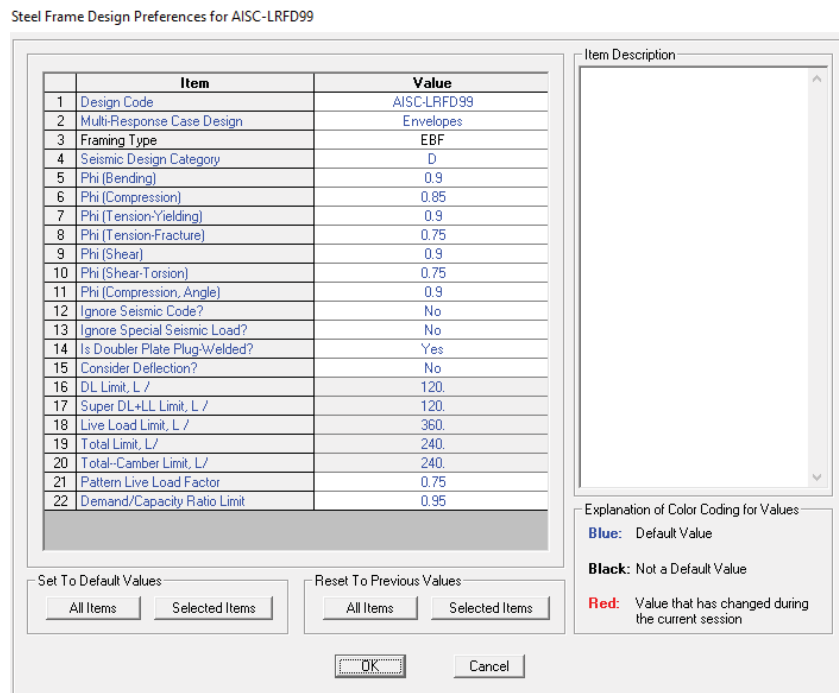
Berdasarkan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.3

6. Menentukan sendi plastis

Penentuan sendi plastis bertujuan untuk menentukan letak dan tipe sendi plastis yang terbentuk pada analisa *Push over*

7. *Steel Design Check*

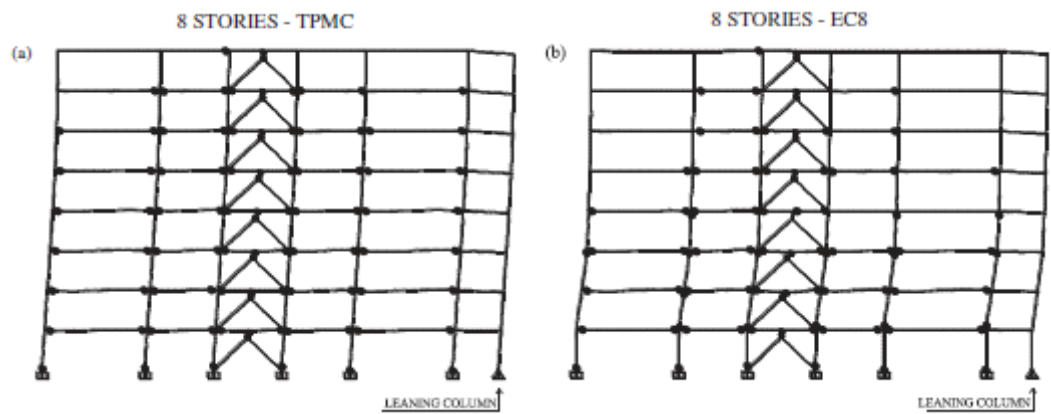
Pada tahap ini profil section akan ditinjau oleh SAP apakah telah memenuhi peraturan yang ditinjau.



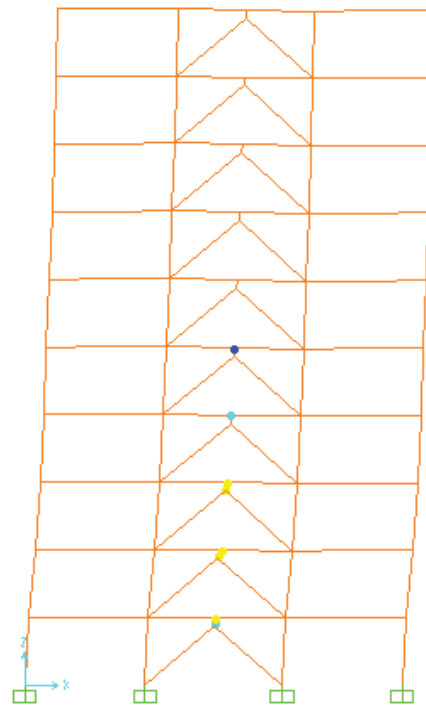
Gambar 3. 11 Contoh Parameter *Steel check design* pada SAP 2000

8. *Push over analysis*

Menganalisa mekanisme runtuh global pada pemodelan. Bertujuan untuk mengetahui bagian elemen struktur yang leleh terlebih dahulu.



Gambar 3. 12 Analisa *Push over* (Nastri, 2014)

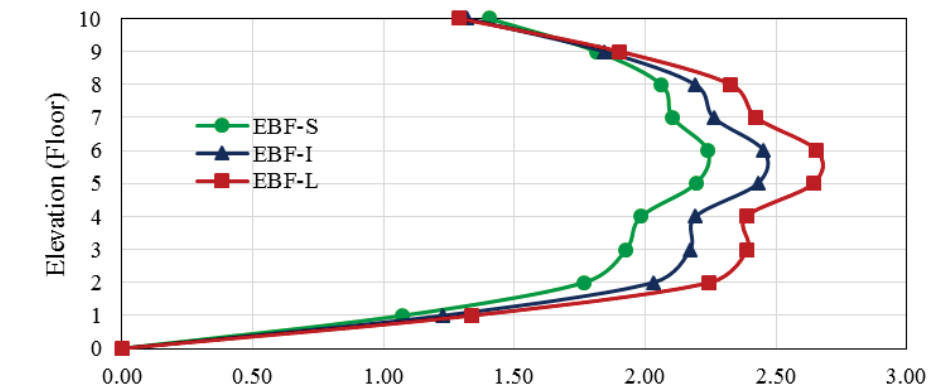


Gambar 3. 13 Contoh *Push over Analysis*

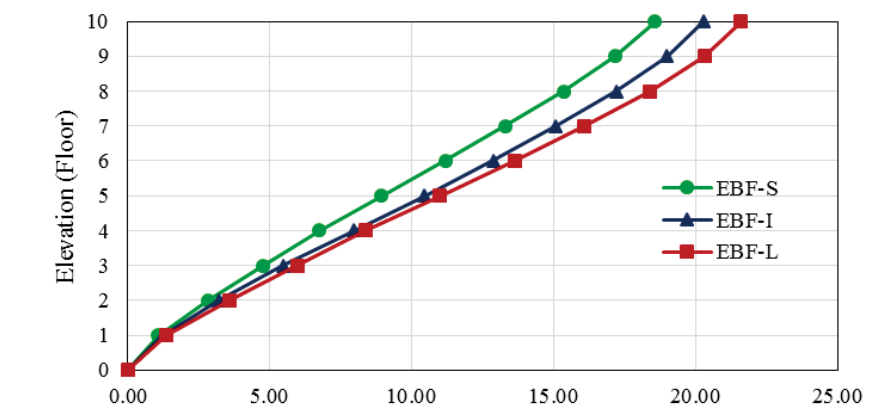
3.2.4 Evaluasi Hasil Pemodelan SAP 2000

Evaluasi hasil permodelan SAP 2000 berisi perbandingan perilaku dari spesimen penelitian. Perbandingan perilaku spesimen terdiri dari:

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



Gambar 3. 14 Simpangan Antar Lantai (Suswanto,2017)



Gambar 3. 15 Perpindahan Lateral (Suswanto, 2017)

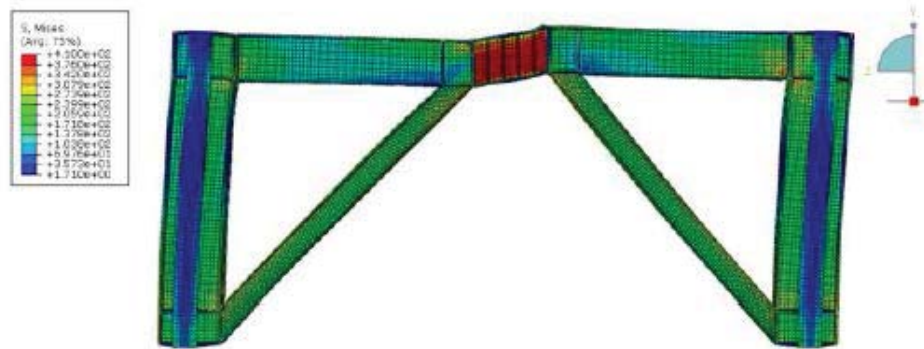
3.2.5 Pemodelan Abaqus

Setelah diketahui mekanisme global dari struktur sesuai dengan metodologi desain, maka dilanjutkan dengan pemodelan pada satu *frame* rangka bresing eksentrik. Pemodelan Abaqus menggunakan spesimen H-EBF, V-EBF 1, V-EBF 2, dan V-EBF 3. Pemodelan Abaqus bertujuan untuk membandingkan performa dari *link* vertikal dengan perumusan panjang *link* yang berbeda dan efek dari penambahan pengaku.

Langkah-langkah dalam pemodelan Abaqus dalam penelitian ini adalah:

1. Model Geometri

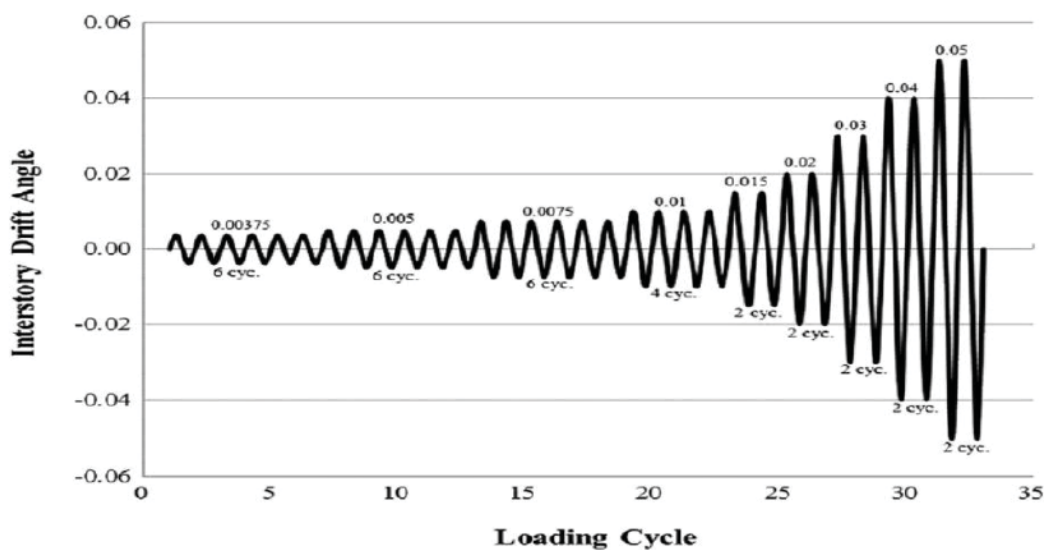
Pemodelan satu *frame* pada software Abaqus berdasarkan dengan penelitian Suswanto pada tahun 2017. Semua model mempunyai ukuran tinggi dan lebar *frame* yang sama dengan bentang 8 meter dan tinggi 4 meter.



Gambar 3. 16 Permodelan Portal EBF (Suswanto, 2017)

2. Loading

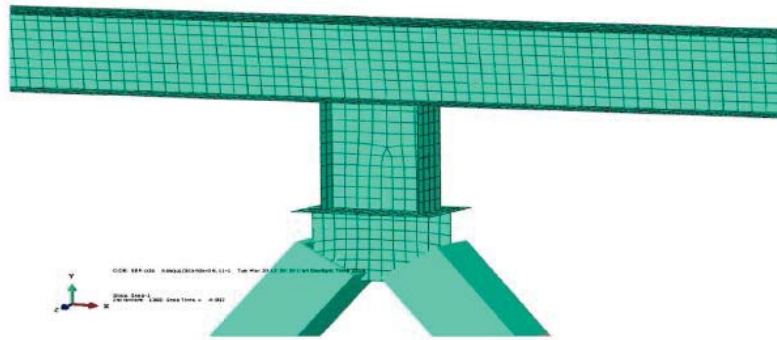
Pembebanan pada penelitian ini menggunakan beban siklik dengan *loading protocol* berasal dari AISC 2010. Pada pembebanan siklik berdasarkan rotasi akan dikonversi ke perpindahan.



Gambar 3. 17 Pembebanan Siklik AISC 2005

3. Model Meshing

Meshing pada *frame* dimodelkan dengan 4 node shell element dengan sifat plastis, defleksi yang besar, dan kapasitas regangan yang besar. Elemen ini mempunyai 6 *degree of freedom per node*.



Gambar 3. 18 Contoh Permodelan dengan Abaqus (Rahnavard dkk., 2017)

4. Material properties

Mutu yang digunakan untuk spesimen adalah sama yaitu baja dengan modulus young = 200000 MPa dan poisson ratio = 0.3

5. Interaction

Tahap ini dilakukan untuk mendefinisikan jenis interaksi antar sambungan model. Untuk dasar kolom dipilih interaction jepit, sedangkan sambungan antar elemen menggunakan *tie constraint*.

3.2.6 Evaluasi Hasil Pemodelan Abaqus

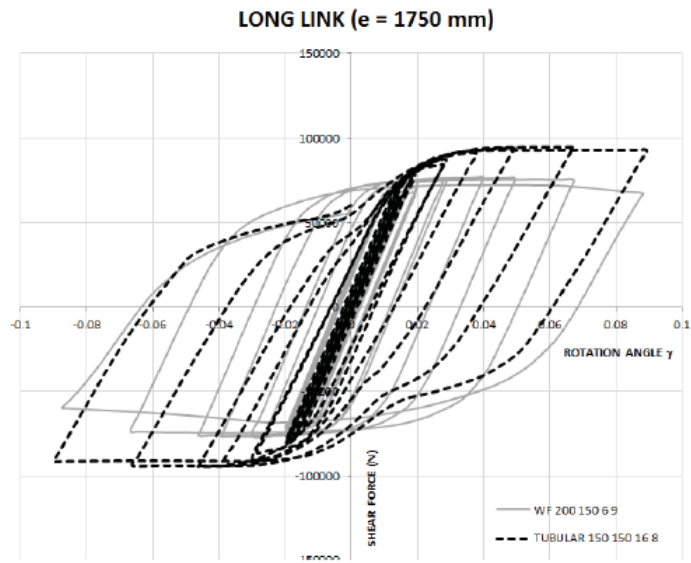
Evaluasi hasil pemodelan Abaqus berisi perbandingan perilaku dari specimen penelitian. Perbandingan perilaku spesimen terdiri dari:

a. Kapasitas Geser

Kemampuan *frame* EBF dalam menahan beban siklik dari pembebanan awal, saat mencapai kekuatan leleh, dan kekuatan ultimate

b. Kurva Histeresis

Salah satu hasil analisa numeric Abaqus adalah kurva histeresis. Dalam kurva ini akan ditampilkan besaran gaya geser berbanding dengan rotasi *link*



Gambar 3. 19 Kurva Histeresis (Suswanto, 2018)

c. Disipasi Energi

Besar disipasi energi dihitung pada setiap spesimen yang diuji untuk mengetahui spesimen yang memiliki kemampuan menyerap energi terbesar.

d. Mode Kegagalan

Mode kegagalan pada spesimen dapat dilihat dari pemodelan abaqus.

Mode kegagalan ditinjau bagian elemen yang leleh terlebih dahulu

3.2.7 Kesimpulan yang diharapkan

Kesimpulan berasal dari penjabaran jawaban perumusan masalah pada BAB 1. Kesimpulan dan saran diperoleh dari evaluasi pemodelan pada SAP 2000 dan Abaqus Rangka B्रेसing Eksentrik *Link* Vertikal Profil Tubular

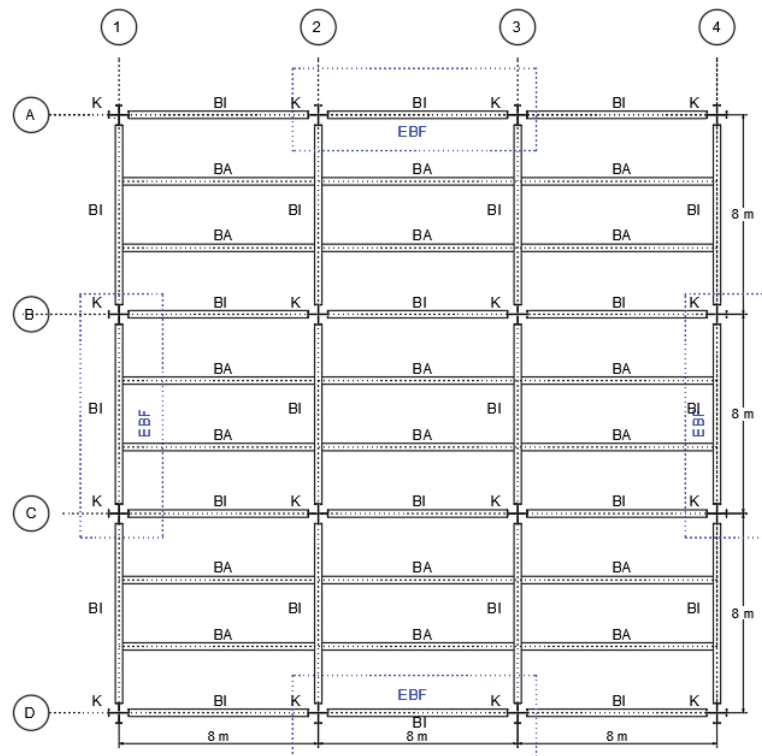
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

Analisa dan Pembahasan

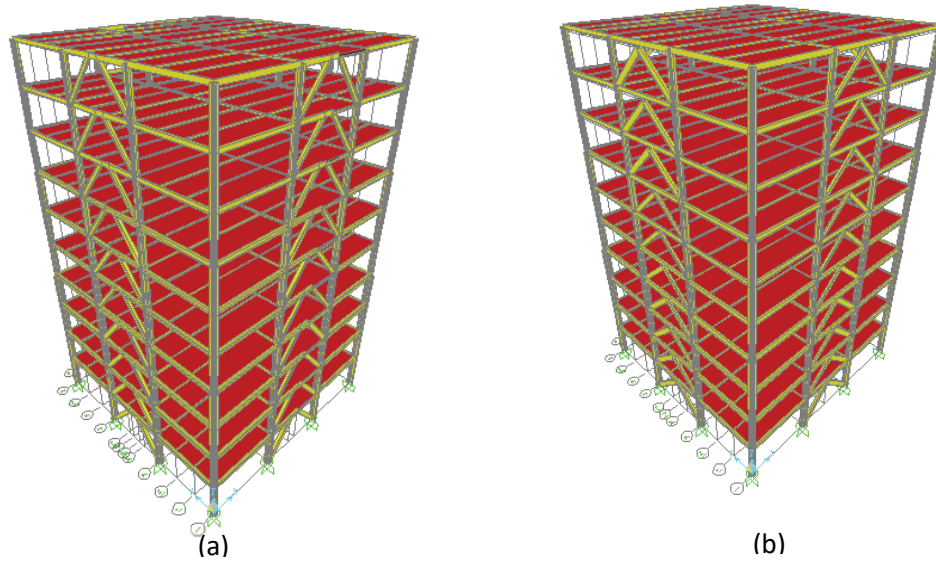
4.1 Preliminary Design

Pemodelan pada penelitian ini menggunakan *software* SAP 2000 dan Abaqus. Untuk pemodelan pada SAP 2000 dimodelkan 2 model. Pemodelan yang dilakukan yaitu Rangka Bresiing Eksentrik *Link* Horizontal yang selanjutnya akan disebut EBF *Link* Horizontal dan Rangka Bresiing Eksentrik *Link* Vertikal Profil Tubular yang selanjutnya disebut EBF *Link* Vertikal Profil Tubular. Model tersebut akan dimodelkan secara 3 dimensi. Pada model tersebut akan menggunakan denah seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1, pembebanan, dan material yang sama. Sebelum melakukan pemodelan struktur, maka dilakukan *preliminary design* untuk mendapatkan dimensi profil dari struktur. Berikut *preliminary design* dari penelitian ini:

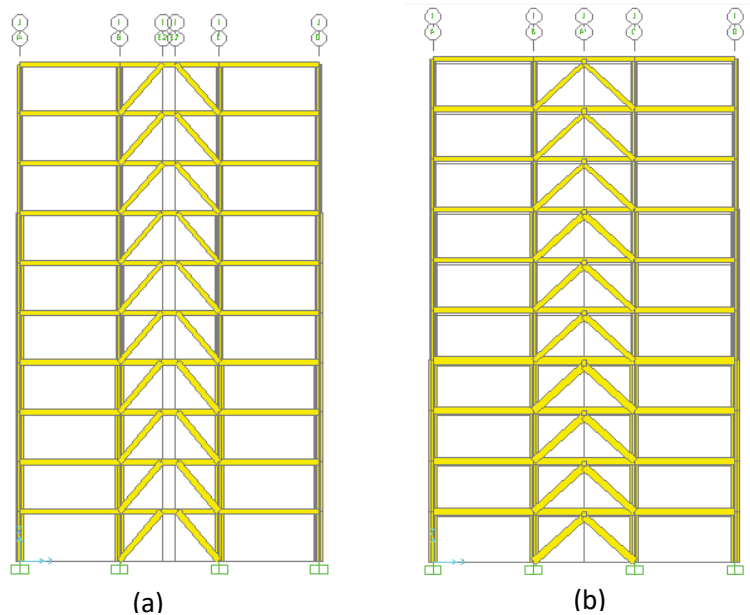


Gambar 4. 1 Denah untuk pemodelan EBF Horizontal dan EBF Vertikal

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 EBF Horizontal menggunakan profil *Wide Flange* (WF), EBF Vertikal menggunakan *Rectangular Hollow Section* (RHS) pada bagian *link*. Seluruh elemen menggunakan BJ 41 $f_y = 250 \text{ MPa}$ $f_u = 410 \text{ MPa}$



Gambar 4. 2 Gambar pemodelan 3D (a) EBF *Link* Horizontal dan (b) EBF *Link* Vertikal Profil Tubular



Gambar 4. 3 Gambar portal (a) EBF *Link* Horizontal dan (b) EBF *Link* Vertikal Profil Tubular

Tabel 4. 1 Profil Rangka Bresing Eksentrik *Link* Horizontal

Lantai	Kolom	Balok	Bresing	Link
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)

Tabel 4. 2 Profil Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal Profil Tubular

Lantai	Kolom	Balok	Bresing	Link
1-4	KC 700.300.13.24	WF 600.200.17.11	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)

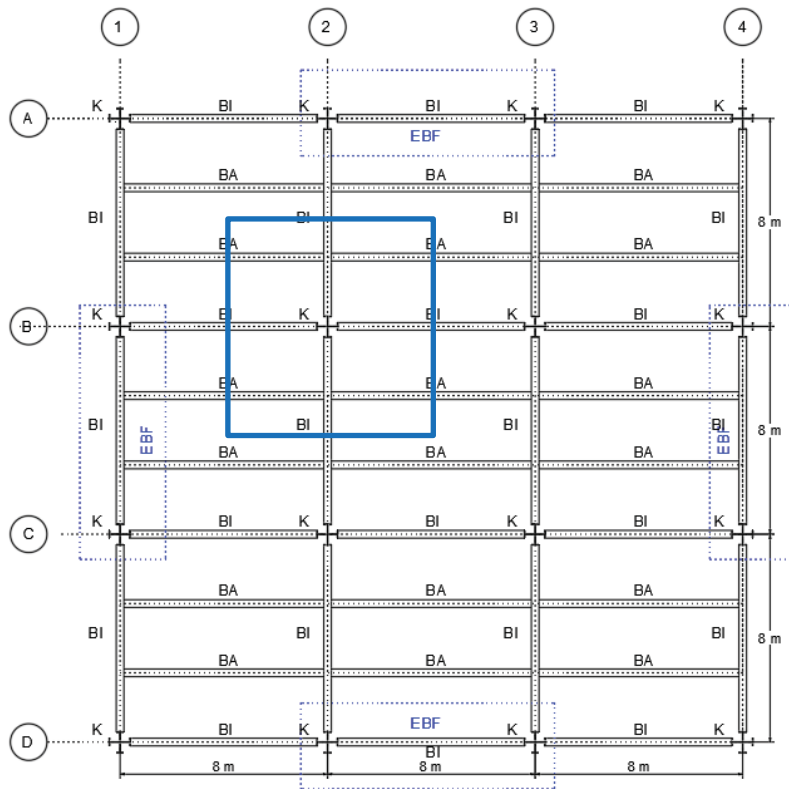
Dengan menggunakan denah, beban, dan material baja yang sama, EBF *Link* Horizontal membutuhkan kolom, balok induk, dan bresing lebih besar pada lantai 1-4 dan membutuhkan balok induk dan bresing yang lebih besar pada lantai 5-7 daripada EBF *Link* Vertikal Profil Tubular.

4.2 Pemodelan Struktur Rangka Bresing Eksentrik dengan SAP 2000

4.2.1 Kontrol Pemodelan SAP 2000

a. Kontrol Pemodelan Struktur

Saat pemodelan struktur, perlu adanya kontrol kesesuaian pemodelan dengan keadaan sebenarnya. Pada kontrol ini akan dilakukan perhitungan secara manual beban kombinasi 1D + 1L pada salah satu dasar kolom seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan dibandingkan dengan pemodelan pada SAP 2000.



Gambar 4. 4 Letak Kolom Kontrol Pemodelan Struktur

1. EBF *Link Horizontal*

Tabel 4. 3 Perhitungan Beban Kolom EBF *Link Horizontal* Lantai 1-7

Tingkat	Elemen	Kg/m	L	n	Kg
1-4	Balok Induk	128.35	16	4	8214.4
	Balok Anak	56.65	16	4	3625.6
	KC1	407.415	4	4	6518.64
	PL 12	q (kg/m ²)	A (m ²)	n	
	SDL =	352	64	4	90112
	Live =	250	64	4	64000
5-7	Balok Induk	106.76	16	3	5124.48
	Balok Anak	56.65	16	3	2719.2
	KC 2	290.45	4	3	3485.4
	PL 12	q (kg/m ²)	A (m ²)	n	
	SDL =	352	64	3	67584
	Live =	250	64	3	48000

Tabel 4. 4 Perhitungan Beban Kolom EBF *Link* Horizontal Lantai 8-10

Tingkat	Elemen	Kg/m	L	n	
8-10	Elemen	Kg/m	L	n	
	Balok Induk	66.03	16	3	3169.44
	Balok Anak	56.65	16	3	2719.2
	KC3	246.49	4	3	2957.88
	PL 12	q (kg/m ²)	A (m ²)	n	
	SDL =	352	64	2	45056
	Live =	250	64	2	32000
	PL Atap	q (kg/m ²)	A (m ²)	n	
	SDL =	321	64	1	20544
	Live =	100	64	1	6400
			Total		412230.2

Pada pemodelan SAP 2000 didapatkan *Joint Reaction* pada kolom tersebut 400740.86 Kg. Selisih antara perhitungan manual dan pemodelan SAP 2000 adalah 2.787 %

2. EBF *Link* Vertikal Profil Tubular

Tabel 4. 5 Perhitungan Beban Kolom EBF *Link* Vertikal Profil Tubular Lantai 5-7

Tingkat	Elemen	Kg/m	L	n	Kg
1-4	Balok Induk	105.5	16	4	6752
	Balok Anak	56.65	16	4	3625.6
	KC1	357.96	4	4	5727.36
	PL 12	q (kg/m ²)	A (m ²)	n	
	SDL =	352	64	4	90112
	Live =	250	64	4	64000
5-7	Elemen	Kg/m	L	n	
	B2	75.96	16	3	3646.08
	BA	56.65	16	3	2719.2
	KC 2	290.45	4	3	3485.4
	PL 12	q (kg/m ²)	A (m ²)	n	
	SDL =	352	64	3	67584
	Live =	250	64	3	48000

Tabel 4. 6 Perhitungan Beban Kolom EBF *Link* Vertikal Profil Tubular Lantai 8-10

Tingkat	Elemen	Kg/m	L	n	Kg	
8-10	Elemen	Kg/m	L	n		
	B3	66.03	16	3	3169.44	
	BA	56.65	16	3	2719.2	
	KC3	246.49	4	3	2957.88	
	PL 12	q (kg/m ²)	A (m ²)	n		
	SDL =	352	64	2	45056	
	Live =	250	64	2	32000	
	PL Atap	q (kg/m ²)	A (m ²)	n		
	SDL =	321	64	1	20544	
	Live =	100	64	1	6400	
				Total		408498.2

Pada pemodelan SAP 2000 didapatkan *Joint Reaction* pada kolom tersebut 398556.88 Kg. Selisih antara perhitungan manual dan pemodelan SAP 2000 adalah 2.4 %. Sehingga kedua pemodelan telah mendekati kondisi sesungguhnya karena selisih perhitungan manual dan pemodelan SAP 2000 < 5%.

b. Kontrol Partisipasi Massa

Pasal 7.9.1 SNI 1726:2012 menjelaskan bahwa perhitungan respons dinamik struktur harus sedemikian rupa sehingga partisipasi masa ragam terkombinasi mendapat paling sedikit 90% dari massa aktual masing-masing arah. Perhitungan analisis partisipasi massa dilakukan dengan program bantu SAP 2000 v14 seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 7 Tabel Rasio Partisipasi Massa EBF *Link* Horizontal Mode 1-6

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	Sum Uy
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.218387	0.723	0
MODAL	Mode	2	1.165694	0.723	0.724
MODAL	Mode	3	0.798609	0.723	0.724
MODAL	Mode	4	0.417695	0.888	0.724
MODAL	Mode	5	0.397142	0.888	0.889
MODAL	Mode	6	0.274732	0.888	0.889

Tabel 4. 8 Tabel Rasio Partisipasi Massa EBF *Link* Horizontal Mode 7-37

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	Sum Uy
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	7	0.234718	0.935	0.889
MODAL	Mode	8	0.22336	0.935	0.936
MODAL	Mode	9	0.182084	0.936	0.936
MODAL	Mode	10	0.179993	0.936	0.936
MODAL	Mode	11	0.16427	0.939	0.936
MODAL	Mode	12	0.163614	0.939	0.936
MODAL	Mode	13	0.160895	0.954	0.936
MODAL	Mode	14	0.156189	0.956	0.936
MODAL	Mode	15	0.155429	0.957	0.936
MODAL	Mode	16	0.154995	0.957	0.954
MODAL	Mode	17	0.154303	0.957	0.956
MODAL	Mode	18	0.145598	0.957	0.956
MODAL	Mode	19	0.143178	0.957	0.956
MODAL	Mode	20	0.138637	0.957	0.956
MODAL	Mode	21	0.133376	0.957	0.957
MODAL	Mode	22	0.128007	0.957	0.959
MODAL	Mode	23	0.124311	0.972	0.959
MODAL	Mode	24	0.119433	0.972	0.971
MODAL	Mode	25	0.114955	0.972	0.971
MODAL	Mode	26	0.107031	0.972	0.972
MODAL	Mode	27	0.100405	0.982	0.972
MODAL	Mode	28	0.09835	0.982	0.98
MODAL	Mode	29	0.084154	0.987	0.98
MODAL	Mode	30	0.083325	0.987	0.986
MODAL	Mode	31	0.073098	0.993	0.986
MODAL	Mode	32	0.07167	0.993	0.992
MODAL	Mode	33	0.064411	0.997	0.992
MODAL	Mode	34	0.061916	0.997	0.996
MODAL	Mode	35	0.055024	1	0.996
MODAL	Mode	36	0.052789	1	0.998
MODAL	Mode	37	0.029494	1	1

Tabel 4. 9 Tabel Rasio Partisipasi Massa EBF *Link* Vertikal Profil Tubular

TABLE: Modal Participating Mass Ratios					
OutputCase	StepType	StepNum	Period	SumUX	Sum Uy
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.191955	0.71	0
MODAL	Mode	2	1.168668	0.71	0.72
MODAL	Mode	3	0.789728	0.71	0.72
MODAL	Mode	4	0.395716	0.89	0.72
MODAL	Mode	5	0.384624	0.89	0.89
MODAL	Mode	6	0.261183	0.89	0.89
MODAL	Mode	7	0.222863	0.94	0.89
MODAL	Mode	8	0.216473	0.94	0.94
MODAL	Mode	9	0.181761	0.94	0.94
MODAL	Mode	10	0.179912	0.94	0.94
MODAL	Mode	11	0.168182	0.94	0.94
MODAL	Mode	12	0.163793	0.94	0.94
MODAL	Mode	13	0.163377	0.94	0.94
MODAL	Mode	14	0.157306	0.94	0.94
MODAL	Mode	15	0.152552	0.96	0.94
MODAL	Mode	16	0.150832	0.96	0.96
MODAL	Mode	17	0.149542	0.96	0.96
MODAL	Mode	18	0.146994	0.96	0.96
MODAL	Mode	19	0.144488	0.96	0.96
MODAL	Mode	20	0.140174	0.96	0.96
MODAL	Mode	21	0.136712	0.96	0.96
MODAL	Mode	22	0.127782	0.96	0.96
MODAL	Mode	23	0.120549	0.96	0.96
MODAL	Mode	24	0.119639	0.97	0.96
MODAL	Mode	25	0.1146	0.97	0.97
MODAL	Mode	26	0.113302	0.97	0.97
MODAL	Mode	27	0.098018	0.98	0.97
MODAL	Mode	28	0.095425	0.98	0.98
MODAL	Mode	29	0.083039	0.99	0.98
MODAL	Mode	30	0.081253	0.99	0.99
MODAL	Mode	31	0.07242	0.99	0.99
MODAL	Mode	32	0.071259	0.99	0.99
MODAL	Mode	33	0.063957	1	0.99
MODAL	Mode	34	0.062193	1	1

Sehingga perhitungan respons dinamik struktur pada kedua permodelan telah memiliki partisipasi masa ragam terkombinasi mendapat paling sedikit 90% dari massa aktual masing-masing arah.

c. Kontrol Waktu Getar Alami Fundamental

Pemberian batasan pada nilai waktu getar fundamental dilakukan untuk mencegah struktur gedung yang terlalu fleksibel. Batasan tersebut terdapat pada SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1. waktu getar alami fundamental ditentukan dengan rumus berikut:

$$T = C_t \cdot h_n^x \tag{4.1}$$

Dimana:

T : Batas bawah periode struktur yang ditinjau

C_t : Parameter pendekatan struktur

h_n : Ketinggian struktur yang ditinjau

x : Parameter pendekatan struktur

Nilai T diatas merupakan batas bawah periode struktur yang ditinjau, sedangkan untuk batas atas diperoleh dengan cara pengalihan nilai T dengan koefisien batas (C_u) yang besarnya bergantung pada nilai S_{D1}. Struktur ini menggunakan sistem Rangka Bering Eksentrik dan memiliki ketinggian 40 m. pada tabel 15 SNI 1726:2012 diperoleh nilai sebagai berikut:

$$C_t = 0.0731$$

$$x = 0.75$$

$$h_n = 40 \text{ m}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} T_a \text{ min} &= C_t \cdot h_n^x \\ &= 0,0731 \times 40^{0,75} \\ &= 1,163 \text{ s} \end{aligned}$$

Berdasarkan Tabel 14 SNI 1726:2012, untuk nilai S_{D1} = 0,46 diperoleh nilai C_u sebesar 1,4.

$$\begin{aligned}
T_a \text{ max} &= C_u \times T_a \text{ min} \\
&= 1,4 \times 1,163 \text{ s} \\
&= 1,628 \text{ s}
\end{aligned}$$

1. EBF *Link* Horizontal

Pada hasil pemodelan rangka bresing eksentrik *link* horizontal didapat

$$T = 1.218 \text{ s}$$

Sehingga, $1.163 < 1.218 < 1.628$

2. EBF *Link* Vertikal Profil Tubular

Pada hasil pemodelan rangka bresing eksentrik *Link* Vertikal Profil

Tubular didapat $T = 1.191 \text{ s}$

Sehingga, $1.163 < 1.191 < 1.628$

Sehingga pemodelan struktur yang dilakukan telah memenuhi persyaratan Pasal 7.8.2 SNI 1726:2012

d. Kontrol Nilai Akhir Respon Spektrum

SNI 1726:2012 menjelaskan bahwa nilai akhir respon dinamik struktur gedung dalam arah yang ditetapkan adalah tidak boleh kurang dari 85% nilai respon statiknya. Rumus gaya geser statik adalah sebagai berikut:

$$V = C_s \times W \tag{4.2}$$

Dimana:

V : Gaya Geser Dasar Statik

C_s : Koefisien Respons Seismik

W : Total beban mati, mati tambahan, dan hidup struktur

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,820}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,1025$$

C_s diatas tidak boleh melebihi dari :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,461}{1.29225\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,045$$

EBF *Link* Horizontal

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,461}{1.38\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0417$$

EBF *Link* Vertikal Profil Tubular

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,461}{1,73\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0491$$

C_s diatas tidak boleh kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (4.3)$$

Dimana:

C_s : Koefisien Respon Dinamik

S_{DS} : Gaya Geser Dasar Statik

I_e : Faktor Keutamaan Gedung

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } C_s &= 0,044 \times 0,820 \times 1 \geq 0,01 \\ &= 0,036 \geq 0,01 \end{aligned}$$

Sehingga untuk EBF *Link* Horizontal,

$$0,044 S_{DS} I_e \leq \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \leq \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$0,036 < 0,103 > 0,0417$$

Maka, nilai C_s yang digunakan adalah 0,0417

Nilai C_s untuk EBF *Link* Vertikal Profil Tubular,

$$0,044 S_{DS} I_e \leq \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \leq \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$$0,036 < 0,103 > 0,049$$

Maka, nilai C_s yang digunakan adalah 0,049

Tabel 4. 10 Berat Struktur Struktur EBF

Struktur	Berat Struktur (Kg)
EBF <i>Link</i> Horizontal	3868740.3
EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	3834700.47

Tabel 4. 11 Gaya Geser Dasar Struktur EBF Akibat Beban Gempa

Struktur	Gaya Geser (Kg)	
	Arah X	Arah Y
EBF <i>Link</i> Horizontal	155954.6	160931.57
EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	160696.2	160965.26

Berdasarkan Tabel 4.11 di atas maka diperoleh besar V_{Statik} sebesar:

EBF *Link* Horizontal $W = 3864040 \text{ Kg}$

$$\begin{aligned} V_{\text{Statik}} &= C_s \times W \\ &= 189900.6 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$0.85 V_{\text{Statik}} = 161415.5 \text{ Kg}$$

EBF *Link* Vertikal Profil Tubular $W = 3837591 \text{ Kg}$

$$\begin{aligned} V_{\text{Statik}} &= C_s \times W \\ &= 183929.5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$0.85 V_{\text{Statik}} = 156340.1 \text{ Kg}$$

Kontrol Nilai Akhir Respons EBF *Link* Horizontal:

1. Gempa arah x:
 $162384 \text{ Kg} > 161415.5 \text{ Kg}$

2. Gempa arah y:
 $168513.3 \text{ Kg} > 161415.5 \text{ Kg}$

Kontrol Nilai Akhir Respons EBF *Link* Vertikal Profil Tubular:

1. Gempa arah x:
 $160301.4 \text{ Kg} > 156340.1 \text{ Kg}$

2. Gempa arah y:
 $164381.9 \text{ Kg} > 156340.1 \text{ Kg}$

Sehingga Gaya Deser Dasar akibat beban gempa telah memenuhi persyaratan yang ditentukan.

e. Kontrol Simpangan Antar Lantai

Pemberian batasan terhadap Simpangan antar lantai dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan non structural dan ketidaknyamanan

penghuni. Berdasar SNI 1726:2012 pasal 7.9.3 untuk memenuhi persyaratan Simpangan antar lantai dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta_i \leq \Delta_a \quad (4.4)$$

Dimana :

Δ_i = Simpangan yang terjadi

Δ_a = Simpangan ijin antar lantai

Perhitungan Δ_i untuk tingkal 1 :

$$\Delta_1 = C_d \times \delta_{e1} / I \quad (4.5)$$

Perhitungan Δ_i untuk tingkal 2 :

$$\Delta_2 = C_d \times (\delta_{e2} - \delta_{e1}) / I \quad (4.6)$$

Dimana :

δ_{e1} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 1

δ_{e2} = Simpangan yang dihitung akibat beban gempa tingkat 2

C_d = Faktor pembesaran defleksi

I = Faktor keutamaan gedung

Berdasarkan Tabel 9 SNI 1726:2012 untuk sistem rangka bresing eksentrik diperoleh nilai $C_d = 4$ dan berdasarkan tabel2 SNI 1726:2012 diperoleh nilai $I = 1$. Batasan Simpangan antar lantai:

$$\Delta_a = 0,020 \cdot h_{sx} \quad (4.7)$$

Dimana :

h_{sx} = Tinggi tingkat dibawah tingkat x

Masing-masing tinggi tingkat pada gedung adalah 4 m. Maka Simpangan ijinnya adalah :

$$\begin{aligned} \Delta_a &= 0,020 \cdot h_{sx} \\ &= 0,020 \times 4000 \text{ mm} \\ &= 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari analisa akibat beban gempa dengan program bantu SAP 2000, diperoleh nilai Simpangan yang terjadi, kemudian dilakukan kontrol Simpangan sesuai dengan SNI 1726:2012 sebagai berikut :

Tabel 4. 12 Kontrol Simpangan antar lantai EBF *link* horizontal arah x

Lantai	Elevasi (m)	hn (m)	δe (mm)	δxe (mm)	δx (mm)	δa	Keterangan
Atap	40	4	30.619	2.1	8.5	80	ok
10	36	4	28.506	2.8	11.3	80	ok
9	32	4	25.693	3.4	13.4	80	ok
8	28	4	22.333	3.7	14.7	80	ok
7	24	4	18.667	3.9	15.7	80	ok
6	20	4	14.744	3.8	15.3	80	ok
5	16	4	10.926	3.2	12.8	80	ok
4	12	4	7.722	3.1	12.5	80	ok
3	8	4	4.599	2.9	11.5	80	ok
2	4	4	1.712	1.7	6.8	80	ok
1	0	0	0	0	0		

Tabel 4. 13 Kontrol Simpangan antar lantai EBF *link* horizontal arah y

Lantai	Elevasi	hn	δe (mm)	δxe (mm)	δx (mm)	δa	Keterangan
Atap	40	4	29.4	2.1	8.2	80	ok
10	36	4	27.4	2.7	10.9	80	ok
9	32	4	24.6	3.2	12.9	80	ok
8	28	4	21.4	3.5	14.0	80	ok
7	24	4	17.9	3.7	15.0	80	ok
6	20	4	14.2	3.7	14.7	80	ok
5	16	4	10.5	3.1	12.3	80	ok
4	12	4	7.4	3.0	12.0	80	ok
3	8	4	4.4	2.8	11.0	80	ok
2	4	4	1.7	1.7	6.7	80	ok
1	0	0	0	0.00	0		

Tabel 4. 14 Kontrol Simpangan antar lantai EBF *Link* Vertikal Profil Tubular arah x

Lantai	Elevasi (m)	hn (m)	δe (mm)	δx_e (mm)	δx (mm)	δa	Keterangan
Atap	40	4	32.271	2.6	10.5	80	ok
10	36	4	29.635	3.4	13.4	80	ok
9	32	4	26.279	3.8	15.1	80	ok
8	28	4	22.499	3.8	15.2	80	ok
7	24	4	18.695	4.0	16.0	80	ok
6	20	4	14.705	3.8	15.2	80	ok
5	16	4	10.909	3.2	12.6	80	ok
4	12	4	7.753	3.1	12.2	80	ok
3	8	4	4.702	2.9	11.4	80	ok
2	4	4	1.842	1.8	7.4	80	ok
1	0	0	0	0	0		

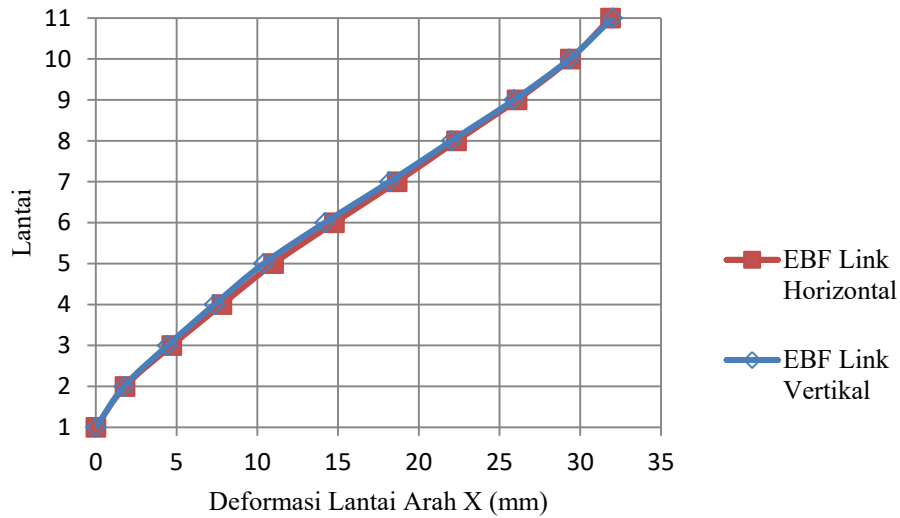
Tabel 4. 15 Kontrol Simpangan antar lantai EBF *Link* Vertikal Profil Tubular arah y

Lantai	Elevasi	hn	δe (mm)	δx_e (mm)	δx (mm)	δa	Keterangan
Atap	40	4	31.3	2.5	9.9	80	ok
10	36	4	28.8	3.1	12.5	80	ok
9	32	4	25.7	3.5	14.1	80	ok
8	28	4	22.2	3.5	14.2	80	ok
7	24	4	18.6	3.7	14.8	80	ok
6	20	4	14.9	3.6	14.4	80	ok
5	16	4	11.3	3.2	12.9	80	ok
4	12	4	8.1	3.2	12.7	80	ok
3	8	4	4.9	3.0	11.9	80	ok
2	4	4	2.0	2.0	7.8	80	ok
1	0	0	0	0.00	0		

Sehingga pada kedua pemodelan telah memenuhi syarat dalam kontrol simpangan antar lantai.

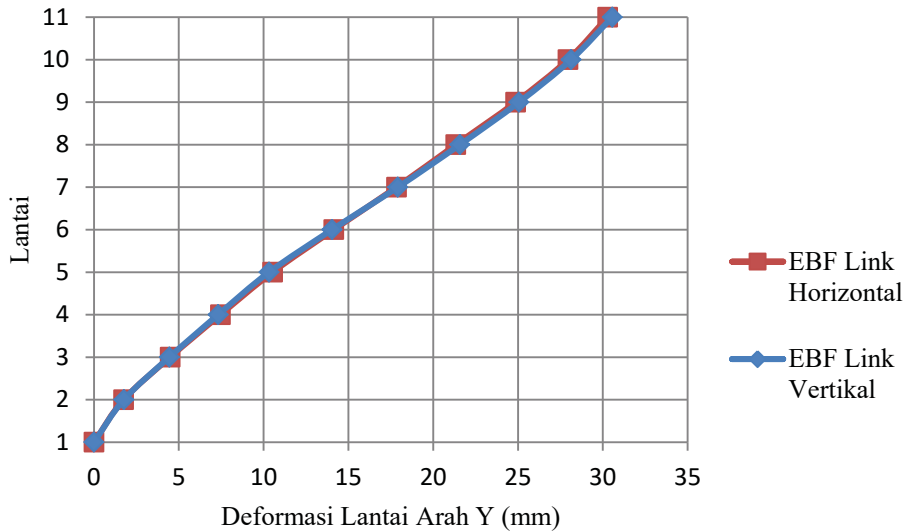
4.2.2 Analisa Kontrol Pemodelan SAP 2000

a) Perpindahan Lateral



Gambar 4. 5 Perbandingan Deformasi Lantai Arah X

Nilai deformasi lantai arah x seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5 pada rangka bresing eksentrik *link* horizontal dan rangka bresing eksentrik *link* vertikal profil tubular terlihat saling berhimpit. Sehingga dapat dikatakan deformasi lantai arah x pada kedua pemodelan hampir sama.

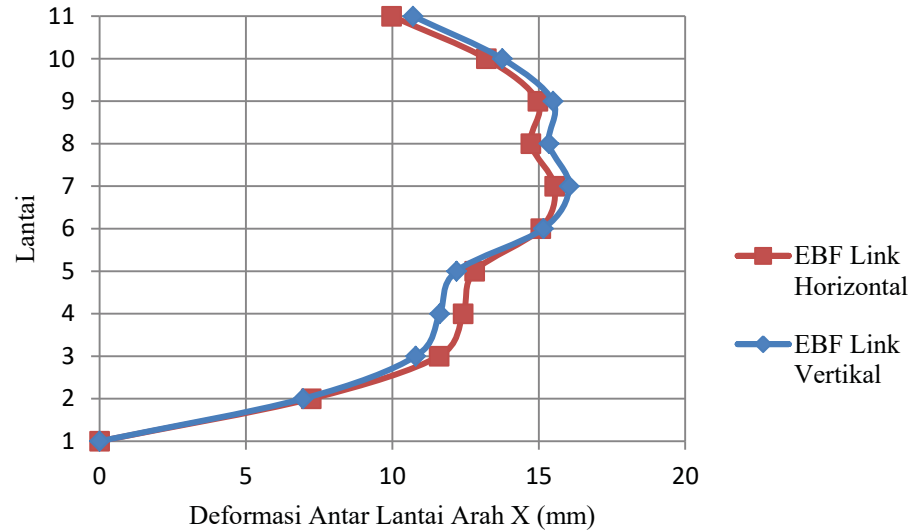


Gambar 4. 6 Perbandingan Deformasi Lantai Arah Y

Nilai deformasi lantai arah y seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6 pada rangka bresing eksentrik *link* horizontal dan rangka bresing eksentrik *link*

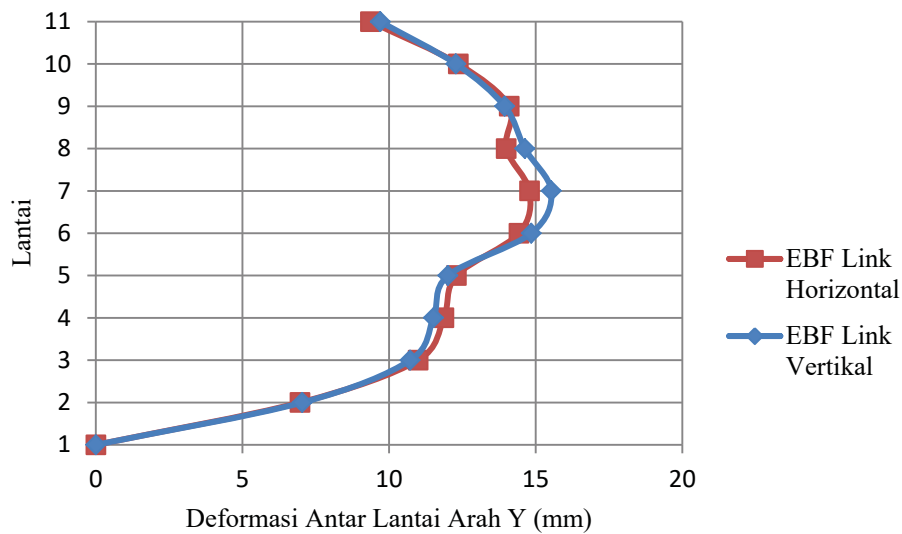
vertikal profil tubular terlihat saling berhimpit. Sehingga dapat dikatakan deformasi lantai arah y pada kedua pemodelan hampir sama.

b) Simpangan Antar Lantai



Gambar 4. 7 Perbandingan Deformasi Antar Lantai Arah X

Nilai deformasi antar lantai arah x seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7 pada rangka bresing eksentrik *link* horizontal dan rangka bresing eksentrik *link* vertikal profil tubular pada lantai 1,2, dan 6 memiliki nilai yang hampir sama. Pada lantai 3,4, dan 5 rangka bresing eksentrik memiliki nilai lebih besar. Pada lantai 7-11 rangka bresing eksentrik *link* vertikal tubular memiliki nilai lebih besar.

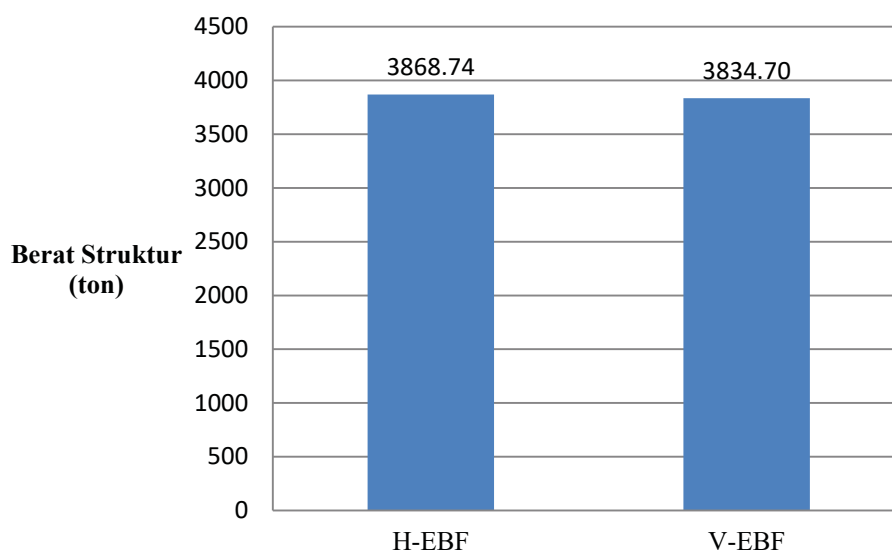


Gambar 4. 8 Perbandingan Deformasi Antar Lantai Arah Y

Nilai deformasi antar lantai arah y seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5 pada rangka bresing eksentrik *link* horizontal dan rangka bresing eksentrik *link* vertikal profil tubular 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 rangka bresing eksnetrik *link* ertikal tubular memiliki nilai lebih besar.

c) Perbandingan efisiensi / berat

Dari hasil pemodelan yang dilakukan, berat struktur pada rangka bresing eksentrik *link* horizontal sebesar 3868740.3 Kg dan berat rangka bresing eksentrik *link* vertikal profil tubular didapatkan 3834700.47 Kg

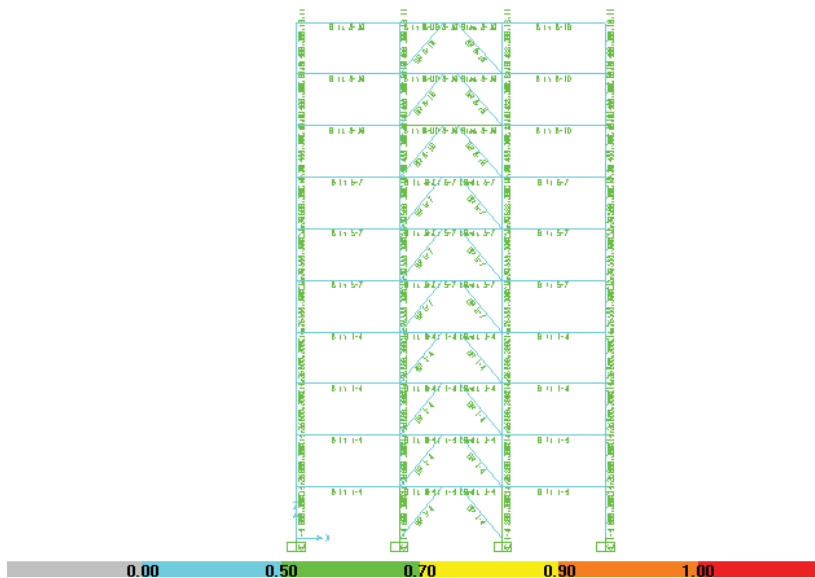


Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan Berat Struktur EBF *link* Horizontal dan EBF *link* vertikal profil tubular

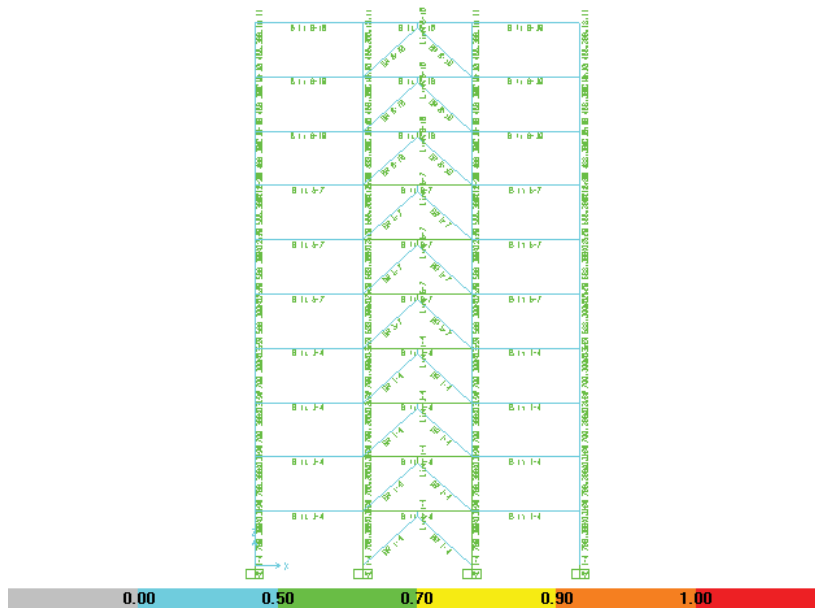
Berdasarkan hasil diatas, maka dengan denah struktur, pembebanan, dan material yang sama, EBF *Link* Vertikal Profil Tubular mempunyai berat struktur yang lebih ringan sebesar 34089,83 Kg.

4.2.3 Kontrol Penampang

Kontrol kekuatan Penampang diperlukan untuk memastikan bahwa Penampang yang digunakan telah sesuai dengan persyaratan yang ada dan kuat dalam menahan beban struktur. Untuk kontrol Penampang digunakan fitur *Steel Check Design* pada SAP 2000.



Gambar 4. 10 Hasil *Steel Check Design* EBF *Link* Horizontal



Gambar 4. 11 Hasil *Steel Check Design* EBF *Link* Vertikal Profil Tubular
 Sehingga dimensi profil baja kedua pemodelan telah kuat dalam menahan beban yang ada.

4.2.4 Analisa Kontrol Penampang

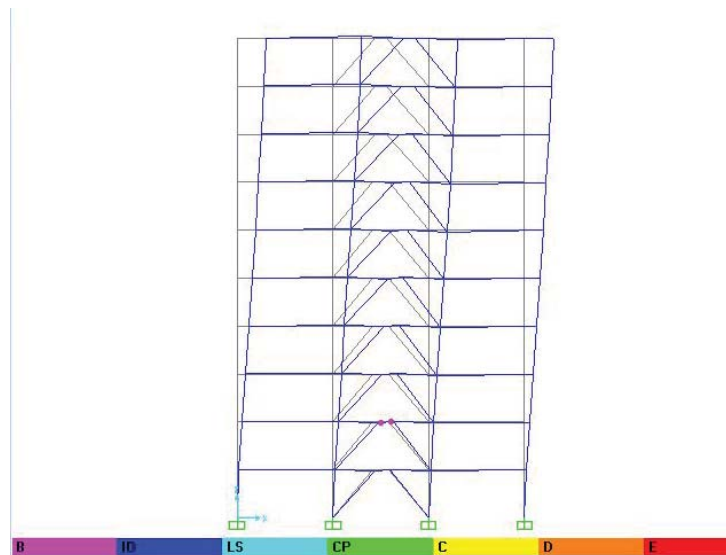
Pada masing-masing pemodelan terdapat kolom berwarna hijau pada lantai 1. Warna biru pada pemodelan menandakan bahwa profil aman

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.

4.2.5 Kontrol *Push over*

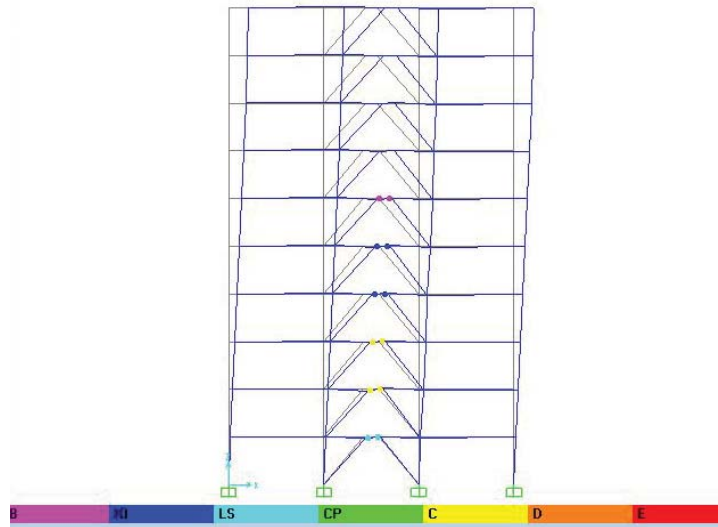
Kontrol *Push over* diperlukan untuk memastikan bahwa desain struktur yang dilakukan sesuai dengan metodologi pada tipe struktur yang digunakan. Pada struktur Rangka Bresing Eksentrik elemen *link* harus leleh terlebih dahulu.

a. Rangka Bresing Eksentrik *Link Horizontal*



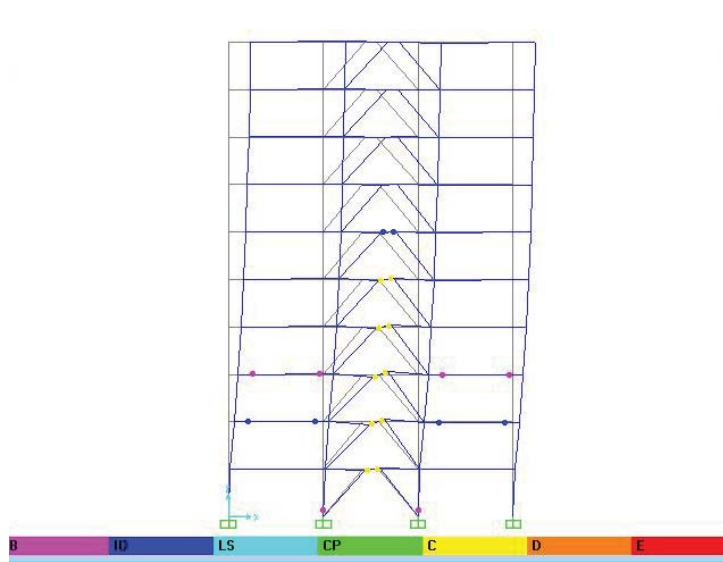
Gambar 4. 12 Analisa *Push over* Leleh Pertama EBF *Link Horizontal*

Pelehan 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 rangka bresing eksentrik horizontal telah memenuhi syarat yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu.



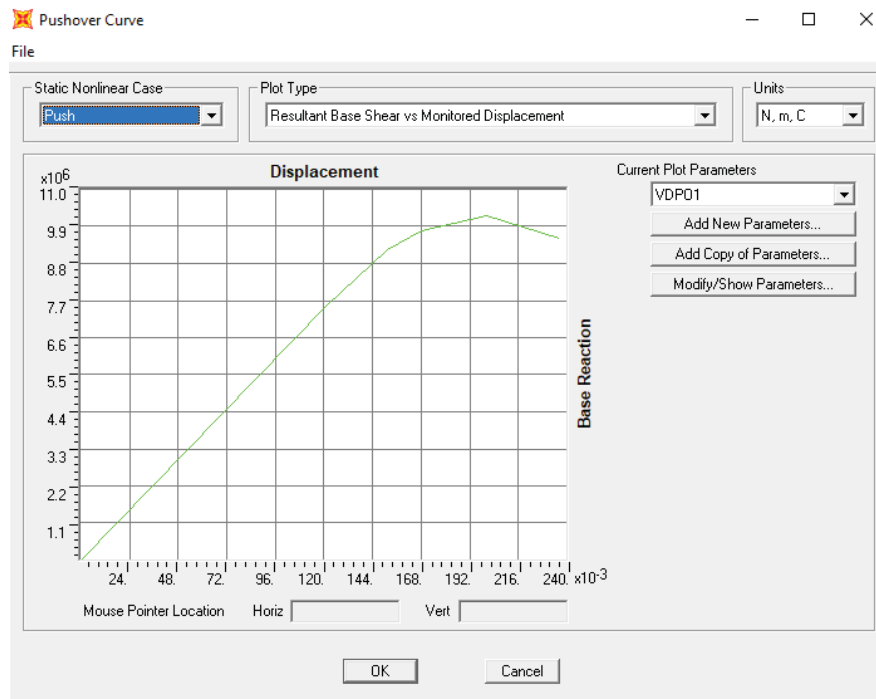
Gambar 4. 13 Analisa *Push over* Leleh *Link* Terakhir EBF *Link* Horizontal

Pelelehan pertama terjadi di elemen struktur *link* pada lantai 1-6. Simpangan pada kolom pada lantai paling atas adalah 168.3 mm. Simpangan antar lantai pada kolom yang terdapat pada *frame* yang memiliki *link* leleh di lantai 2 adalah 16.6 mm.



Gambar 4. 14 Analisa *Push over* Leleh Terakhir EBF *Link* Horizontal

Pelehan 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.

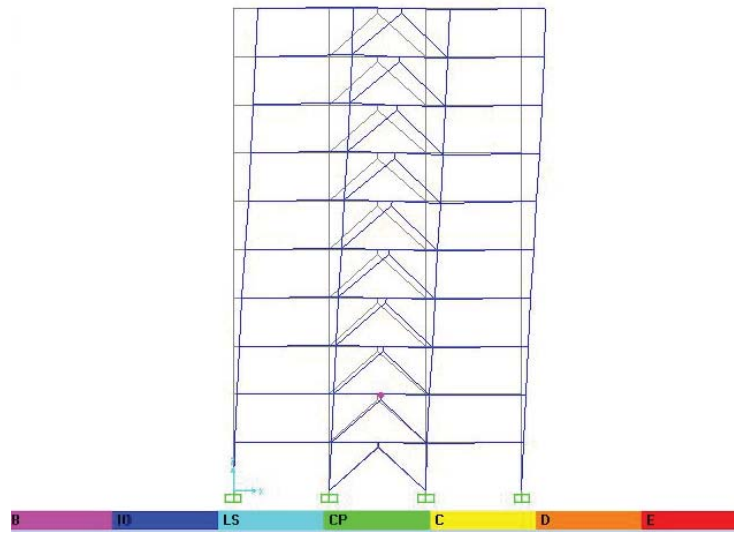


Gambar 4. 15 Grafik *Push over* Step EBF *Link* Horizontal

Tabel 4. 16 Nilai *Push over Curve* EBF *link* Vertikal Profil Tubular

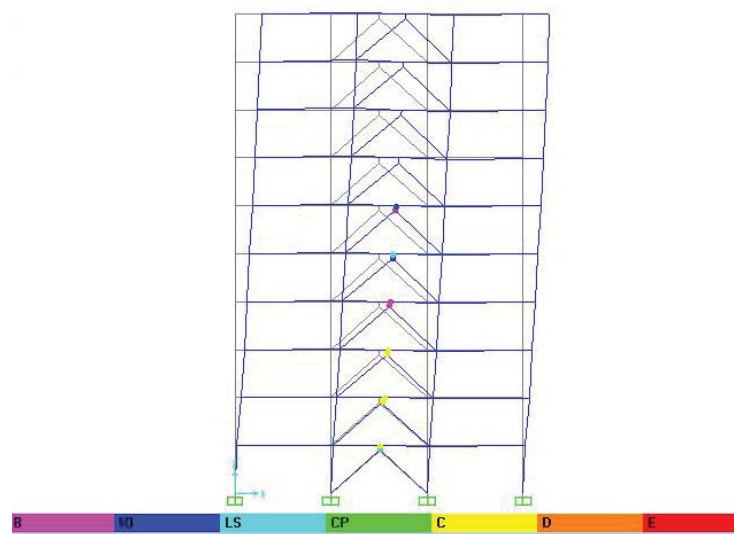
TABLE: Pushover Curve		
Step	Displacement mm	BaseForce N
0	0	0
1	121.012947	7538671
2	151.266403	9192104
3	168.339609	9785781
4	200.006855	10207604
5	201.97382	10204089
6	214.30373	10084892
7	220.711919	9991929
8	236.37484	9543826

a. Rangka Bresing Eksentrik *Link* Vertikal



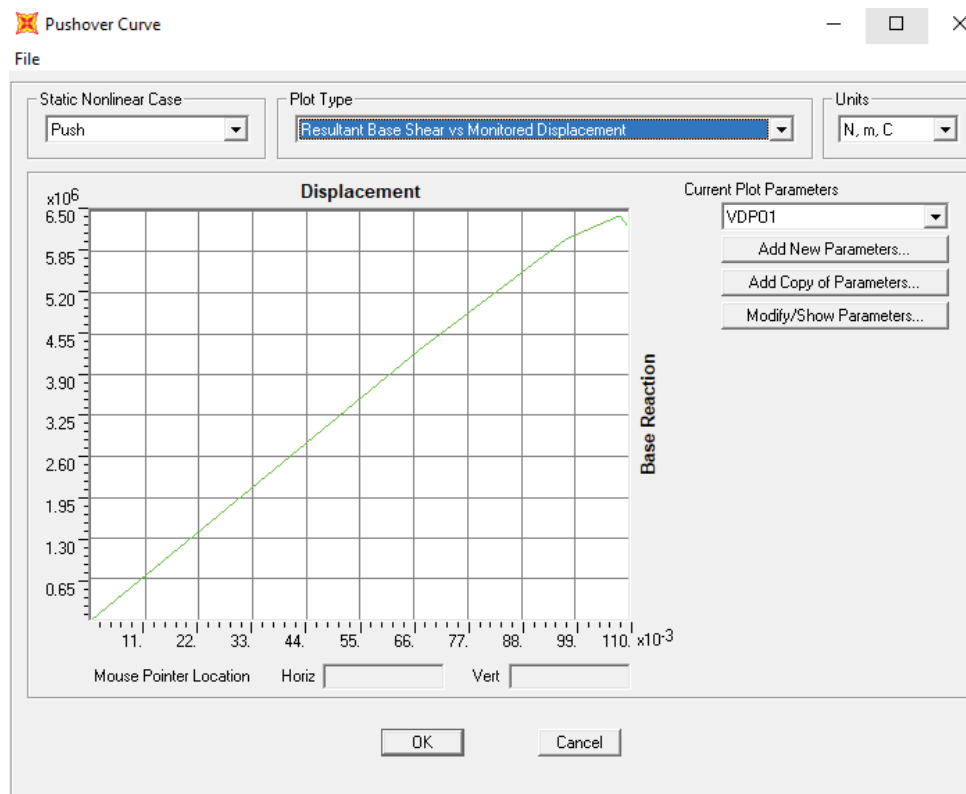
Gambar 4. 16 Analisa *Push over* Leleh Pertama EBF *Link* Vertikal Profil Tubular

Pelehan 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.



Gambar 4. 17 Hasil Analisa *Push over* Step Terakhir EBF *Link* Vertikal Profil Tubular

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 rangka bresing eksentrik *link* vertikal profil tubular terbentuknya sendi plastis hanya terjadi pada *link*. Untuk elemen struktur lainnya tidak terbentuk sendi plastis.



Gambar 4. 18 Grafik *Push over* Step EBF *Link* Vertikal Profil Tubular

Tabel 4. 17 Nilai *Push over* Curve EBF *link* Vertikal Profil Tubular

TABLE: Pushover Curve		
Step	Displacement mm	BaseForce N
0	0	0
1	66.920953	4278500.23
2	97.207456	6049160.53
3	107.725125	6406619.49
4	108.383006	6409353.89
5	108.946119	6398396.5
6	109.827652	6250416.78

4.2.6 Analisa Kontrol *Push over*

EBF *Link* Horizontal memiliki nilai daktilitas lebih tinggi daripada EBF *Link* Vertikal Profil Tubular seperti ditunjukkan pada Tabel 4.18 dengan selisih 15.97%. Dengan data pada Tabel 4.18 , perpindahan awal leleh dan saat *ultimate* EBF *link* horizontal memiliki nilai lebih besar daripada EBF *Link* Vertikal Profil Tubular, sehingga EBF *Link* Vertikal Profil Tubular memiliki kekakuan lebih besar daripada EBF *Link* Horizontal.

Tabel 4. 18 Perbandingan Nilai Daktilitas EBF *Link* Horizontal dan *Link* Vertikal Profil Tubular

No	Rangka	Δ Awal Leleh (mm)	Δ Leleh Terakhir (mm)	Daktilitas Δ	Selisih (%)
1	EBF <i>Link</i> Horizontal	121.03	236.38	1.953	15.97
2	EBF <i>Link</i> Vertikal Profil Tubular	66.92	109.83	1.641	

Pola Keruntuhan pada EBF *Link* Vertikal Profil Tubular tidak menyebabkan struktur lainnya leleh. Sehingga EBF *Link* Vertikal Profil Tubular lebih mencegah kerusakan pada struktur lain. Sehingga lebih dimungkinkan saat melakukan rehabilitasi struktur setelah gempa terjadi.

EBF *Link* Horizontal memiliki nilai *base shear* lebih besar daripada EBF *Link* Vertikal Profil Tubular sebesar 34.51% .

4.3 Pemodelan Portal Rangka Bresing Eksentrik dengan Abaqus

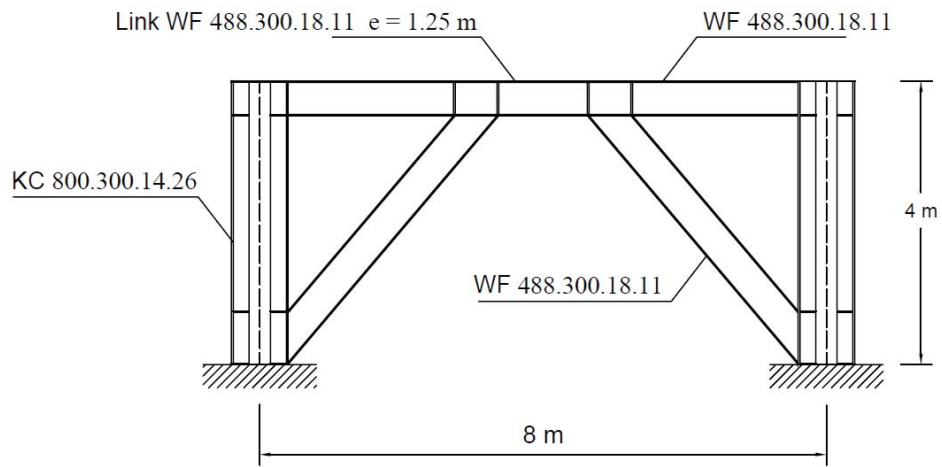
Setelah mekanisme runtuh secara global pada pemodelan struktur sesuai dengan metodologi desain, maka dilakukan pemodelan mikro dengan *software* Abaqus. Pada pemodelan Abaqus akan dimodelkan satu *frame* yang memiliki dimensi sama seperti pemodelan SAP 2000 pada lantai 1-4 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.19. Pemodelan Abaqus awal yaitu membandingkan perilaku pada EBF *Link* Horizontal dan EBF *Link* Vertikal Profil Tubular.

Tabel 4. 19 Profil Rangka Bresing Eksentrik Pemodelan Abaqus

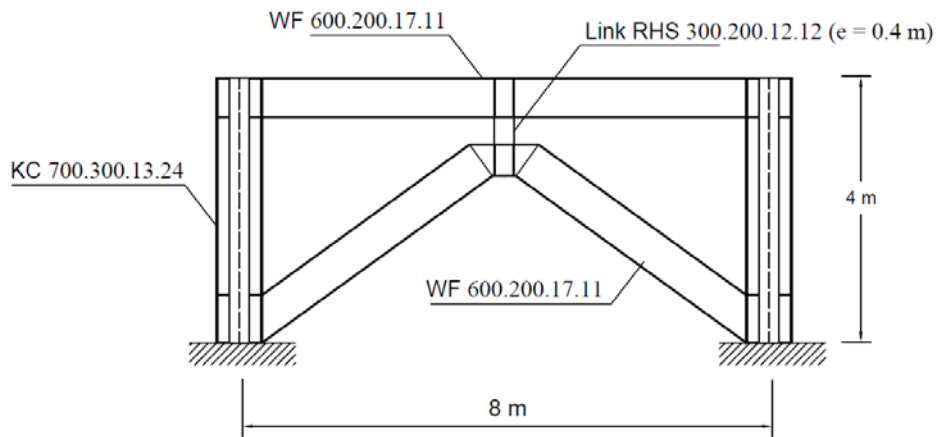
Kode	Jenis EBF	Kolom	Balok	Bresing	Link
H-EBF	EBF <i>Link</i>	KC	WF	WF	WF
	Horizontal	800.300.14.26	488.300.18.11	488.300.18.11	488.300.18.11 (e = 1.25 m)
V-EBF1	EBF <i>Link</i>	KC	WF	WF	RHS
	Vertikal	700.300.13.24	600.200.17.11	600.200.17.11	300.200.12.12 (e = 0.4 m)
V-EBF2	EBF <i>Link</i>	KC	WF	WF	RHS
	Vertikal	700.300.13.24	600.200.17.11	600.200.17.11	300.200.12.12 (e = 0.3 m)
V-EBF3	EBF <i>Link</i>	KC	WF	WF	RHS
	Vertikal dengan stiffener	700.300.13.24	600.200.17.11	600.200.17.11	300.200.12.12 (e = 0.4 m)

Keterangan:

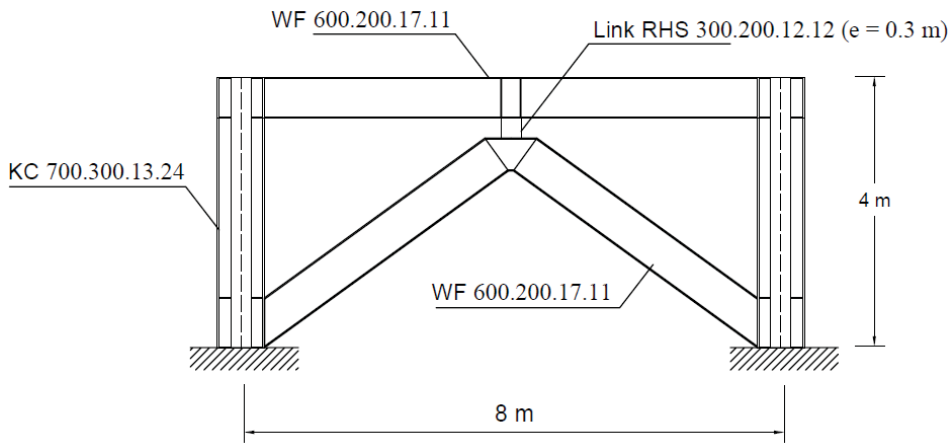
- EBF = *Eccentrically Braced Frame*
- H = Horizontal
- V = vertikal



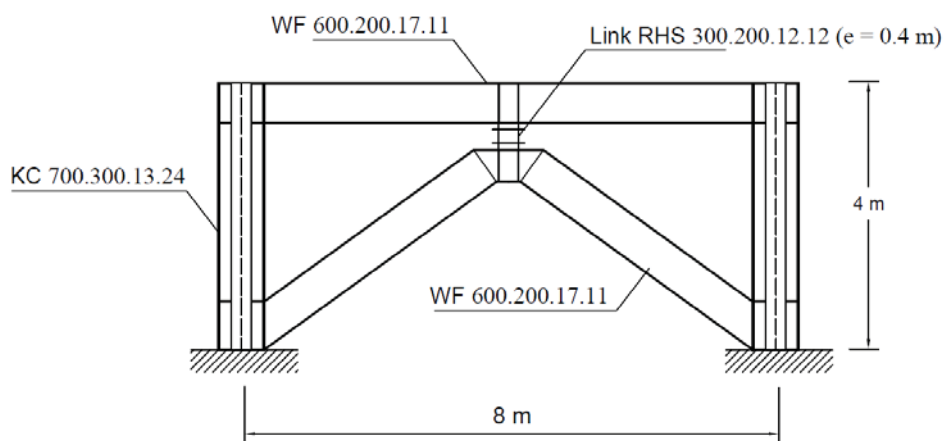
Gambar 4. 19 *Frame EBF Link Horizontal Untuk Pemodelan Abaqus*



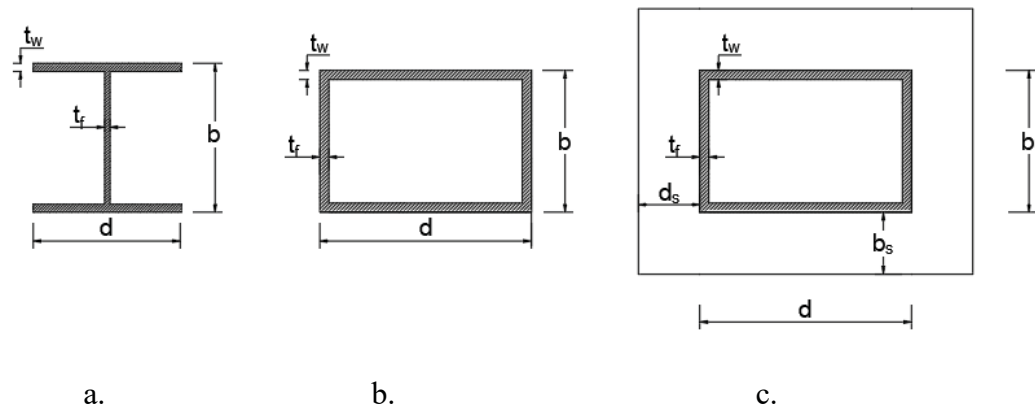
Gambar 4. 20 *Frame EBF Link Vertikal Profil Tubular V-EBF 1*



Gambar 4. 21 *Frame EBF Link Vertikal Profil Tubular V-EBF 2*



Gambar 4. 22 *Frame EBF Link Vertikal Profil Tubular V-EBF 3*



Gambar 4. 23 Tipe Penampang *Link* (a) H-EBF , (b) V-EBF 1 dan V-EBF 2, (c) V-EBF 3

Penampang *Link* pada spesimen H-EBF mengikuti penampang dari balok yaitu dengan profi *Wideflange*. Penampang V-EBF menggunakan profil tubular berbentuk persegi.

Tabel 4. 20 Detail Penampang *Link* Spesimen Abaqus

	Potongan Melintang Penampang			
	H-EBF	V-EBF 1	V-EBF 2	V-EBF 3
d (mm)	488	300	300	300
b (mm)	300	200	200	200
t_f (mm)	18	12	12	12
t_w (mm)	11	12	12	12
f_y (MPa)	250	250	250	250
f_u (MPa)	410	410	410	410
d_s (mm)				88
b_s (mm)				88

Keterangan:

d = Tinggi Profil

b = Lebar Profil

t_f = Tebal sayap

t_w = tebal badan

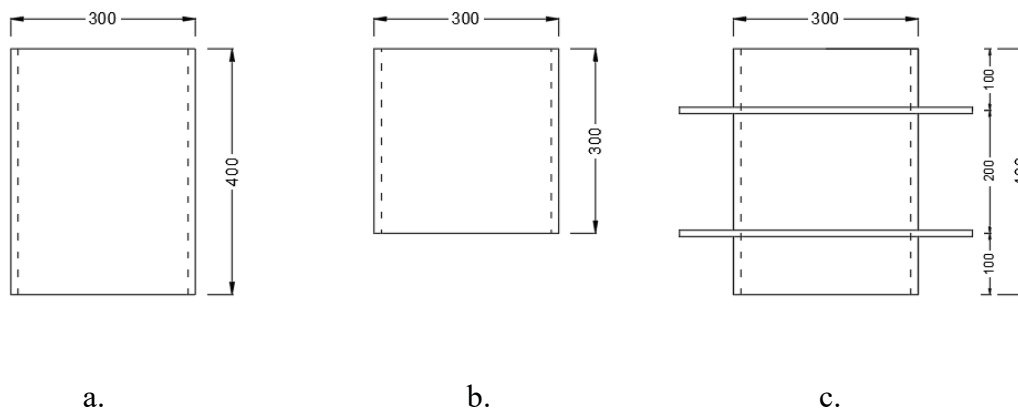
f_y = Kuat Leleh

f_u = Kuat Runtuh

d_s = Tinggi Pengaku

b_s = Lebar Pengaku

Tebal Pengaku = 10 mm

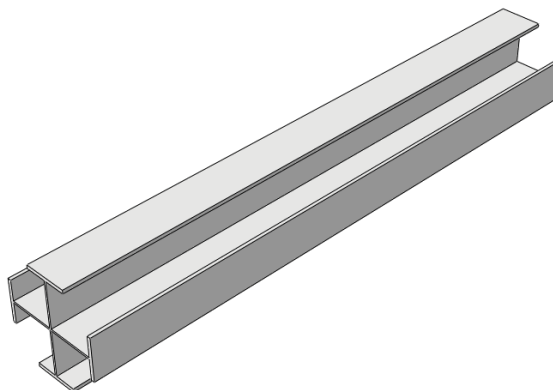


Gambar 4. 24 Tampak depan spesimen (a) V-EBF 1, (b) V-EBF 2, (c) V-EBF 3

Pada pemodelan Abaqus diperlukan penyesuaian terhadap beberapa *input* 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. Sebelum menjadi sebuah portal, maka perlu dilakukan pemodelan *part* terlebih dahulu. Pemodelan *part* terdiri dari pemodelan kolom, balok, bresing, dan *link*. Pada pemodelan bagian *part* menggunakan tipe 3D *modeling space*. Tipe *part* menggunakan tipe *deformable*, selanjutnya *base feature* menggunakan tipe *solid extrusion*. Pembuatan penampang menggunakan tipe *create lines : connected*.



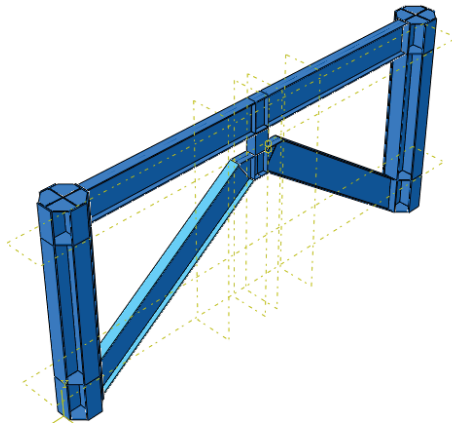
Gambar 4. 25 Kolom baja pada modul *part*

2. *Material properties*

Material yang digunakan adalah BJ 41 dengan $f_y = 250$ MPa dan $f_u = 410$ MPa. Penentuan kondisi *link* telah leleh yaitu saat *increment* terakhir saat kondisi tegangan *S. Mises* bernilai 250 MPa hanya pada *link*. Penentuan kondisi *link* telah runtuh yaitu pada *increment* terakhir saat kondisi tegangan *S. Mises* bernilai 410 MPa hanya pada *link*.

3. *Assembly*

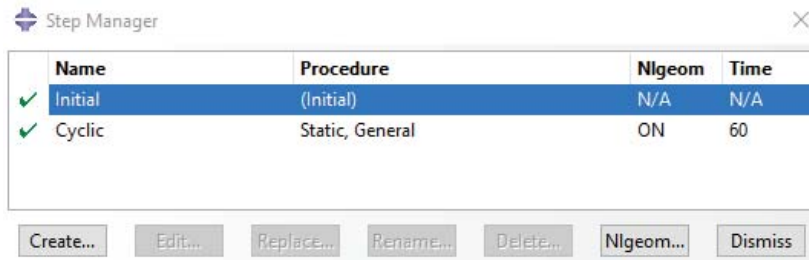
Pada modul ini dilakukan penyatuan dari *part* yang telah dimodelkan pada modul sebelumnya. Balok, kolom, bresing, dan *link* akan disatukan pada modul ini.



Gambar 4. 26 Contoh modul *Assembly* pada salah satu spesimen

4. *Step*

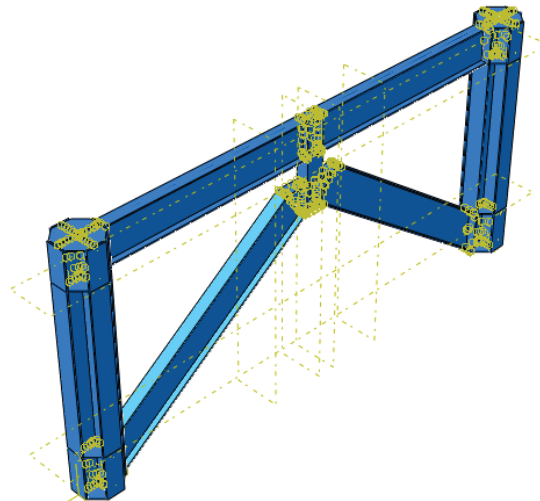
Pada modul *step* terdapat dua step yaitu *initial* dan *cyclic*. *Step initial* adalah kondisi pemodelan sebelum diberi pembebanan siklik. *Step cyclic* adalah kondisi saat pemodelan dilakukan beban siklik. Pada *step cyclic* dilakukan beberapa penyesuaian yaitu untuk *procedure* menggunakan *static general* dan *NIgeom* pada posisi *On*. Tipe *incrementation* menggunakan tipe *automatic*.



Gambar 4. 27 Modul *step* pada seluruh pemodelan spesimen

5. *Interaction*

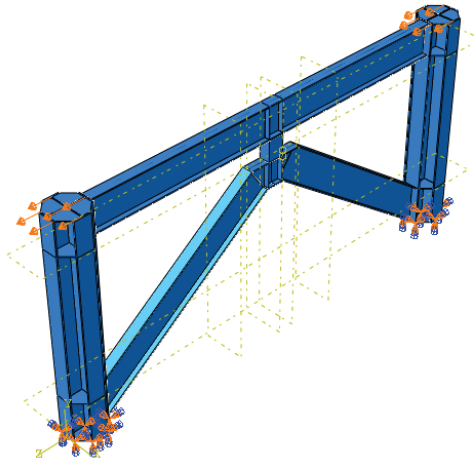
Interaksi antar elemen pemodelan menggunakan tipe *tie constraint*. Letak dari interaksi terdapat seperti pada gambar 4.28. Penggunaan tipe ini karena interaksi antar *part* dianggap menempel sempurna.



Gambar 4. 28 Modul *Interaction* pada salah satu spesimen

6. *Loading*

Pada modul ini pembebanan diletakkan pada *boundary condition* (BC) yang terletak di atas ujung kolom. Pada kedua kolom bagian atas menggunakan BC tipe *displacement* dengan nilai 1. Kemudian BC tersebut diberikan *amplitude* sesuai dengan *Loading protocol*. Pada dasar kolom diberikan BC *encastre*. Fungsi BC pada dasar kolom yaitu mengikat seperti jepit pada dasar kolom pada umumnya. Penentuan BC tersebut seperti digambarkan pada gambar 4.29.



Gambar 4. 29 Boundary Condition pada salah satu spesimen

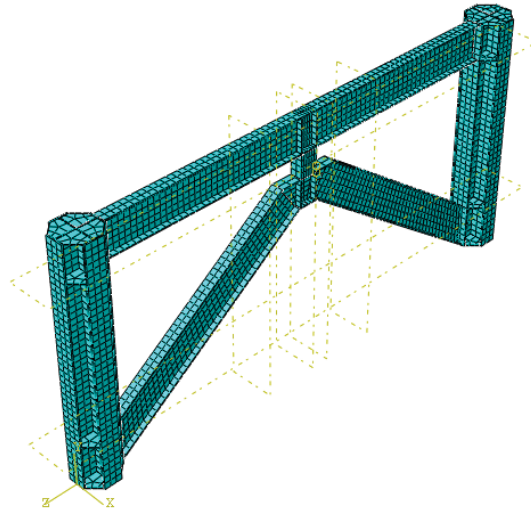
Loading AISC 2010 *Seismic Provision* digunakan pada pemodelan EBF *Link* Horizontal dan EBF *Link* Vertikal Profil Tubular seperti ditunjukkan pada Tabel 4.21

Tabel 4. 21 *Loading protocol* pada pemodelan mikro

<i>No.</i>	<i>Displacement (mm)</i>				<i>Cyclic Number</i>
	<i>Rotation (Rad)</i>	<i>Link Horizontal (mm)</i>	<i>Link Profil Tubular (mm)</i>	<i>Vertikal</i>	
1	0.00375	15	15		6
2	0.005	20	20		6
3	0.0075	30	30		6
4	0.01	40	40		4
5	0.015	60	60		2
6	0.02	80	80		2
7	0.03	120	120		2
8	0.04	160	160		2

7. Model Meshing

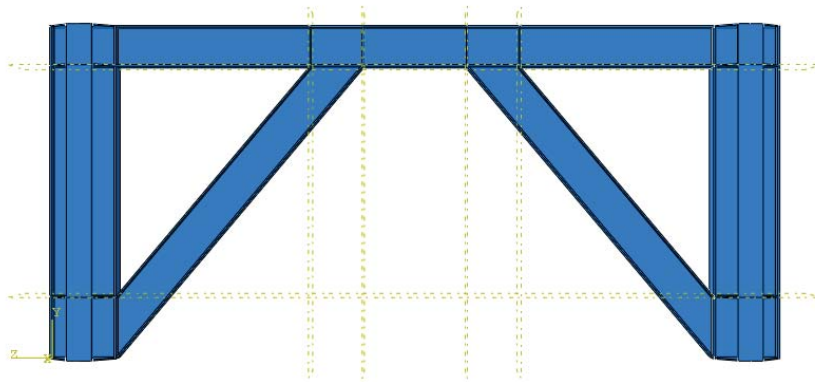
Meshing pada *frame* dimodelkan dengan tipe C3D8R. ukuran meshing sebesar 100 mm. Pembagian *meshing* menggunakan *seed part instance* dan *mesh part instance*.



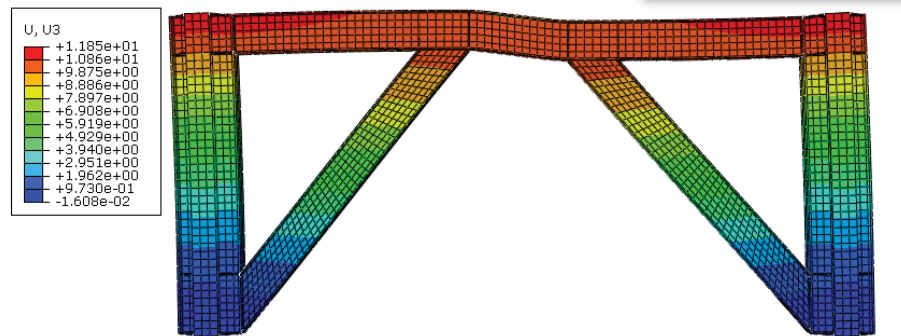
Gambar 4. 30 Contoh meshing pada spesimen

4.3.1 Pemodelan Abaqus EBF *Link* Horizontal

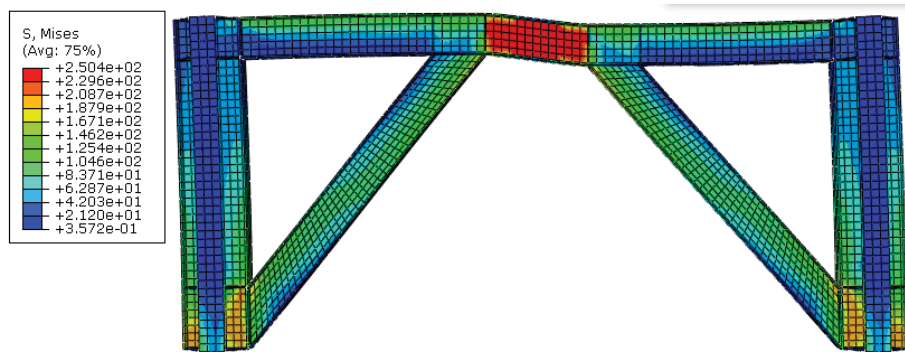
Pada pemodelan rangka bresing eksentrik *link* horizontal, menggunakan spesimen H-EBF pada Tabel 4.19. Profil spesimen H-EBF mempunyai ukuran sama dengan pemodelan SAP rangka bresing eksentrik *link* horizontal pada lantai 1-4 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.32.



Gambar 4. 31 Pemodelan spesimen H-EBF pada Abaqus

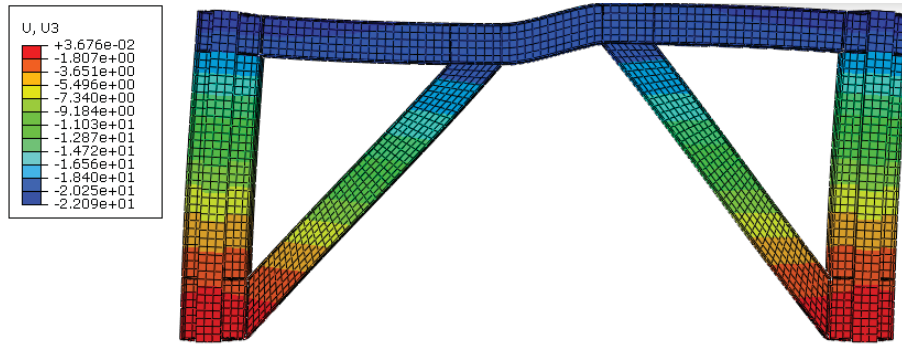


Gambar 4. 32 Perpindahan *frame* H-EBF saat *link* mencapai f_y

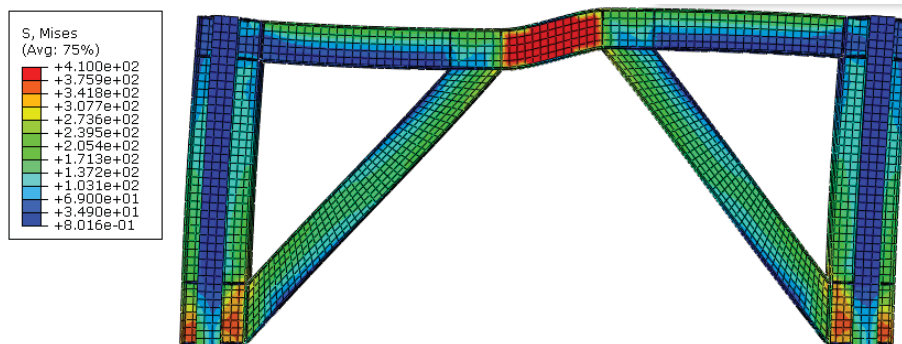


Gambar 4. 33 Tegangan pada *frame* H-EBF saat *link* mencapai f_y

Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* horizontal (H-EBF), elemen struktur *link* pada *frame* mencapai tegangan maksimum 250 MPa pada deformasi portal 11.85 mm pada bagian atas kolom seperti ditunjukkan pada Gambar 4.33. Elemen balok, kolom, dan bresing belum mengalami pelepasan dengan tegangan maksimum yang terjadi adalah 229 MPa. Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.34, 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. Setelah *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa maka dilanjutkan pembebanan sampai *link* mencapai tegangan 410 MPa. Kemudian dilanjutkan semua pembebanan berdasarkan AISC 2010 *seismic provision*



Gambar 4. 34 Perpindahan *frame* H-EBF saat *link* mencapai *fu*

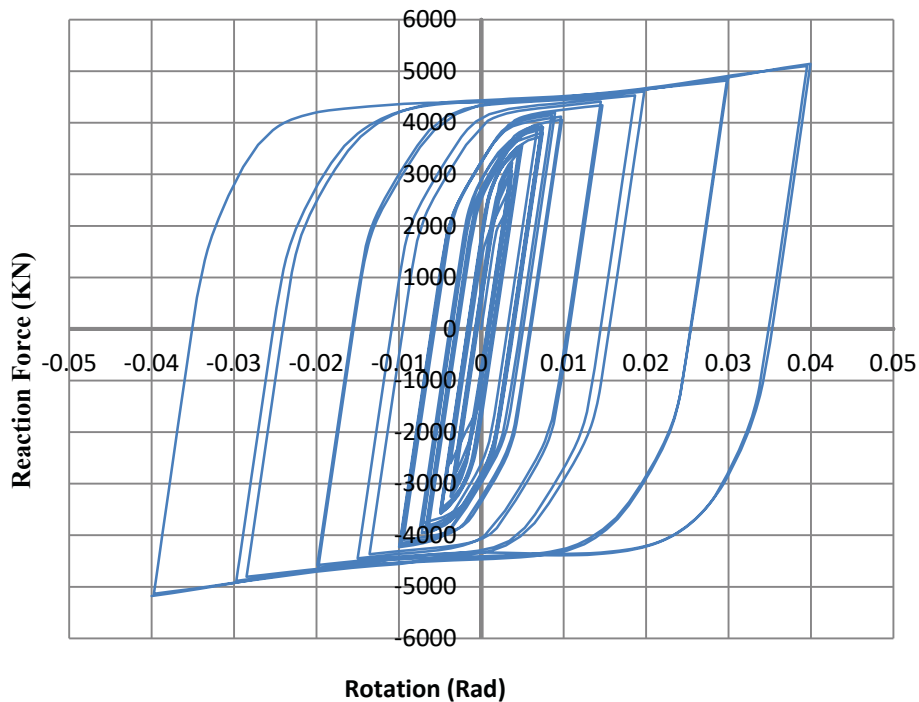


Gambar 4. 35 Tegangan pada *frame* H-EBF saat *link* mencapai *fu*

Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* horizontal (H-EBF), elemen struktur *link* pada *frame* mencapai tegangan maksimum 410 MPa pada saat deformasi portal 22.09 mm pada bagian atas kolom seperti ditunjukkan pada Gambar 4.35. Elemen balok, kolom, dan bresing belum mencapai tegangan 410 MPa dengan tegangan maksimum yang terjadi adalah 375.9 MPa. Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.36, dimana sesuai dengan *fu* material yang digunakan yaitu BJ-41. Pada pola keruntuhan spesimen H-EBF telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu tegangan 250 MPa terjadi pada *link* terlebih dahulu.

Tabel 4. 22 Deformasi *frame* H-EBF Saat *Link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan 410 MPa

Spesimen H-EBF	Deformasi <i>frame</i>	Tegangan Maksimum Pada <i>Link</i>
<i>Link</i> 250 MPa	11.85 mm	250 MPa
<i>Link</i> 410 MPa	22.09 mm	410 MPa

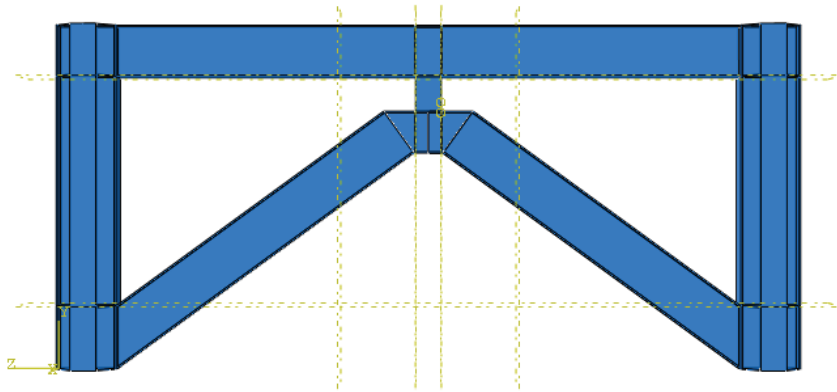


Gambar 4. 36 Kurva Histeresis *frame* EBF *Link* Horizontal (H-EBF)

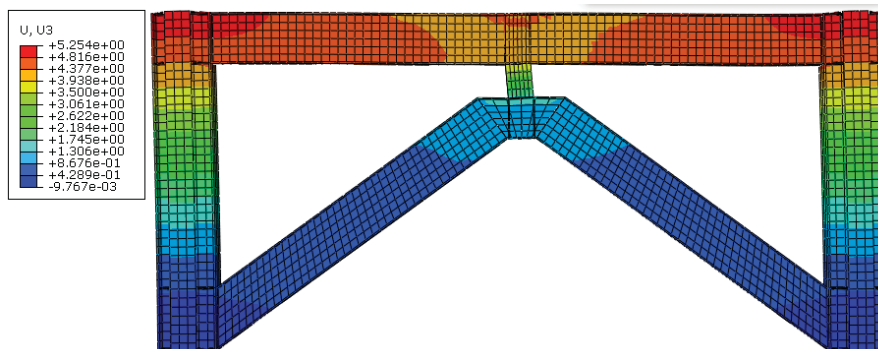
Kurva histeresis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.37 diatas didapatkan dengan mengkombinasikan nilai *reactional force* (RF) pada dasar kolom *frame* dengan nilai *displacement* pada ujung kolom atas (U) yang dikonversi menjadi rotasi. Kondisi *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa pada saat rotasi kolom bernilai 0.0029. Kondisi *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa saat rotasi kolom bernilai 0.0052. Pada perpindahan ujung atas kolom sebesar 160 mm atau rotasi sebesar 0.04 didapat reaksi dasar pada *frame* sebesar 5179.33 KN. Besar energi disipasi didapatkan dari luasan kurva histeresis pada Gambar 4.36. Energi disipasi pada spesimen H-EBF sebesar 2464.11 KNm.

4.3.2 Pemodelan Abaqus EBF *Link* Vertikal Profil Tubular (V-EBF 1)

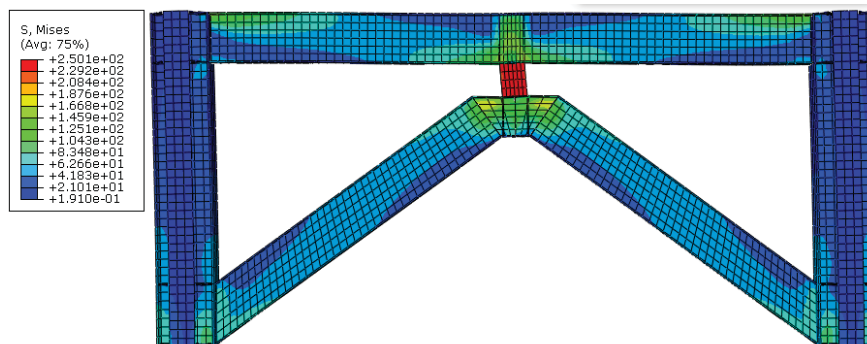
Pada pemodelan rangka bresing eksentrik *link* vertikal, menggunakan spesimen V-EBF 1 pada Tabel 4.19. Profil spesimen V-EBF 1 mempunyai ukuran sama dengan pemodelan SAP rangka bresing eksentrik *link* vertikal pada lantai 1-4. Pemodelan satu *frame* spesimen V-EBF 1 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.37



Gambar 4. 37 Pemodelan EBF *Link* Vertikal (V-EBF 1)

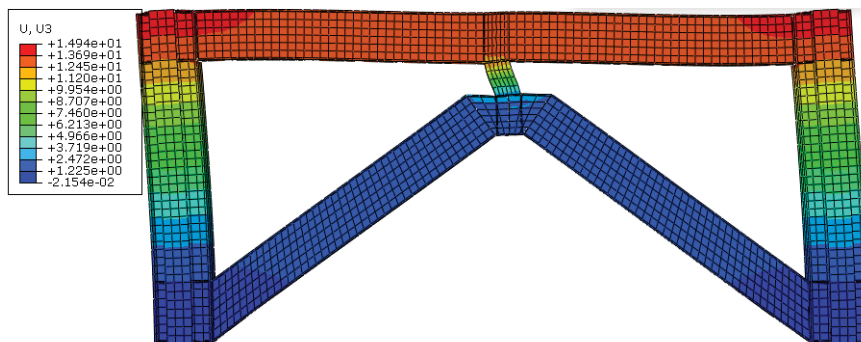


Gambar 4. 38 Perpindahan *frame* V-EBF 1 saat *link* mencapai f_y

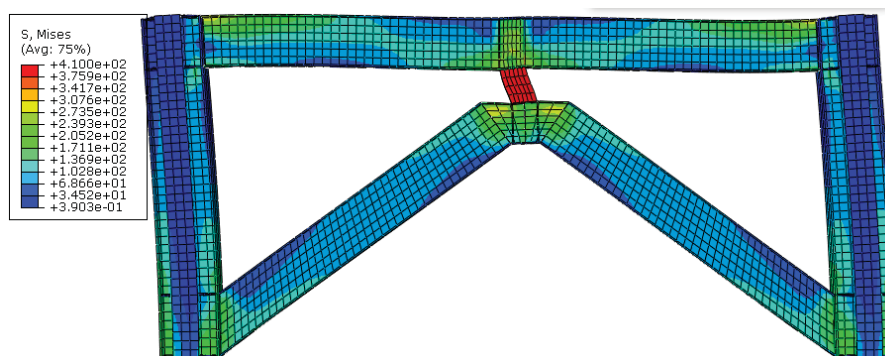


Gambar 4. 39 Tegangan *frame* V-EBF 1 saat *link* mencapai f_y

Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* vertikal (V-EBF 1), elemen struktur *link* pada *frame* telah mencapai tegangan maksimum 250 MPa pada saat deformasi portal 5.254 mm pada bagian atas kolom seperti ditunjukkan pada Gambar 4.40. Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.41, dimana sesuai dengan f_y material yang digunakan yaitu BJ-41. Elemen struktur balok, kolom, dan bresing mencapai tegangan maksimum yang terjadi adalah 229.2 MPa. Pada pola keruntuhan spesimen V-EBF 1 telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu. Setelah *link* leleh maka dilanjutkan pembebanan sampai *link* mengalami mencapai tegangan 410 MPa. Kemudian dilanjutkan sesuai *loading protocol*.



Gambar 4. 40 Perpindahan *Frame* V-EBF 1 saat *link* mencapai f_u



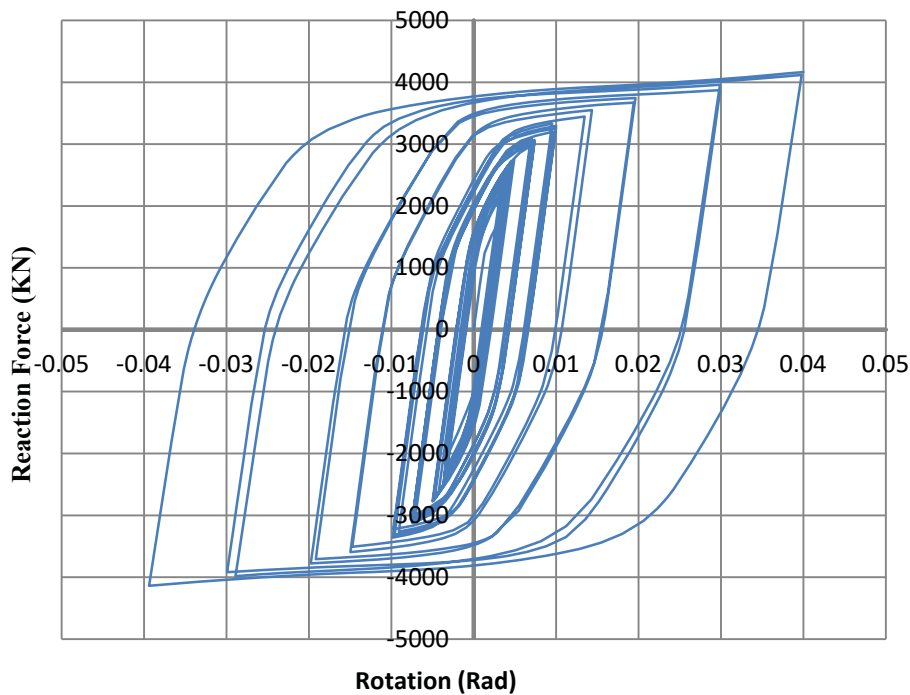
Gambar 4. 41 Tegangan *Frame* V-EBF 1 saat *link* mencapai f_u

Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* vertikal (V-EBF 1), elemen struktur *link* pada *frame* mencapai tegangan maksimum 410 MPa pada deformasi portal 14.9 mm pada bagian atas kolom seperti ditunjukkan pada Gambar 4.40.

Elemen balok, kolom, dan bresing mencapai tegangan maksimum yang terjadi adalah 341.8 MPa. Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.42, dimana sesuai dengan f_u material yang digunakan yaitu BJ-41. Pada pola keruntuhan spesimen V-EBF telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu.

Tabel 4. 23 Deformasi *frame* V-EBF 1 Saat *Link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan 410 MPa

Spesimen V-EBF 1	Deformasi <i>frame</i>	Tegangan Maksimum Pada <i>Link</i>
<i>Link</i> 250 MPa	5.254 mm	250 MPa
<i>Link</i> 410 MPa	14.9 mm	410 MPa



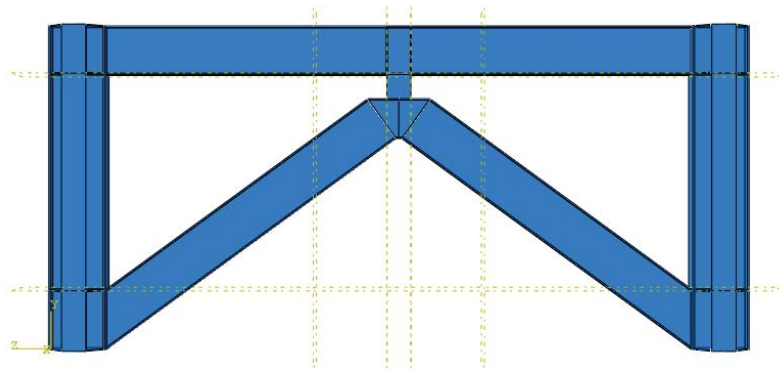
Gambar 4. 42 Kurva Histeresis pada *frame* EBF *Link* Vertikal V-EBF 1

Kurva histeresis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.42 diatas didapatkan dengan mengkombinasikan nilai *reactional 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. Pada perpindahan sebesar 160

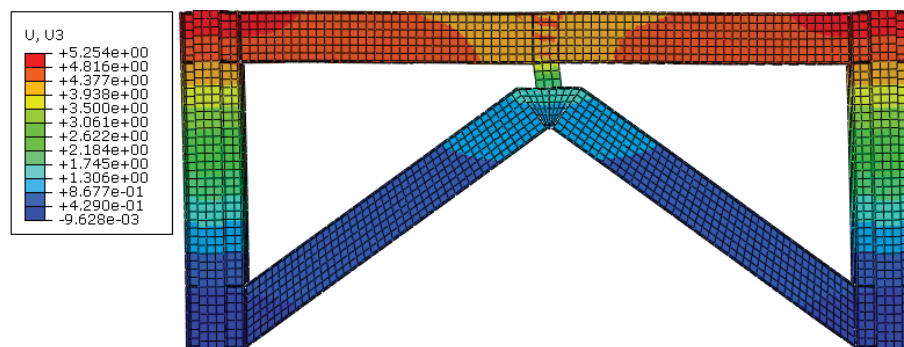
mm atau rotasi sebesar 0.04 didapat reaksi dasar pada *frame* sebesar 4165.85 KN. Besar energi disipasi didapatkan dari luasan kurva histeresis pada Gambar 4.34. Energi disipasi pada spesimen V-EBF 1 sebesar 1949.27 KNm.

4.3.3 Pemodelan Abaqus EBF Vertikal Profil Tubular e = 1.2Mp/Vp (V-EBF2)

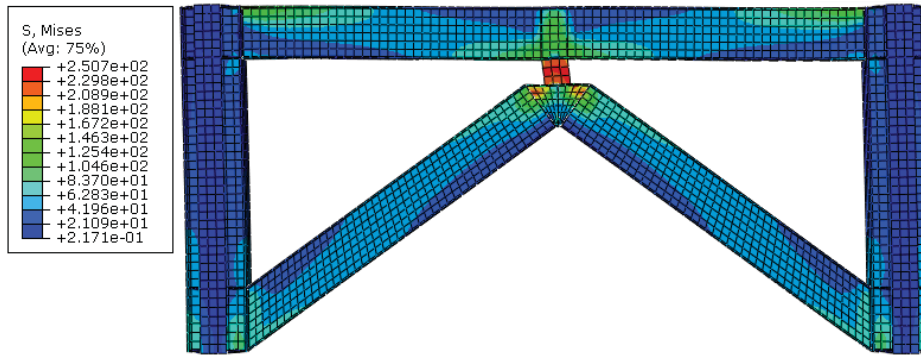
Pada pemodelan rangka bresing eksentrik *link* vertikal, menggunakan spesimen V-EBF 2 pada Tabel 4.19. Profil spesimen V-EBF 2 mempunyai ukuran sama dengan pemodelan SAP rangka bresing eksentrik *link* vertikal pada lantai 1-4. Perbedaan dengan V-EBF 1 adalah pada panjang *link* spesimen V-EBF 2 menggunakan perumusan $e = 1.2 M_p/V_p$. Pemodelan spesimen V-EBF 2 pada abaqus seperti ditunjukkan pada Gambar 4.43



Gambar 4. 43 Pemodelan *frame* spesimen V-EBF 2 pada Abaqus

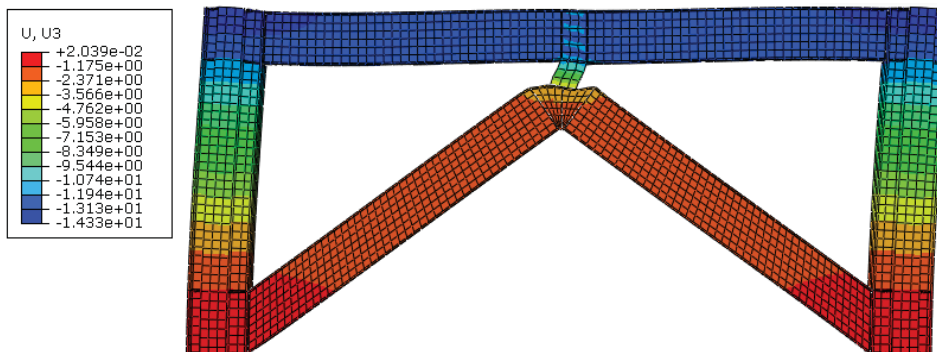


Gambar 4. 44 Perpindahan *frame* V-EBF 2 saat *link* mencapai f_y

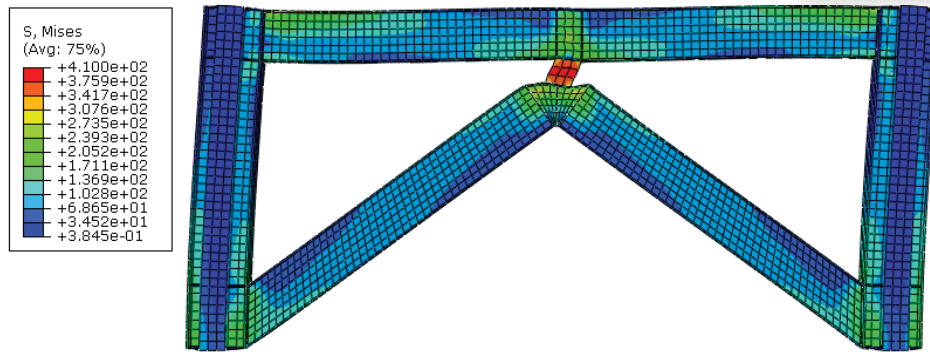


Gambar 4. 45 Tegangan *frame* V-EBF 2 saat *link* mencapai f_y

Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* vertikal (V-EBF 2), elemen struktur *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa deformasi portal 5.25 mm pada bagian atas kolom seperti ditunjukkan pada Gambar 4.44. Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.45, dimana sesuai dengan f_y material yang digunakan yaitu BJ-41. Elemen struktur balok, kolom, dan bresing mengalami tegangan maksimum yang terjadi adalah 229.8 MPa. Pada pola keruntuhan spesimen V-EBF 2 telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu.



Gambar 4. 46 Perpindahan *frame* V-EBF 2 saat *link* mencapai f_u

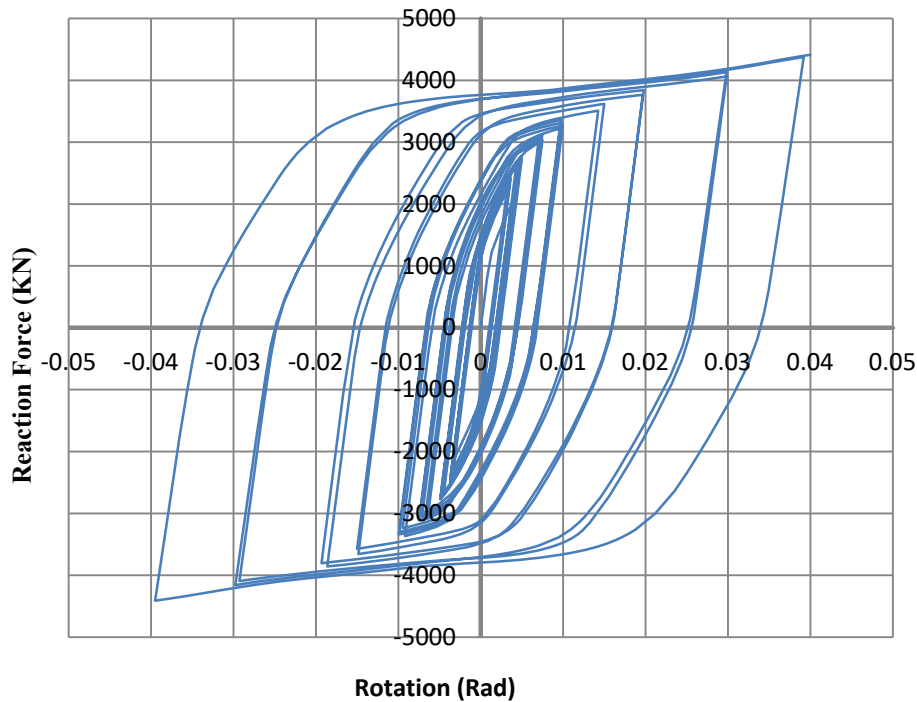


Gambar 4. 47 Tegangan *frame* V-EBF 2 saat *link* mencapai *fu*

Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* vertikal (V-EBF 2), elemen struktur *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa deformasi portal 14.3 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4.46 pada bagian atas kolom. Elemen balok, kolom, dan bresing mengalami tegangan maksimum 341 MPa. Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa, dimana sesuai dengan *fu* material yang digunakan yaitu BJ-41 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.48. Pada pola keruntuhan spesimen H-EBF telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu.

Tabel 4. 24 Deformasi *frame* V-EBF 2 saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan 410 MPa

Spesimen V-EBF 2	Deformasi <i>frame</i>	Tegangan Maksimum Pada <i>Link</i>
<i>Link</i> 250 MPa	5.25 mm	250 MPa
<i>Link</i> 410 MPa	14.3 mm	410 MPa

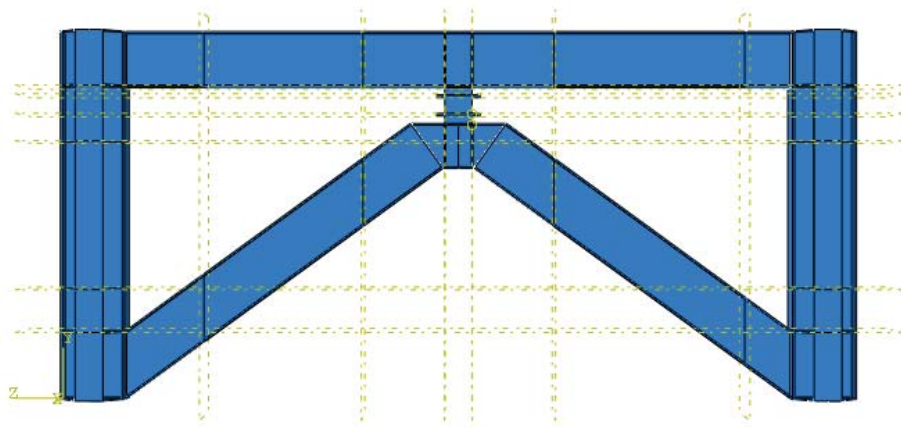


Gambar 4. 48 Kurva Histeresis EBF *Link* Vertikal V-EBF 2

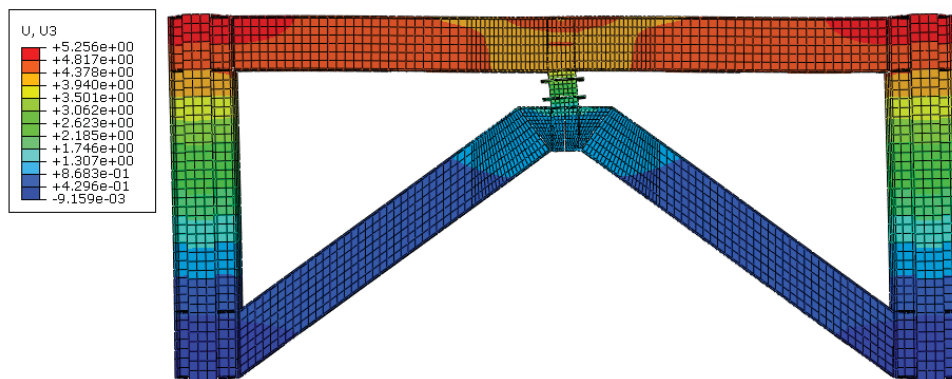
Kurva histeresis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.49 diatas didapatkan dengan mengkombinasikan nilai *reactional force* (RF) pada dasar kolom *frame* dengan nilai displacement pada ujung kolom atas (U). Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa saat rotasi kolom sebesar 0.00131 dan mengalami tegangan maksimum 410 MPa saat rotasi 0.00357. Pada perpindahan sebesar 160 mm atau rotasi sebesar 0.04 didapat reaksi dasar pada *frame* sebesar 4411.66 KN. Besar energi disipasi didapatkan dari luasan kurva histeresis pada Gambar 4.40. Energi disipasi pada spesimen V-EBF 2 sebesar 1962.52 KNm.

4.3.4 Pemodelan Abaqus EBF *Link* Vertikal Profil Tubular dengan Stiffener (V-EBF 3)

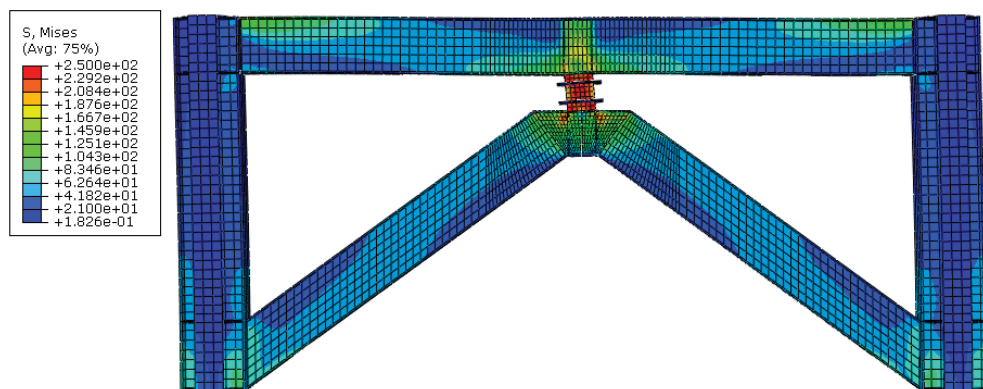
Pada pemodelan rangka bresing eksentrik *link* vertikal, menggunakan spesimen V-EBF 3 pada Tabel 4.19. Profil spesimen V-EBF 3 mempunyai ukuran sama dengan pemodelan SAP rangka bresing eksentrik *link* vertikal pada lantai 1-4. Perbedaan dengan V-EBF 1 adalah pada panjang *link* spesimen V-EBF 3 menggunakan pengaku pada *link*. Pemodelan V-EBF 3 pada abaqus seperti ditunjukkan pada Gambar 4.49



Gambar 4. 49 Pemodelan spesimen V-EBF 3 pada Abaqus



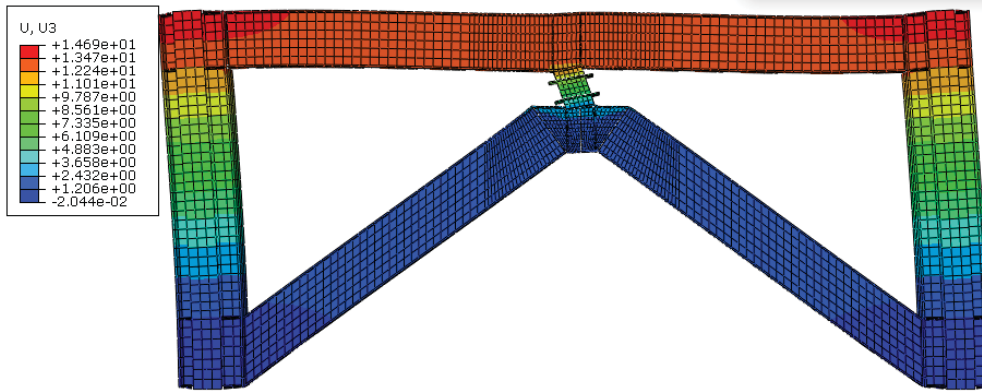
Gambar 4. 50 Perpindahan *Frame* V-EBF 3 saat *link* mencapai f_y



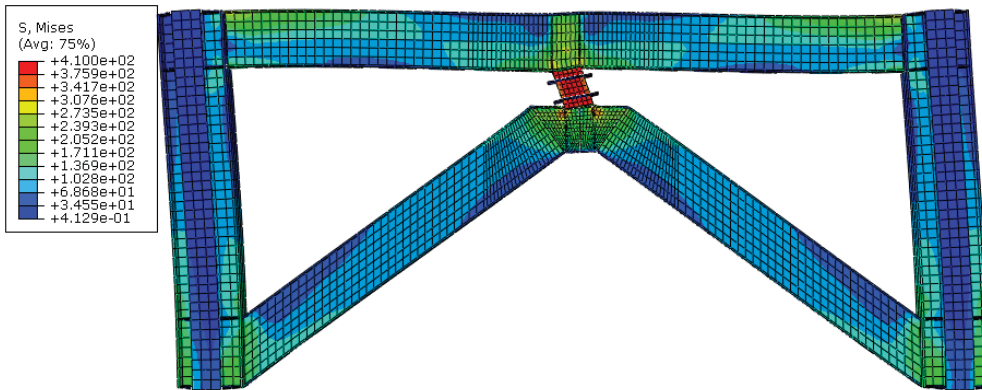
Gambar 4. 51 Tegangan *Frame* V-EBF 3 saat *link* mencapai f_y

Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* vertikal (V-EBF 3), elemen struktur *link* mengalami tegangan maksimum 250 MPa pada deformasi portal 5.256 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4.50 pada bagian atas kolom. Elemen *link* mencapai tegangan 250 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.51, dimana

sesuai dengan f_y material yang digunakan yaitu BJ-41. Elemen struktur balok, kolom, dan bresing mencapai tegangan maksimum yang terjadi adalah 229.2 MPa. Pada pola keruntuhan spesimen V-EBF 2 telah sesuai dengan metodologi desain rangka bresing eksentrik, yaitu leleh pada *link* terlebih dahulu.



Gambar 4. 52 Perpindahan *Frame* V-EBF 3 saat *link* mencapai f_u

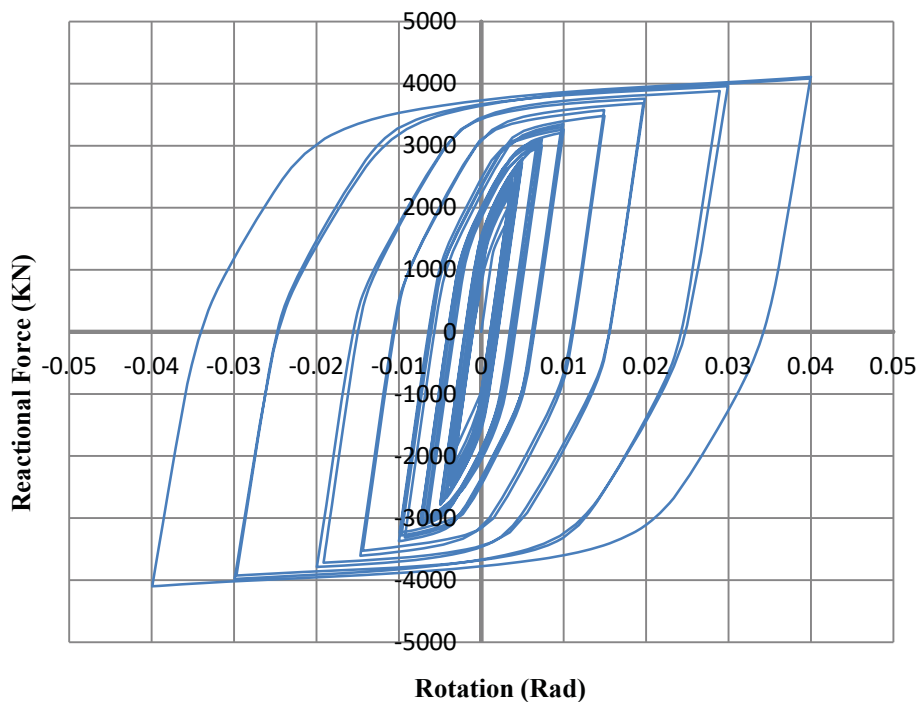


Gambar 4. 53 Tegangan *Frame* V-EBF 3 saat *link* mencapai f_u

Pada spesimen rangka bresing eksentrik *link* vertikal (V-EBF 3), elemen struktur pada *frame* runtuh pada *link* pada deformasi portal 14.69 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 4.53 pada bagian atas kolom. Elemen balok, kolom, dan bresing belum mengalami keruntuhan dengan tegangan maksimum yang terjadi adalah 375 MPa. Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa seperti ditunjukkan pada Gambar 4.53, dimana sesuai dengan f_u 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.

Tabel 4. 25 Deformasi *frame* V-EBF 3 Saat *Link* Mencapai Tegangan Maksimum 250 MPa dan 410 MPa

Spesimen V-EBF 3	Deformasi <i>frame</i>	Tegangan Maksimum Pada <i>Link</i>
<i>Link</i> 250 MPa	5.256 mm	250 MPa
<i>Link</i> 410 MPa	14.69 mm	410 MPa



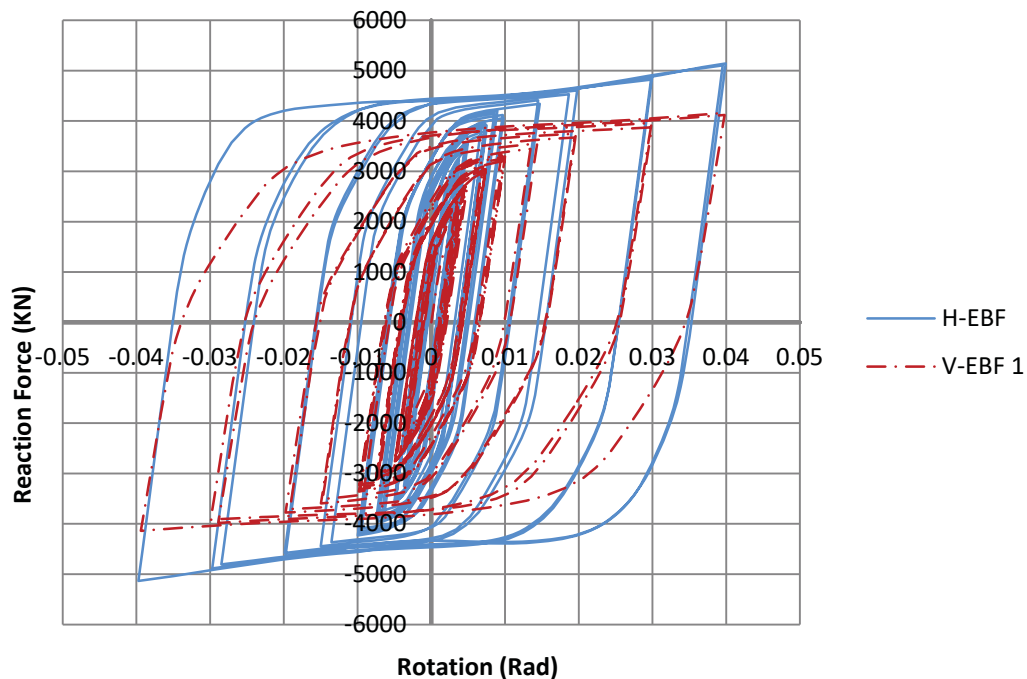
Gambar 4. 54 Kurva Histeresis EBF *Link* Vertikal Tubular (V-EBF 3)

Kurva histeresis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.54 diatas didapatkan dengan mengkombinasikan nilai *reactional force* (RF) pada dasar kolom *frame* dengan nilai displacement pada ujung kolom atas (U). Elemen *link* mencapai tegangan maksimum 250 Mpa saat rotasi kolom sebesar 0.00131 dan mencapai tegangan maksimum 410 MPa saat rotasi 0.00367. Pada perpindahan sebesar 160 mm atau rotasi sebesar 0.04 didapat reaksi dasar pada *frame* sebesar 4108.84 KN. Energi disipasi pada spesimen V-EBF 3 sebesar 1939.11 KNm.

4.3.5 Analisa Hasil Pemodelan Abaqus

Setelah masing-masing spesimen telah dimodelkan, selanjutnya menganalisa hasil pemodelan spesimen H-EBF, V-EBF 1, V-EBF 2, dan V-EBF 3. Tujuan dari analisa hasil pemodelan yaitu membandingkan peforma masing-masing spesimen.

a. Perbandingan antara rangka bresing eksentrik horizontal (H-EBF) dengan rangka bresing eksentrik vertikal tubular (V-EBF 1)



Gambar 4. 55 Kurva Histeresis H-EBF dan V-EBF 1

Kurva histeresis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.55 pada rangka bresing eksentrik pada perpindahan sebesar 160 mm atau rotasi sebesar 0.04 didapat reaksi dasar pada *frame* sebesar 5179.33 KN, sedangkan pada perpindahan sebesar 160 mm atau rotasi sebesar 0.04 pada *frame* V-EBF 1 sebesar 4165.84 KN. Spesimen V-EBF 1 memiliki nilai reaksi dasar lebih kecil sebesar 1013.48 KN. Berdasarkan luasan kurva histeresis didapatkan besar energy disipasi pada spesimen H-EBF adalah 2464.11 KNm, sedangkan pada spesimen V-EBF 1 energi disipasi didapatkan sebesar 1949.27 KNm. Energi disipasi pada spesimen H-EBF lebih besar daripada spesimen V-EBF 1 dengan selisih 514.84 KNm.

Tabel 4. 26 Perbandingan Nilai *Base Shear* H-EBF dan V-EBF 1 saat Rotasi 0.04

Tipe Struktur	<i>Base Shear</i> saat rotasi 0.04 (KN)	Selisih (%)
H-EBF	5179.33	19.57
V-EBF 1	4165.85	

Tabel 4. 27 Perbandingan Nilai Energi Disipasi H-EBF dan V-EBF 1

Tipe Struktur	Energi Disipasi (KNm)	Selisih (%)
H-EBF	2464.11	20.89
V-EBF 1	1949.27	

Reaction Force dan energi disipasi seperti ditunjukkan pada Tabel 4.26 dan Tabel 4.27 pada rangka bresing eksentrik horizontal (H-EBF) lebih besar dari rangka bresing horizontal tubular (V-EBF 1) karena pada pemodelan SAP rangka bresing eksentrik horizontal membutuhkan kolom, balok induk, dan bresing lebih besar pada lantai 1-4 dan membutuhkan balok induk dan bresing yang lebih besar pada lantai 5-7. *Reaction Force* pada H-EBF lebih besar sebesar 19.57% daripada V-EBF. Sedangkan besar energi disipasi pada H-EBF lebih besar sebesar 20.89% dibandingkan dengan V-EBF 1. Dengan bertambahnya berat pada struktur mengakibatkan bertambahnya reaksi dasar pada kolom.

Deformasi H-EBF saat *link* saat mencapai tegangan maksimum 250 MPa memiliki nilai lebih besar daripada V-EBF 1 dengan selisih nilai sebesar 6.6 mm atau sebesar 55.7%. Deformasi *frame* H-EBF saat *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa juga lebih besar daripada V-EBF 1 dengan selisih nilai sebesar 7.19 mm atau sebesar 32.55%.

Tabel 4. 28 Perbandingan Deformasi *frame* H-EBF dan V-EBF 1 Saat *Link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan tegangan maksimum 410 MPa

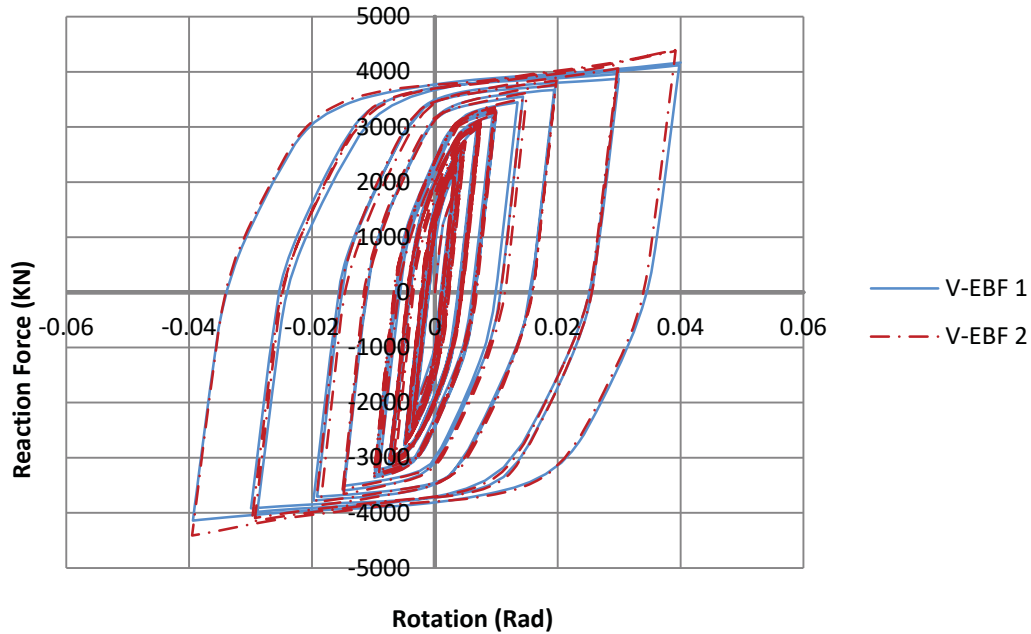
Spesimen	Deformasi <i>frame</i> (mm)		Selisih (%)	
	<i>Link</i> 250 MPa	<i>Link</i> 410 MPa	<i>Link</i> 250 MPa	<i>Link</i> 410 MPa
H-EBF	11.85	22.09	52.49	32.55
V-EBF 1	5.25	14.9		

Tabel 4. 29 Perbandingan nilai deformasi spesimen H-EBF dan V-EBF 1

Tipe	SAP 2000		Abaqus		Selisih	
	Leleh Awal (mm)	Leleh Akhir (mm)	Leleh Awal (mm)	Leleh Akhir (mm)	Leleh Awal (%)	Leleh Akhir (%)
H-EBF	13	22.5	11.85	22.09	8.8	1.82
V-EBF 1	6.6	16.6	5.25	14.9	20.45	10.2

Perpindahan *frame* pada saat *link* mengalami leleh awal dan leleh akhir seperti ditunjukkan pada Tabel 4.29, pada spesimen H-EBF memiliki nilai lebih besar daripada spesimen V-EBF 1. Pada pemodelan portal di SAP 2000 dan Abaqus menghasilkan nilai deformasi yang hampir sama. Perpindahan rangka bresing eksentrik *link* vertikal tubular memiliki nilai lebih kecil daripada rangka bresing eksentrik *link* horizontal.

b. Perbandingan antara rangka bresing eksentrik vertikal (V-EBF 1) dengan rangka bresing eksentrik vertikal tubular (V-EBF 2)



Gambar 4. 56 Kurva Histeresis EBF *Link* Vertikal V-EBF 1 dan V-EBF 2

Kurva histeresis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.57, pada rangka bresing eksentrik spesimen V-EBF 1 pada perpindahan sebesar 160 mm atau rotasi sebesar 0.04 didapat reaksi dasar pada *frame* sebesar 4165.85 KN, sedangkan pada perpindahan sebesar 160 mm atau rotasi sebesar 0.04 pada spesimen *frame* V-EBF 2 sebesar 4411.66 KN. Reaksi dasar pada V-EBF 2 lebih besar daripada V-EBF 1 dengan selisih nilai sebesar 245.81 KN. V-EBF 2 memiliki nilai energi disipasi lebih besar daripada V-EBF 1 dengan selisih nilai 13.25 KNm

Perpindahan *frame* pada saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan tegangan maksimum 410 MPa pada spesimen V-EBF1 memiliki nilai hampir sama terhadap spesimen V-EBF 2. Pada saat *link* mencapai tegangan 250 MPa V-EBF 1 memiliki nilai 5.259 mm sedangkan V-EBF 2 memiliki nilai 5.254 mm. Pada saat *link* mencapai tegangan 410 MPa V-EBF 1 memiliki nilai 14.5 mm sedangkan V-EBF 2 memiliki nilai 14.26 mm. Selisih deformasi V-EBF 1 dan V-EBF 2 pada saat *link* mencapai tegangan 250 MPa adalah 0.004 mm, dengan nilai

deformasi V-EBF 1 lebih besar. Deformasi V-EBF 1 memiliki nilai lebih besar 0.5 mm daripada V-EBF 2 saat *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa.

Tabel 4. 30 Perbandingan Deformasi *frame* V-EBF 1 dan V-EBF 2 Saat *Link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan maksimum 410 MPa

Spesimen	Deformasi <i>frame</i> (mm)		Selisih (%)	
	<i>Link</i> 250 MPa	<i>Link</i> 410 MPa	<i>Link</i> 250MPa	<i>Link</i> 410 MPa
V-EBF 1	5.25	14.9	0.07	4.19
V-EBF 2	5.254	14.3		

Berdasarkan Tabel 4.30 nilai deformasi pada *frame* pada spesimen V-EBF 1 dan V-EBF 2 hampir sama, sehingga V-EBF 1 dan V-EBF 2 memiliki kekakuan yang hampir sama. Dengan selisih deformasi saat *link* leleh yaitu 0.07% sedangkan saat runtuh sebesar 3.47%.

Tabel 4. 31 Perbandingan Nilai Base Shear V-EBF 1 dan V-EBF 2 saat Rotasi 0.04

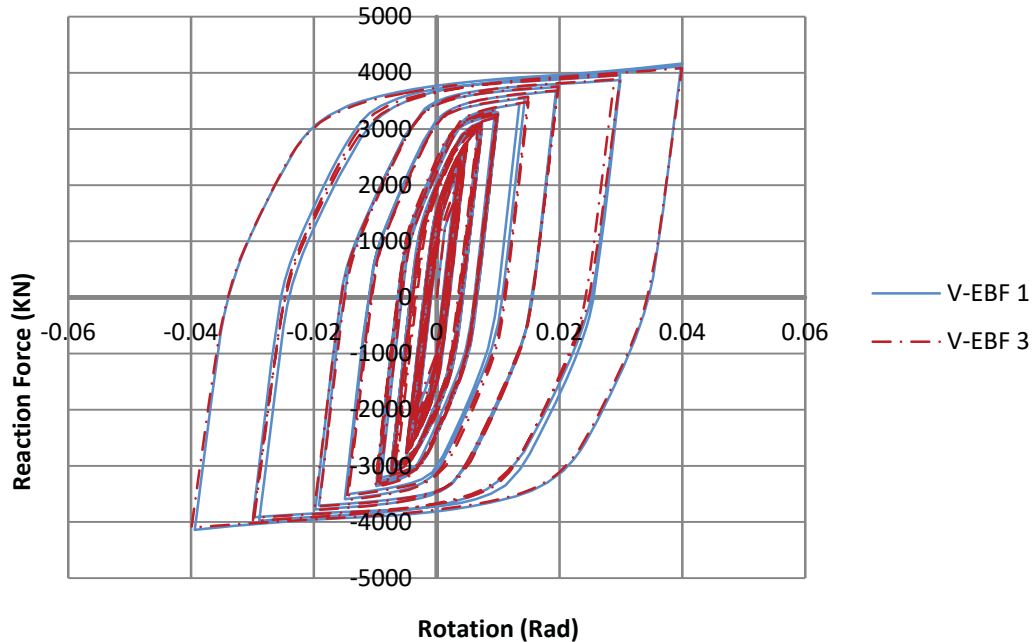
Tipe Struktur	Base Shear Maksimum saat Rotasi 0.04 (KN)	Selisih (%)
V-EBF 1	4165.85	5.9
V-EBF 2	4411.66	

Tabel 4. 32 Perbandingan Nilai Energi Disipasi V-EBF 1 dan V-EBF 2

Tipe Struktur	Energi Disipasi (KNm)	Selisih (%)
V-EBF 1	1949.27	0.68
V-EBF 2	1962.52	

Berdasarkan Tabel 4.31 selisih nilai *Base Shear* antara V-EBF 1 dan V-EBF 2 adalah sebesar 5.9%. Berdasarkan Tabel 4.31 energi disipasi pada V-EBF 2 memiliki nilai lebih besar daripada V-EBF 1 dengan selisih nilai sebesar 0.068%. Perbedaan pada reaksi dasar dan energi disipasi ini diakibatkan perbedaan panjang *link* pada V-EBF 1 dan V-EBF 2, dimana panjang *link* spesimen V-EBF 2 lebih pendek 25% daripada spesimen V-EBF 1.

c. Perbandingan antara rangka bresing eksentrik vertikal (V-EBF 1) dengan rangka bresing eksentrik vertikal tubular (V-EBF 3)



Gambar 4. 57 Kurva Histeresis EBF *Link* Vertikal V-EBF 1 dan V-EBF 3

Kurva histeresis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.58, pada rangka bresing eksentrik spesimen V-EBF 1 pada perpindahan sebesar 160 mm atau rotasi sebesar 0.04 didapat reaksi dasar pada *frame* sebesar 4165.85 KN, sedangkan pada perpindahan sebesar 160 mm atau rotasi sebesar 0.04 pada spesimen *frame* V-EBF 3 sebesar 4108.84 KN. Pada rangka bresing eksentrik spesimen V-EBF 3 memiliki nilai reaksi dasar lebih kecil daripada V-EBF 1 dengan selisih nilai sebesar 57.01 KN. Besar energi disipasi pada spesimen V-EBF 3 memiliki nilai lebih kecil daripada V-EBF 1 dengan selisih nilai 10.16 KNm

Perpindahan *frame* pada saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan maksimum 410 MPa pada spesimen V-EBF 1 memiliki nilai hampir sama terhadap spesimen V-EBF 3. Pada saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa V-EBF 1 memiliki nilai 5.25 mm sedangkan V-EBF 3 memiliki nilai 5.256 mm. Pada saat *link* mencapai tegangan maksimum 410 MPa V-EBF 3 memiliki nilai 14.9 mm sedangkan V-EBF 3 memiliki nilai 14.69 mm.

Tabel 4. 33 Perbandingan Deformasi *frame* V-EBF 1 dan V-EBF 3 Saat *Link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa dan 410 MPa

Spesimen	Deformasi <i>frame</i> (mm)		Selisih (%)	
	<i>Link</i> 250MPa	<i>Link</i> 410 MPa	<i>Link</i> 250 MPa	<i>Link</i> 410 MPa
V-EBF 1	5.25	14.9	0.11	1.42
V-EBF 3	5.256	14.69		

Berdasarkan Tabel 4.33 nilai deformasi pada *frame* pada spesimen V-EBF 1 dan V-EBF 3 memiliki selisih deformasi saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa yaitu 0.11% sedangkan saat mencapai tegangan maksimum 410 MPa sebesar 1.42%.

Tabel 4. 34 Perbandingan Nilai Base Shear V-EBF 1 dan V-EBF 3 saat Rotasi 0.04

Tipe Struktur	Base Shear Maksimum saat Rotasi 0.04 (KN)	Selisih (%)
V-EBF 1	4165.85	1.37 %
V-EBF 3	4108.84	

Berdasarkan Tabel 4.34 selisih nilai *Base Shear* antara V-EBF 1 dan V-EBF 3 adalah sebesar 1.37% dengan nilai pada V-EBF 1 lebih besar daripada V-EBF 3.

Tabel 4. 35 Perbandingan Nilai Energi Disipasi V-EBF 1 dan V-EBF 3

Tipe Struktur	Energi Disipasi (KNm)	Selisih (%)
V-EBF 1	1949.27	0.52 %
V-EBF 3	1939.11	

Berdasarkan Tabel 4.35 energi disipasi pada V-EBF 3 memiliki nilai lebih kecil daripada V-EBF 1 sebesar 0.52%. Perbedaan nilai energy disipasi dan *Base Shear* akibat penambahan *stiffener* pada *link* vertikal profil tubular. Sehingga efek dari penambahan *stiffener* pada *link* vertikal profil tubular kurang baik dalam kekuatan struktur.

BAB 5

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. EBF *Link* Vertikal Profil Tubular membutuhkan dimensi lebih kecil pada kolom 19.41%, balok induk 17.8%, dan bresing 17.8% pada lantai 1-4 dan membutuhkan balok induk dan bresing yang lebih kecil 28.85% pada lantai 5-7 daripada EBF *Link* Horizontal.
2. EBF *Link* Vertikal Profil Tubular mempunyai berat struktur yang lebih ringan sebesar 34089,83 Kg. EBF *Link* Horizontal memiliki nilai *base shear* lebih besar 15.97% daripada EBF *Link* Vertikal Profil Tubular. Pola keruntuhan pada EBF *link* Vertikal Tubular hanya leleh pada *link* saja, sehingga lebih mudah dalam rehabilitasi gempa.
3. Deformasi V-EBF 1 pemodelan Abaqus saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa lebih kecil 55.7% dan saat mencapai tegangan maksimum 410 MPa memiliki nilai lebih kecil 32.55% daripada H-EBF. Sehingga EBF *link* Vertikal Tubular memiliki kekakuan lebih besar daripada EBF *link* horizontal. Deformasi V-EBF 2 saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa lebih besar 0.07% dan saat tegangan maksimum 410 MPa memiliki nilai lebih kecil 4.19 % daripada V-EBF 1 . Deformasi V-EBF 3 saat *link* mencapai tegangan maksimum 250 MPa lebih besar 0.07% dan saat tegangan maksimum 410 MPa memiliki nilai lebih kecil 3.47 % daripada V-EBF 1 .Semua spesimen leleh pada *link* terlebih dahulu.
4. EBF *link* Vertikal memiliki gaya dasar yang lebih kecil 19.57% daripada EBF *link* Horizontal .Energi disipasi pada EBF *link* Vertikal memiliki nilai lebih kecil pula sebesar 20.89%. Dengan menggunakan panjang *link* lebih pendek 25% pada spesimen V-EBF 2 menghasilkan gaya dasar lebih besar 5.9%. Pengurangan panjang *link* 0.25% di EBF *link* Vertikal Tubular menyebabkan penambahan energi disipasi 0.68% pada portal. Penambahan pengaku pada *link* Vertikal Tubular kurang memiliki efek pada kekuatan struktur dengan

pengurangan reaksi dasar sebesar 1.37 % .Penambahan pengaku pada *link* Vertikal Tubular tidak terlalu berpengaruh dalam penambahan gaya reaksi dasar dan energi disipasi.

5.2 Saran

Pada penelitian ini, tipe sambungan pada *link* ke balok dan bresing adalah sambungan dengan las. Sehingga dalam rehabilitasi gempa akan terjadi kesulitan dalam mengganti *link*. Pada penelitian lanjutan *link* vertikal profil tubular dapat dimodelkan dengan sambungan baut. Sehingga lebih mudah lagi dalam rehabilitasi gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- American Institute of Steel Construction.(2010), *Seismic Provision for Structural Steel Building*, Chicago.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013), *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002), *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung*. Jakarta.
- Berman, J. W., & Bruneau, M. (2007), “Experimental and analytical investigation of tubular *links* for eccentrically braced *frames*”. *Engineering Structures* 29 1929–1938
- Berman, J. W., & Bruneau, M. (2014), “Tubular *Links* for Eccentrically Braced *Frames* . II: Experimental Verification”. *ASCE_0733 9445_2008_134:5_702_29*, 1929–1938.
- Bosco, M., & Rossi, P. P. (2009),” Seismic behaviour of eccentrically braced *frames*”. *Engineering Structures*, 31(3), 664–674.
- Bouwkamp, J., Ghasem, M., & Ghamari, A. (2016), “An analytical model for inelastic cyclic response of eccentrically braced *frame* with vertical shear *link* (V-EBF)”. *Case Studies in Structural Engineering* 6 31–44, 6, 31–44.
- Engelhardt, Michael D. (2007), *Design of Seismic-Resistant Steel Building Structures*. AISC Module for Teaching the Principles of Seismic-Resistant Design of Steel Building Structures, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
- Mohammadrezapour, E., & Danesh, F. (2018), “Experimental investigation of bolted *link*-to-column connections in eccentrically braced *frames*”. *Journal of Constructional Steel Research*, 147, 236–246.
- Montuori, R., Nastri, E., & Piluso, V. (2014), “Rigid-plastic analysis and moment – shear interaction for hierarchy criteria of inverted Y EB-*Frames*”. *Journal of Constructional Steel Research* 95, 71–80.
- Montuori, R., Nastri, E., & Piluso, V. (2014), “Theory of plastic mechanism control for eccentrically braced *frames* with inverted y-scheme”. *Journal of Constructional Steel Research*, 92, 122–135.
- Musmar, M.A. (2012), “Effect of *Link* on Eccentrically Braced *Frame*”. *Journal of Engineering Sciences, Assiut University*. Vol 40, 1 (1): 35-43.
- Nastri E., Montuori R. & V. Piluso. (2015), “Seismic Design of MRF-EBF Dual Systems with Vertical *Links*: EC8 vs Plastic Design”, *Journal of Earthquake Engineering*, 19:3,480-504,
- Okazaki, T., Engelhardt, M. D., Drolias, A., Schell, E., Hong, J., & Uang, C. (2009), “Experimental investigation of *link*-to-column connections in eccentrically braced *frames*”. *Journal of Constructional Steel Research*, 65(7), 1401–1412.
- Rahnavard, R., Hassanipour, A., Suleiman, M., & Mokhtari, A. (2017). “Evaluation on eccentrically braced *frame* with single and double shear panels”. *Journal of Building Engineering*, 10(July 2016), 13–25.

- Richards Paul W., Uang Chia-Ming.(2006), “Testing Protocol for Short *Links* in Eccentrically Braced *Frames*” *ASCE 0733-9445* 132:8 1183-1191
- Suswanto B., AR Amalia, E. Wahyuni. (2017), “Numerical Behavior Study Of Short *Link*, Intermediate *Link* And Long *Link* In Eccentrically Braced *Frame* Steel Structure,” *International Journal of Applied Engineering Research* ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 21 pp. 11460-11471
- Suswanto B., AR Amalia, E. Wahyuni. (2018), “Comparison of WF & Tubular *Links* on the Eccentrically Brace *Frame* System due to Cyclic Loads,” *International Journal on Advance Science Engineering Information Technology* ISSN 2088-5334 Volume 8, Number 3
- Vetr Mohamad Ghasem, Ghamarib Ali, Bouwkamp Jack. (2017), “Investigating the nonlinear behavior of Eccentrically Braced *Frame* with vertical shear *links* (V-EBF)” *Journal of Building Engineering* 10 47–59



Penulis bernama lengkap Dzul Fikri Muhammad. Penulis dilahirkan di Malang, 2 September 1994, merupakan anak Ke 2 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Ummu Aiman, SD Islam Sabilillah Malang, SMP Islam Sabilillah Malang, dan SMA Negeri 1 Malang. Penulis kemudian diterima di Jurusan DIV Teknik Infrastruktur Sipil pada tahun 2013. Penulis pernah aktif di kegiatan kemahasiswaan sebagai Staff Departemen Media Jamaah Masjid Al-Azhar Diploma Sipil 2014-2016. Pada tahun 2015, penulis diangkat sebagai Sekretaris Departemen Media JMAA. Penulis pernah mendapatkan Juara 3 pada Lomba Rancang Kuda-kuda Nasional VIII. Penulis mendapatkan gelar Sarjana Sains Terapan (SS.T.) setelah menyelesaikan pendidikan sarjana di tahun 2017 dengan menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Desain Struktur Gedung Pascasarjana Universitas Islam Malang Menggunakan Sistem Ganda Dan Metode Pelaksanaan Pekerjaan Pondasi*”. Pada tahun 2018, penulis melanjutkan Pendidikan jenjang Pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya program studi teknik sipil, bidang keahlian struktur.

Email : dzulfikrimuhammad@gmail.com