



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI PERILAKU SISTEM RANGKA BAJA *K-SPLIT EBF*  
(*ECCENTRICALLY BRACED FRAMES*) TERHADAP  
BEBAN GEMPA DENGAN ANALISIS *PUSHOVER***

**SKRIPSI**

**ABDUL AZIZ  
0806328890**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2012**

1115/FT.01/SKRIP/07/2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PERILAKU SISTEM RANGKA BAJA *K-SPLIT EBF*  
(*ECCENTRICALLY BRACED FRAMES*) TERHADAP  
BEBAN GEMPA DENGAN ANALISIS *PUSHOVER***

**SKRIPSI**


**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Sipil**

**ABDUL AZIZ  
0806328890**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**





**Nama** : Abdul Aziz  
**NPM** : 0806328890  
**Tanda Tangan** :   
**Tanggal** : 16 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Abdul Aziz  
NPM : 0806328890  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Sripsi : Studi Perilaku Sistem Rangka Baja *K-Split EBF*  
(*Eccentrically Braced Frames*) terhadap Beban  
Gempa dengan Analisis *Pushover*

Telah berhasil diujikan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Ir. Syahril A. Rahim M.Eng. (  )  
Pembimbing 2 : Mulia Orientilize S.T., M.Eng. (  )  
Penguji : Dr. Ir. Yuskar Lase DEA. (  )  
Penguji : Dr.-Ing. Ir. Josia I. R., S.T., M.T. (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Juli 2012

## KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan seminar ini. Penulisan seminar ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan seminar ini, sangatlah sulit untuk menyelesaikan seminar ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Syahril A. Rahim M.Eng. selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Mulia Orientilize S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membantu dan mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (3) Orang tua saya Achmad Sofyan dan Martini yang tidak pernah lelah memberikan dukungan moral, doa dan dukungan materi agar saya dapat menyelesaikan skripsi ini.
- (4) Aini Zahra S.Ked. sebagai calon istri saya yang tetap setia menunggu saya hingga selesainya masa pendidikan ini dan yang tidak pernah lelah memberikan doa, dukungan moral, dan bersedia dengan senang hati mengobati saya ketika saya jatuh sakit.
- (5) Rekan saya Aini Rengganis dan Indah Herning Suari yang ikut membantu dan bekerja sama dalam menyelesaikan skripsi ini.
- (6) Rekan *Puntadewa Team*, Fatchurrohman dan Hendryanto Alamsyah yang telah memberikan pengalaman yang luar biasa dalam mengikuti lomba KBGI 2011.
- (7) Seluruh sahabat dan teman-teman satu angkatan Teknik Sipil dan Lingkungan 2008, khususnya yang selalu berada di Gazebo dan Bale-bale yang telah memberikan dukungan semangat dan doa untuk kelancaran penyusunan skripsi ini.

- (8) Fadillah Isnan sebagai teman sekamar sekaligus teman seperjuangan saya sejak SMA, yang tidak pernah bosan menghadapi semua kekurangan saya dan selalu memberikan dukungan moral.
- (9) Henri Faldi, Eka Permana, Piawai Said Umbara, Caysa, Akbar Pratama, Amir, Budi Mulyanto, Wahyu Purnamayoga, Febriansyah, Herlambang, sebagai sahabat seperjuangan yang menemani saya dalam suka dan duka selama masa pendidikan ini.
- (10) Ryan Rakhmat Setiadi, Yusak Moningka, Wisnu Pratama, Ahmad Damar, Nabila Inal, Fadhilah Muslim, Shef Amir, Rizal Prasetyo, Indra Kusuma, Dian Evelina, RR Eva, Mas Wayan, Mas Farid, Mas Agus, Mba Reni, Gabby Khalawi, Fitriyan, dan teman-teman fastrack serta S2 struktur lainnya yang selalu bersama-sama menghadapi tugas-tugas perkuliahan di semester akhir ini.
- (11) Bang Faiz Husnayain selaku murabbi saya yang sering kali mengingatkan saya ketika saya lalai dan senantiasa memberikan motivasi serta semangat menjalani kuliah dan skripsi ini.
- (12) Bu Zidan dan Pak Zidan sebagai Pemilik Rumah Kos yang baik hati yang turut membantu memberikan dukungan moral.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2012



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Abdul Aziz  
NPM : 0806328890  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:


**Studi Perilaku Sistem Rangka Baja *K-Split EBF (Eccentrically Braced Frames)* terhadap Beban Gempa dengan Analisis *Pushover***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta  
Pada tanggal : 16 Juli 2012

Yang menyatakan,

  
( Abdul Aziz )

## ABSTRAK

Nama : Abdul Aziz  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Studi Perilaku Sistem Rangka Baja *K-Split EBF (Eccentrically Braced Frames)* terhadap Beban Gempa dengan Analisis *Pushover*

Karena berada di wilayah rawan gempa, struktur bangunan di Indonesia harus didesain tahan terhadap gempa. Salah satu sistem struktur yang memenuhi persyaratan sebagai struktur penahan gempa berdasarkan “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung RSNI 03-1726-201x” adalah sistem rangka baja dengan bressing eksentris (*Eccentrically Braced Frames (EBF)*). *K-Split* dipilih sebagai salah satu dari bentuk *EBF* yang diteliti karena memiliki geometri yang simetris sehingga terhindar dari masalah *full moment connection* pada kolom. Perilaku inelastis berupa kekuatan, kekakuan, dan daktilitas serta kinerja model struktur *K-Split EBF* saat terjadinya gempa diuji dengan metode analisis statik nonlinier beban dorong (*Pushover Analysis*) dengan bantuan perangkat lunak ETABS 3D Nonlinier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model struktur *K-Split EBF* dengan *link beam* sepanjang 1,2 meter memiliki persentase terbesar pada parameter kekuatan dan daktilitas antara lain 24,32% dan 44,71% relatif lebih besar terhadap model dengan *link beam* sepanjang 0,6 meter. Sedangkan pada parameter kekakuan, model dengan *link beam* 1,2 meter memiliki persentase 34,2% relatif lebih kecil dibandingkan model dengan *link beam* sepanjang 0,6 meter.

Kata Kunci:

*K-Split EBF, link beam, pushover analysis, kekuatan, kekakuan, daktilitas*



## ABSTRACT

Name : Abdul Aziz  
Study Program : Civil Engineering  
Title : Study of Steel Frame Behavior with Composing of K-Split Eccentrically Braced Frames (EBF) System towards Earthquake Load Using Pushover Analysis

The building structure in Indonesia must be designed to resist the earthquake load since it is located in the earthquake region. According to Indonesian design code for earthquake structure resistance RSNI 03-1726-201x, Eccentrically Braced Frames (EBF) is one of structure system for steel structure that meet the earthquake resistance requirements. K-Split is one kind of EBF System which has symmetric geometry, adjacent thus preventing full moment connection to be developed at the column. Study to investigate the behavior of *K-Split EBF* System toward earthquake loading was conducted. Nonlinear static pushover analysis with ETABS was carried out to study inelastic behavior of strength, stiffness, and ductility of *K-Split EBF* building. Two variations of *link* with length of 0,6 meter and 1,2 meter was compared. The result showed that model with a 1,2 meter length has strength and ductility of 24,32% and 44,71% higher than that with 0,6 meter length. Meanwhile the stiffness of *link* 1,2 meter length is 34,2% smaller than 0,6 meter of length.

Keyword :  
*K-Split EBF*, *link beam*, pushover analysis, strength, stiffness, ductility.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Hipotesis Awal.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
<b>BAB 2 DASAR TEORI.....</b>	<b>6</b>
2.1 Faktor Gempa Pada Struktur.....	6
2.2 Pembebanan Gempa Berdasarkan RSNI 03-1726-201x .....	10
2.2.1 Kategori Desain Gempa .....	14
2.2.2 Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan .....	15
2.2.3 Struktur Penahan Beban Seismik.....	15
2.2.4 Gaya Geser Dasar Gempa dan Beban Lateral Gempa .....	16
2.3 Struktur Rangka Baja Tahan Gempa.....	17
2.3.1 <i>Moment Resisting Frames (MRF)</i> .....	18
2.3.2 <i>Braced Frames (BF)</i> .....	20
2.3.3 <i>Centrically Braced Frames (CBF)</i> .....	20
2.3.4 <i>Eccentrically Braced Frames (EBF)</i> .....	21
2.3.5 Perilaku <i>Link Beam</i> .....	24
2.3.5.1 Kuat Elemen <i>Link Beam</i> .....	24
2.3.5.2 Panjang <i>Link Beam</i> .....	25
2.3.5.3 Sudut Rotasi <i>Link Beam</i> .....	26

2.4	Analisis Statik Nonlinier <i>Pushover</i> .....	29
2.4.1	Mekanisme Sendi Plastis .....	31
2.5	Desain Kinerja Struktur Bangunan Tahan Gempa .....	32
<b>BAB 3</b>	<b>PERMODELAN STRUKTUR .....</b>	<b>35</b>
3.1	Metodologi Penelitian .....	35
3.2	Kriteria Desain .....	36
3.3	Variabel Desain .....	36
3.4	Penentuan Profil Desain .....	36
3.5	Modelisasi Struktur .....	40
3.6	Pembebanan Struktur.....	43
<b>BAB 4</b>	<b>EVALUASI HASIL ANALISIS STRUKTUR .....</b>	<b>49</b>
4.1	Analisis <i>Pushover</i> .....	49
4.2	Analisis Kurva <i>Pushover</i> (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol).....	49
4.3	Kinerja Struktur.....	57
4.3.1	Target Perpindahan .....	57
4.3.2	Level Kinerja Struktur.....	58
4.4	Mekanisme Sendi Plastis .....	60
4.5	Perilaku <i>Link beam</i> .....	65
4.5.1	Kapasitas dan Panjang Elemen <i>Link beam</i> .....	66
4.5.2	Sudut Rotasi <i>Link Beam</i> .....	68
4.5.3	Pendetailan <i>Link Beam</i> .....	68
4.6	Perilaku Inelastik Struktur .....	69
4.6.1	Kekuatan Struktur .....	69
4.6.2	Kekakuan Struktur .....	71
4.6.3	Daktilitas Struktur .....	74
<b>BAB 5</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>77</b>
5.1	Kesimpulan .....	77
5.2	Saran.....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>79</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>80</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Situs $F_a$ .....	11
Tabel 2.2 Koefisien Situs $F_v$ .....	11
Tabel 2.3 Klasifikasi Situs .....	13
Tabel 2.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Struktur Lainnya Untuk Beban Gempa .....	13
Tabel 2.5 Faktor Keutamaan Gempa .....	14
Tabel 2.6 Kategori Disain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan	14
Tabel 2.7 Kategori Disain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan	15
Tabel 2.8 Kriteria kinerja yang ditetapkan Vision 2000 dan NEHRP.....	33
Tabel 3.1 Jumlah Permodelan Berdasarkan Variasi Panjang <i>Link</i> dan Jumlah Lantai .....	36
Tabel 3.2 Profil Baja <i>Wide Flange</i> yang Digunakan pada Portal <i>K-Split EBF</i> 6 Lantai .....	37
Tabel 3.3 Profil Baja <i>Wide Flange</i> yang Digunakan pada Portal <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai .....	38
Tabel 3.4 Profil Baja <i>Wide Flange</i> yang Digunakan pada Portal <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai .....	39
Tabel 3.5 Koefisien situs $F_a$ .....	46
Tabel 3.6 Koefisien situs $F_v$ .....	46
Tabel 3.7 Kombinasi Beban .....	48
Tabel 4.1 Target Perpindahan Titik Kontrol ( $\Delta$ ) dan Gaya Geser Dasar ( $V$ ) .....	58
Tabel 4.2 Level Kinerja Model <i>K-Split EBF</i> 6 Lantai .....	58
Tabel 4.3 Level Kinerja Model <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai .....	59
Tabel 4.4 Level Kinerja Model <i>K-Split EBF</i> 18 Lantai .....	59
Tabel 4.5 Kapasitas dan Panjang Elemen <i>Link beam</i> pada Portal 4 (arah X).....	66
Tabel 4.6 Kapasitas dan Panjang Elemen <i>Link beam</i> pada Portal D (arah Y).....	66
Tabel 4.7 Sudut Rotasi Plastis <i>Link Beam</i> yang Ditinjau pada Model <i>K-Split EBF</i> .....	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Berbagai variasi konfigurasi EBF .....	3
Gambar 2.1 Penyebaran 4 Lempeng Bumi di Wilayah Indonesia .....	6
Gambar 2.2 Pengaruh Gempa pada Bangunan.....	8
Gambar 2.3 Mekanisme Keruntuhan Ideal Suatu Struktur Gedung Dengan Sendi Plastis Terbentuk Pada Ujung-Ujung Balok dan Kaki Kolom.....	9
Gambar 2.4 Peta Spektra 0,2 detik untuk Periode Ulang Gempa 2500 tahun .....	10
Gambar 2.5 Peta Spektra 1 detik untuk Periode Ulang Gempa 2500 tahun .....	10
Gambar 2.6 <i>Moment Resisting Frames</i> (MRF) .....	18
Gambar 2.7 Karakteristik SRPMB dan SRBPMK .....	19
Gambar 2.8 Jenis-jenis Portal CBF .....	20
Gambar 2.9 Jenis portal EBF .....	22
Gambar 2.10 Panjang elemen <i>link</i> dan panjang elemen balok.....	23
Gambar 2.11 Aksi Geser dan Lentur pada Elemen <i>Link</i> .....	24
Gambar 2.12 Sudut Rotasi <i>Link beam</i> .....	27
Gambar 2.13 Detailing pada <i>Link Beam</i> (tampak depan) menggunakan profil I ( <i>Wide Flange</i> ) .....	28
Gambar 2.14 Kurva hubungan beban – perpindahan .....	30
Gambar 2.15 Contoh kurva <i>pushover</i> .....	31
Gambar 2.16 Kurva hubungan gaya – perpindahan serta karakteristik sendi plastis dan informasi level kinerja bangunan .....	32
Gambar 2.17 Target Perpindahan ( <i>Performance point</i> ) .....	34
Gambar 2.18 Klasifikasi kinerja struktur Daktail (ATC-40) .....	34
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	35
Gambar 3.2 Denah Bangunan dan Portal yang Ditinjau .....	41
Gambar 3.3 Model Struktur (Portal pengaku eksentrik <i>K-Split EBF</i> ) dengan variasi jumlah lantai (storey). Kiri ke kanan : 6, 12, 18 lantai .....	42
Gambar 3.4 Model Struktur 2D (Portal pengaku eksentrik <i>K-Split EBF</i> ) .....	42
Gambar 3.5 Model Struktur 3D dengan variasi lantai 6, 12, dan 18 lantai .....	43
Gambar 3.6 Spektrum respon desain .....	45
Gambar 3.7 Peta Gempa dengan Perioda Ulang 2500 Tahun dan $T = 0,2$ s .....	45
Gambar 3.8 Peta Gempa dengan Perioda Ulang 2500 Tahun dan $T = 1$ s .....	46
Gambar 3.9 Desain Respon Spektrum Wilayah Jakarta Tanah Lunak.....	48
Gambar 4.1 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 6 Lantai, .....	50
Gambar 4.2 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 6 Lantai, .....	50
Gambar 4.3 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 6 Lantai, .....	51
Gambar 4.4 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 6 Lantai, .....	51
Gambar 4.5 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai, .....	52
Gambar 4.6 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai, .....	52
Gambar 4.7 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai, .....	53

Gambar 4.8 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai, .....	53
Gambar 4.9 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 18 Lantai, .....	54
Gambar 4.10 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 18 Lantai, .....	54
Gambar 4.11 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 18 Lantai, .....	55
Gambar 4.12 Perbandingan Kurva <i>Pushover</i> Model <i>K-Split EBF</i> 18 Lantai, .....	55
Gambar 4.13 Gempa Pola 1 Arah X : Leleh Pertama pada <i>Link beam K-Split EBF</i> .....	61
Gambar 4.14 Gempa Pola 1 Arah X : <i>K-Split EBF</i> saat Mencapai Kinerja Bangunan, .....	61
Gambar 4.15 Gempa Pola 1 Arah X : Runtuh Pertama pada <i>Link beam K-Split EBF</i> .....	62
Gambar 4.16 Gempa Pola 1 Arah Y : Leleh Pertama pada <i>Link beam K-Split EBF</i> .....	62
Gambar 4.17 Gempa Pola 1 Arah Y: <i>K-Split EBF</i> saat Mencapai Kinerja Bangunan, .....	63
Gambar 4.18 Gempa Pola 1 Arah Y : Runtuh Pertama pada <i>Link beam K-Split EBF</i> .....	63
Gambar 4.19 Pendetailan <i>Link Beam W12X40</i> dengan Panjang 0,6 meter.....	69
Gambar 4.20 Perbandingan Beban Ultimit Model <i>K-Split EBF</i> 6 Lantai <i>link</i> 0,6 m dan 1,2 m .....	70
Gambar 4.21 Perbandingan Beban Ultimit Model <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai <i>link</i> 0,6 m dan 1,2 m .....	70
Gambar 4.22 Perbandingan Beban Ultimit Model <i>K-Split EBF</i> 18 Lantai <i>link</i> 0,6 m dan 1,2 m .....	71
Gambar 4.23 Perbandingan Kekakuan Elastis Model <i>K-Split EBF</i> 6 Lantai <i>Link</i> 0,6 m dan 1,2 m .....	72
Gambar 4.24 Perbandingan Kekakuan Elastis Model <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai <i>Link</i> 0,6 m dan 1,2 m .....	73
Gambar 4.25 Perbandingan Kekakuan Elastis Model <i>K-Split EBF</i> 18 Lantai <i>Link</i> 0,6 m dan 1,2 m .....	73
Gambar 4.26 Perbandingan Daktilitas Model <i>K-Split EBF</i> 6 Lantai <i>Link</i> 0,6 m dan 1,2 m.....	74
Gambar 4.27 Perbandingan Daktilitas Model <i>K-Split EBF</i> 12 Lantai <i>Link</i> 0,6 m dan 1,2 m .....	75
Gambar 4.28 Perbandingan Daktilitas Model <i>K-Split EBF</i> 18 Lantai <i>Link</i> 0,6 m dan 1,2 m .....	75

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.....	80
LAMPIRAN 2.....	84
LAMPIRAN 3.....	95
LAMPIRAN 4.....	118



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

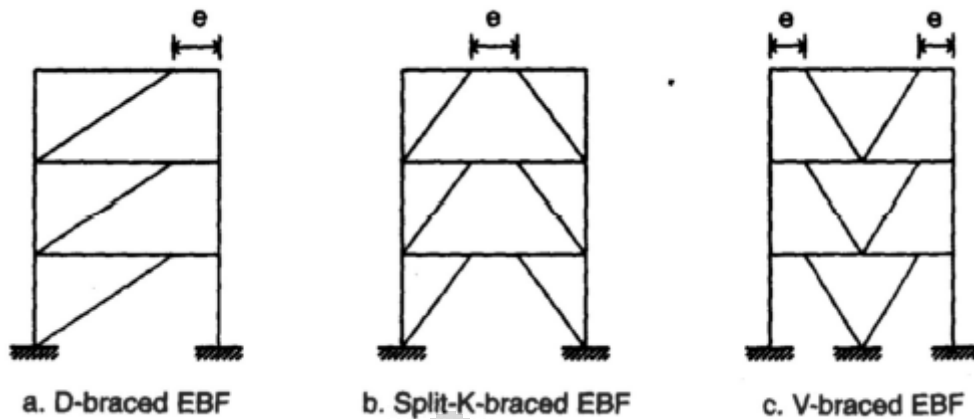
Indonesia adalah negara kepulauan yang termasuk ke dalam wilayah *Ring of Fire*, yaitu wilayah yang seringkali dilanda bencana gempa bumi dan letusan gunung berapi yang mengelilingi cekungan Samudra Pasifik. Adapun riwayat gempa bumi yang terjadi di Indonesia antara lain; gempa 9,3 SR di Aceh dan Sumatra Utara pada tanggal 25 Desember 2004 yang menimbulkan bencana tsunami, gempa 7,6 SR di Padang pada tanggal 30 September 2009, gempa 7,7 SR yang menimpa wilayah Sumatra Barat pada tanggal 25 Oktober 2010, dan hingga kini gempa bumi terus melanda wilayah Indonesia dan sekitarnya dengan kekuatan skala yang besar dan tidak dapat diperkirakan. Gempa yang timbul di pusat gempa (Episentrum) menyebabkan perambatan getaran/ gelombang sehingga tanah disekitarnya ikut bergerak (*ground motion*) yang dapat menyebabkan kerusakan bahkan keruntuhan bangunan.

Sebagai *engineer*, sudah selayaknya dan merupakan kewajiban untuk merancang bangunan di wilayah Indonesia dengan memasukkan faktor gempa, terutama di daerah rawan gempa di Indonesia, seperti Sumatra, Bali, dan Jawa. Mendesain bangunan tahan gempa sangat penting agar jika terjadi gempa bumi, baik gempa sedang maupun besar, struktur bangunan tidak runtuh serta-merta sehingga penghuni atau orang yang berada di dalam bangunan masih sempat menyelamatkan diri. Artinya saat gempa terjadi, struktur bangunan tersebut masih memiliki kekuatan dan kekakuan sebelum mencapai batas keruntuhannya. Struktur yang berperilaku inelastik mampu berdeformasi melebihi batas elastisitasnya, dan terus mampu menahan beban hingga mencapai batas keruntuhannya. Dalam kata lain, struktur yang berperilaku inelastik akan lebih optimal kinerjanya dibandingkan dengan struktur yang masih berada pada kondisi elastis, karena struktur yang berperilaku inelastik memiliki daktilitas yang tinggi dan mampu menyerap energi gempa sedang maupun gempa besar. Perilaku yang optimal pada struktur bangunan daktil ini dibutuhkan perhatian khusus atau pendetailan pada elemen-elemen struktur dan sambungannya.



Salah satu pemenuhan kebutuhan pada struktur yang daktail terdapat pada penggunaan material baja. Baja mempunyai keunggulan dalam perancangan bangunan tahan gempa. Baja secara alami mempunyai rasio kuat dibandingkan berat – volume yang tinggi sehingga mampu menghasilkan bangunan yang relatif ringan dengan kekuatan yang relatif tinggi. Material baja mempunyai daktilitas yang tinggi, yang berpengaruh pada deformasi sebelum keruntuhan (*failure*) terjadi, suatu faktor penting untuk perencanaan struktur dengan pembebanan tak terduga atau sukar diprediksi seperti beban gempa. Material baja juga memiliki keunggulan dalam pelaksanaan konstruksi, lebih cepat, mudah, dan lebih praktis melakukan pendetaialan dan sambungan dibandingkan dengan beton.

Struktur rangka baja penahan gempa terdiri dari *Moment Resisting Frame (MRF)* dan *Braced Frame (BF)*. *MRF* merupakan struktur rangka yang bekerja secara inelastis penuh saat terjadi gempa dan mempunyai daktilitas yang sangat tinggi. Sedangkan *BF* mengutamakan kekakuan dan kekuatan dari sistem rangka vertikal sebagai penahan beban lateral. *BF* mempunyai elemen *bracing* yang berguna memperkaku dan memperkuat struktur rangka. *BF* terbagi dua, yaitu *Concentrically Braced Frame (CBF)* dan *Eccentrically Braced Frame (EBF)*. *CBF* adalah struktur portal penahan beban lateral yang mempunyai kekakuan elastis yang tinggi. Kekakuan yang tinggi didapat dari pengaku (*bracing*) diagonal dengan mengembangkan aksi gaya dalam aksial dan lentur yang relatif kecil. Sedangkan *EBF* merupakan suatu sistem struktur rangka baja tahan gempa yang mempunyai kekakuan elastik yang sangat baik (*excellent elastic stiffness*) di bawah pembebanan lateral gempa sedang layaknya *CBF* dan mempunyai daktilitas yang bagus (*good ductility*) dibawah beban lateral gempa besar layaknya *MRF*. Elemen yang sangat penting dalam mendesain *EBF* adalah bagian yang terletak antara joint pengaku diagonal dengan joint kolom atau balok yang disebut dengan *link beam*. *Link beam* merupakan elemen yang diharapkan sebagai elemen penyerap energi gempa dan mengalami proses plastifikasi pada bagian elemen yang rusak tersebut sebagai sarana pemencaran energi (*fuse*).



Gambar 1.1 Berbagai variasi konfigurasi EBF

Konsep desain portal tahan gempa *EBF* (*D-EBF*, *V-EBF*, dan *K-Split EBF*) adalah menetapkan elemen *link beam* sebagai bagian yang akan leleh/ rusak terlebih dahulu sedangkan elemen lain seperti kolom, balok, dan bracing diharapkan tetap berada dalam kondisi elastis. Kelelahan yang terjadi pada elemen *link* dapat berupa kelelahan geser, kelelahan lentur, atau kombinasi keduanya. Dari tiga konfigurasi *EBF* antara lain *D-EBF*, *V-EBF*, dan *K-Split EBF*, jenis *K-Split EBF* merupakan konfigurasi yang terbaik karena momen terbesar yang menyebabkan terjadinya sendi plastis tidak terjadi di dekat kolom, melainkan berada di ujung-ujung *link beam* di antara dua *joint bracing*. Sendi plastis yang terjadi pada balok menyebabkan mekanisme keruntuhan balok. Sedangkan sendi plastis yang terjadi pada kolom menyebabkan mekanisme keruntuhan kolom yang berarti terjadinya keruntuhan bangunan (*collapse*). Oleh karena itu, struktur model *K-Split EBF* akan lebih menguntungkan karena sendi plastis yang terjadi tidak menyebabkan keruntuhan pada bangunan.

## 1.2 Rumusan Masalah

- Bagaimana kinerja model struktur *K-Split EBF* saat terjadi gempa ?
- Bagaimana pengaruh panjang eksentrisitas (*link beam*) bracing *K-Split EBF* terhadap perilaku inelastisnya ?
- Bagaimana pengaruh variasi ketinggian terhadap perilaku inelastis (kekuatan, kekakuan, dan daktilitas) model struktur *K-Split EBF* ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja dan perilaku sistem rangka baja berpengaku eksentrik (*K-Split EBF*) terhadap pengaruh panjang *link beam* dan pengaruh ketinggian bangunan sebagai sistem rangka penahan beban lateral gempa. Adapun parameter yang ditinjau yaitu berupa perilaku inelastis yang meliputi antara lain; kekuatan, kekakuan, serta daktilitas struktur yang diperoleh dari kurva hubungan beban – perpindahan berdasarkan analisis statik nonlinier *pushover*.

### 1.4 Batasan Masalah

- Kajian yang dilakukan adalah kajian terhadap struktur rangka baja berpengaku eksentrik tipe *K-Split Braced*.
- Struktur rangka terdiri dari 3 bentang ( $L = 6$  meter) dengan variasi ketinggian mulai dari 6, 12, hingga 18 lantai. Tinggi lantai dasar 4 meter, dan tinggi lantai tipikal  $h = 3$  meter.
- Panjang *link beam* yang digunakan adalah 0,6 meter dan 1,2 meter.
- Permodelan struktur yang digunakan adalah permodelan struktur 3 dimensi menggunakan program Nonlinier ETABS 9.6.0.
- Interaksi antara struktur dengan tanah tidak ditinjau.

### 1.5 Hipotesis Awal

Variabel ketinggian atau jumlah lantai pada model rangka baja berpengaku eksentris (*EBF*) memengaruhi rangkaian timbulnya sendi plastis pada struktur dan memengaruhi rasio kekuatan, kekakuan, daktilitas, maupun kinerja komponen struktur. Variabel panjang *link beam* sangat memengaruhi jenis kelelahan atau keruntuhan yang terjadi pada *link beam K-Split EBF* tersebut dan dapat memengaruhi perilaku serta performa rangka baja secara keseluruhan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

a. BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, hipotesis awal, dan sistematika penulisan.

b. BAB 2 DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan pengaruh faktor gempa pada struktur, jenis struktur portal rangka baja tahan gempa, konsep perencanaan *link beam*, perilaku *link beam* dan panjangnya, pengaku *link beam*, teori analisis *pushover*, dan teori desain kinerja struktur tahan gempa.

c. BAB 3 PERMODELAN STRUKTUR

Bab ini menjelaskan prosedur membuat permodelan struktur, informasi umum perencanaan, parameter studi, modelisasi struktur, serta analisis yang digunakan untuk permodelan yang telah dibuat.

d. BAB 4 EVALUASI HASIL ANALISIS STRUKTUR BANGUNAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil analisis *pushover* untuk masing-masing model struktur, dan menjelaskan analisis perbandingan model struktur berdasarkan parameter studi yang telah ditetapkan.

e. BAB 5 PENUTUP

Bab ini menjelaskan kesimpulan yang didapat dari hasil analisis dan menjawab pertanyaan pada rumusan masalah. Bab ini juga berisi saran yang diajukan penulis berdasarkan hasil analisis dan kesimpulan yang telah didapat untuk studi selanjutnya yang terkait dengan topik penelitian ini.

## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Faktor Gempa Pada Struktur

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. Daerah perbatasan lempeng-lempeng tektonik, merupakan tempat-tempat yang memiliki kondisi tektonik yang aktif, yang menyebabkan gempa bumi, gunung berapi, dan pembentukan dataran tinggi.

Indonesia adalah negara kepulauan dengan tingkat resiko terhadap gempa bumi yang cukup tinggi seperti halnya Jepang dan California, hal ini disebabkan karena wilayah Kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan 4 lempeng aktif utama dunia yaitu lempeng Indo – Australia, Eurasia, Pasifik, dan Filipina.

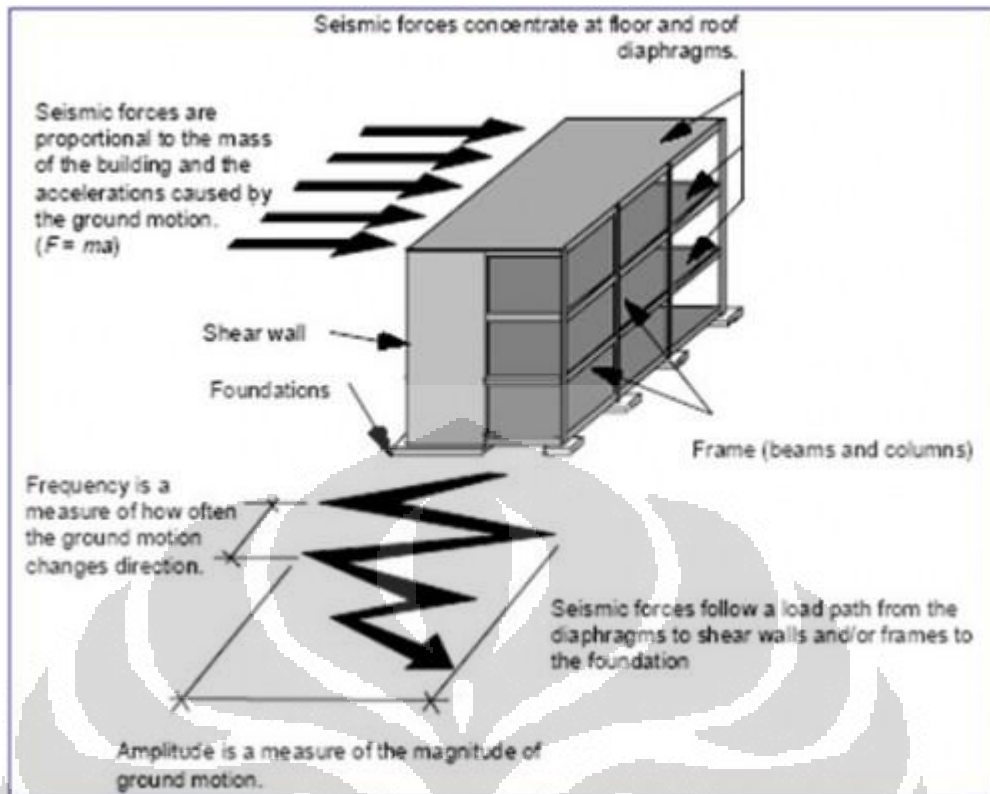


Gambar 2.1 Penyebaran 4 Lempeng Bumi di Wilayah Indonesia

Gempa bumi memberikan pengaruh langsung pada konstruksi bangunan melalui intensitas lokal dari gempa, yaitu besar kecilnya getaran permukaan di lokasi bangunan berdiri. Intensitas gempa lokal tersebut dinyatakan dengan percepatan gempa permukaan dengan satuan ( $m/s^2$ ). Ketika tanah dalam keadaan diam maka bangunan tidak bergerak (stabil) sehingga berat sendiri bangunan

ditopang langsung oleh tanah searah percepatan gravitasi. Ketika gempa bumi terjadi, permukaan tanah akan bergerak dengan percepatan tertentu (dari kondisi diam hingga mempunyai kecepatan tertentu). Adanya percepatan tanah ini menimbulkan gaya dorong yang membuat bangunan di atasnya terdorong ke arah belakang (berlawanan dengan arah percepatan tanah) sehingga berpotensi merusak bangunan. Gaya dorong tersebut dinamakan gaya inersia yang mempunyai kecenderungan agar bangunan tetap berada pada kondisi semula dengan cara melawan arah gerakan percepatan tanah akibat gempa. Gaya inersia menyebabkan struktur berespon relatif terhadap tanah dan menyebabkan pergerakan (perpindahan) pada elemen-elemen struktur sehingga menimbulkan gaya pegas yang harus dipikul oleh struktur, terutama oleh elemen struktur vertikal seperti kolom dan dinding geser struktur. Besarnya gaya inersia yang timbul akibat percepatan tanah tersebut adalah : gaya inersia (Newton) = massa bangunan (kg)  $\times$  percepatan tanah ( $m/s^2$ ). Semakin besar massa bangunan dan atau semakin besar percepatan tanah tersebut, semakin besar pula gaya inersia yang timbul. Oleh karena itu, bangunan yang menggunakan material yang lebih ringan akan lebih tahan terhadap guncangan akibat gempa bumi.

Selain itu, faktor gempa yang berpengaruh pada respon atau reaksi struktur bangunan adalah lamanya waktu gempa (durasi gempa) dan rentang frekuensi gempa. Durasi gempa berpengaruh pada besarnya pemindahan energi dari vibrasi tanah ke energi struktur (energi disipasi). Gempa dengan percepatan sedang dan durasi yang lama menyebabkan kerusakan lebih besar dibandingkan dengan gempa yang memiliki percepatan besar tetapi durasinya singkat. Rentang frekuensi gempa yang berdekatan dengan frekuensi struktur akan mengakibatkan resonansi atau pembesaran respon struktur yang dikenal dengan istilah faktor amplifikasi struktur.

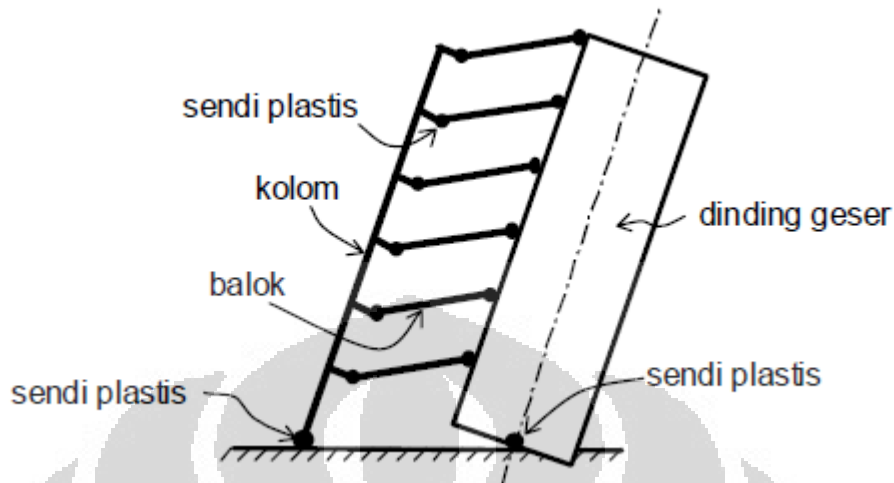


Gambar 2.2 Pengaruh Gempa pada Bangunan

Pada umumnya, desain struktur bangunan tahan gempa merupakan desain yang mengatur hubungan antara respon gaya gempa horizontal yang bekerja pada struktur (faktor kekuatan), kekakuan struktur (*stiffness*), dan deformasi lateral struktur. Kekuatan elemen struktur dirancang agar saat terjadi gempa kekuatannya dapat tercapai (*capacity design*). Karena struktur mempunyai kekakuan, di dalam suatu perpindahan yang terjadi pada struktur akan menimbulkan gaya yang kemudian akan menimbulkan deformasi pada struktur. Redaman (*damping*) diperlukan oleh struktur sebagai penyerap energi gempa. Elemen yang daktail akan mampu berdeformasi melebihi batas kekuatan elastisnya dan akan terus mampu menahan beban sehingga mampu menyerap energi gempa yang lebih besar.

Faktor daktilitas suatu struktur gedung merupakan dasar bagi penentuan beban gempa yang bekerja pada struktur gedung. Karena itu, tercapainya tingkat daktilitas yang diharapkan harus terjamin dengan baik. Hal ini dapat tercapai dengan menetapkan suatu persyaratan yang disebut “kolom kuat balok lemah”. Hal ini berarti, bahwa akibat pengaruh Gempa Rencana, sendi-sendi plastis di dalam struktur gedung hanya boleh terjadi pada ujung-ujung balok dan pada kaki

kolom dan kaki dinding geser saja. Secara ideal, mekanisme keruntuhan suatu struktur gedung adalah seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3.

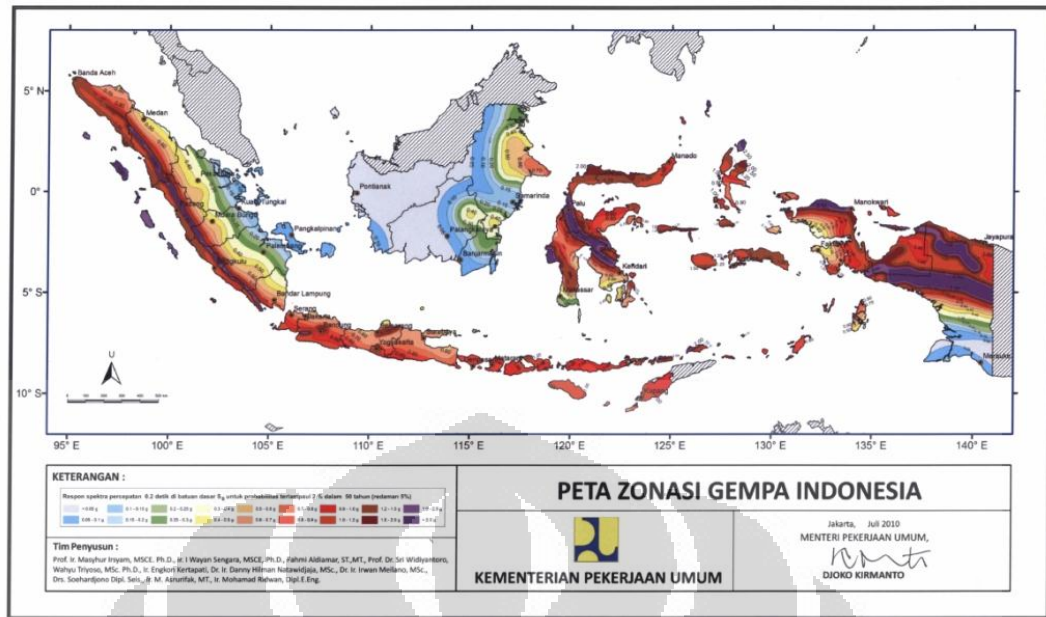


Gambar 2.3 Mekanisme Keruntuhan Ideal Suatu Struktur Gedung Dengan Sendi Plastis Terbentuk Pada Ujung-Ujung Balok dan Kaki Kolom

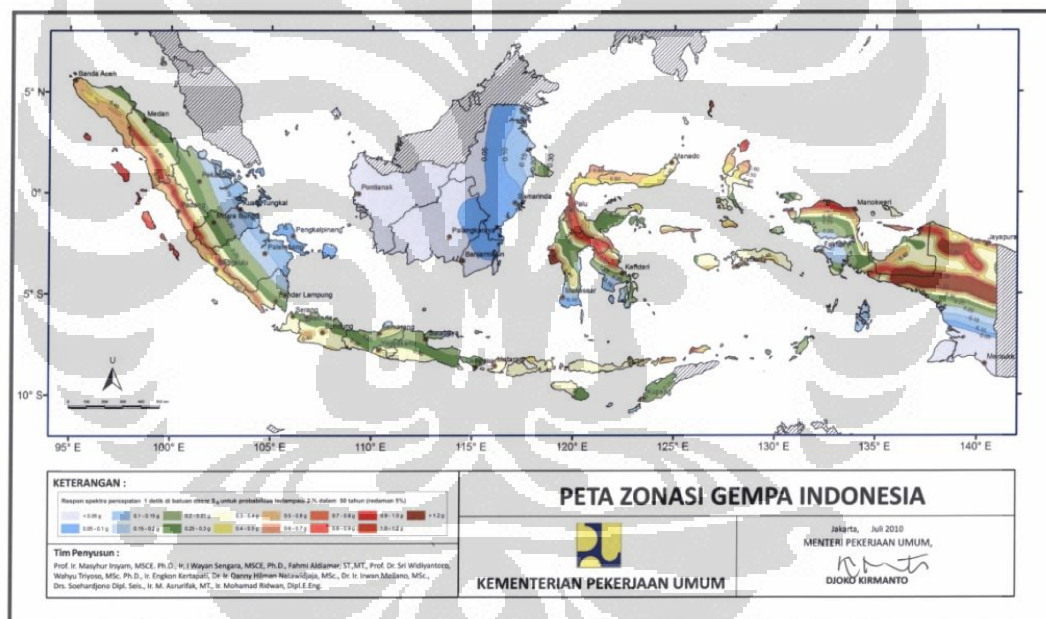
Daktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan. Faktor daktilitas adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama di dalam struktur gedung.

Akibat pengaruh gempa rencana, setiap struktur gedung menurut standar SNI 03-1726-2002 direncanakan untuk tetap masih berdiri, tetapi sudah mencapai kondisi di ambang keruntuhan. Bagaimana riwayat beban – perpindahan suatu struktur gedung sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan ini, bergantung pada tingkat daktilitas struktur gedung tersebut. Adapun peta gempa Indonesia yang berlaku saat ini adalah :





Gambar 2.4 Peta Spektra 0,2 detik untuk Periode Ulang Gempa 2500 tahun



Gambar 2.5 Peta Spektra 1 detik untuk Periode Ulang Gempa 2500 tahun

## 2.2 Pembebanan Gempa Berdasarkan RSNI 03-1726-201x

Gempa Rencana ditetapkan mempunyai perioda ulang 2500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 2% selama umur gedung 50 tahun. Terdapat 2 buah peta Wilayah Gempa, yaitu untuk gempa dengan periode sangat singkat ( $T=0,2$  detik), dan gempa dengan periode 1 detik ( $T=1$  detik), seperti yang terdapat pada gambar 2.5 dan gambar 2.6. Grafik respons spektrum tidak disediakan, melainkan harus dirancang sendiri menggunakan parameter-parameter

percepatan yang dapat dihitung berdasarkan wilayah gempa dan struktur gedung yang akan di bangun. Berikut ini adalah langkah-langkah membuat respons spektrum disain yang terdapat dalam pasal 6 :

- a. Menentukan  $S_s$  (di dapat dari peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan  $T = 0,2$  detik) dan  $S_1$  (di dapat dari peta gempa dengan periode ulang 2500 tahun dan  $T = 1$  detik)
- b. Menentukan jenis tanah dan koefisien situs

Setelah jenis tanah ditentukan, dengan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  yang diperoleh di langkah 1, dan dengan tabel 4 dan 5 pada RSNI 03-1726-2011 (pasal 6.2), maka di dapat  $F_a$  dan  $F_v$ .

Tabel 2.1 Koefisien Situs  $F_a$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakann pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,2	1,2	1,1	1	1
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

Tabel 2.2 Koefisien Situs  $F_v$

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakann pada perioda pendek, $T = 1$ detik				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1	1	1	1
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	$SS^b$				

c. Menghitung  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$

$S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  (parameter spektrum respons percepatan pada perioda pendek dan perioda 1 detik) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_S$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

d. Menghitung parameter percepatan spektral disain

Parameter percepatan spektral disain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan perioda 1 detik,  $S_{D1}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$$

e. Spektrum respons desain

i. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan disain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

ii. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$

iii. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan:

$S_{DS}$  adalah parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek.  $S_{D1}$  adalah parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik.  $T$  adalah perioda getar fundamental struktur.

Sesuai pasal 5.3, jenis tanah dikelompokkan menjadi 6 bagian, dengan pembagiannya berdasarkan besaran kecepatan rambat gelombang geser rata-rata ( $v_s$ ), nilai hasil test penetrasi standar rata-rata ( $N$ ), dan kuat geser niralir rata-rata.

Tabel 2.3 Klasifikasi Situs

Kelas situs	Vs (m/det)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 – 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras)	350 – 750	>50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 – 350	15 – 50	50 - 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
SF (tanah khusus)	Tanah yang memiliki salah satu karakteristik berikut (berpotensi gagal saat gempa, lempung sangat organik, lempung berplastisitas tinggi)		

Sesuai pasal 4.1.2 yang menentukan kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung. Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 2.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Struktur Lainnya Untuk Beban Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dengan risiko rendah terhadap jiwa manusia	I
Semua gedung lain	II
Gedung dengan risiko tinggi terhadap jiwa manusia	III
Gedung yang ditujukan untuk fasilitas penting	IV

Tabel 2.5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

### 2.2.1 Kategori Desain Gempa

Sesuai pasal 6.5, struktur harus memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal ini. Perhitungan perancangan besarnya gaya gempa rencana untuk desain dan analisis perhitungan dinyatakan oleh besarnya gaya geser dasar, ketentuan mengenai syarat kekuatan dan pendetailan tulangan serta fleksibilitas ketidakberaturan bentuk hubungan dan limitasi tinggi tidak lagi ditentukan oleh peta zoning gempa sebagaimana halnya yang telah ditetapkan dalam SNI 03-1726-2002. Pada RSNI 03-1726-2011, ketentuan mengenai hal tersebut di atas telah tergantikan oleh criteria perancangan baru yang disebut Kategori Desain Gempa (Seismic Design Category) dan dikaitkan dengan Kategori Hunian.

Tabel 2.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} \leq 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} \leq 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} \leq 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.7 Kategori Disain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Perioda 1 detik

Nilai $S_1$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} \leq 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} \leq 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} \leq 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

### 2.2.2 Struktur Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

Sesuai pasal 7.3.2, struktur gedung dikatakan tidak beraturan apabila terdapat salah satu dari ketidakberaturan berikut ini:

- Ketidakberaturan horisontal (ketidak-beraturan torsi, ketidakberaturan torsi berlebihan, ketidakberaturan sudut dalam, ketidakberaturan diskontinuitas diafragma, ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang), ketidakberaturan sistem nonparalel.
- Ketidakberaturan vertikal (ketidak-beraturan kekakuan tingkat lunak, ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan, ketidakberaturan berat, ketidakberaturan geometri vertikal, diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal, diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat, diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan).

### 2.2.3 Struktur Penahan Beban Seismik

Sesuai pasal 7.2, sistem penahan gaya seismik lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan di dalam tabel yang terlampir atau kombinasi sistem seperti dalam pasal 7.2.2, 7.2.3, dan 7.2.4. Setiap tipe dibagi-bagi berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam tabel.

Faktor modifikasi respons yang sesuai,  $R$ , faktor kuat lebih sistem,  $\Omega_0$ , dan faktor pembesaran defleksi,  $C_d$ , sebagaimana ditunjukkan dalam tabel harus digunakan dalam penentuan gaya geser dasar, gaya disain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

#### 2.2.4 Gaya Geser Dasar Gempa dan Beban Lateral Gempa

Sesuai pasal 7.8, gaya dasar seismik,  $V$ , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W$$

Keterangan :

$C_s$  : koefisien respons seismik

$W$  : berat seismik efektif

Koefisien respons seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai persamaan berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung di atas tidak boleh melebihi berikut ini:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

$C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

Untuk struktur yang berlokasi di  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka

$C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan :

$S_{DS}$  : parameter percepatan spektrum respons disain dalam rentang periode pendek

$S_{D1}$  : parameter percepatan spektrum respons disain pada periode 1 detik

$S_1$  : parameter percepatan spektrum respons maksimum yang ditetapkan

- T : perioda struktur dasar (detik)  
 R : faktor modifikasi respons  
 I<sub>e</sub> : faktor keutamaan hunian

Sesuai pasal 7.8.3, gaya gempa lateral yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx}V$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Keterangan

- C<sub>vx</sub> : faktor distribusi vertikal  
 V : gaya lateral disain total  
 w<sub>i</sub> dan w<sub>x</sub> : bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat I atau x  
 h<sub>i</sub> dan h<sub>x</sub> : tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x  
 k : eksponen yang terkait dengan perioda struktur

Sesuai pasal 7.8.4, gaya tingkat disain gempa di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=x}^N F_i$$

Keterangan

- F<sub>i</sub> : bagian dari gaya geser dasar seismik yang timbul di tingkat i

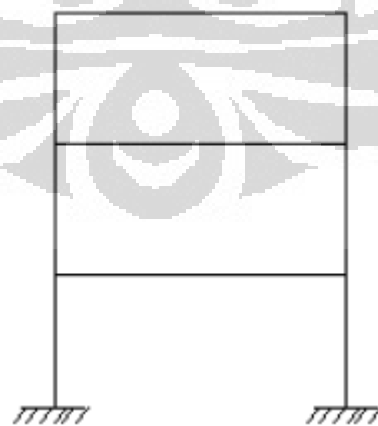
### 2.3 Struktur Rangka Baja Tahan Gempa

Hingga saat ini terdapat beberapa jenis portal baja tahan gempa. Secara umum terdapat 2 jenis portal baja tahan gempa, yaitu *Braced Frames* dan *Moment Resisting Frames*. Masingmasing jenis portal baja tersebut memiliki karakteristik masing-masing yang berbeda.



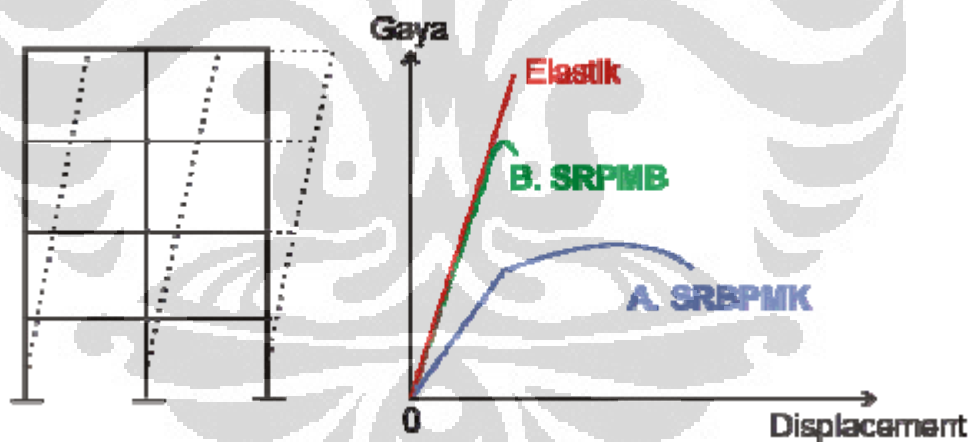
### 2.3.1 *Moment Resisting Frames (MRF)*

Sistem struktur MRF memberikan ruang yang luas pada suatu bangunan. Oleh karena itu, sistem ini sering diminati oleh banyak arsitek dan juga banyak digunakan untuk struktur gedung institusi atau perkantoran yang memerlukan ruang yang luas. Pada sistem struktur MRF, sambungan antara balok dan kolom harus didesain cukup kuat untuk memperkuat kekuatan balok dan mengurangi risiko keruntuhan *brittle* pada sambungan balok dan kolom. Dengan rentang balok yang cukup lebar (tanpa pengaku), sistem MRF dapat memberikan deformasi yang cukup besar sehingga sistem ini memiliki daktilitas yang cukup besar dibandingkan dengan jenis portal baja tahan gempa lainnya. Walaupun demikian, dengan deformasi yang cukup besar, sistem MRF memiliki kekakuan yang rendah jika dibandingkan dengan portal baja tahan gempa lainnya. Portal baja ini sering disebut juga *Moment Frames*. Pada sistem struktur MRF, elemen balok terhubung kaku pada kolom dan tahanan terhadap gaya lateral diberikan terutama oleh momen lentur dan gaya geser pada elemen portal dan *joint*. Sistem struktur MRF memiliki kemampuan menyerap energi yang besar tetapi memiliki kekakuan yang rendah. Pada sistem ini, untuk melakukan penyerapan energi yang besar diperlukan deformasi yang besar pada rantai strukturnya. Dengan demikian, jika dibandingkan dengan struktur portal baja jenis lainnya, sistem struktur ini memiliki ukuran elemen struktur yang lebih besar untuk menjaga deformasi strukturnya.



Gambar 2.6 *Moment Resisting Frames (MRF)*

Portal baja MRF merupakan jenis portal baja yang sering digunakan dalam aplikasi struktur baja di dunia konstruksi. Berdasarkan daktilitasnya, portal baja MRF dibagi dalam 2 kategori, yaitu *Special Moment Resisting Frames* (SMRF) atau sistem rangka batang penahan momen khusus (SRBPMK) dan *Ordinary Moment Resisting Frames* atau sistem rangka penahan momen biasa (SRPMB). SRBPMK didesain untuk memiliki daktilitas yang lebih tinggi dan dapat berdeformasi inelastik pada saat gaya gempa terjadi. Deformasi inelastik akan meningkatkan damping dan mengurangi kekakuan (*stiffness*) dari struktur. Hal ini terjadi pada saat gempa ringan bekerja pada struktur. Dengan demikian, SRBPMK dianjurkan untuk didesain pada gaya gempa yang lebih ringan dibandingkan dengan gaya gempa yang bekerja pada SRPMB. Pada SRPMB, struktur diharapkan dapat mengalami deformasi inelastik secara terbatas pada komponen struktur dan sambungan-sambungannya akibat gaya gempa rencana. Dengan demikian, pada SRPMB kekakuan (*stiffness*) yang ada lebih besar dibandingkan dengan kekakuan pada SRBPMK.



Gambar 2.7 Karakteristik SRPMB dan SRBPMK

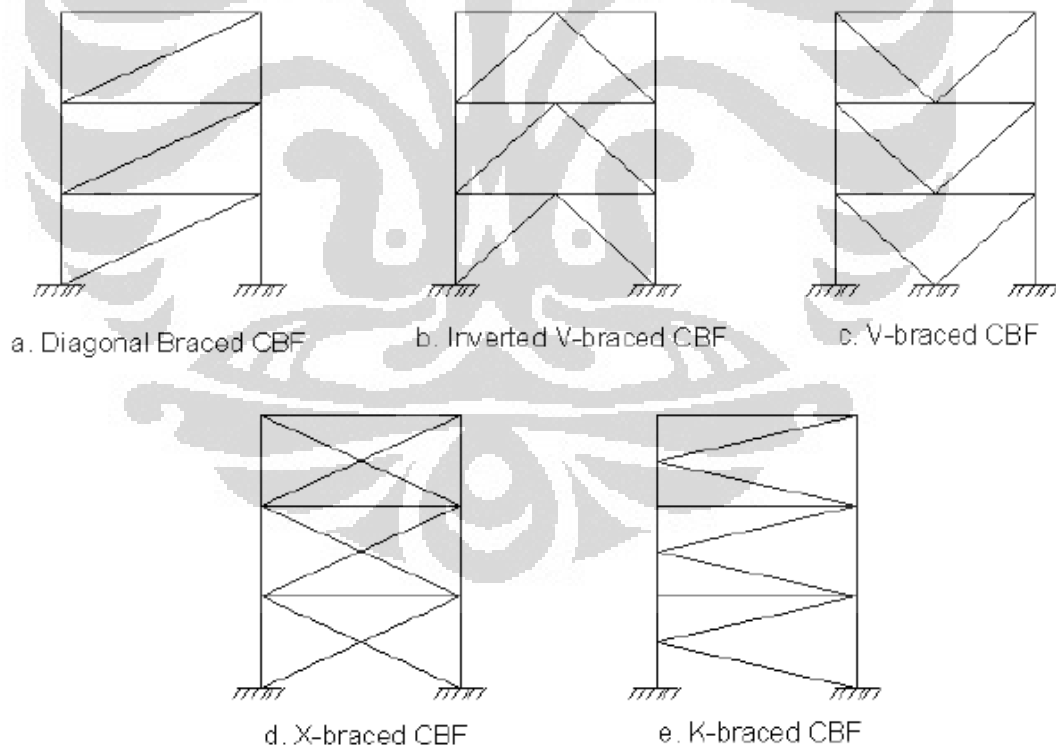
Secara umum, SRPMB memiliki kekakuan (*stiffness*) yang lebih besar dan kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan SRBPMK. Tetapi, SRPMB memiliki daktilitas yang lebih kecil dibandingkan dengan SRBPMK untuk kasus pembebanan gempa yang sama. Pada SRBPMK, untuk mendapatkan daktilitas yang tinggi, kehancuran harus terjadi pada saat struktur baja mengalami leleh (*yield*).

### 2.3.2 *Braced Frames (BF)*

Berbeda dengan sistem struktur *MRF*, portal *Braced Frames* memiliki elemen bressing untuk meningkatkan kekakuan strukturnya. *Braced Frames* didesain untuk meminimalisir masalah kekakuan yang terdapat pada jenis portal *MRF*. Terdapat 2 jenis portal *Braced Frames*, yaitu *Concentrically Braced Frames (CBF)* dan *Eccentrically Braced Frames (EBF)*.

### 2.3.3 *Concentrically Braced Frames (CBF)*

Berbeda dengan sistem portal *MRF*, struktur *CBF* merupakan sistem struktur untuk menahan beban lateral dengan kekakuan struktur yang tinggi. Kekakuan yang tinggi pada struktur ini dihasilkan oleh elemen bressing diagonal yang berfungsi untuk menahan beban lateral pada struktur. Pada sistem struktur ini, elemen bressing diharapkan mampu berdeformasi inelastik yang besar tanpa terjadi kehilangan yang signifikan pada kekuatan dan kekakuan struktur.



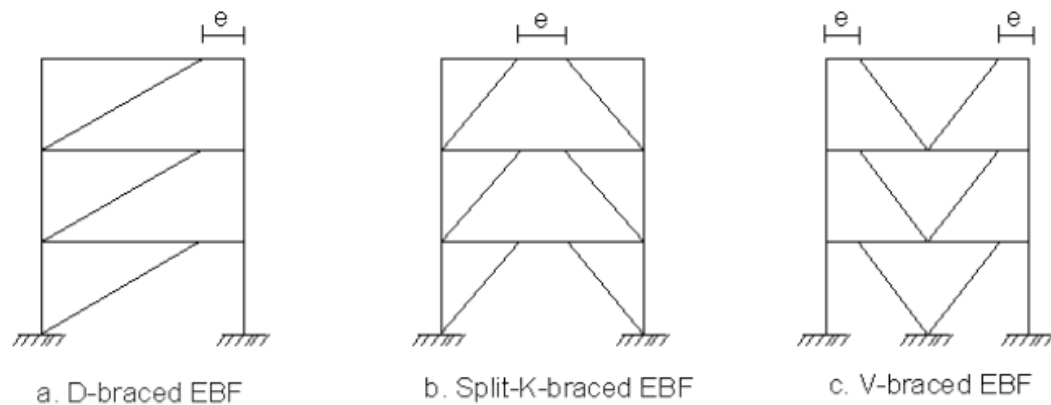
Gambar 2.8 Jenis-jenis Portal CBF

Elemen bressing pada sistem *CBF* berfungsi untuk menambah kekakuan struktur karena dengan adanya bressing pada struktur, deformasi struktur akan menjadi lebih kecil sehingga kekakuan strukturnya meningkat. Pada sistem struktur *CBF*,

kategori struktur dibagi menjadi dua, yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK). Pada sistem SRBKB, diharapkan sistem ini dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana. Berbeda dengan SRBKB, pada sistem SRBKK diharapkan struktur dapat berdeformasi inelastik cukup besar akibat gaya gempa rencana. Sistem SRBKK memiliki daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan SRBKB karena deformasi yang terjadi pada SRBKK lebih besar dibandingkan dengan deformasi pada SRBKB dan penurunan kekuatan pada SRBKK lebih kecil pada saat terjadi tekuk pada bresing tekan. Secara umum, sistem struktur CBF memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan struktur MRF karena adanya elemen bresing pada struktur. Namun demikian, kekakuan yang besar pada sistem CBF mengakibatkan deformasi yang terjadi pada struktur lebih terbatas sehingga daktilitas struktur CBF lebih rendah jika dibandingkan dengan sistem struktur MRF.

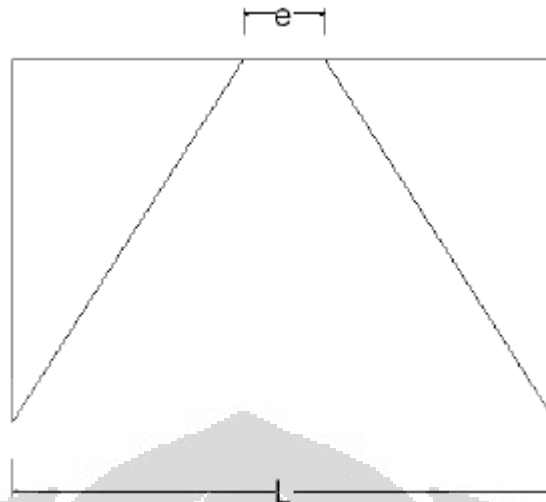
#### 2.3.4 *Eccentrically Braced Frames (EBF)*

Sistem struktur EBF merupakan struktur portal baja penahan gaya lateral yang merupakan perpaduan dari 2 sistem portal konvensional, yaitu MRF dan CBF. EBF menggabungkan kelebihan dari tiap frame konvensional tersebut dengan meminimalisasi kekurangannya. EBF memiliki kekakuan elastik yang tinggi, daktilitas yang sempurna, respons yang stabil pada beban siklik lateral, dan mempunyai kapasitas disipasi energi yang besar. Kunci yang menjadi ciri khas dari EBF adalah setidaknya ada 1 dari ujung tiap bracing yang terhubung balok sehingga menjadikan sebuah segmen terpisah pada balok yang disebut *link beam*. Panjang *link* sangat berpengaruh pada sistem kekakuan dan daktilitas frame.



Gambar 2.9 Jenis portal EBF

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



Gambar 2.10 Panjang elemen *link* dan panjang elemen balok pada Split K-Braced EBF

Dari ketiga macam jenis portal EBF tersebut, konfigurasi Split-K Braced mempunyai keuntungan karena bentuknya yang simetris dan letak *link* yang tidak langsung terhubung oleh kolom sehingga terhindar dari masalah *full moment connection* pada kolom (sendi plastis tidak terjadi di dekat kolom).

Walaupun sistem bresing eksentrik bukan merupakan konsep yang baru, aplikasi sistem ini pada konstruksi tahan gempa sangat dapat diterima. Ketahanan bresing eksentrik pada konstruksi tahan gempa sangat tergantung pada kestabilan sistem struktur dan sifat inelastik di bawah beban siklik lateral. Pada desain struktur EBF yang baik, aktifitas inelastik di bawah beban siklik dibatasi terutama hanya terjadi pada elemen *link* yang didesain untuk dapat mengalami deformasi inelastik yang besar tanpa kehilangan kekuatan. Pada struktur EBF ini, elemen-elemen struktur di luar *link* (balok, kolom, dan bresing) didesain berdasarkan kapasitas *link*. Dengan membuat elemen *link* lebih lemah dari elemen-elemen struktur lainnya, kehancuran daktail diharapkan terjadi pada elemen *link* dan mengantisipasi agar elemen-elemen di luar *link* mengalami kehancuran non daktail, seperti *buckling* pada elemen bresing. Karakteristik sistem struktur EBF tergantung dari karakteristik elemen *link*nya. Seperti telah disebutkan sebelumnya, kekakuan struktur EBF merupakan fungsi dari panjang *link*nya ( $e$ ). Kekuatan struktur EBF dipengaruhi oleh nilai perbandingan  $e/L$  nya. Kekuatan struktur EBF meningkat seiring dengan penurunan nilai  $e/L$  atau pemendekan elemen *link* hingga mencapai batas kapasitas geser plastis dari *link*. Pada struktur EBF, *link*

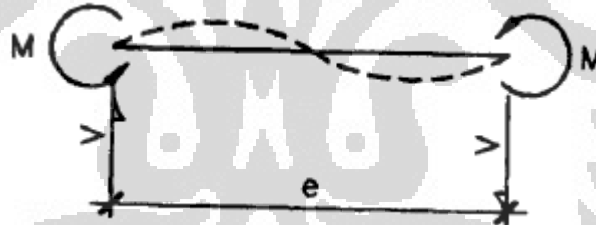
pendek ( $e/L$  kecil) memiliki keunggulan dalam menyediakan kekakuan dan kekuatan struktur yang tinggi. Nilai  $e/L$  yang kecil mengakibatkan kebutuhan rotasi *link* yang sangat besar. *Link* panjang ( $e/L$  besar) menghasilkan kekakuan dan kekuatan

yang rendah serta kebutuhan rotasi *link* yang lebih kecil. Nilai  $e/L$  yang besar menghasilkan struktur EBF yang mendekati sifat struktur MRF, sedangkan nilai  $e/L$  yang kecil menghasilkan struktur EBF yang mendekati sifat struktur CBF.

### 2.3.5 Perilaku *Link Beam*

#### 2.3.5.1 Kuat Elemen *Link Beam*

*Link beam* merupakan elemen balok pendek yang direncanakan mengalami kelelahan lebih awal pada saat bekerjanya beban lateral pada struktur. Pada bagian *link* ini bekerja gaya geser (*shear*) pada kedua ujung *link* dengan besar yang sama dan arah yang berlawanan. Gaya geser yang bekerja tersebut mengakibatkan momen pada kedua ujung *link* dengan besar dan arah yang sama.



Gambar 2.11 Aksi Geser dan Lentur pada Elemen *Link*

Mekanisme leleh yang terjadi pada elemen *link* ditentukan oleh gaya geser dan lentur yang terjadi pada *link*. Apabila *link* mengalami leleh akibat gaya geser, maka *link* tersebut berupa *link* geser, sedangkan apabila *link* mengalami leleh karena lentur, *link* tersebut berupa *link* lentur. Hal ini dipengaruhi oleh panjang *link* yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya. Kekuatan (geser dan lentur) batas pada elemen *link* ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$M_p = Z_x f_y$$

$$V_p = 0,6 f_y (h - 2t_f) t_w$$

Di mana :

$M_p$  = Momen plastis penampang

$Z_x$  = Modulus plastis penampang  
 $f_y$  = Tegangan leleh penampang  
 $V_p$  = Gaya geser plastis penampang  
 $h$  = Tinggi penampang  
 $t_f$  = Tebal flens  
 $t_w$  = Tebal web

Kuat geser rencana *link*,  $\phi V_n$ , harus lebih besar dari kuat geser perlu  $V_u$ , dengan :

$V_n$  = Kuat geser nominal *link*, diambil yang terkecil diantara  $V_p$  atau  $2M_p/e$

$\phi_v$  = faktor reduksi geser 0,9

$e$  = panjang *link*

$$\phi_v V_n = 0,6 \phi f_y (h - 2t_f) t_w$$

Kapasitas kekuatan *link* harus memenuhi syarat berikut :

$$M_n = M_p$$

$$\phi M_n > M_u$$

$$\phi V_n > V_u$$

Dimana :

$M_n$  = Momen lentur rencana *link*

$M_u$  = Momen lentur perlu

$\phi$  = faktor reduksi lentur 0,9

### 2.3.5.2 Panjang *Link Beam*

*Link beam* bekerja sebagai sekering gempa yang bersifat daktail, menyerap energi gempa yang masuk ke bangunan. Panjang dari elemen *link* akan menentukan mekanisme leleh dan kegagalan *ultimate* yang terjadi pada elemen *link*. Secara umum terdapat 2 jenis *link* berdasarkan panjang *link*nya, yaitu *link* geser (*short link*) dan *link* lentur (*long link*). *Link* geser mengalami leleh disebabkan oleh gaya geser sedangkan *link* lentur mengalami leleh karena momen lentur. Panjang dari elemen *link* merupakan faktor penting untuk menentukan perilaku inelastik elemen *link*, panjang *link* berfungsi untuk mengontrol mekanisme leleh yang terjadi pada *link*. Pada *link* geser, gaya geser mencapai



keadaan plastis ( $V_p$ ) terlebih dahulu sebelum momen lentur mencapai kapasitas momen plastisnya dan *link* mengalami leleh dalam geser. Sebaliknya, pada *link* lentur, momen plastis ( $M_p$ ) tercapai terlebih dahulu sebelum kelelahan geser terjadi. Ketentuan mengenai panjang *link* ( $e$ ) adalah sebagai berikut :

$$\text{Link geser (short links) : } e \leq \frac{1,6M_p}{V_p}$$

$$\text{Link medium (intermediate links) : } \frac{1,6M_p}{V_p} < e < \frac{2,5M_p}{V_p}$$

$$\text{Link lentur (long links) : } e \geq \frac{2,5M_p}{V_p}$$

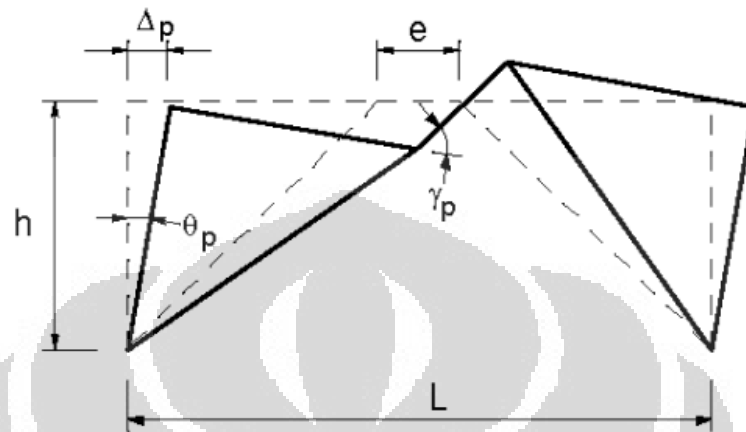
Pada *link* geser, gaya geser yang terjadi konstan di sepanjang *link* dan regangan geser inelastik terdistribusi merata di sepanjang *link*. Hal ini mengakibatkan terjadinya pengembangan deformasi inelastis yang besar pada *link*. Pada *link* lentur, kelelahan lentur mendominasi respons struktur tersebut terhadap beban yang bekerja pada struktur, termasuk beban gempa dan regangan lentur yang sangat tinggi dibutuhkan pada bagian ujung-ujung *link* untuk menghasilkan deformasi inelastik yang besar pada *link*. Terdapat perbedaan pada model keruntuhan *link* geser dan *link* lentur. Tekuk geser inelastis pada bagian badan (*web*) merupakan model keruntuhan pada *link* geser. Tekuk yang terjadi ini dapat ditunda atau diperlambat dengan menambahkan pengaku pada bagian badan (*web*). Pada *link* lentur, model keruntuhan dapat berupa fraktur di bagian sayap (*flens*) pada elemen *link*. Selain itu, model keruntuhan lainnya dapat berupa tekuk pada bagian sayap (*flens*) dan tekuk torsi lateral pada bagian *link*. Model keruntuhan ini dapat diperlambat dengan menambahkan pengaku pada elemen *link*. Panjang dan geometri dari *link* EBF juga menentukan sifat frame. *Link* pendek mirip dengan coencentric braces, sedangkan *link* panjang mempunyai keunggulan arsitektural dan perencanaan untuk penyediaan ruang/ bukaan untuk pintu, jendela, dan tempat peralatan mesin.

### 2.3.5.3 Sudut Rotasi *Link beam*

Sudut rotasi *link beam* adalah sudut inelastis antara *link beam* dan balok di samping *link* ketika besarnya total *story drift* sama dengan besarnya desain *story drift*,  $\Delta$ . Sudut rotasi pada *link beam* seharusnya tidak melebihi nilai berikut :

- 0,08 radian untuk panjang *link*  $e \leq 1,6M_p/V_p$ .

- 0,02 radian untuk panjang *link*  $e \geq 2,6M_p/V_p$ .
- Interpolasi linier antara 0,08 – 0,02 radian jika panjang *link*  $1,6M_p/V_p \leq e \leq 2,6M_p/V_p$ .



Gambar 2.12 Sudut Rotasi *Link beam*

Sumber : AISC 341-05 *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*

Secara analitis, sudut rotasi pada *link beam* dapat menggunakan persamaan

$$\gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p$$

Keterangan :

L = lebar bentang

h = tinggi lantai

$\Delta_p$  = *plastic story drift*

$\Theta_p$  = plastic story drift angle, radians ( $=\Delta_p/h$ )

$\gamma_p$  = sudut rotasi *link beam*

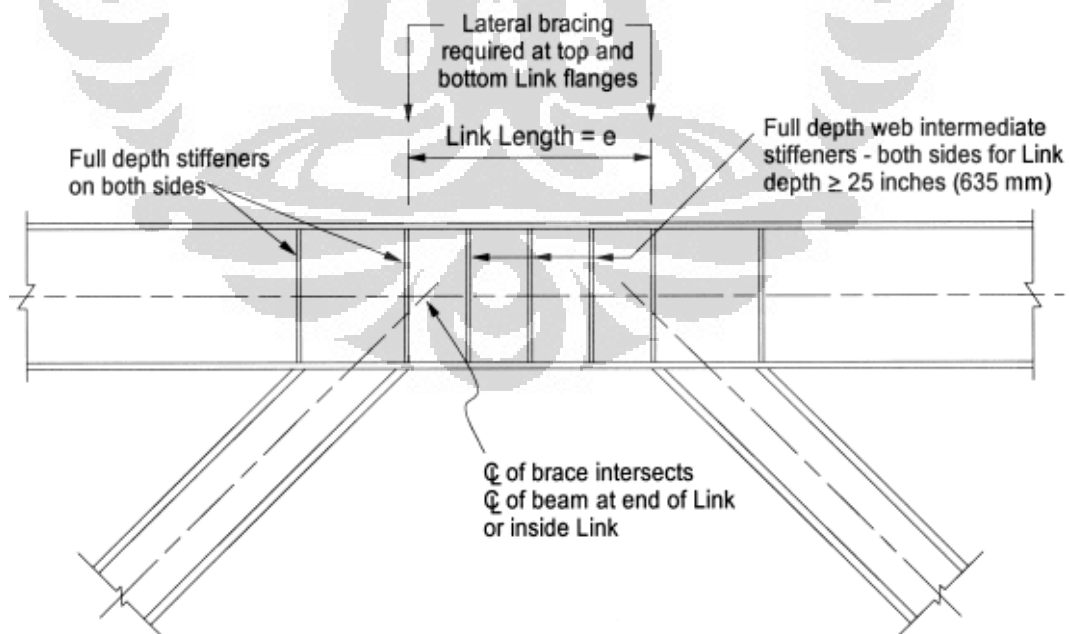
#### 2.3.5.4 Pendetailan *Link Beam*

Pendetailan pada *web link beam* yaitu berupa pemberian *web stiffeners* dapat memberikan perilaku *link beam* yang stabil, daktail, serta terkontrol dibawah pembebanan siklik (gempa). Detail pada pengaku *link beam* (*web stiffeners*) diatur pada AISC 341-05 *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. *Full depth stiffeners* dibutuhkan pada kedua ujung *link* untuk mentransfer gaya geser kepada elemen penahan, sehingga membutuhkan pengaku *web* untuk mencegah terjadinya tekuk (*buckling*). Dan *full depth stiffeners* juga dibutuhkan di tengah-tengah *link* (*link intermediate web*) agar efektif dalam

menahan tekuk geser pada *web link* dan dalam membatasi pengurangan kekuatan (strength degradation) akibat adanya *flange local buckling* dan *lateral torsional buckling*. Pengaku disambungkan ke *link web* dan *link flanges* dengan cara dilas (*fillet welded*).

Adapun ketentuan jarak dan tebal *web stiffeners* pada ujung dan tengah *link beam* antara lain :

- Untuk panjang link  $e \leq 1,6Mp/Vp$ , maka harus disediakan intermediate web stiffeners dengan jarak spasi interval tidak melebihi  $30t_w - d/5$  untuk sudut rotasi link 0,08 radian atau  $52t_w - d/5$  untuk sudut rotasi link 0,02 radian.
- Intermediate web stiffeners harus full depth. Untuk tinggi penampang *link* yang kurang dari 25 inch (635 mm), maka pengaku hanya diperlukan pada satu sisi saja (sisi depan) pada *link web*. Ketebalan pengaku pada satu sisi tersebut tidak boleh kurang dari  $t_w$  atau 3/8 inch (10 mm) (pilih yang lebih besar), dan lebarnya tidak kurang dari  $b_f/2 - t_w$ .
- Syarat kekuatan dari *fillet weld* (las) yang menghubungkan pengaku dengan *link web* adalah  $A_{st}F_y$  (LRFD), sedangkan untuk pengaku ke *link flange* adalah  $A_{st}F_y/4$  (LRFD) yang mana  $A_{st}$  adalah area dari pengaku.



Gambar 2.13 Detailing pada *Link Beam* (tampak depan) menggunakan profil I (*Wide Flange*)

## 2.4 Analisis Statik Nonlinier *Pushover*

Analisis statik nonlinear *Pushover* merupakan analisis yang dilakukan untuk menggambarkan perilaku keruntuhan dan kapasitas dari suatu struktur secara keseluruhan, mulai dari kondisi elastis, plastis, hingga elemen-elemen struktur mengalami keruntuhan akibat beban gempa. Dengan kata lain, analisis *pushover* digunakan sebagai sarana untuk memperlihatkan kondisi/ respon inelastis (nonlinear) suatu bangunan saat mengalami gempa. Analisis ini dilakukan dengan cara memberikan pola beban lateral statik pada struktur yang nilainya terus ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai target perpindahan (*displacement*) dari suatu titik acuan. Pada analisis ini yang menjadi titik acuan adalah titik pada lantai atap dan besarnya deformasi maksimum yang boleh terjadi pada struktur ditetapkan terlebih dahulu oleh perencana.

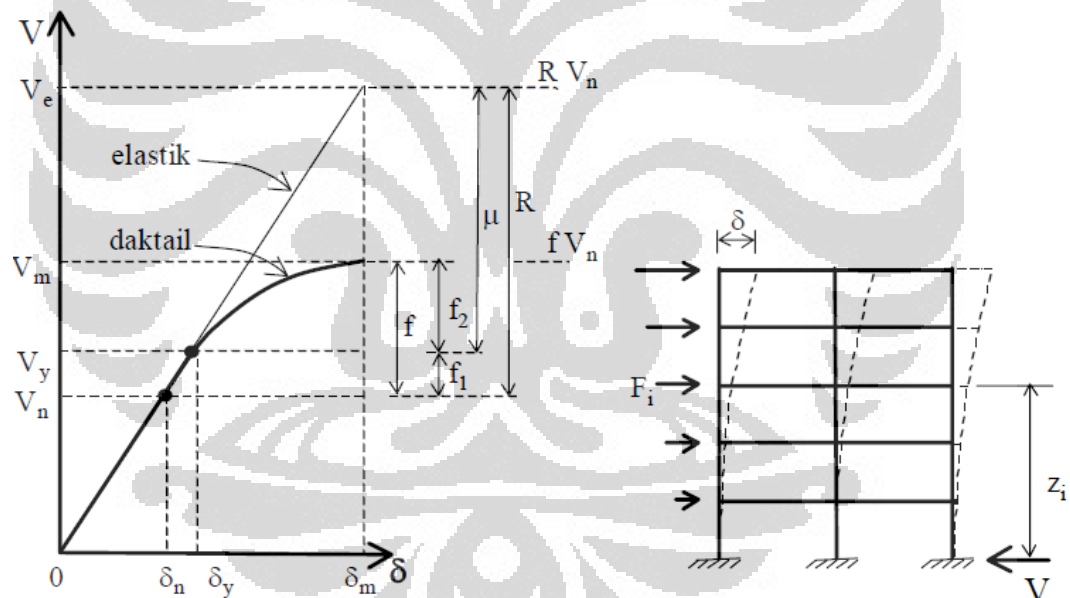
Dalam analisis *pushover*, struktur dikenai beban lateral statik hingga mengalami leleh di satu atau lebih lokasi pada elemen struktur. Urutan terjadinya leleh ini merupakan urutan terjadinya sendi plastis pada struktur. Dari urutan terjadinya sendi plastis ini dapat diketahui lokasi pada elemen struktur yang mengalami keruntuhan terlebih dahulu. Sendi plastis terus berlangsung dan bermunculan hingga batas deformasi pada struktur tercapai. Tahapan dari analisis beban dorong statik adalah sebagai berikut :

- a. Menentukan titik kontrol untuk meninjau besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
- b. Membuat kurva *pushover* berdasarkan berbagai macam pola distribusi gaya lateral terutama yang ekuivalen dengan distribusi dari gaya inersia sehingga diharapkan deformasi yang terjadi hampir sama atau mendekati deformasi yang terjadi akibat gempa. Oleh karena sifat gempa tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda-beda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan dan sesuai.
- c. Mengestimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan

oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.

- d. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan (*performance point*): merupakan hal utama dari perencanaan berbasis kinerja (*performance based design*). Komponen struktur dan aksi perilakunya dapat dianggap memuaskan jika memenuhi kriteria yang dari awal sudah ditetapkan, baik terhadap persyaratan deformasi maupun kekuatan. Karena yang dievaluasi adalah komponen maka jumlahnya relatif sangat banyak, oleh karena itu proses ini sepenuhnya harus dikerjakan oleh program komputer.

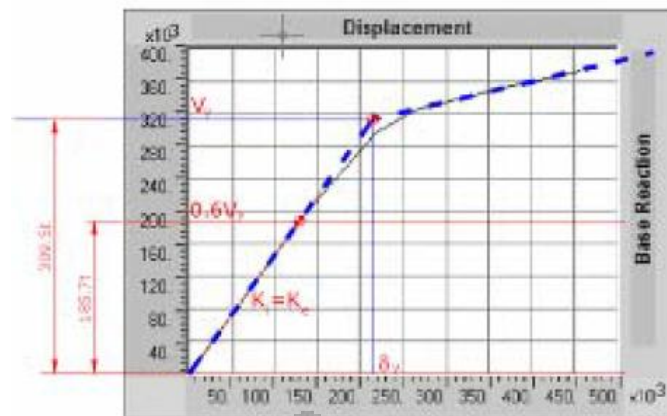
Analisis beban dorong statik (*pushover*) akan menghasilkan kurva hubungan antara Perpindahan (*displacement*) titik kontrol/ ( $\delta$ ) dan gaya geser dasar ( $V$ ).



Gambar 2.14 Kurva hubungan beban – perpindahan

Sumber : SNI 03-1726-2002

Dari kurva *pushover* dapat ditentukan parameter daktilitas ( $\mu$ ), kekakuan, dan kekuatan. Parameter-parameter tersebut mencerminkan perilaku struktur akibat beban lateral (gempa) yang terjadi pada struktur. Contoh kurva *pushover* adalah sebagai berikut :



Gambar 2.15 Contoh kurva *pushover*

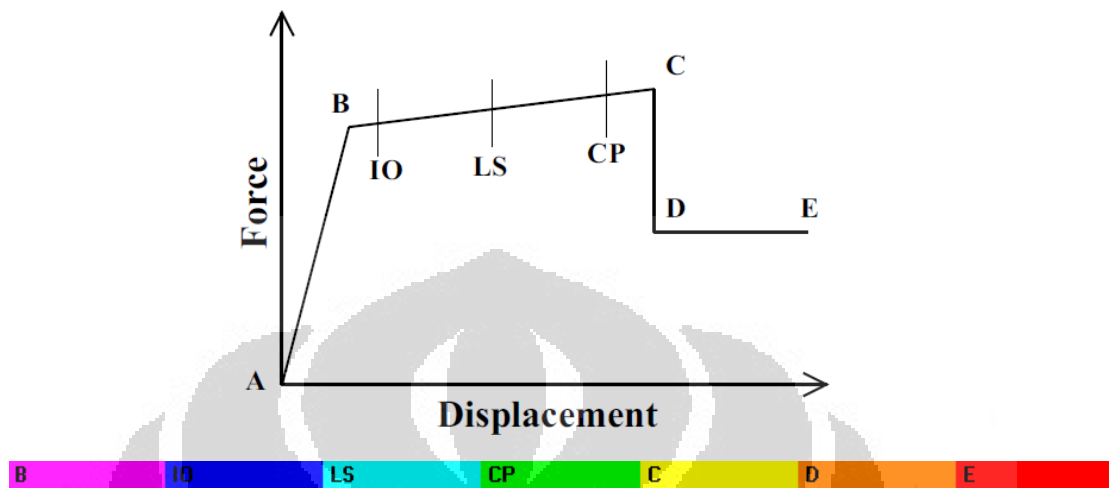
#### 2.4.1 Mekanisme Sendi Plastis

Pada Analisis *Pushover*, struktur didorong sampai mengalami keruntuhan dengan pola beban lateral yang menyerupai gaya inersia bangunan. Pada FEMA 356, pola distribusi beban lateral yang digunakan harus berjumlah minimal 2 pola, karena gempa rencana yang terjadi bisa berubah dan menyerupai 2 pola tersebut, dan dari 2 pola tersebut diambil kinerja bangunan yang terburuk, yaitu :

- Besarnya pola distribusi gaya lateral yang pertama adalah proporsional dengan distribusi gaya geser hasil analisis respon spektrum gempa rencana. Pola ini berbentuk segitiga yang semakin besar sepanjang tinggi lantai. Pola ini digunakan jika periode fundamental struktur melebihi 1 sekon.
- Besarnya pola distribusi gaya lateral yang kedua adalah proporsional dengan total massa tiap lantai. Pola ini berbentuk beban merata sepanjang tinggi lantai.

Pola keruntuhan menunjukkan tahapan terjadinya sendi plastis pada elemen-elemen struktur, balok, bressing, dan kolom. Secara umum, pada model struktur yang memiliki bressing, harus terhindar dari tekuk inelastis, dan terhindar dari mekanisme kolom (terjadi sendi plastis pada kolom). Sendi plastis hanya diperbolehkan terjadi pada balok (mekanisme balok) dan ujung bawah kolom lantai dasar atau ujung kolom atas lantai teratas. Oleh karena itu, perlu diterapkan konsep "*strong column weak beam*" agar dipastikan terjadinya sendi plastis hanya pada elemen balok saja (mekanisme balok). Khusus pada model *K-Split EBF* yang terdapat elemen balok *link*, maka diharapkan terjadinya sendi plastis dan

keruntuhan terlebih dahulu pada elemen balok *link* tersebut. Adapun keterangan mengenai karakteristik sendi plastis adalah sebagai berikut :



Gambar 2.16 Kurva hubungan gaya – perpindahan serta karakteristik sendi plastis dan informasi level kinerja bangunan

Sumber : *Analysis Reference Manual CSI for ETABS*

Kurva diatas menunjukkan hubungan gaya – perpindahan yang bergerak dari titik A – B – C – D – kemudian E. titik tersebut merepresentasikan karakteristik sendi plastis yang timbul pada elemen struktur. Titik A adalah titik origin, titik B menandakan leleh pertama, C menandakan kapasitas ultimit, D adalah kekuatan sisa (*residual strength*), dan E menandakan elemen struktur tersebut telah mengalami keruntuhan (*failure*). Level kinerja bangunan (IO, LS, dan CP) terletak di antara sendi plastis leleh pertama sampai mencapai batas ultimitnya. Dan warna yang tertera pada huruf-huruf tersebut merupakan indikator karakteristik sendi palstis pada program ETABS. Leleh pertama (B) ditandai dengan warna merah muda, dan runtuh ditandai dengan warna merah tua (E).

## 2.5 Desain Kinerja Struktur Bangunan Tahan Gempa

Desain kinerja struktur tahan gempa (*performance based design*) merupakan konsep dalam perencanaan dan analisis struktur bangunan terhadap beban gempa yang menetapkan berbagai tingkat kinerja struktur (*multiple performance objective levels*). Pada subbab sebelumnya telah diterangkan mengenai analisis beban dorong statik (*pushover*). Setelah analisis *pushover* dilakukan, tahap selanjutnya adalah menganalisis kinerja struktur tahan gempa.

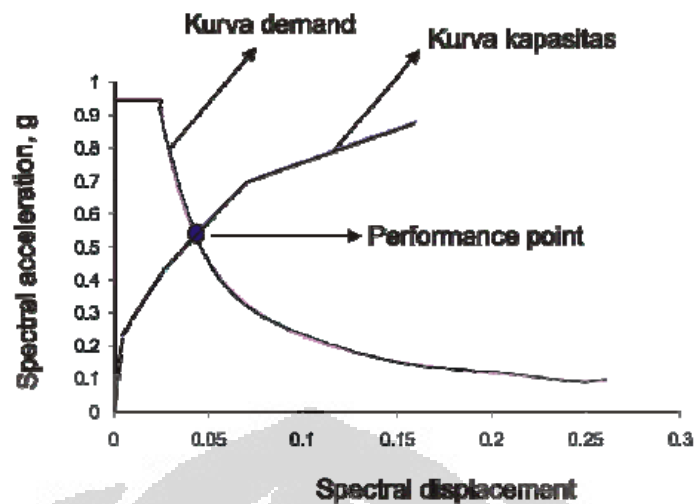
Desain kinerja struktur merupakan proses kontrol desain untuk mengetahui kinerja struktur pada saat gempa rencana terjadi dimana struktur tidak boleh mengalami *under design*, yaitu struktur sudah runtuh pada saat gempa rencana terjadi.

Tabel 2.8 Kriteria kinerja yang ditetapkan Vision 2000 dan NEHRP

Kriteria Kinerja		
Level Kinerja		Penjelasan
NEHRP	Vision 2000	
Operational	Fully Fuctional	Tidak ada kerusakan berarti pada struktur dan non struktur, bangunan tetap berfungsi.
Immediate Occupancy	Operational	Tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Komponen non-struktur masih berada di tempatnya dan sebagian besar masih berfungsi jika utilitasnya tersedia. Bangunan dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan.
Life Safety	Life Safe	Terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan. Komponen non-struktur masih ada tetapi tidak berfungsi. Dapat dipakai lagi jika sudah diperbaiki.
Collapse Prevention	Near Collapse	Kerusakan yang berarti pada komponen struktur dan non-struktur. Kekuatan struktur dan kekakuannya berkurang banyak, hampir runtuh. Kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi.

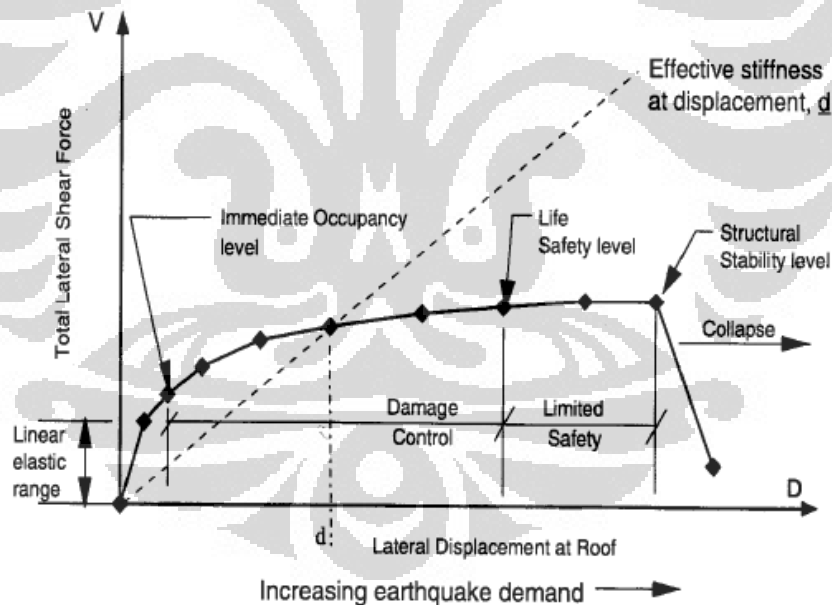
Analisis desain kinerja dilakukan dengan menggabungkan kurva kapasitas (hasil *pushover*) dengan kurva *demand* dalam satu grafik. Kurva *demand* bisa didapat dari respons spektra gempa rencana untuk suatu wilayah gempa tertentu. Perpotongan antara kurva kapasitas (representasi dari perilaku kekakuan dan kekuatan struktur) dan kurva *demand* (representasi dari spektrum gempa dengan redaman 15% untuk struktur inelastis) disebut *performance point*. Contoh *performance point* adalah sebagai berikut :





Gambar 2.17 Target Perpindahan (*Performance point*)

Setelah *performance point* diperoleh, dapat diketahui nilai simpangan antar tingkat pada posisi sendi plastis untuk berbagai periode ulang gempa. Selain itu, dapat ditentukan tingkat kinerja struktur dari simpangan antar tingkat untuk berbagai periode ulang gempa.

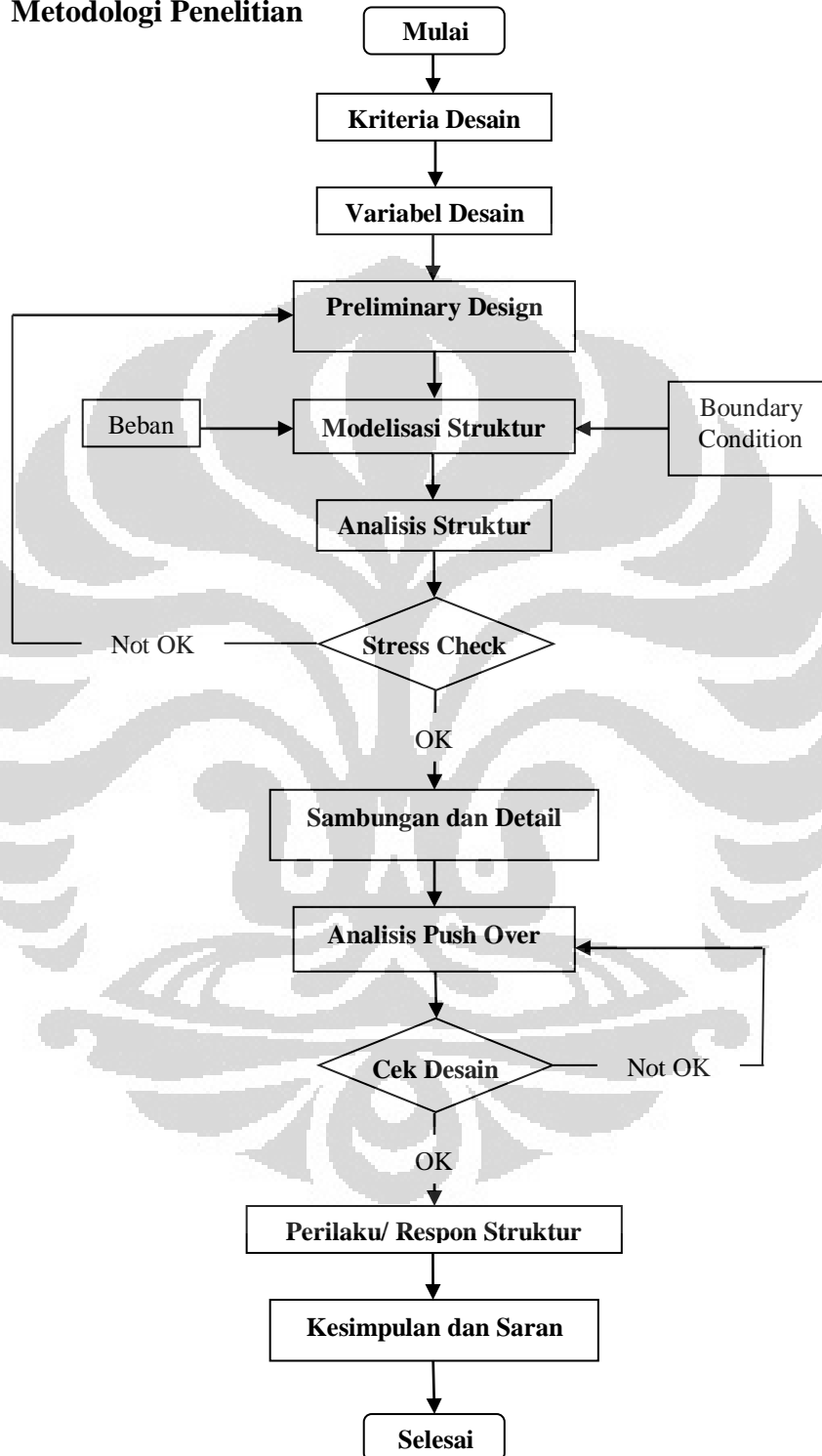


Gambar 2.18 Klasifikasi kinerja struktur Daktail (ATC-40)

Dalam analisis desain berbasis kinerja ini perlu dilakukan konversi kurva kapasitas, dimana kurva hubungan *base shear* ( $V$ ) dan *displacement* ( $\delta$ ) dikonversi menjadi kurva hubungan *acceleration* ( $S_a$ ) dan *displacement* ( $S_d$ ) (*Acceleration – Displacement Response Spectra*) atau disingkat format ADRS.

## BAB 3 PERMODELAN STRUKTUR

### 3.1 Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Kriteria Desain

Bangunan yang ditinjau adalah berupa sistem portal dengan pengaku eksentrik tipe *K-Split EBF* (frame 2 Dimensi) sebagai struktur penahan beban lateral gempa. Material yang digunakan adalah baja pada elemen struktur, dengan mutu baja A36 ( $F_u = 36$  ksi,  $F_y = 58$  ksi,  $E = 200000$  Mpa). Portal direncanakan memiliki 3 bays (lebar bay tipikal,  $L = 6$  meter) dan jumlah lantai yang bervariasi mulai dari 6, 12, hingga 18 lantai, dengan tinggi lantai dasar 4 meter dan tinggi lantai seterusnya,  $h$  tipikal = 3 meter. Portal EBF dikenakan 2 jenis beban, yaitu beban gravitasi dan beban lateral berupa beban gempa yang menggunakan metode pendekatan gempa respon spektrum.

### 3.3 Variabel Desain

Portal *K-Split EBF* didesain dengan variasi 2 panjang *link* yang berbeda dan dengan variasi jumlah lantai (storey) dari 6, 12, hingga 18. Sehingga total terdapat 6 permodelan struktur dengan variasi jumlah lantai dan panjang *link* yang tertera pada tabel berikut :

Tabel 3.1 Jumlah Permodelan Berdasarkan Variasi Panjang *Link* dan Jumlah Lantai

Jumlah Lantai	Panjang Balok <i>Link</i> (m)	
	0,6	1,2
6	model 1	model 2
12	model 3	model 4
18	model 5	model 6

Sumber : Olahan Sendiri

Selain itu ada faktor kondisi batas (*boundary condition*) yang memengaruhi desain struktur berupa jenis perletakan yang digunakan pada dasar kolom. Pada model portal *K-Split EBF* ini digunakan perletakan jepit dengan pengekangan terhadap gaya momen, aksial, maupun geser.

### 3.4 Penentuan Profil Desain

Setelah itu baru kemudian mendesain (*sizing*) dimensi awal profil baja yang digunakan pada tiap elemen/ komponen struktur, antara lain; *link*, balok, bresing, dan kolom. Variasi jumlah lantai dengan panjang *link* yang berbeda

adalah sebuah variabel untuk mengetahui pengaruh ketinggian bangunan/ frame terhadap perilaku keruntuhan portal/ frame akibat beban lateral gempa. Profil baja ditentukan sedemikian hingga kapasitas yang dimilikinya mampu menahan beban ultimit yang bekerja pada struktur, memenuhi batas layan struktur (serviceability), dan juga harus memikirkan aspek ekonomis. Aspek ekonomis penting agar biaya yang dikeluarkan oleh owner tidak membengkak diakibatkan borosnya profil yang digunakan. Maka biaya pengeluaran untuk profil baja yang digunakan harus dapat memenuhi kriteria permintaan owner.

Tabel 3.2 Profil Baja *Wide Flange* yang Digunakan pada Portal *K-Split EBF* 6 Lantai

<b>PORTAL ARAH X</b>				
<b>Lantai</b>	<b>Kolom Pinggir</b>	<b>Kolom Tengah</b>	<b>Balok</b>	<b>Bressing</b>
6	W10X100	W10X100	W10X33	W8X28
5	W10X100	W10X100	W10X33	W8X28
4	W14X120	W10X100	W10X33	W8X28
3	W14X120	W14X120	W12X40	W8X31
2	W14X120	W14X120	W12X40	W8X31
1	W14X120	W14X120	W14X48	W8X31
<b>PORTAL ARAH Y</b>				
<b>Lantai</b>	<b>Kolom Pinggir</b>	<b>Kolom Tengah</b>	<b>Balok</b>	<b>Bressing</b>
6	W10X100	W10X100	W10X33	W8X28
5	W10X100	W10X100	W10X33	W8X28
4	W14X120	W14X145	W10X33	W8X28
3	W14X120	W14X145	W12X45	W8X31
2	W14X120	W14X145	W12X45	W8X31
1	W14X120	W14X145	W14X48	W8X31

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 3.3 Profil Baja *Wide Flange* yang Digunakan pada Portal *K-Split EBF* 12 Lantai

<b>PORTAL ARAH X</b>				
<b>Lantai</b>	<b>Kolom Pinggir</b>	<b>Kolom Tengah</b>	<b>Balok</b>	<b>Bressing</b>
12	W10X100	W10X100	W10X33	W6X25
11	W10X100	W10X100	W10X33	W6X25
10	W10X100	W10X100	W10X33	W6X25
9	W12X120	W12X120	W10X39	W8X31
8	W12X120	W12X120	W10X39	W8X31
7	W12X120	W12X120	W10X39	W8X31
6	W12X120	W12X120	W10X39	W8X31
5	W12X120	W12X120	W12X50	W8X31
4	W12X120	W14X176	W12X50	W8X31
3	W12X120	W14X176	W12X50	W8X31
2	W12X120	W14X233	W14X48	W8X31
1	W12X120	W14X233	W14X48	W8X31
<b>PORTAL ARAH Y</b>				
<b>Lantai</b>	<b>Kolom Pinggir</b>	<b>Kolom Tengah</b>	<b>Balok</b>	<b>Bressing</b>
12	W10X100	W10X100	W10X33	W6X25
11	W10X100	W10X100	W10X33	W6X25
10	W10X100	W10X100	W10X33	W6X25
9	W12X120	W14X145	W10X33	W6X25
8	W12X120	W14X145	W10X33	W6X25
7	W12X120	W14X145	W12X40	W8X31
6	W12X120	W14X159	W12X40	W8X31
5	W12X120	W14X159	W12X40	W8X31
4	W12X120	W14X159	W12X50	W8X31
3	W12X120	W14X233	W12X50	W8X31
2	W12X120	W14X233	W12X50	W8X31
1	W12X120	W14X233	W12X50	W8X31

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 3.4 Profil Baja *Wide Flange* yang Digunakan pada Portal *K-Split EBF* 12 Lantai

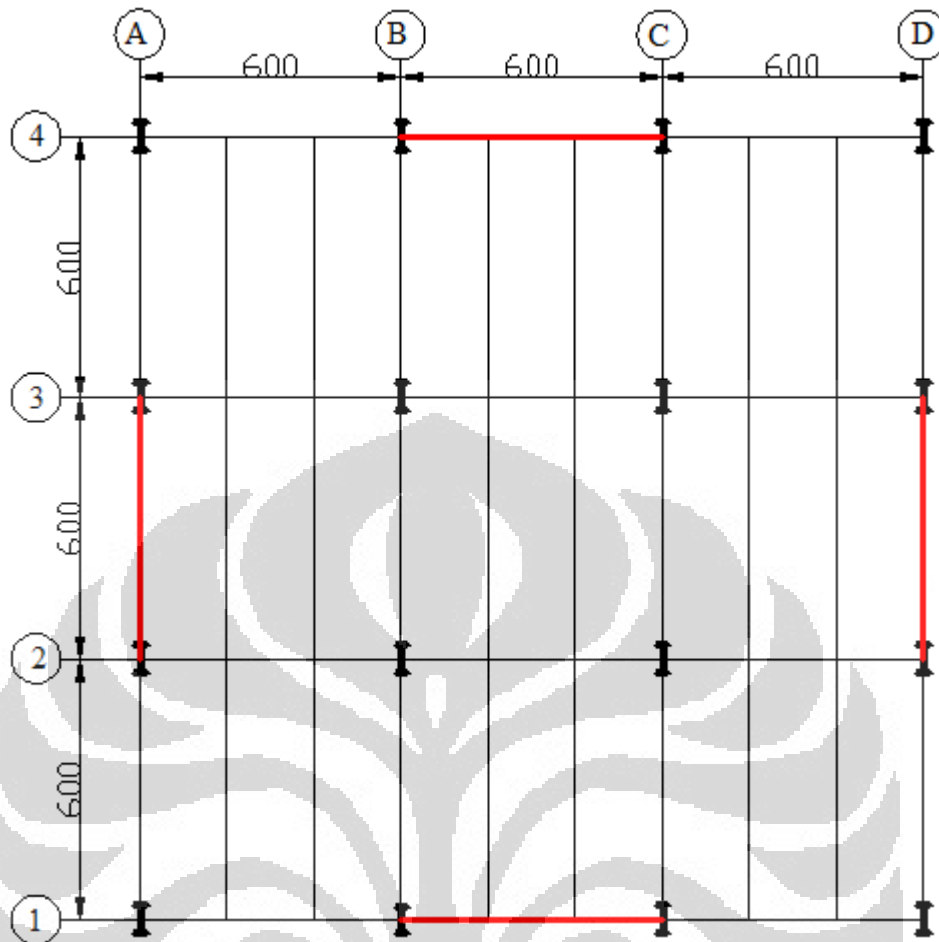
<b>PORTAL ARAH X</b>				
<b>Lantai</b>	<b>Kolom Pinggir</b>	<b>Kolom Tengah</b>	<b>Balok</b>	<b>Bressing</b>
18	W10X88	W10X88	W12X35	W8X28
17	W10X88	W10X88	W12X35	W8X28
16	W10X88	W10X88	W12X35	W8X28
15	W10X88	W10X88	W12X35	W8X28
14	W10X100	W10X100	W14X43	W8X31
13	W10X100	W10X100	W14X43	W8X31
12	W10X100	W10X100	W14X43	W8X31
11	W10X100	W10X112	W14X43	W8X31
10	W10X100	W10X112	W14X43	W8X31
9	W10X100	W12X190	W14X43	W8X31
8	W10X100	W12X190	W14X43	W8X31
7	W10X100	W12X190	W14X43	W8X31
6	W10X100	W12X190	W14X61	W8X35
5	W12X136	W14X283	W14X61	W8X35
4	W12X136	W14X283	W14X61	W8X35
3	W12X136	W14X283	W14X61	W8X35
2	W12X152	W14X311	W14X61	W8X35
1	W12X152	W14X311	W14X61	W8X35
<b>PORTAL ARAH Y</b>				
<b>Lantai</b>	<b>Kolom Pinggir</b>	<b>Kolom Tengah</b>	<b>Balok</b>	<b>Bressing</b>
18	W10X88	W10X100	W12X30	W8X28
17	W10X88	W10X100	W12X30	W8X28
16	W10X88	W10X100	W12X30	W8X28
15	W10X88	W10X100	W12X30	W8X28
14	W10X100	W10X100	W14X43	W8X31
13	W10X100	W10X112	W14X43	W8X31
12	W10X100	W10X112	W14X43	W8X31
11	W10X100	W12X136	W14X43	W8X31
10	W10X100	W12X136	W14X43	W8X31
9	W10X100	W12X136	W14X43	W8X31
8	W10X100	W12X190	W14X61	W8X35
7	W10X100	W12X190	W14X61	W8X35
6	W10X100	W12X190	W14X61	W8X35
5	W12X136	W14X257	W14X61	W8X35
4	W12X136	W14X257	W14X61	W8X35
3	W12X136	W14X342	W14X61	W8X35
2	W12X152	W14X342	W14X61	W8X35
1	W12X152	W14X342	W14X61	W8X35

### 3.5 Modelisasi Struktur

Setelah menentukan parameter-parameter yang ingin ditinjau, maka tahap selanjutnya adalah memodelkan struktur dalam sebuah program, yaitu dengan ETABS ver.9.6. Elemen-elemen struktur yang dimodelkan pada program ETABS v9.6. antara lain :

- Balok :  
Balok dimodelkan sebagai elemen frame dengan memiliki hubungan (*joint*) yang kaku sehingga momen-momen maksimum tempat terjadinya sendi plastis adalah pada kedua ujung balok
- Kolom :  
Kolom dimodelkan sebagai elemen frame dengan memiliki hubungan (*joint*) yang kaku.
- Bresing :  
Bresing dimodelkan sebagai elemen frame yang memiliki hubungan (*joint*) *pined-pined connection* pada ujung-ujungnya, yaitu pada balok dan kolom.
- Pondasi :  
Permodelan pondasi dilakukan dengan menganggap bahwa pondasi memberikan kekekangan rotasi dan translasi yang cukup pada semua arah sumbu bangunan. Berdasarkan asumsi yang digunakan tersebut, pondasi dimodelkan sebagai perletakan jepit pada lantai dasar bangunan, yaitu pada ujung-ujung kolom bawah lantai dasar.

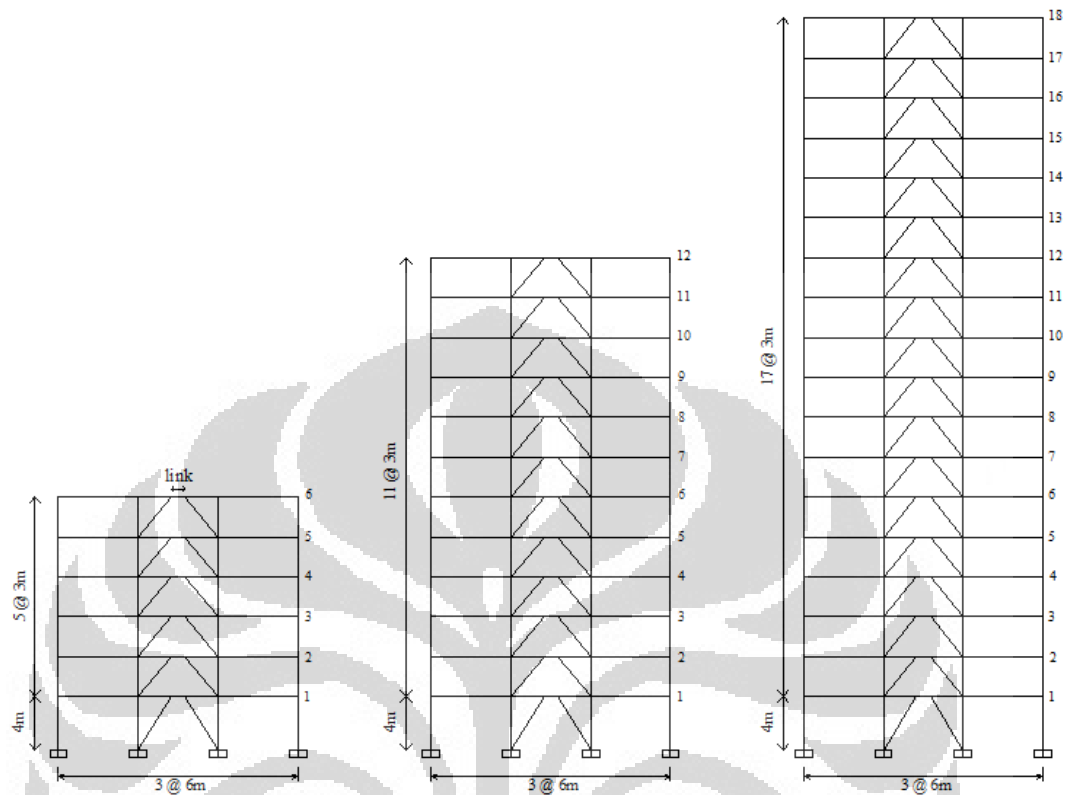
Berikut Denah Bangunan Model, dengan ukuran 18 x 18 m<sup>2</sup> yang terdiri dari 3 bay baik arah X maupun arah Y. Warna merah pada garis menandakan bahwa pada posisi tersebut terdapat bresing *K-Split EBF* yang membentang pada bentang sepanjang 6 meter. Letak bresing yaitu pada bentang tengah dan pada perimeter bangunan.



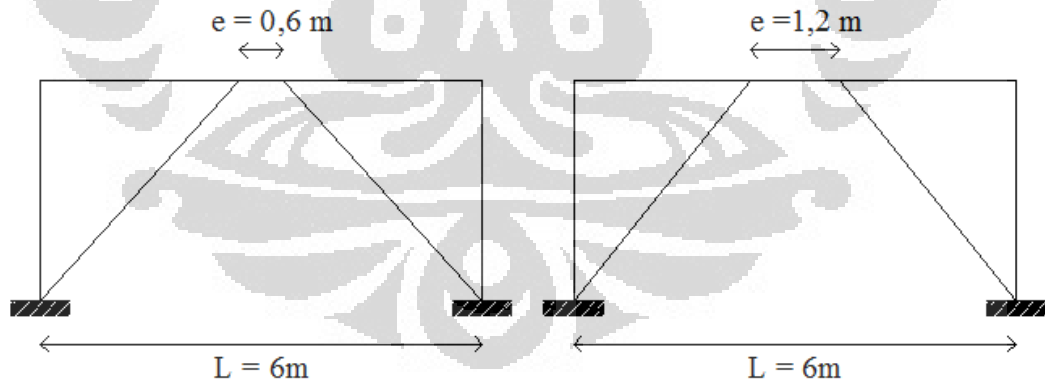
Gambar 3.2 Denah Bangunan dan Portal yang Ditinjau



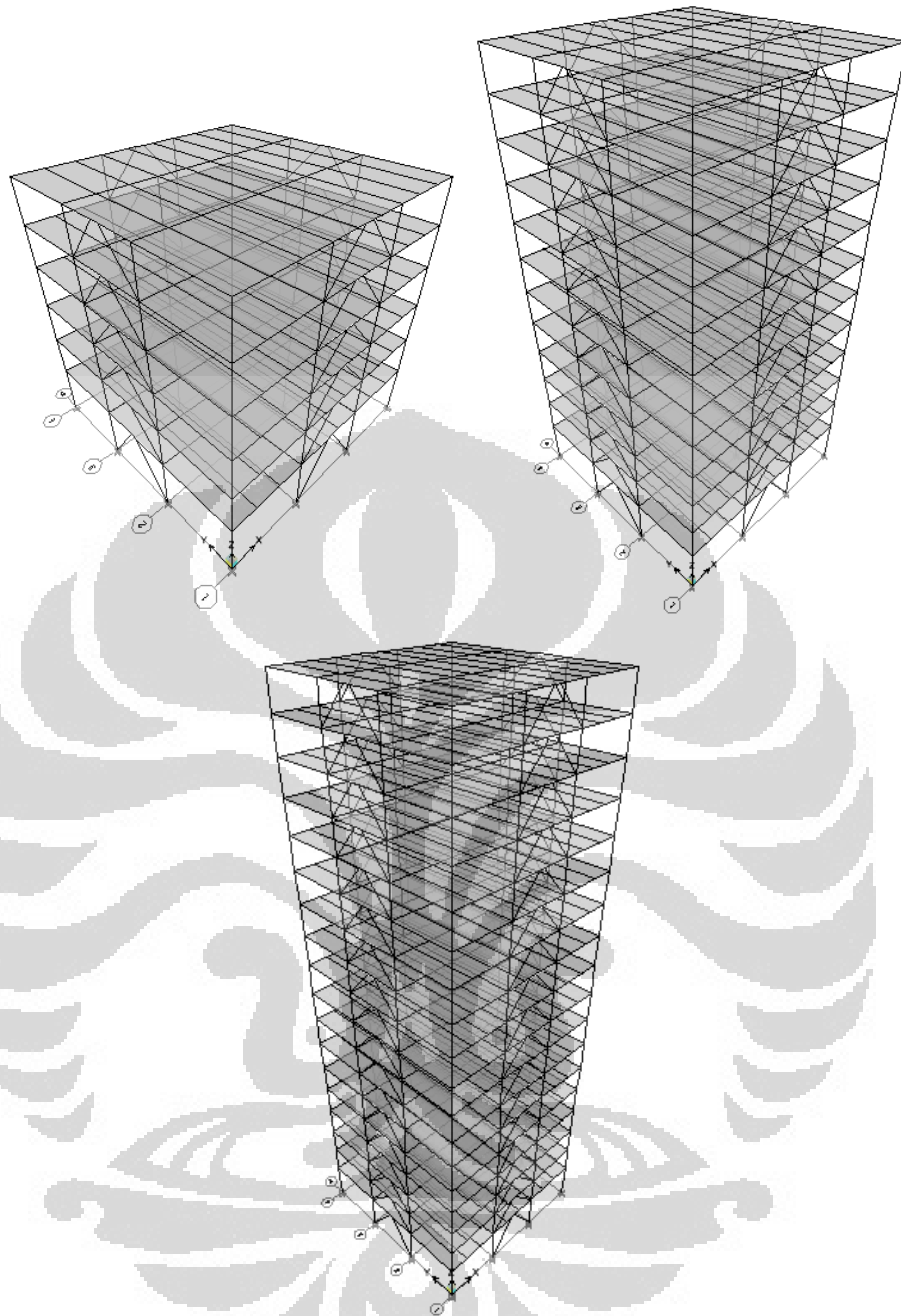
Dan berikut ini adalah model portal dengan pengaku eksentrik yang akan ditinjau :



Gambar 3.3 Model Struktur (Portal pengaku eksentrik *K-Split EBF*) dengan variasi jumlah lantai (storey). Kiri ke kanan : 6, 12, 18 lantai



Gambar 3.4 Model Struktur 2D (Portal pengaku eksentrik *K-Split EBF*) dengan variasi panjang *link* ( $e$ )



Gambar 3.5 Model Struktur 3D dengan variasi lantai 6, 12, dan 18 lantai

### 3.6 Pembebanan Struktur

Pada Model struktur di atas akan diberikan kombinasi beban sesuai dengan RSNI 03-1726-201x. Beban yang bekerja berupa beban gravitasi dan beban gempa. Beban gravitasi berupa beban mati dan beban hidup, sedangkan beban gempa yang digunakan pada permodelan adalah dari hasil desain respon spektrum berdasarkan kondisi tanah di Jakarta Selatan.

- **Beban Gravitasi**

Beban gravitasi pada struktur terdiri dari beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), dan *Super Imposed Dead Load*. Pada permodelan ini, beban mati struktur akan dianalisis secara otomatis oleh program ETABS. Beban hidup terdiri dari pelat lantai ( $250 \text{ kg/m}^2$ ) dan beban hidup pada pelat atap adalah  $100 \text{ kg/m}^2$ , sedangkan untuk *super imposed dead load* dibagi berdasarkan letaknya :

*Super Imposed Dead Load* untuk pelat lantai :

Screed (adukan 20 mm)	=	42 kg/m <sup>2</sup>	
Finishing (keramik 10 mm)	=	24 kg/m <sup>2</sup>	
Penggantung dan penutup plafond	=	18 kg/m <sup>2</sup>	
Mekanikal dan Elektrikal	=	20 kg/m <sup>2</sup>	+
		<hr/>	
	SIDL	=	104 kg/m <sup>2</sup>
Beban hidup pada pelat lantai :	LL	=	250 kg/m <sup>2</sup>

*Super Imposed Dead Load* untuk pelat atap :

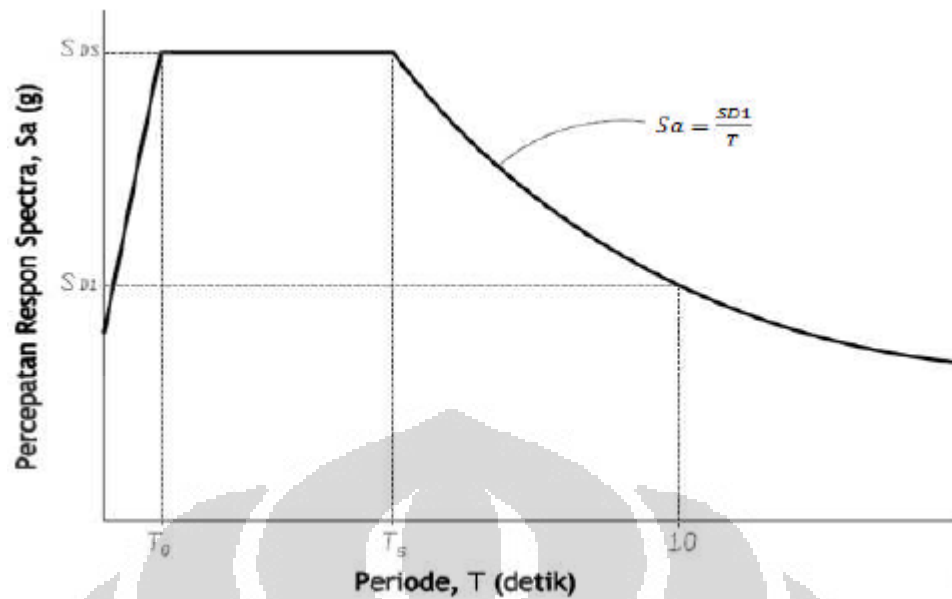
Screed (adukan 20 mm)	=	42 kg/m <sup>2</sup>	
Penggantung dan penutup plafond	=	18 kg/m <sup>2</sup>	
Mekanikal dan Elektrikal	=	20 kg/m <sup>2</sup>	+
		<hr/>	
	SIDL	=	80 kg/m <sup>2</sup>
Beban hidup pada pelat atap :	LL	=	100 kg/m <sup>2</sup>

Dinding pasangan batako berlubang  $200 \text{ kg/m}^2 \times 3\text{m}$  = 600 kg/m

Dinding partisi  $50 \text{ kg/m}^2 \times 3\text{m}$  = 150 kg/m

- **Beban Gempa**

Lokasi	: DKI Jakarta
Jenis Tanah	: Tanah lunak (Kelas situs : SE)
Analisis Gempa	: Response Spektrum (CQC)
Faktor Keutamaan	: 1
Kategori Risiko	: 1
Koef. Respons (R)	: 8 (Rangka bresing eksentris baja)

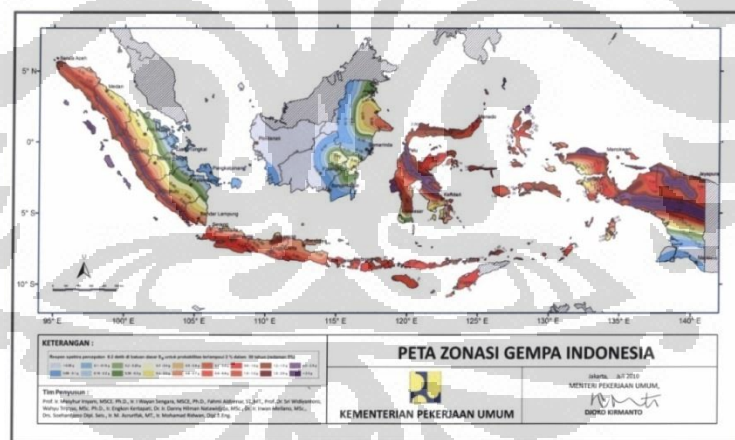


Gambar 3.6 Spektrum respon desain

Sumber : RSNI 03-1726-201x

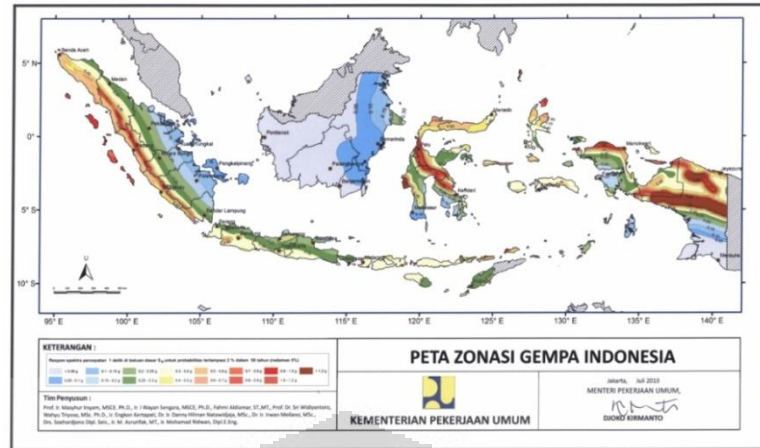
Adapun tahapan dalam mendesain respon spektrum berdasarkan RSNI 03-1726-201x adalah :

1. Menentukan  $S_s$  dan  $S_1$

Gambar 3.7 Peta Gempa dengan Periode Ulang 2500 Tahun dan  $T = 0,2$  s

Sumber : RSNI 03-1726-201x

→ Dari peta di atas wilayah DKI Jakarta memiliki nilai  $S_s = 0,7$  g

Gambar 3.8 Peta Gempa dengan Periode Ulang 2500 Tahun dan  $T = 1$  s

Sumber : RSNI 03-1726-201x

→ Dari peta di atas wilayah DKI Jakarta memiliki nilai  $S_1 = 0,3$  g2. Menentukan Koefisien situs ( $F_a$  dan  $F_v$ )Tabel 3.5 Koefisien situs  $F_a$ 

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakann pada periode pendek, $T = 0,2$ detik				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS <sup>b</sup>				

Sumber : RSNI 03-1726-201x

Tabel 3.6 Koefisien situs  $F_v$ 

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa $MCE_R$ terpetakann pada periode pendek, $T = 1$ detik				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS <sup>b</sup>				

Sumber : RSNI 03-1726-201x

Maka untuk  $S_S = 0,65g$  dan  $S_1 = 0,275g$ , diperoleh nilai  $F_a$  dan  $F_v$  (interpolasi) :

$$F_a = 1,3$$

$$F_v = 2,8$$

3. Menentukan  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$

$$S_{MS} = F_a \times S_S = 1,3 \times 0,7 = 0,91$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 2,8 \times 0,3 = 0,84$$

4. Menentukan  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,91 = 0,6067$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0,84 = 0,56$$

5. Menghitung parameter-parameter respons spektrum disain

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,56}{0,6067} = 0,184615$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,56}{0,6067} = 0,923$$

Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan disain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan :

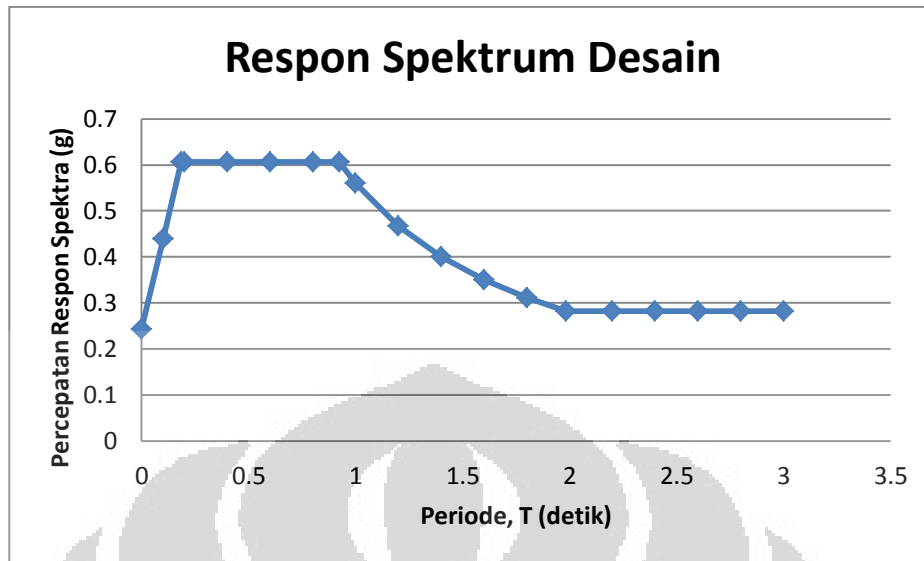
$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

Maka untuk  $T = 0$  di dapat nilai  $S_a = 0,242667$

Untuk perioda yang lebih besar dari  $T_s$ ,  $S_a$  berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

## 6. Membuat grafik respons spektrum



Gambar 3.9 Desain Respon Spektrum Wilayah Jakarta Tanah Lunak

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 3.7 Kombinasi Beban

No	Kombinasi Beban
1	1,4DL
2	1,2DL + 1,6LL
3	1,36DL + 1LL ± 0,39EX ± 1,3EY
4	1,36DL + 1LL ± 1,3EX ± 0,39EY
5	0,74DL ± 0,39EX ± 1,3EY
6	0,74DL ± 1,3EX ± 0,39EY

Sumber : Olahan Sendir

## BAB 4 EVALUASI HASIL ANALISIS STRUKTUR

### 4.1 Analisis *Pushover*

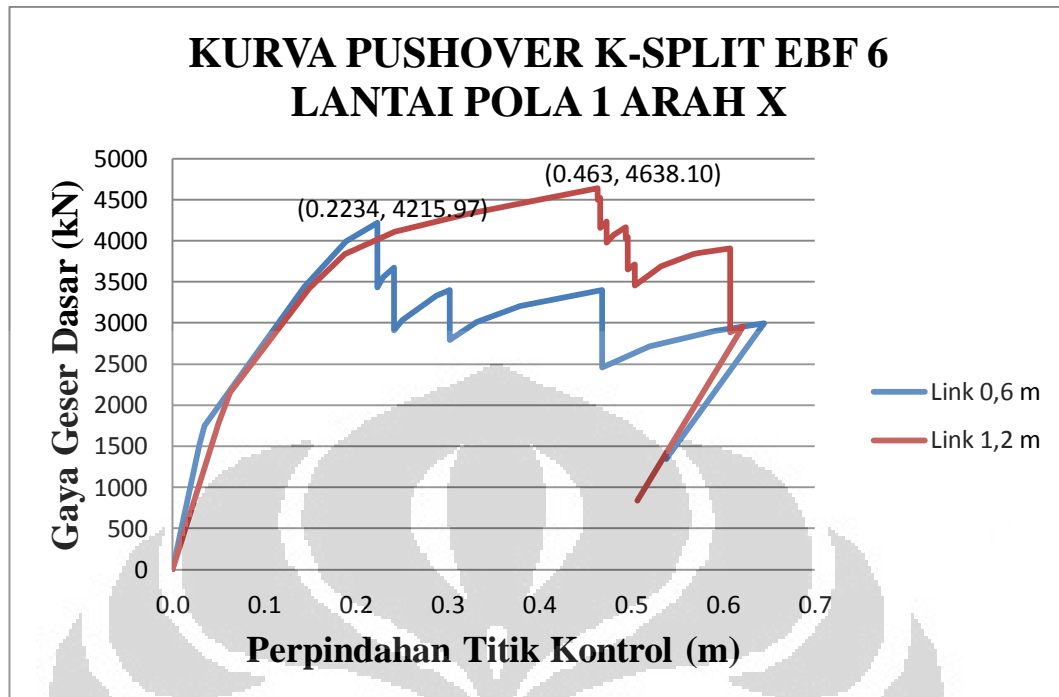
Analisis beban dorong *pushover* dilakukan dengan menentukan titik kontrol pada puncak atap, yaitu pada titik 1-A (lihat denah struktur Bab 3 Modelisasi Struktur) pada masing-masing puncak bangunan ketinggian 6, 12, dan 18 lantai. Struktur di dorong dengan beban gempa statik bertahap baik arah X maupun arah Y, sampai bangunan mencapai kinerjanya dan terjadi keruntuhan bangunan. Masing-masing arah dikenakan 2 pola gempa berdasarkan FEMA 356, yang mana pola distribusi gaya lateral yang pertama adalah besarnya proporsional dengan gaya geser lantai berdasarkan analisis respon spektrum. Dan pola distribusi gaya lateral yang kedua adalah besarnya proporsional dengan massa tiap lantai ( $F_i = W_i / W_{total} \times V_b$ ). Dari analisis *pushover*, maka didapatkan kurva *pushover* (gaya geser dasar – perpindahan titik kontrol).

### 4.2 Analisis Kurva *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol)

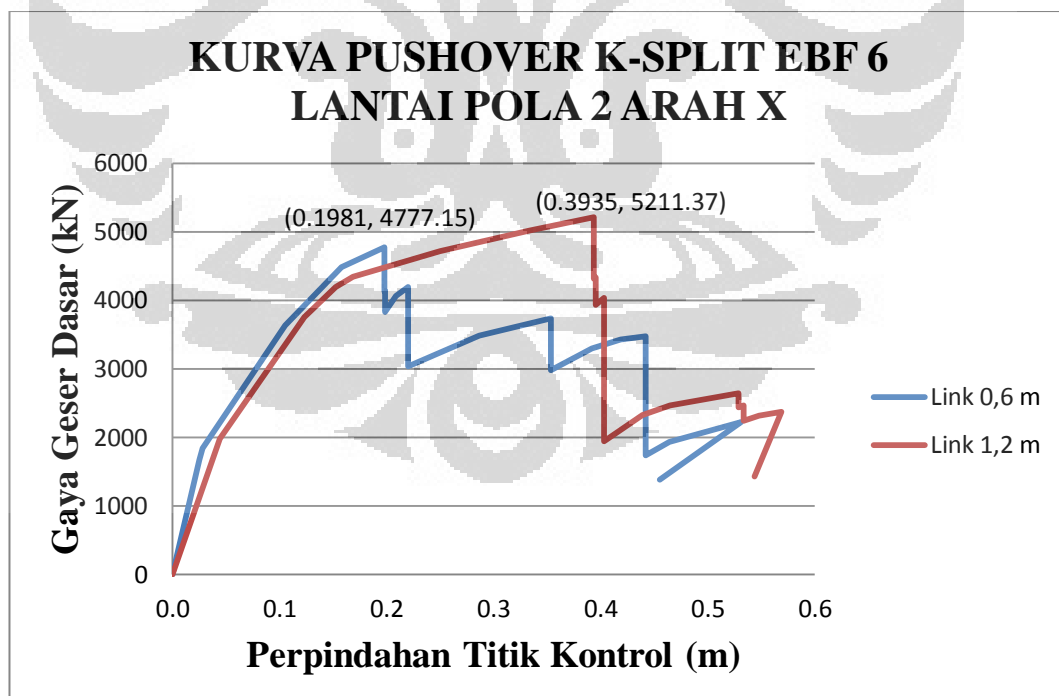
Dari analisis statik nonlinier *pushover* menggunakan program ETABS 9.6, didapatkan kurva hubungan gaya geser dasar dan perpindahan titik kontrol untuk model *K-Split EBF* dengan panjang *link* 0,6 meter dan 1,2 meter untuk masing-masing pola beban lateral dan arah gempa yang ditinjau, dengan variasi ketinggian lantai dari 6, 12, hingga 18 lantai.



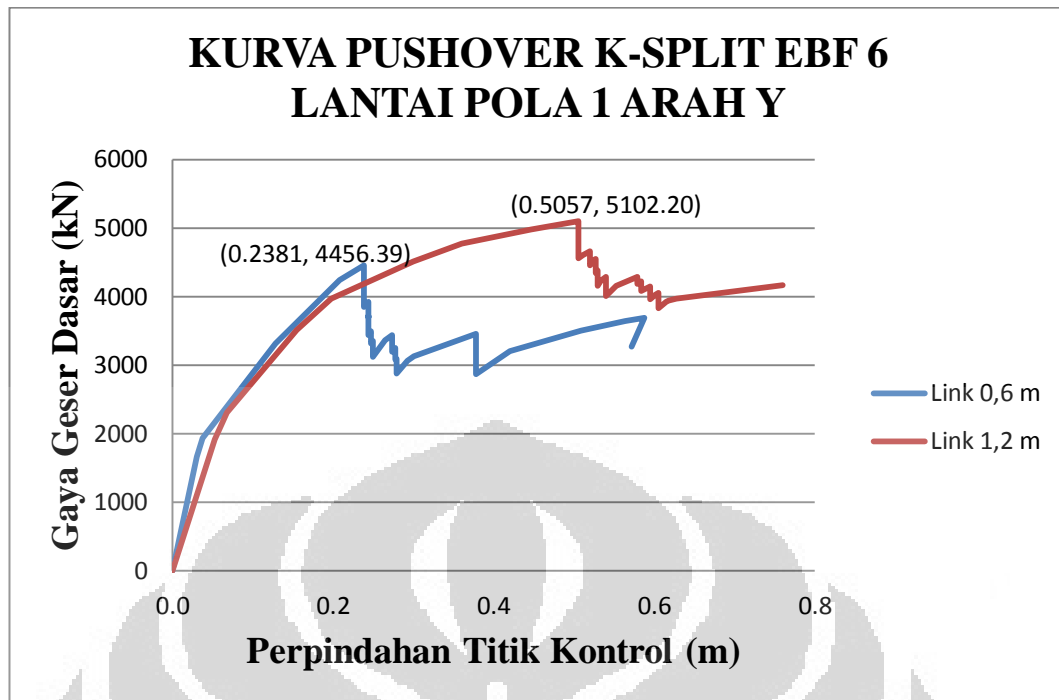
a. Perbandingan Kurva *Pushover* (6 Lantai)



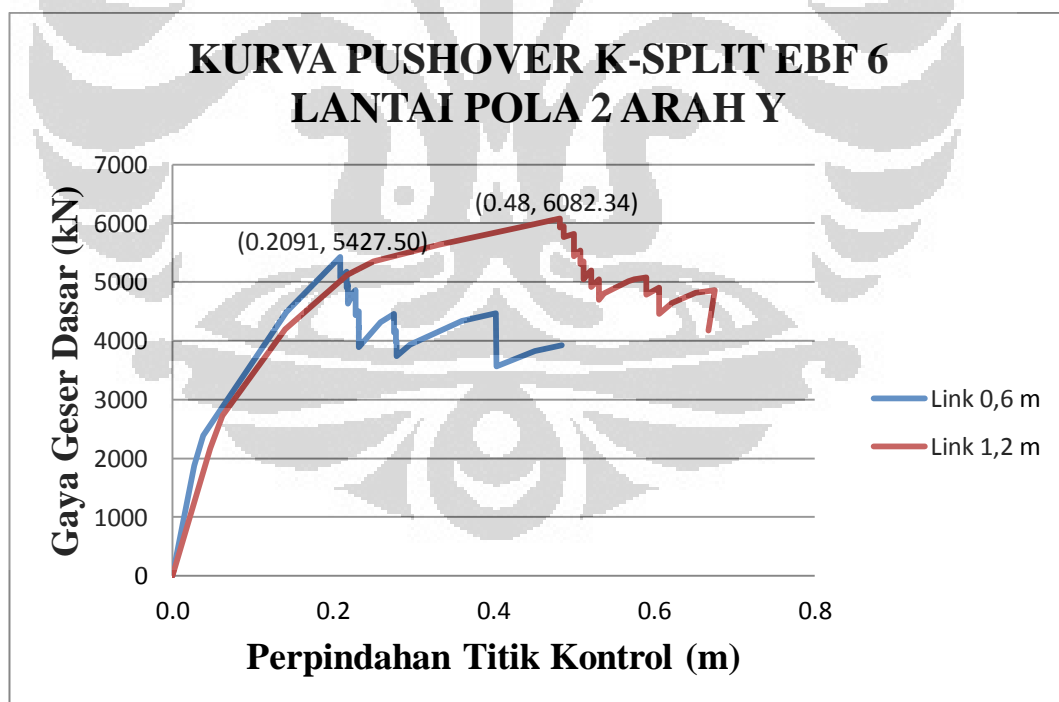
Gambar 4.1 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 6 Lantai, link 0,6 m – 1,2 m Pola Gempa 1 Arah X



Gambar 4.2 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 6 Lantai, link 0,6 m – 1,2 m Pola Gempa 2 Arah X

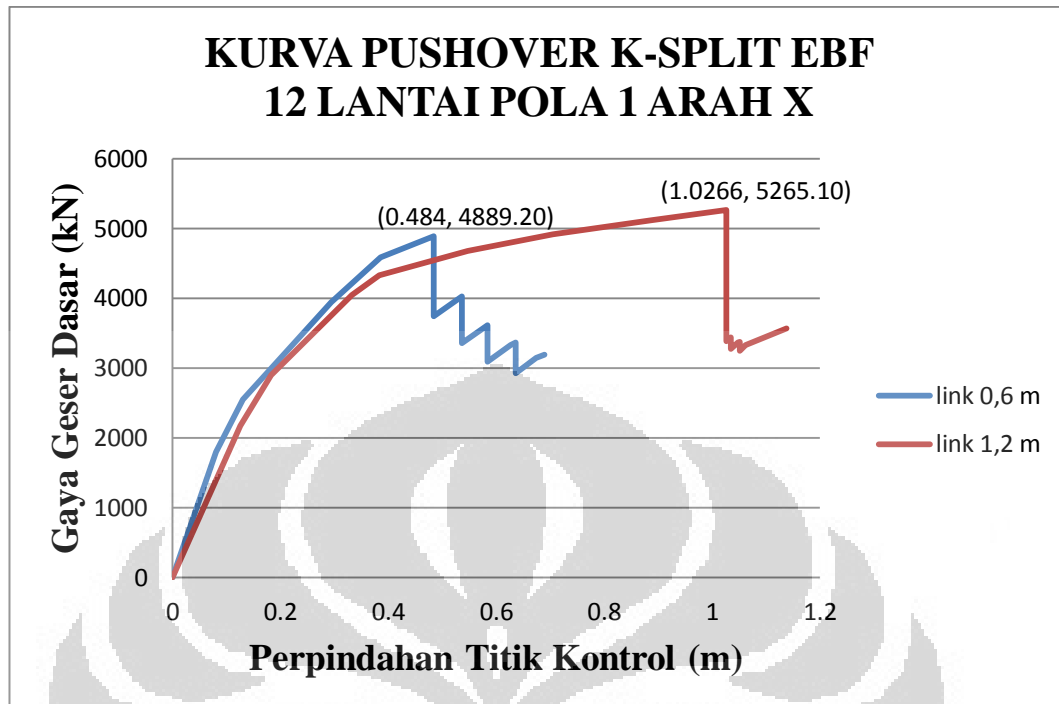


Gambar 4.3 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF 6* Lantai,  
*link 0,6 m – 1,2 m* Pola Gempa 1 Arah Y

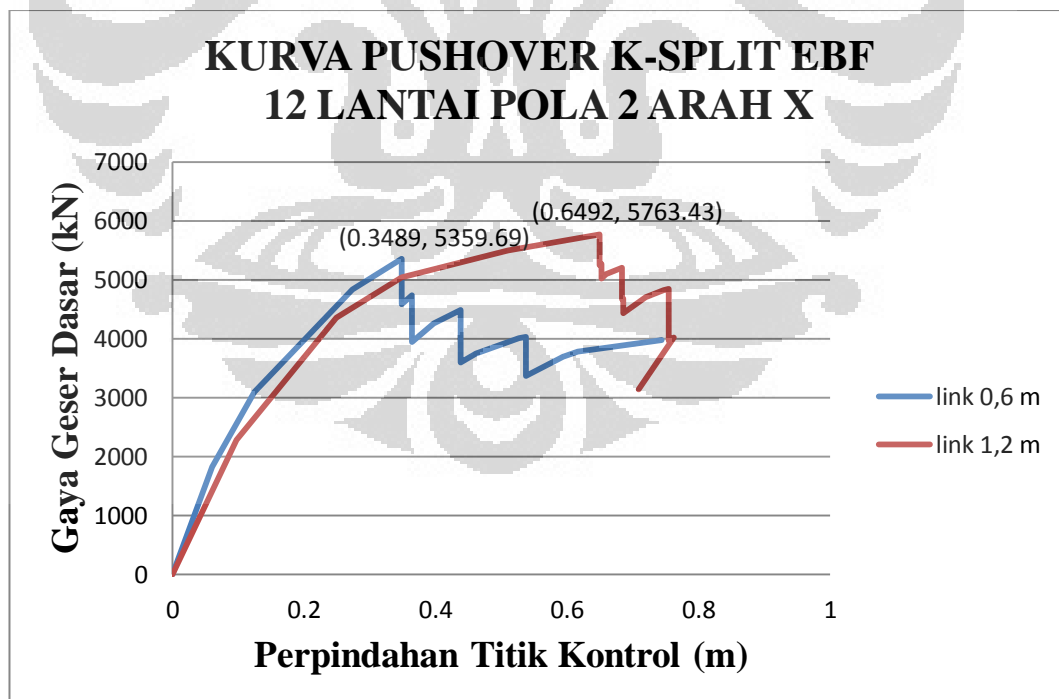


Gambar 4.4 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF 6* Lantai,  
*link 0,6 m – 1,2 m* Pola Gempa 2 Arah Y

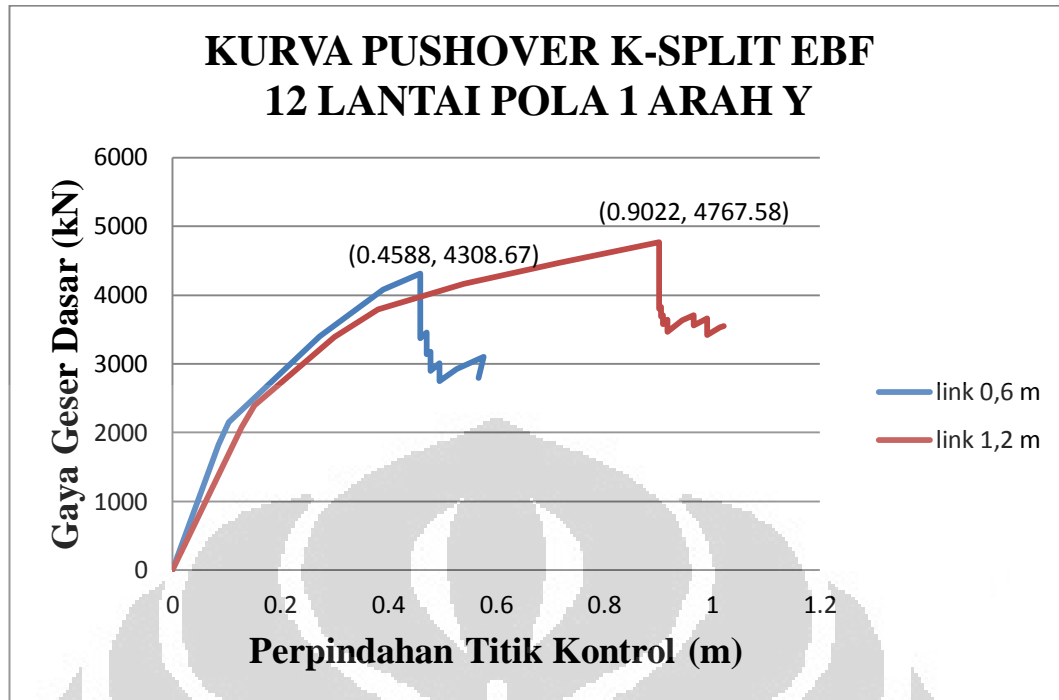
b. Perbandingan Kurva *Pushover* (12 Lantai)



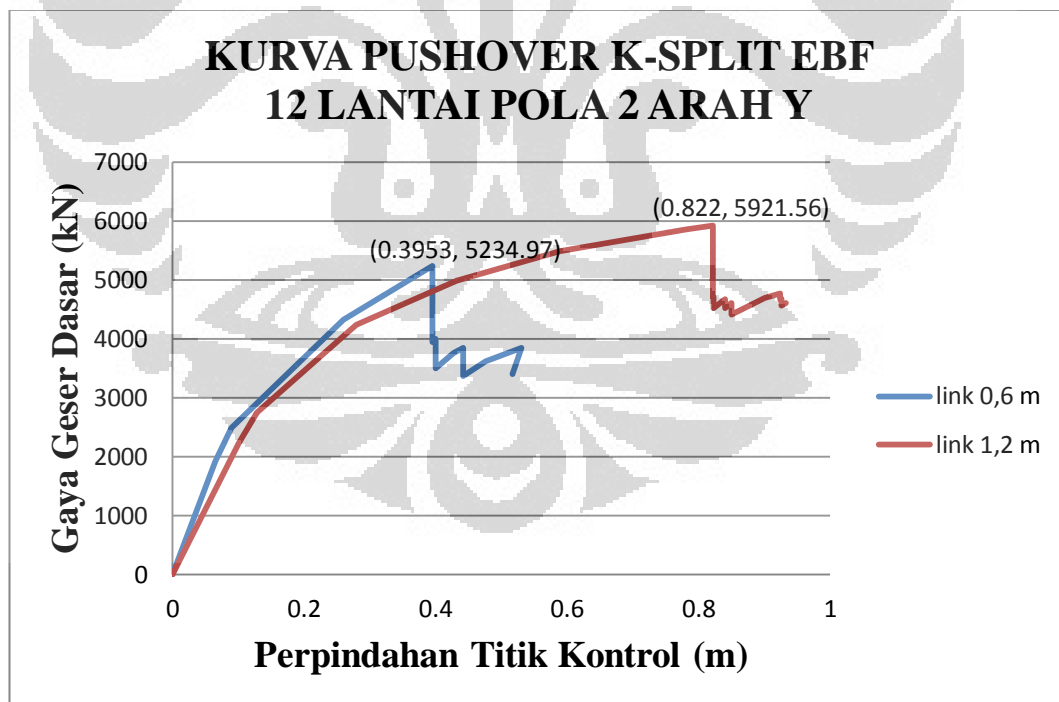
Gambar 4.5 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 12 Lantai,  
*link* 0,6 m – 1,2 m Pola Gempa 1 Arah X



Gambar 4.6 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 12 Lantai,  
*link* 0,6 m – 1,2 m Pola Gempa 2 Arah X

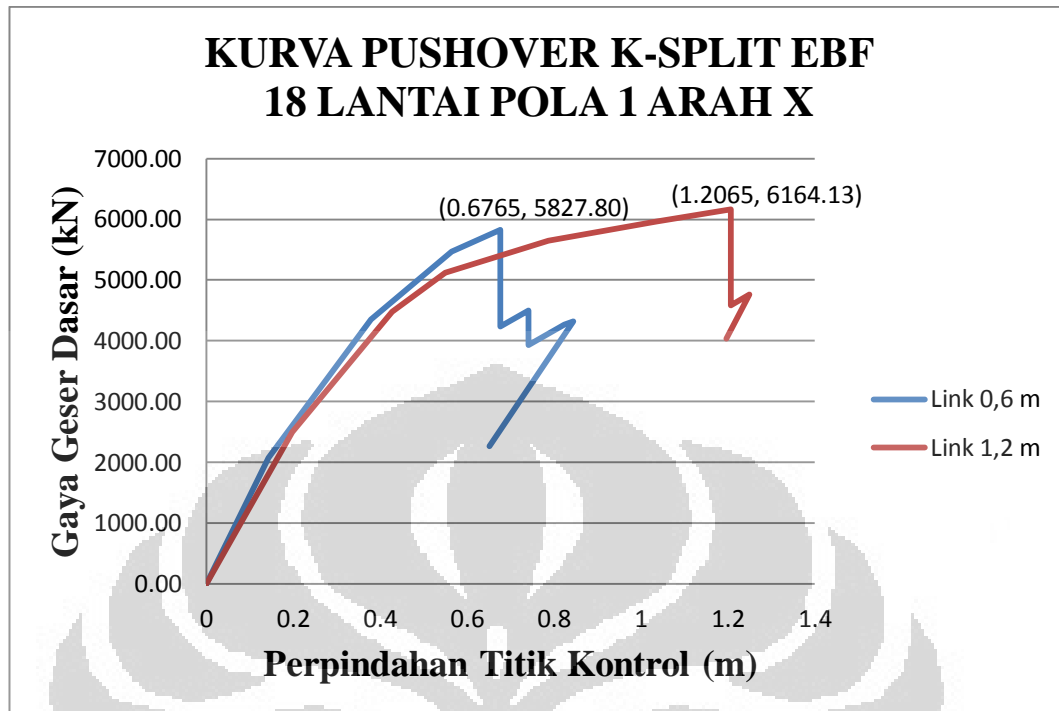


Gambar 4.7 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 12 Lantai,  
*link 0,6 m – 1,2 m* Pola Gempa 1 Arah Y

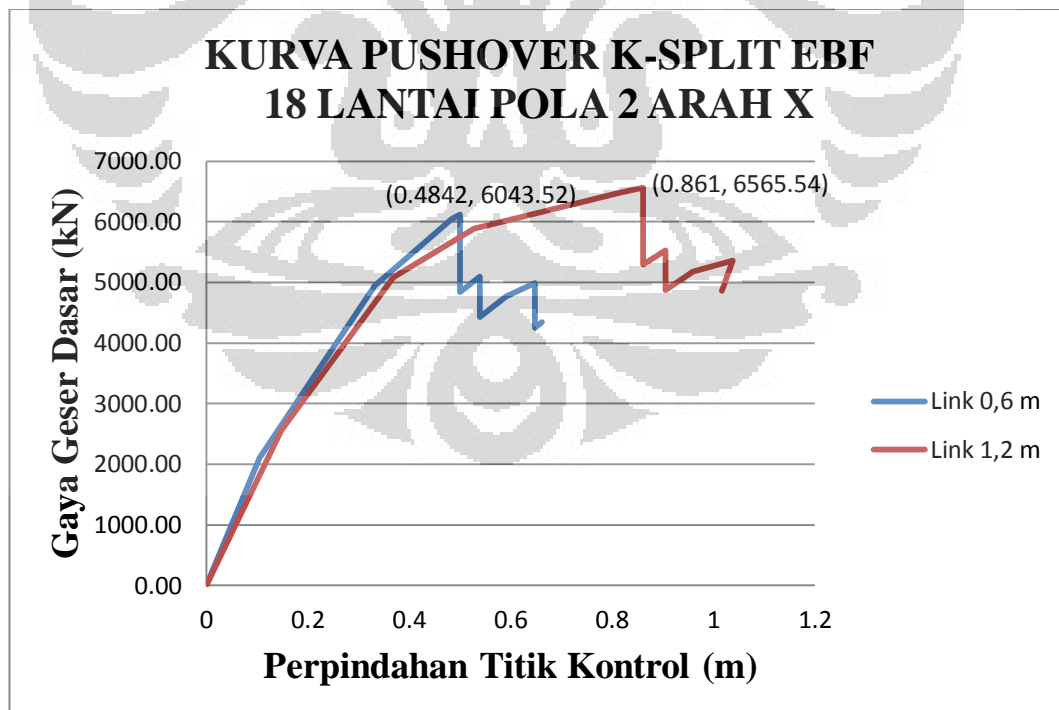


Gambar 4.8 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 12 Lantai,  
*link 0,6 m – 1,2 m* Pola Gempa 2 Arah Y

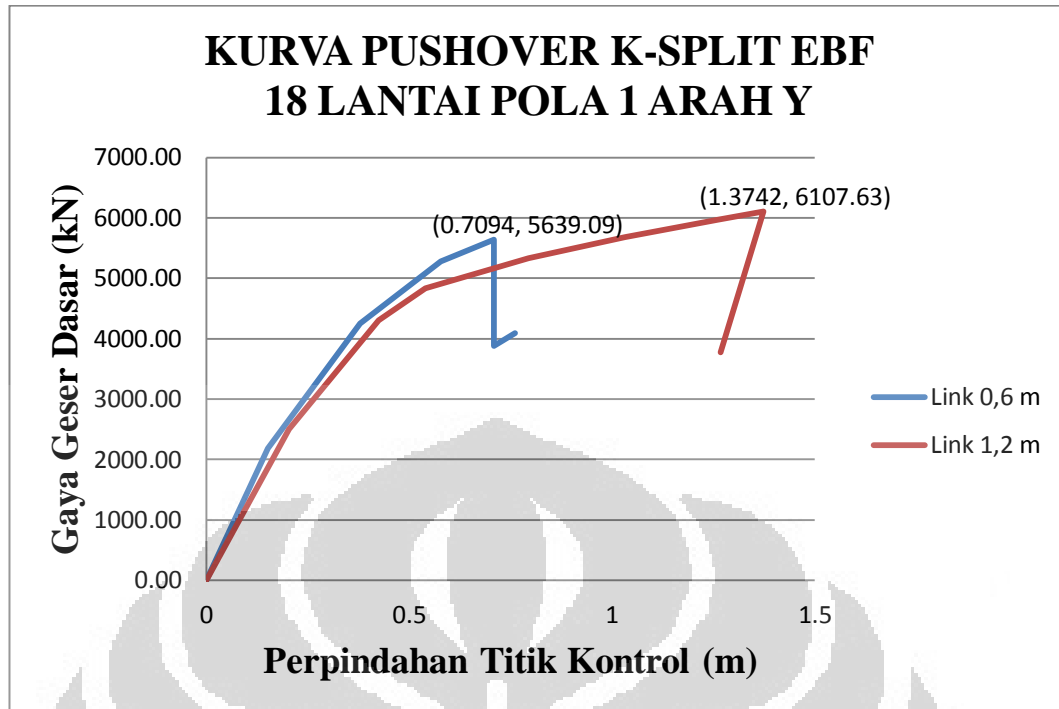
c. Perbandingan Kurva *Pushover* (18 Lantai)



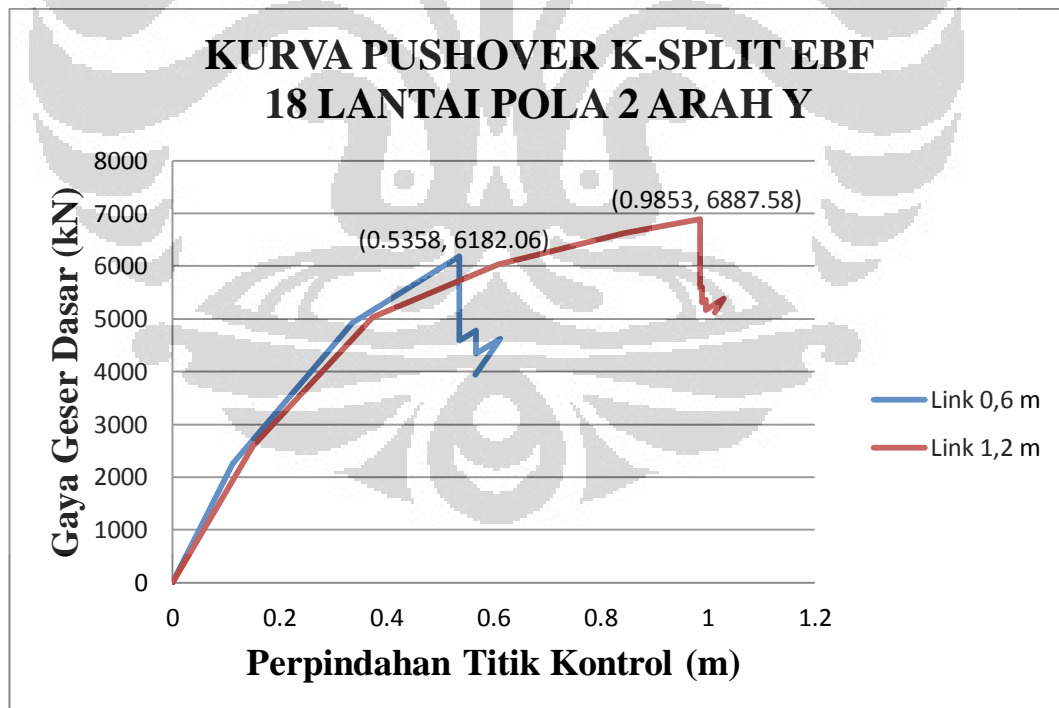
Gambar 4.9 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 18 Lantai,  
*link* 0,6 m – 1,2 m Pola Gempa 1 Arah X



Gambar 4.10 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 18 Lantai,  
*link* 0,6 m – 1,2 m Pola Gempa 2 Arah X



Gambar 4.11 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 18 Lantai,  
*link* 0,6 m – 1,2 m Pola Gempa 1 Arah Y



Gambar 4.12 Perbandingan Kurva *Pushover* Model *K-Split EBF* 18 Lantai,  
*link* 0,6 m – 1,2 m Pola Gempa 2 Arah Y

Grafik di atas menunjukkan bahwa terjadi perbedaan kurva *pushover* pada kedua model *K-Split EBF* dengan *link beam* sepanjang 0,6 meter dan 1,2 meter. Dapat diketahui dari kurva *pushover* di atas bahwa model struktur dengan *link* 1,2 meter memiliki *strength* atau kekuatan yang lebih besar dalam menahan beban gempa dibandingkan dengan model dengan *link* 0,6 meter. Hal ini dikarenakan gaya geser dasar ultimit yang terjadi (yaitu gaya geser dasar maksimum yang dapat ditahan oleh struktur sebelum terjadi penurunan kekuatan) pada model struktur dengan *link* 1,2 meter adalah lebih besar dibandingkan dengan model struktur dengan *link* 0,6 meter. Besarnya gaya geser dasar ultimit beserta perpindahannya tertera pada setiap kurva *pushover* di atas. Sebagai contoh, besarnya gaya geser dasar ultimit dan perpindahannya pada kurva model 18 lantai *link* 0,6 meter pola gempa 2 arah Y (Gambar 4.12), adalah 6182,06 kN dan 0,5358 meter. Sedangkan pada model dengan *link* 1,2 meter, dengan ketinggian dan pola arah gempa sama, adalah 6887,58 kN dan 0,9853 meter.

Selain itu, dikarenakan perpindahan ultimit titik kontrol model struktur dengan *link* 1,2 meter jauh lebih besar daripada model dengan *link* 0,6 meter, maka dapat dikatakan bahwa model struktur dengan *link* 1,2 meter memiliki daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan model struktur dengan *link* 0,6 meter sehingga memiliki kemampuan menyerap energi gempa yang lebih besar (dissipasi energi). Besarnya energi gempa yang dapat diserap oleh bangunan merupakan daerah luasan di bawah kurva hubungan gaya geser dasar – perpindahan.

Akan tetapi, jika kurva *pushover* kedua model di atas dibandingkan berdasarkan kemiringan awal kurva, maka terlihat bahwa sudut kemiringan kurva terhadap sumbu X positif pada model dengan *link* 0,6 meter lebih besar daripada model dengan *link* 1,2 meter, berlaku untuk semua model dengan ketinggian 6, 12, dan 18 lantai. Dengan kata lain, kurva warna biru akan selalu berada di atas kurva warna merah pada kemiringan awal sampai batas ultimit struktur (saat gaya geser dasar mencapai nilai maksimum) dikarenakan kekakuan elastis model struktur dengan *link* 0,6 meter relatif lebih besar dibandingkan model dengan *link* 1,2 meter. Semakin kaku bangunan maka perpindahan (*displacement*) yang terjadi akan semakin kecil, struktur akan lebih unggul dalam hal kenyamanan

(batas layan lendutan) saat gempa melanda struktur bangunan. Mengenai perilaku inelastis struktur, berupa kekuatan, kekakuan, dan daktilitas struktur akan dibahas lebih detail pada subbab selanjutnya.

### 4.3 Kinerja Struktur

Tujuan dari penelitian ini adalah ingin menganalisis serta membandingkan perilaku dan kinerja dari 2 model *K-Split EBF* yang berbeda panjang *link beam*, antara *link* dengan panjang 0,6 meter dengan *link* yang panjangnya 1,2 meter. Model bangunan dianalisis terhadap beban gravitasi dan beban gempa yang menggunakan analisis *pushover*. Adapun perilaku dan kinerja model struktur bangunan yang ditinjau antara lain; perilaku inelastik, kekakuan, kekuatan, serta daktilitas yang ditinjau melalui hubungan gaya geser dasar – perpindahan titik kontrol (kurva *pushover*) dan titik kinerja model bangunan (*performance point*).

#### 4.3.1 Target Perpindahan

Target perpindahan atau titik kinerja bangunan (*performance point*) didapat dengan metode spektrum kapasitas yang telah *built in* di dalam program ETABS. Untuk mendapatkan titik kinerja bangunan, diperlukan input berupa parameter gempa  $C_a$  dan  $C_v$  didapat dari respon spektrum desain berdasarkan RSNI 03-1726-201x, yaitu  $C_a = 0,242667$  dan  $C_v = 0,56$ . Kemudian, dari titik kinerja yang diperoleh, kinerja bangunan dievaluasi terhadap kerusakan-kerusakan yang akan terjadi agar pemilik bangunan mengetahui kondisi bangunannya saat terjadi gempa di wilayah tersebut. Level kinerja bangunan terhadap gempa mengacu pada IO (*Immediate Occupancy*), LS (*Life Safety*), dan CP (*Collapse Prevention*). Berikut ini adalah target perpindahan titik kontrol model struktur *K-Split EBF* pada masing-masing pola arah gempa, dengan link 0,6 meter dan 1,2 meter, dan ketinggian 6, 12, 18 lantai.



Tabel 4.1 Target Perpindahan Titik Kontrol ( $\Delta$ ) dan Gaya Geser Dasar ( $V$ )

Variasi Ketinggian	Arah yang Ditinjau	Pola Beban Lateral	Variasi Panjang <i>Link beam</i>			
			0,6 m		1,2 m	
			V (kN)	$\Delta$ (m)	V (kN)	$\Delta$ (m)
6 LT	Arah X	Pola 1	3567.006	0.154	3580.786	0.164
		Pola 2	4122.928	0.135	4130.974	0.148
	Arah Y	Pola 1	3532.237	0.146	3573.263	0.16
		Pola 2	4176.601	0.126	4215.348	0.142
12 LT	Arah X	Pola 1	3939.143	0.294	3941.924	0.318
		Pola 2	4667.656	0.259	4576.075	0.28
	Arah Y	Pola 1	3532.152	0.295	3504.899	0.323
		Pola 2	4321.589	0.259	4247.392	0.281
18 LT	Arah X	Pola 1	4716.979	0.44	4661.694	0.462
		Pola 2	5314.294	0.383	5236.931	0.4
	Arah Y	Pola 1	4529.496	0.433	4460.5	0.459
		Pola 2	5191.297	0.377	5132.183	0.398

Sumber : Olahan Sendiri

#### 4.3.2 Level Kinerja Struktur

Berdasarkan Tabel 4.1 di atas yaitu target perpindahan titik kontrol yang diperoleh dari perpotongan kurva *demand* (respon spektrum dengan redaman 15% untuk struktur inelastis) dan kurva kapasitas *pushover*, maka dapat diketahui kinerja bangunan masing-masing model 6, 12, 18 lantai saat gempa rencana terjadi, yaitu :

Tabel 4.2 Level Kinerja Model *K-Split EBF* 6 Lantai

Variasi <i>Link beam</i>	Kategori	Arah X		Arah Y	
		Pola 1	Pola 2	Pola 1	Pola 2
0,6 m	Langkah <i>Pushover</i> $i$	4	4	4	3
	Perpindahan Titik Kontrol $\Delta_i$ (m)	0.1889	0.158	0.2081	0.1418
	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	3993.47	4479.82	4239.31	4485.27
	Level Kinerja Bangunan	LS	LS	LS	IO
	Kinerja Rata-Rata Bangunan	LS		LS	
1,2 m	Langkah <i>Pushover</i> $i$	4	3	4	4
	Perpindahan Titik Kontrol $\Delta_i$ (m)	0.1878	0.1523	0.1978	0.2179
	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	3839.24	4197.09	3969.34	5117.69
	Level Kinerja Bangunan	IO	IO	IO	IO
	Kinerja Rata-Rata Bangunan	IO		IO	

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4.3 Level Kinerja Model *K-Split EBF* 12 Lantai

Variasi <i>Link beam</i>	Kategori	Arah X		Arah Y	
		Pola 1	Pola 2	Pola 1	Pola 2
0,6 m	Langkah i	4	3	4	3
	Perpindahan Titik Kontrol $\Delta_i$ (m)	0.386	0.2732	0.3902	0.2597
	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	4579.94	4833.709	4080.11	4329.25
	Level Kinerja Bangunan	LS	IO	LS	IO
	Kinerja Rata-Rata Bangunan	LS		LS	
1,2 m	Langkah i	3	3	4	4
	Perpindahan Titik Kontrol $\Delta_i$ (m)	0.3315	0.3487	0.3813	0.432
	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	4047.15	5044.08	3793.23	4988.92
	Level Kinerja Bangunan	IO	IO	IO	IO
	Kinerja Rata-Rata Bangunan	IO		IO	

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4.4 Level Kinerja Model *K-Split EBF* 18 Lantai

Variasi <i>Link beam</i>	Kategori	Arah X		Arah Y	
		Pola 1	Pola 2	Pola 1	Pola 2
0,6 m	Langkah i	3	3	3	3
	Perpindahan Titik Kontrol $\Delta_i$ (m)	0.5642	0.4842	0.5778	0.5358
	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	5469.45	6043.52	5279.28	6182.06
	Level Kinerja Bangunan	LS	CP	LS	C
	Kinerja Rata-Rata Bangunan	CP		C	
1,2 m	Langkah i	3	3	3	3
	Perpindahan Titik Kontrol $\Delta_i$ (m)	0.5642	0.5273	0.5406	0.607
	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	5469.45	5883.82	4838.71	6028.41
	Level Kinerja Bangunan	IO	IO	IO	IO
	Kinerja Rata-Rata Bangunan	IO		IO	

Sumber : Olahan Sendiri

Penentuan level kinerja bangunan pada masing-masing model struktur tersebut mengacu pada tahapan terbentuknya sendi plastis dan informasi mengenai jenis sendi plastis yang timbul, apakah sendi plastis berwarna biru yang menandakan level IO, biru telur asin (LS), atau warna hijau (CP) saat model struktur mencapai kinerjanya (lihat Lampiran : Tabel *Pushover*). Berdasarkan tabel level kinerja bangunan tiap model struktur di atas dapat disimpulkan bahwa :

- Kinerja rata-rata bangunan model *K-Split EBF* 6 lantai, dengan panjang *link* 0,6 meter, pada gempa rencana arah X dan Y adalah LS (Life Safety).

Sedangkan model dengan panjang *link* 1,2 meter adalah IO (*Immediate Occupancy*) pada kedua arah gempa rencana.

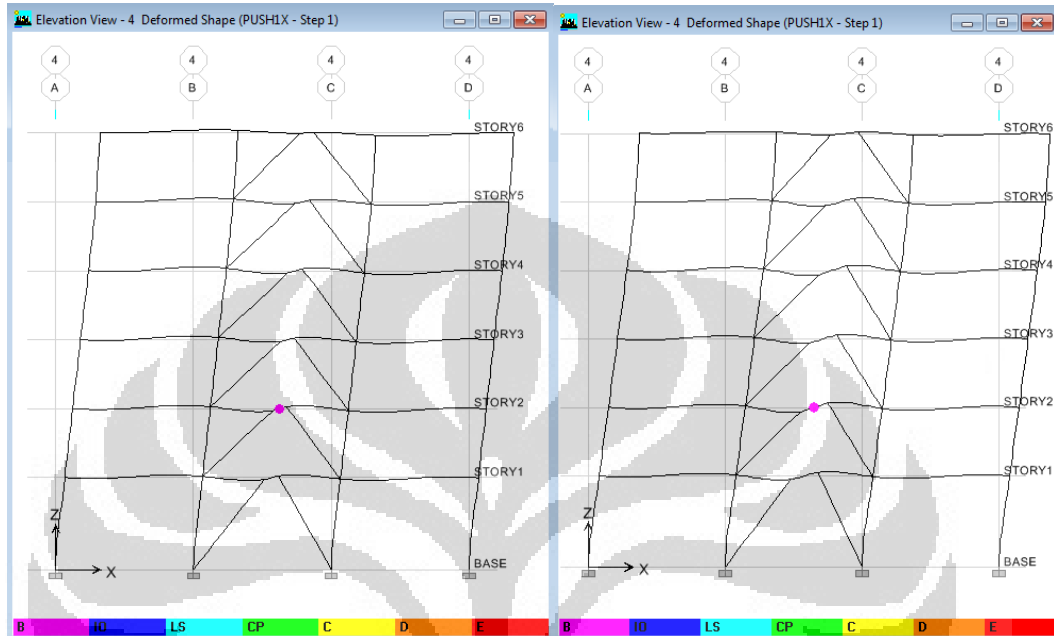
- Kinerja rata-rata bangunan model *K-Split EBF* 12 lantai, dengan panjang *link* 0,6 meter, pada gempa rencana arah X dan Y adalah LS (*Life Safety*). Sedangkan model dengan panjang *link* 1,2 meter adalah IO (*Immediate Occupancy*) pada kedua arah gempa rencana.
- Kinerja rata-rata bangunan model *K-Split EBF* 18 lantai, dengan panjang *link* 0,6 meter, pada gempa rencana arah X adalah CP (*Collapse Prevention*). Sedangkan untuk model yang sama pada gempa rencana arah Y adalah C, yaitu sudah mencapai batas ultimit. Struktur bangunan dengan kinerja telah mencapai batas ultimit dikatakan belum memenuhi syarat kinerja berdasarkan *Performance Based Design*. Sedangkan untuk kinerja rata-rata bangunan model struktur dengan panjang *link* 1,2 meter adalah IO (*Immediate Occupancy*) pada kedua arah gempa rencana.

Berdasarkan analisis kinerja bangunan masing-masing model di atas, dapat disimpulkan bahwa kinerja bangunan model struktur *K-Split EBF* dengan panjang *link* 1,2 meter memiliki kinerja rata-rata bangunan yang stabil yaitu IO (*Immediate Occupancy*) pada ketinggian 6, 12, dan 18 lantai baik gempa arah X dan Y. Sedangkan model dengan *link* 0,6 meter, kinerjanya LS (*Life Safety*) untuk 6 dan 12 lantai untuk kedua arah gempa, dan CP untuk 18 lantai gempa arah X. kinerja bangunan model 18 lantai dengan *link* 0,6 meter pada gempa arah Y belum memenuhi syarat sehingga tidak tercapai kinerjanya pada arah gempa yang ditinjau (arah Y).

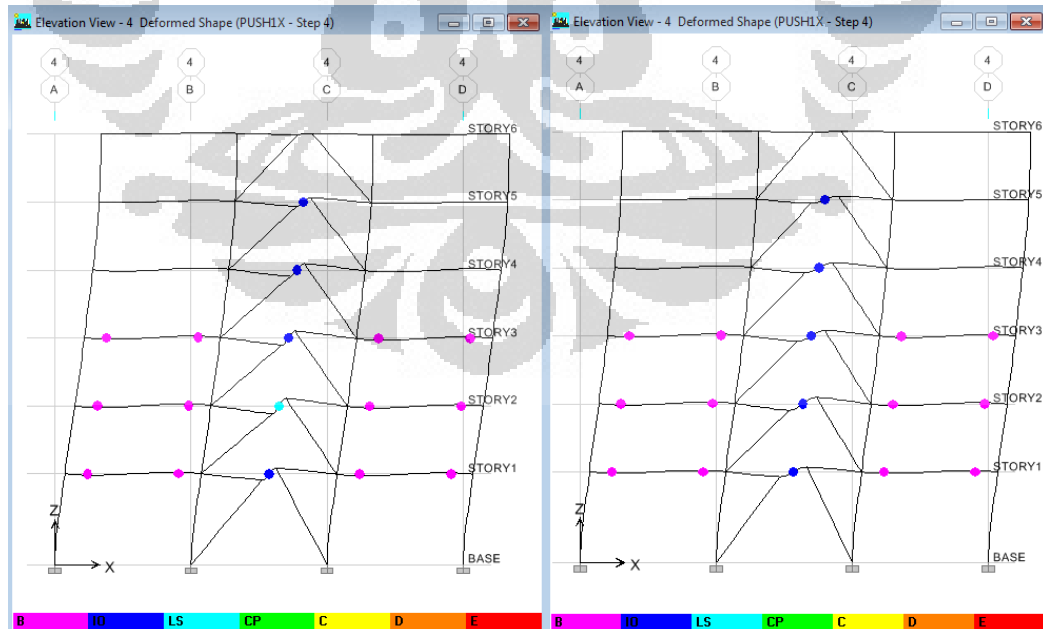
#### 4.4 Mekanisme Sendi Plastis

Berikut ini ditampilkan mekanisme sendi plastis yang terjadi pada model *K-Split EBF* 6 lantai gempa pola 1 dengan panjang *link* 0,6 meter dan 1,2 meter, pada saat terjadi leleh pertama dan keruntuhan pertama, pada masing-masing arah dan pola beban lateral (untuk model 12 dan 18 lantai dapat dilihat pada Lampiran : Mekanisme Sendi Plastis). Leleh pertama ditandai dengan timbulnya petama kali sendi plastis warna merah muda pada elemen struktur (*link beam*), dan keruntuhan pertama terjadi ditandai dengan timbulnya pertama kali sendi plastis warna merah

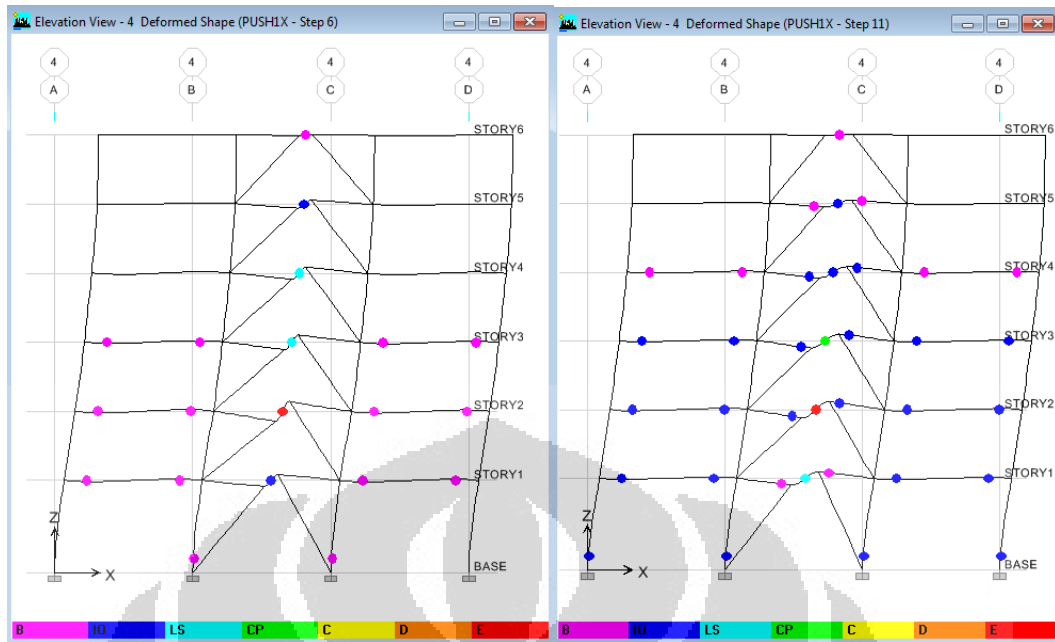
tua pada *link beam*. Adapun portal yang ditinjau adalah portal 4 (portal X) dan portal D (portal Y). Lihat denah struktur untuk lebih jelasnya pada Subbab 3.5 Modelisasi Struktur.



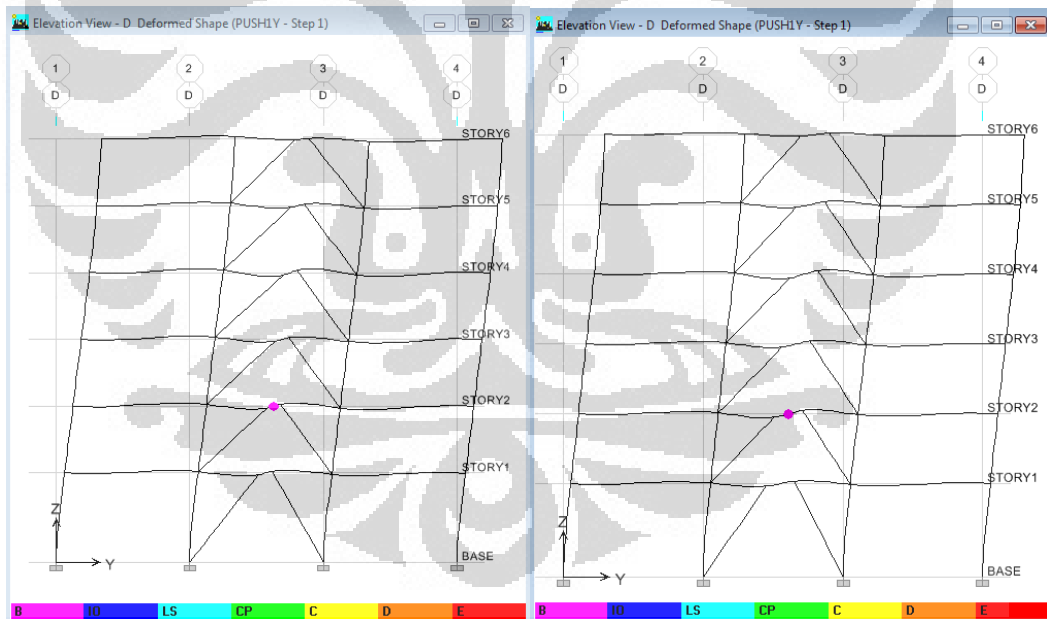
Gambar 4.13 Gempa Pola 1 Arah X : Leleh Pertama pada *Link beam K-Split EBF* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)



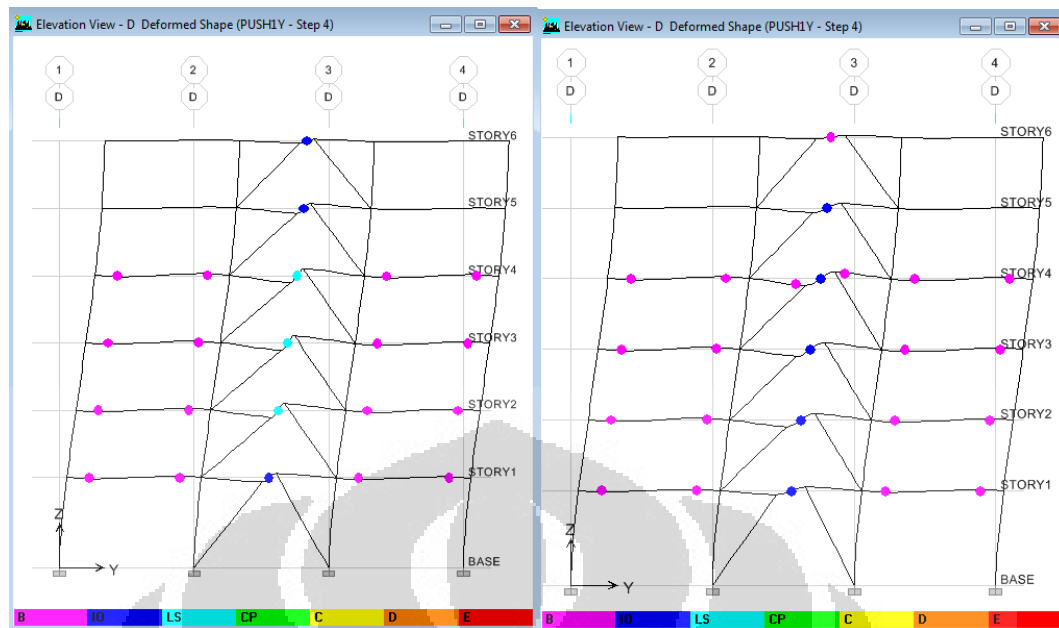
Gambar 4.14 Gempa Pola 1 Arah X : *K-Split EBF* saat Mencapai Kinerja Bangunan, model *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)



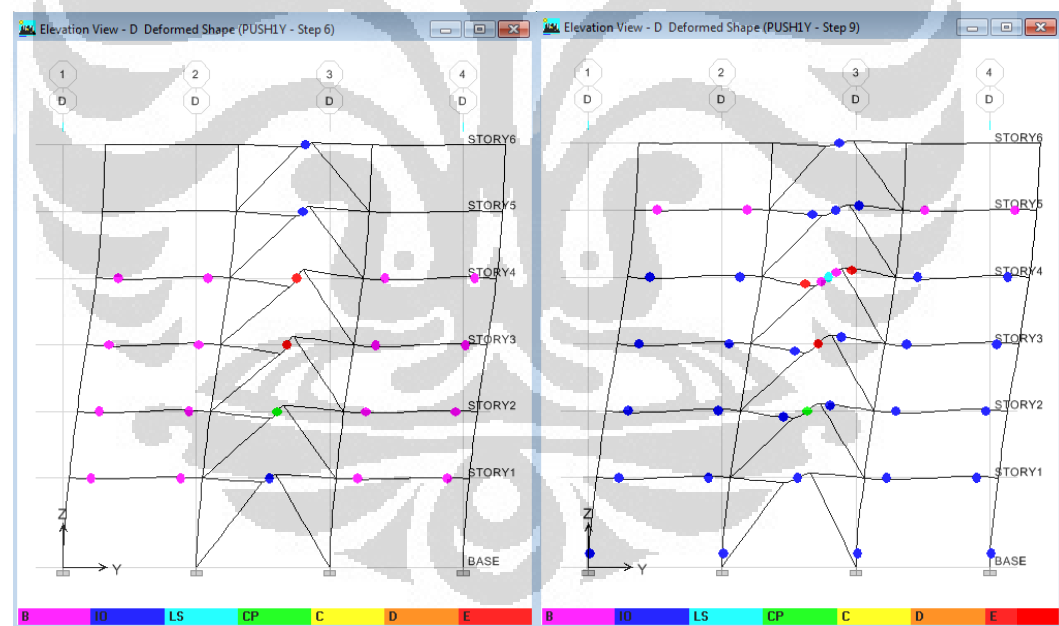
Gambar 4.15 Gempa Pola 1 Arah X : Runtuh Pertama pada *Link beam K-Split EBF*  
0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)



Gambar 4.16 Gempa Pola 1 Arah Y : Leleh Pertama pada *Link beam K-Split EBF*  
0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)



Gambar 4.17 Gempa Pola 1 Arah Y: *K-Split EBF* saat Mencapai Kinerja Bangunan, model *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)



Gambar 4.18 Gempa Pola 1 Arah Y : Runtuh Pertama pada *Link beam K-Split EBF* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

Terdapat persamaan dan perbedaan pada mekanisme timbulnya sendi plastis kedua model dengan panjang *link* 0,6 meter dan 1,2 meter. Persamaan kedua model terdapat pada munculnya sendi plastis pertama atau lelehnya pertama elemen *link beam* (lihat Gambar 4.13 dan Gambar 4.16). Leleh pertama

pada elemen *link beam* kedua model terjadi pada langkah awal pushover, yaitu langkah ke-1 dan ke-2, dan elemen *link beam* yang mengalami leleh pertama yaitu terdapat pada lantai bawah (lantai 1 atau 2).

Perbedaan kedua model terlihat jelas pada saat bangunan mencapai kinerjanya (lihat Gambar 4.14 dan Gambar 4.17) dan saat terjadi keruntuhan pertama pada elemen *link beam* (lihat Gambar 4.15 dan Gambar 4.18). Perbedaan antara kedua model pada saat tercapai kinerja bangunan yaitu terletak pada jenis atau warna sendi plastis yang timbul pada *link beam* yang menandakan kerusakan yang terjadi pada elemen *link beam*. Kerusakan pada elemen *link beam* mewakili secara keseluruhan level kinerja bangunan. Karena pada Bab II Dasar Teori sebelumnya telah dijelaskan mengenai ciri khas dari EBF yang mana elemen *link beam* adalah sebagai elemen yang berfungsi menyerap energi gempa sehingga kerusakan terlebih dahulu terjadi pada elemen *link beam* ketimbang pada elemen kolom, *bressing*, atau balok lain. Pada model 6 lantai dengan *link* 0,6 meter (lihat Gambar 4.14 dan Gambar 4.17), sendi plastis yang muncul sudah mencapai warna biru telur asin yang menandakan bahwa model struktur sudah mencapai level kinerja LS (*Life Safety*). Sedangkan pada model dengan *link* 1,2 meter, sendi plastis yang muncul pada *link beam* masih berwarna biru yang menandakan bahwa model struktur masih dalam batas kinerja IO (*Immediate Occupancy*).

Perbedaan yang selanjutnya adalah pada saat terjadi keruntuhan pertama kali pada elemen *link beam*. Perbedaan kedua model terlihat jelas pada lokasi dan jenis sendi plastis yang timbul pada saat tercapai keruntuhan pertama pada elemen struktur (dalam studi ini adalah elemen *link beam*). Pada tahap terjadinya keruntuhan pertama, lokasi sendi plastis yang timbul untuk model dengan *link* 0,6 meter adalah terpusat/ terkontrol di tengah elemen *link beam* saja yang berarti terjadinya penyerapan energi terkontrol pada tengah-tengah *link beam*. Namun, pada model dengan panjang *link* 1,2 meter, lokasi sendi plastis yang muncul tidak hanya terjadi pada tengah elemen *link beam* saja, tetapi beberapa sendi plastis terjadi pada ujung-ujung elemen *link beam* dan juga ujung balok yang terdekat dengan *link* (balok di samping *link beam*) (lihat Gambar 4.15 dan Gambar 4.18). Selain itu, terdapat perbedaan jenis atau warna sendi plastis yang muncul pada balok portal tanpa *bressing* (*Open Frame*) yang mana jenis sendi plastis yang

muncul pada balok portal tanpa bracing model dengan *link* 1,2 meter adalah dominan berwarna biru (IO), sedangkan pada balok model dengan *link* 0,6 meter adalah dominan berwarna merah muda (masih kondisi leleh pertama). Sehingga dapat diketahui bahwa model *K-Split EBF* dengan *link* 1,2 meter memiliki jumlah sendi plastis yang lebih banyak. Hal ini menandakan bahwa banyaknya partisipasi penyerapan energi gempa oleh elemen struktur selain elemen *link beam* pada model dengan *link* 1,2 meter, yaitu pada balok di samping *link* dan balok pada *Open Frame*. Dengan demikian model dengan *link* 1,2 meter membutuhkan perhatian khusus pada beberapa elemen selain *link beam* seperti balok bukan *link* dan balok *Open Frame*. Selain itu pada model dengan *link* 1,2 meter, beberapa sendi plastis muncul di lantai atas pada ujung-ujung *link beam*. Hal ini menandakan terdapat perbedaan jenis kegagalan dan perilaku pada elemen *link beam* 0,6 meter dan 1,2 meter yang akan dibahas pada Subbab 4.6 Perilaku *Link Beam*.

#### **4.5 Perilaku *Link beam***

Adapun *link beam* yang ditinjau adalah *link beam* yang terdapat pada portal 4 (arah X) dan portal D (arah Y) yang terlebih dahulu mengalami leleh pertama kali (lihat mekanisme sendi plastis), pada masing-masing model *K-Split EBF* 6, 12, dan 18 lantai. Gempa rencana yang ditinjau pada masing-masing arah (X dan Y) adalah hanya pola gempa 1. Adapun perilaku *link beam* yang ditinjau antara lain; kapasitas lentur dan geser ( $M_p$  dan  $V_p$ ), panjang *link beam* (jenis keruntuhan), dan sudut rotasi plastis saat terjadi leleh pertama pada *link beam*.



#### 4.5.1 Kapasitas dan Panjang Elemen *Link beam*

Tabel 4.5 Kapasitas dan Panjang Elemen *Link beam* pada Portal 4 (arah X)

Model	6 lantai		12 lantai		18 lantai	
Profil	W12X40		W14X48		W14X61	
d (in)	11.94		13.79		13.89	
t <sub>w</sub> (in)	0.295		0.34		0.375	
t <sub>f</sub> (in)	0.515		0.595		0.645	
Z <sub>x</sub> (in)	57.5		78.4		102	
M <sub>p</sub> (lb-in)	2070		2822.4		3672	
V <sub>p</sub> (lb)	69.519		92.534		102.060	
1.6M <sub>p</sub> /V <sub>p</sub>	47.642		48.802		57.566	
2.5M <sub>p</sub> /V <sub>p</sub>	74.441		76.253		89.947	
<i>link beam</i> e (m)	0.6	1.2	0.6	1.2	0.6	1.2
<i>link beam</i> e (in)	23.622	47.244	23.622	47.244	23.622	47.244

Sumber : Olahan Sendiri

Tabel 4.6 Kapasitas dan Panjang Elemen *Link beam* pada Portal D (arah Y)

Model	6 lantai		12 lantai		18 lantai	
Profil	W12X45		W12X50	W12X40	W14X61	
d (in)	12.06		12.19	11.94	13.89	
t <sub>w</sub> (in)	0.335		0.37	0.295	0.375	
t <sub>f</sub> (in)	0.575		0.64	0.515	0.645	
Z <sub>x</sub> (in)	64.7		72.4	57.5	102	
M <sub>p</sub> (lb-in)	2329.2		2606.4	2070	3672	
V <sub>p</sub> (lb)	78.945		87.193	69.519	102.06	
1.6M <sub>p</sub> /V <sub>p</sub>	47.207		47.828	47.642	57.566	
2.5M <sub>p</sub> /V <sub>p</sub>	73.760		74.731	74.441	89.947	
<i>link beam</i> e (m)	0.6	1.2	0.6	1.2	0.6	1.2
<i>link beam</i> e (in)	23.622	47.244	23.622	47.244	23.622	47.244

Sumber : Olahan Sendiri

Berdasarkan hasil perhitungan tabel di atas (Tabel 4.5 dan Tabel 4.6), dapat diketahui bahwa untuk model *K-Split EBF* 6 lantai dengan panjang *link beam* 0,6 meter, panjang e kurang dari 1,6M<sub>p</sub>/V<sub>p</sub>. Sebagai contoh pada Tabel 4.7, pada portal arah Y, panjang e = 23,62 inch, sedangkan besarnya 1,6M<sub>p</sub>/V<sub>p</sub> = 47,64 inch. Sehingga secara teoritis *link beam* 0,6 meter yang ditinjau pada portal Y dengan profil W12X40 pada model 6 lantai termasuk ke dalam kategori *link* geser. Sedangkan untuk model *K-Split EBF* 6 lantai dengan panjang *link beam* 1,2 meter pada portal arah Y, panjang e (47,24 inch) lebih besar dari 1,6M<sub>p</sub>/V<sub>p</sub>

(47,207 inch) dan lebih kecil dari  $2,5M_p/V_p$  (73,76 inch) sehingga *link beam* 1,2 meter yang ditinjau dengan profil W12X40 pada model 6 lantai portal arah Y secara teori masuk ke dalam batas kategori *link* menengah. Pada model 12 dan 18 lantai portal Y, baik *link beam* 0,6 meter dan 1,2 meter secara teori termasuk ke dalam kategori *link* geser ( $e < 1,6M_p/V_p$ ). Begitu pula pada model 6, 12, dan 18 lantai pada portal arah X, *link beam* 0,6 meter dan 1,2 meter yang ditinjau secara teori termasuk ke dalam kategori *link* geser.

Namun, berdasarkan analisis *pushover* (lihat mekanisme sendi plastis), ada beberapa sendi plastis muncul pada ujung-ujung *link beam* selain di tengah *link*, terutama pada lantai atas. Hal ini menandakan sebagian besar *link beam* berperilaku sebagai *link* geser (terutama pada lantai bawah), dan ada beberapa *link beam* yang berperilaku sebagai *link* menengah (kegagalan geser – lentur) yang terjadi pada lantai menengah ke atas. Letak *link* geser – lentur yang hanya berada di lantai menengah ke atas disebabkan karena optimalisasi penggunaan profil baja yang mana semakin ke lantai atas, profil baja yang digunakan akan semakin kecil, baik itu *link beam*, balok bukan *link*, kolom, maupun bressing. Efek pada *link beam* yang mengecil pada lantai menengah ke atas tersebut menyebabkan mengecilnya kapasitas lentur ( $M_p$ ) dan gesernya ( $V_p$ ). Sehingga bukan mustahil nilai  $1,6M_p/V_p$  akan dilampaui oleh panjang *link* ( $e$ ) itu sendiri dengan panjang  $e$  tetap terutama pada *link beam* yang terdapat pada lantai menengah ke atas. Dengan demikian, berdasarkan perbandingan antara analisis *pushover* dengan perhitungan teoritis kapasitas *link beam* kedua model, menunjukkan hasil yang sama yang mana *link* 1,2 meter dominan berperilaku sebagai *link* geser dan sebagian sebagai *link* menengah. Konsekuensinya adalah perlunya pendetailan dan perhatian khusus pada ujung dan tengah elemen *link beam* 1,2 meter agar tercapai sendi plastis yang diharapkan.

#### 4.5.2 Sudut Rotasi *Link Beam*

Tabel 4.7 Sudut Rotasi Plastis *Link Beam* yang Ditinjau pada Model *K-Split EBF*

Model	Panjang <i>Link</i> (m)	Arah Gempa	<i>Plastic Story Drift</i> $\Delta p$ (m)	<i>Plastic Story Drift Angle</i> $\theta_p$ (radian)	Sudut Rotasi <i>Link beam</i> $\gamma_p$ (radian)	Sudut Rotasi Empiris (radian)	% Kesalahan Relatif
6 Lantai	0.6	Arah X	0.00574	0.00191	0.01915	0.08	76.07
		Arah Y	0.00622	0.00207	0.02072		74.10
	1.2	Arah X	0.01037	0.00346	0.01729	0.08	78.39
		Arah Y	0.01101	0.00367	0.01835		77.06
12 lantai	0.6	Arah X	0.00721	0.00240	0.02403	0.08	69.96
		Arah Y	0.00694	0.00231	0.02312		71.10
	1.2	Arah X	0.01111	0.00370	0.01852	0.08	76.86
		Arah Y	0.01292	0.00431	0.02153		73.09
18 lantai	0.6	Arah X	0.00688	0.00229	0.02292	0.08	71.35
		Arah Y	0.00667	0.00222	0.02222		72.23
	1.2	Arah X	0.01053	0.00351	0.01755	0.08	78.06
		Arah Y	0.01050	0.00350	0.01750		78.13

Sumber : Olahan Sendiri

Besarnya sudut rotasi plastis empiris *link beam* untuk *link* geser adalah 0,08 radian, sedangkan *link lentur* adalah 0,02 radian. Berdasarkan analisis *pushover* yang telah dilakukan, maka sudut rotasi plastis *link beam* yang ditinjau dapat dihitung secara analitis menggunakan persamaan :

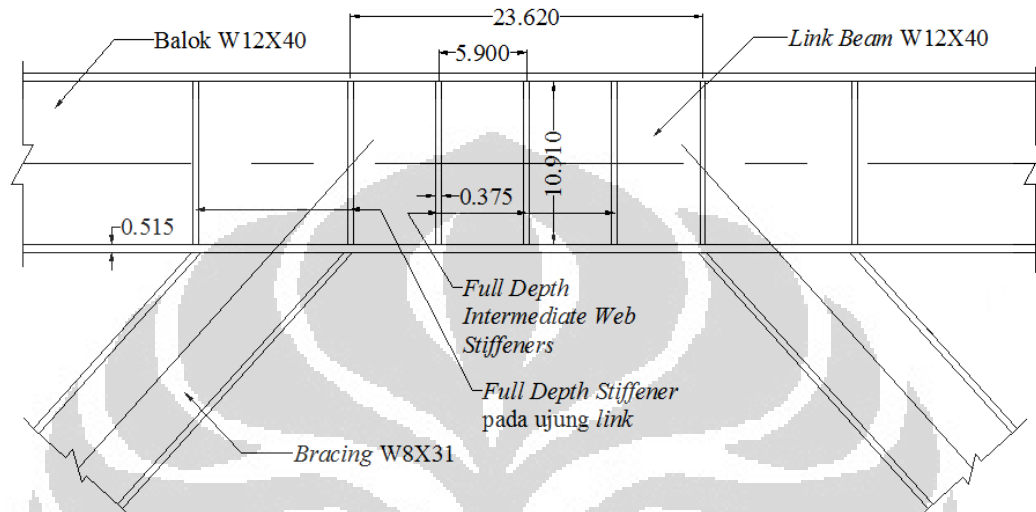
$$\gamma_p = \frac{L}{e} \theta_p \text{ (lihat Subbab 2.3.5.3 Sudut Rotasi *Link beam*)}$$

Maka berdasarkan Tabel 4.7 di atas, didapat perbedaan sudut rotasi plastis *link beam* antara perhitungan analitis dengan data empiris berdasarkan AISC 341-05. Yaitu yang mana terdapat persentase kesalahan relatif terbesar pada model 6 lantai *link* 1,2 meter pola gempa X sebesar 78,39%, dan persentase kesalahan relatif terkecil yaitu pada model 12 lantai *link* 0,6 meter pola gempa arah X yaitu sebesar 69,96%.

#### 4.5.3 Pendetailan *Link Beam*

Berdasarkan *link beam* yang ditinjau pada masing-masing model, maka dalam subbab ini hanya menampilkan 1 gambar pendetailan *link beam* saja yaitu pada *link* 0,6 meter pada portal X ketinggian 6 lantai. Adapun profil I yang digunakan adalah W12X40 dengan tinggi  $d = 11,94$  inch,  $t_w = 0,295$  inch,  $t_f = 0,515$  inch, dan  $b_f = 8,01$  inch. Karena  $d < 25$  inch (lihat Subbab 2.3.5.4

Pendetailan Link Beam), maka pengaku hanya dipasang pada satu sisi saja (sisi depan). Kemudian pengaku pada *link* (*intermediate web stiffeners*) dipasang sejarak  $s = 30t_w - d/5 = 6,462 \text{ inch} \approx 6,5 \text{ inch}$ . Sehingga untuk panjang *link* 0,6 meter (23,62 inch), jumlah spasi antar pengaku =  $23,62/ 6,5 = 3,6 \approx 4$ . Maka gunakan spasi antar pengaku  $s = 23,62/ 4 = 5,9 \text{ inch}$ .

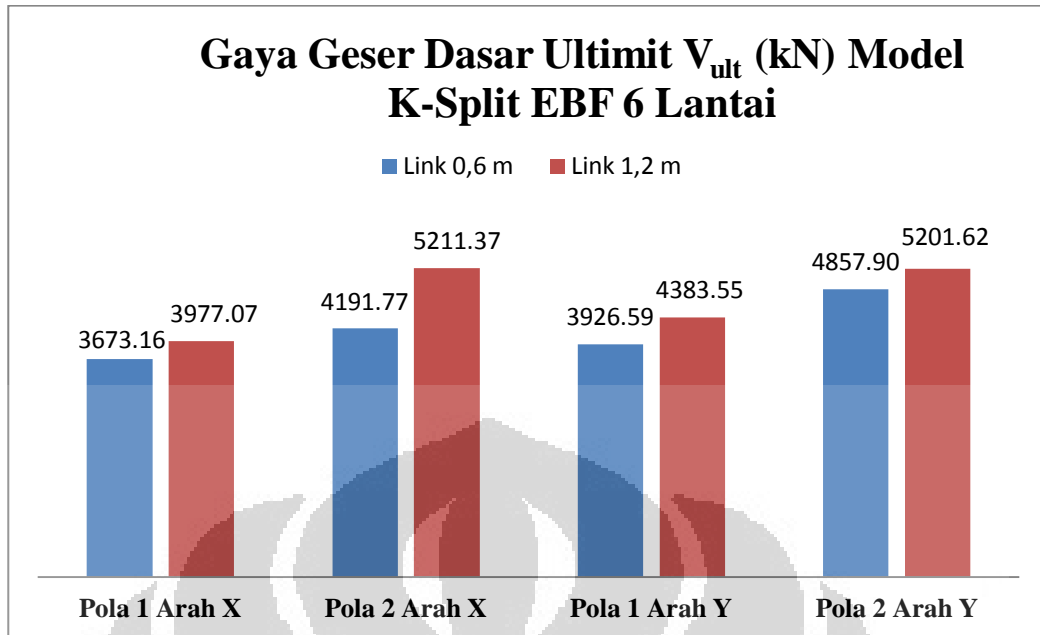


Gambar 4.19 Pendetailan *Link Beam* W12X40 dengan Panjang 0,6 meter pada model *K-Split EBF* 6 Lantai (Tampak Depan)

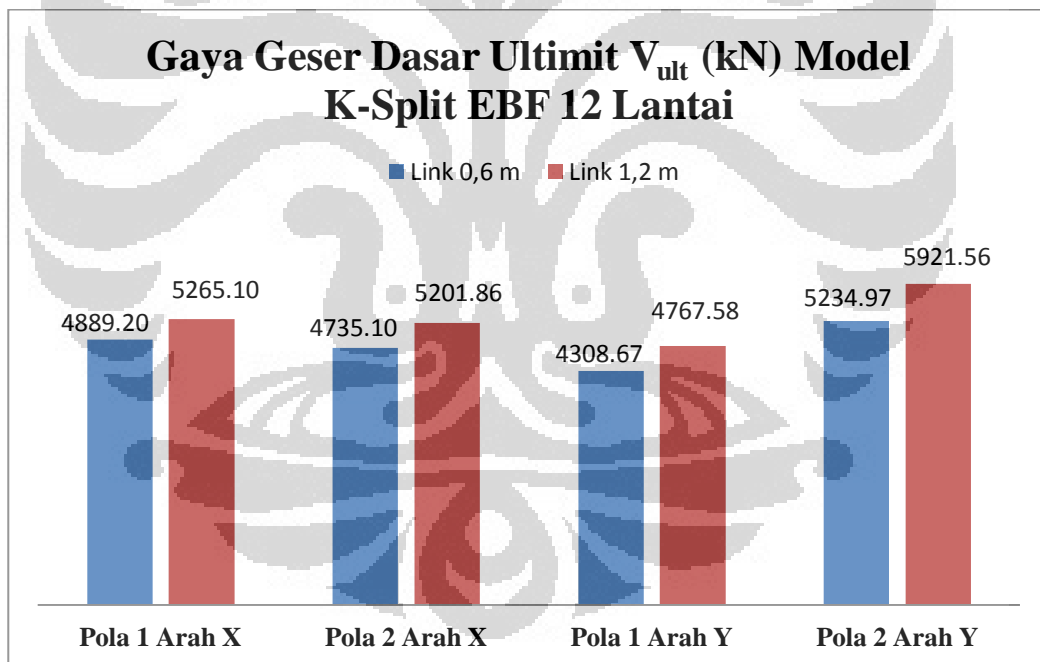
## 4.6 Perilaku Inelastik Struktur

### 4.6.1 Kekuatan Struktur

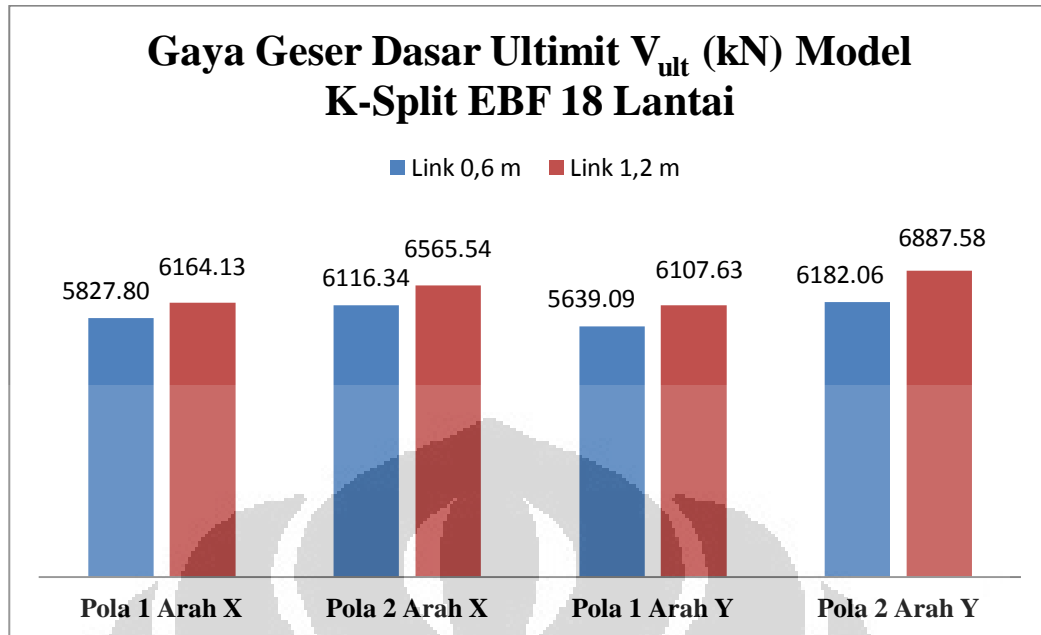
Dari analisis *pushover* didapat gaya geser dasar ultimit yang digunakan untuk membandingkan kekuatan (strength) pada kedua model EBF tersebut. Gaya geser dasar ultimit ( $V_{ult}$ ) diambil saat gaya geser dasar  $V = V_{maks}$  atau saat  $V \leq 85\% V_{maks}$ . Besarnya  $V_{ult} = V \geq 85\% V_{maks}$  diambil jika setelah mencapai  $V_{maks}$ , masih ada nilai  $V$  yang lebih besar atau sama dengan 85% dari nilai  $V_{maks}$ . Adapun perbandingan kekuatan kedua model antara panjang *link* 0,6 meter dan 1,2 meter adalah sebagai berikut :



Gambar 4.20 Perbandingan Beban Ultimit Model *K-Split EBF* 6 Lantai link 0,6 m dan 1,2 m



Gambar 4.21 Perbandingan Beban Ultimit Model *K-Split EBF* 12 Lantai link 0,6 m dan 1,2 m



Gambar 4.22 Perbandingan Beban Ultimit Model *K-Split EBF* 18 Lantai *link* 0,6 m dan 1,2 m

Berdasarkan tabel perbandingan kekuatan di atas, maka dapat dianalisis bahwa :

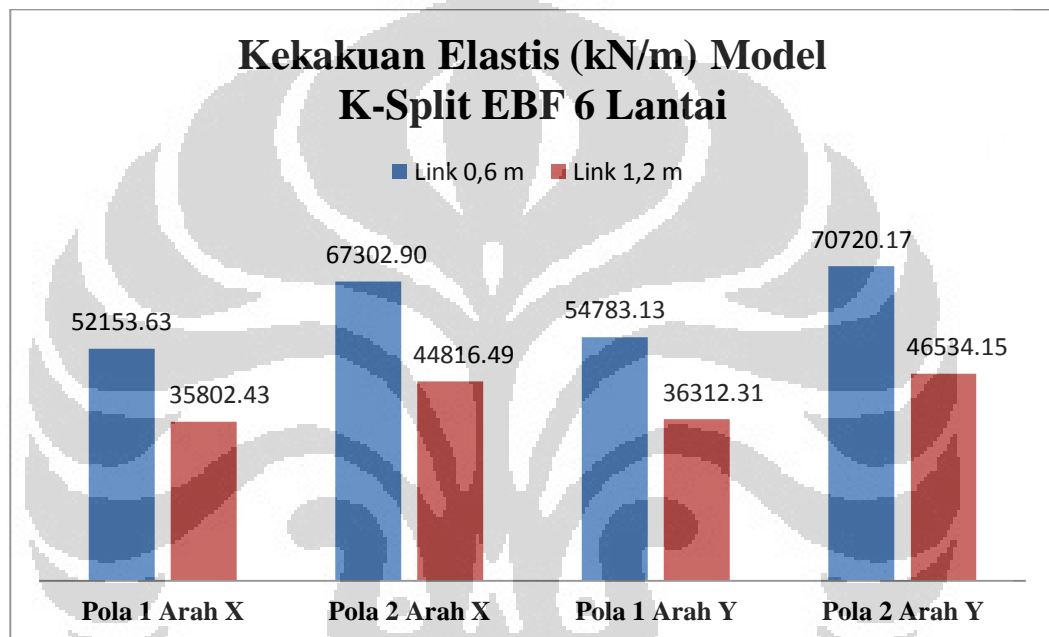
- Model dengan panjang *link* 1,2 meter memiliki  $V_{ult}$  yang lebih besar dibandingkan model dengan panjang *link* 0,6 meter, baik untuk model 6, 12, dan 18 lantai. Adapun persentase terbesar perbedaan kekuatan model *link* 1,2 meter mencapai 24,32% relatif lebih besar terhadap model *link* 0,6 meter, yaitu terdapat pada model 6 lantai pola gempap 2 arah X (Gambar 4.20), di mana  $V_{ult}$  (model *link* 1,2 meter) = 5211,37 kN dan  $V_{ult}$  (model *link* 0,6 meter) = 4191,77 kN.
- Kekuatan terbesar terdapat pada model 18 lantai dengan panjang *link* 1,2 meter (Gambar 4.22), pada pola gempap 2 arah Y, yaitu mencapai  $V_{ult}$  = 6887,58 kN. Sedangkan kekuatan terkecil terdapat pada model 6 lantai dengan panjang *link* 0,6 meter (Gambar 4.20), pada pola gempap 1 arah X, yaitu dengan nilai  $V_{ult}$  = 3673,16 kN.

#### 4.6.2 Kekakuan Struktur

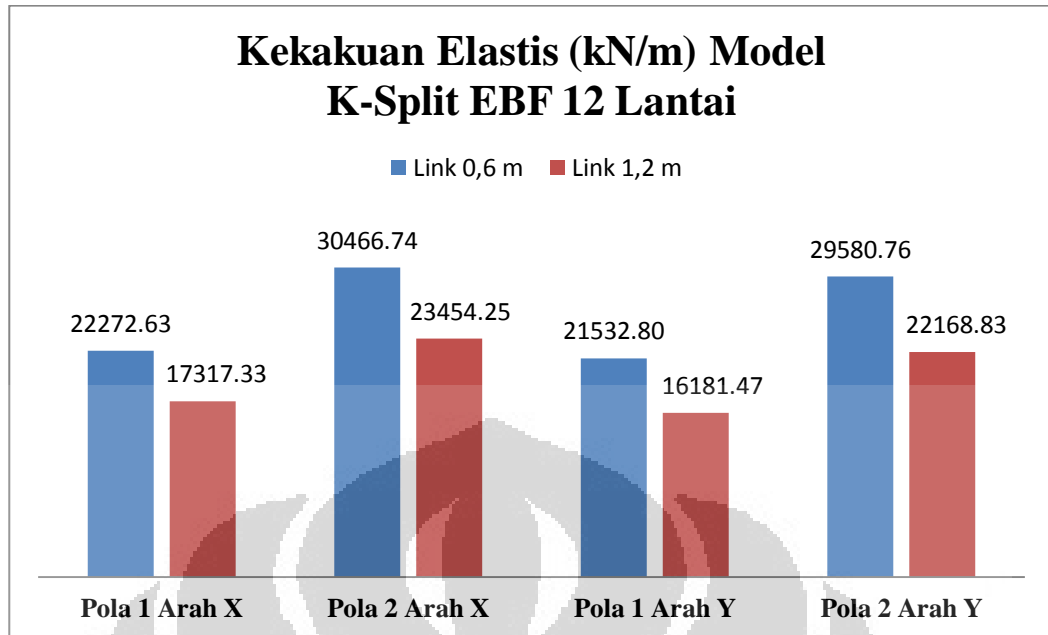
Kekakuan model struktur EBF sangat ditentukan oleh jenis *link* atau panjang *link beam* yang digunakan. Berdasarkan Bab II Dasar Teori dikatakan bahwa kekakuan struktur EBF adalah fungsi dari rasio  $e/L$ , dimana  $e$  adalah panjang *link beam*, dan  $L$  adalah lebar bentang sehingga semakin pendek *link*

*beam* maka kekakuan struktur akan semakin besar, dan semakin panjang *link beam* maka kekakuan struktur akan semakin kecil.

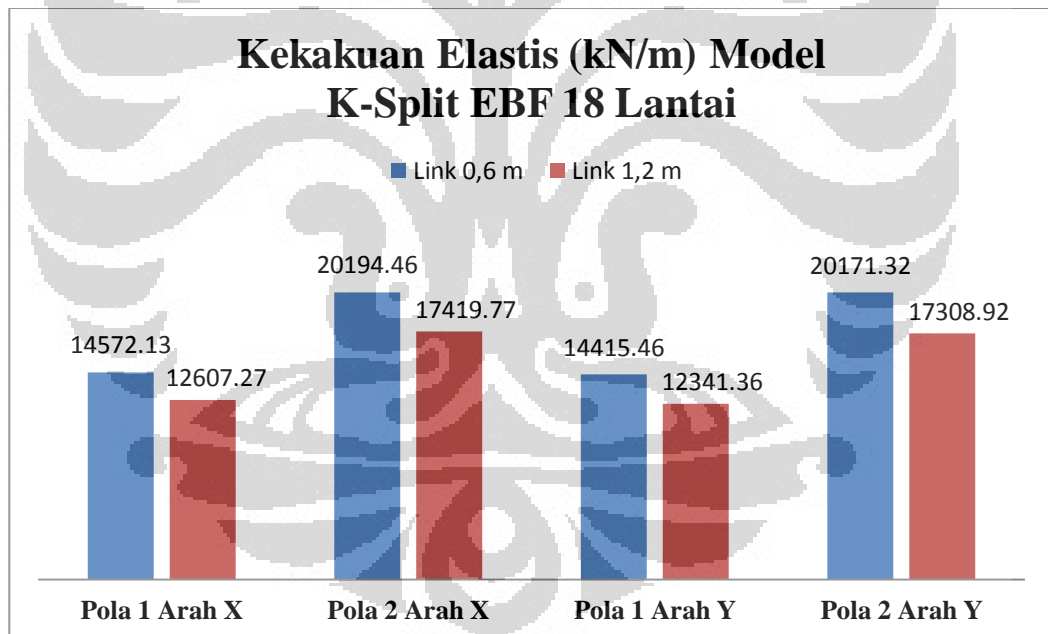
Berikut ini adalah grafik perbandingan kekakuan elastis model dengan *link* 0,6 meter dan *link* 1,2 meter yang dihitung berdasarkan rasio antara gaya geser dasar leleh ( $V_y$ ), yaitu gaya geser dasar yang menyebabkan leleh pertama pada elemen struktur (*link beam*) dengan perpindahan titik kontrol model struktur saat terjadi leleh pertama pada elemen *link beam* ( $\delta_y$ ).



Gambar 4.23 Perbandingan Kekakuan Elastis Model *K-Split EBF* 6 Lantai *Link* 0,6 m dan 1,2 m



Gambar 4.24 Perbandingan Kekakuan Elastis Model *K-Split EBF* 12 Lantai *Link* 0,6 m dan 1,2 m



Gambar 4.25 Perbandingan Kekakuan Elastis Model *K-Split EBF* 18 Lantai *Link* 0,6 m dan 1,2 m

Berdasarkan grafik perbandingan kekakuan kedua model di atas (Gambar 4.23, 4.24, dan 4.25), dapat dianalisis bahwa :

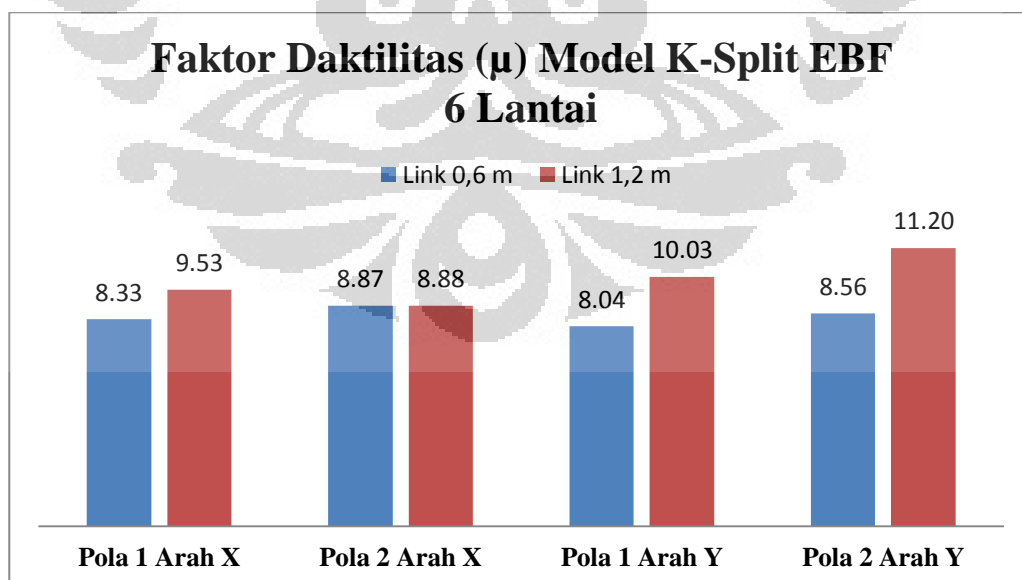
- Model struktur dengan *link* 0,6 meter memiliki kekakuan elastis yang jauh lebih besar dibandingkan model dengan *link* 1,2 meter, baik pada model 6, 12, dan 18 lantai.



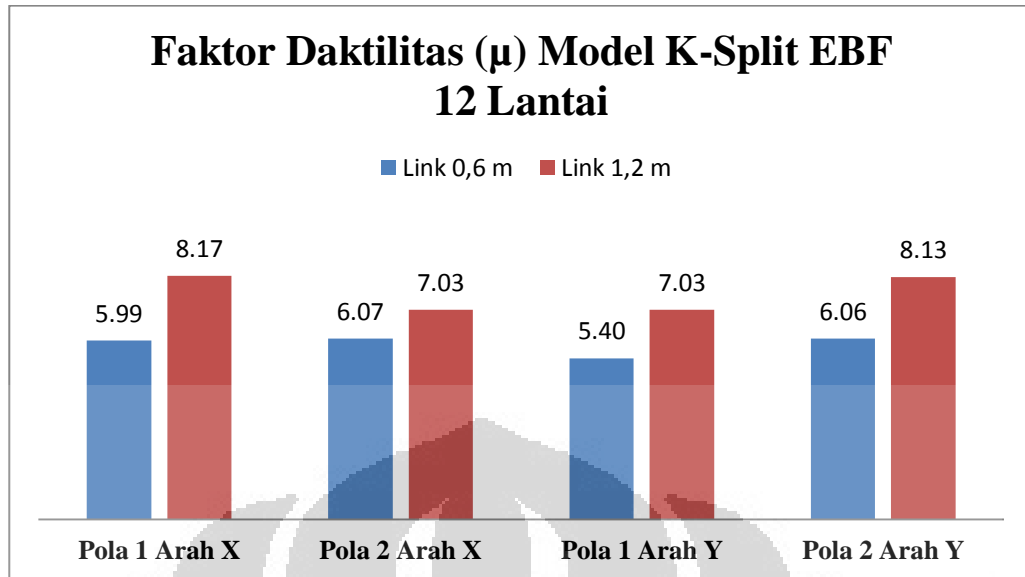
- Persentase terbesar perbedaan kekakuan model *link* 1,2 meter adalah mencapai 34,2% relatif lebih kecil terhadap model dengan *link* 0,6 meter. Yaitu terdapat pada model 6 lantai dengan gempa pola 2 arah Y, dengan besarnya kekakuan model struktur dengan panjang *link* 0,6 meter adalah 70720,17 kN/m dan besarnya kekakuan model struktur dengan panjang *link* 1,2 meter adalah 46534,15 kN/m (Gambar 4.23).
- Kekakuan terbesar dicapai pada model 6 lantai dengan panjang *link* 0,6 meter pola gempa 2 arah Y, yaitu sebesar 70720,17 kN/m (Gambar 4.23). Sedangkan kekakuan terkecil terdapat pada model 18 lantai dengan panjang *link* 1,2 meter pola gempa 1 arah Y, yaitu sebesar 12341,36 kN/m (Gambar 4.25).

#### 4.6.3 Daktilitas Struktur

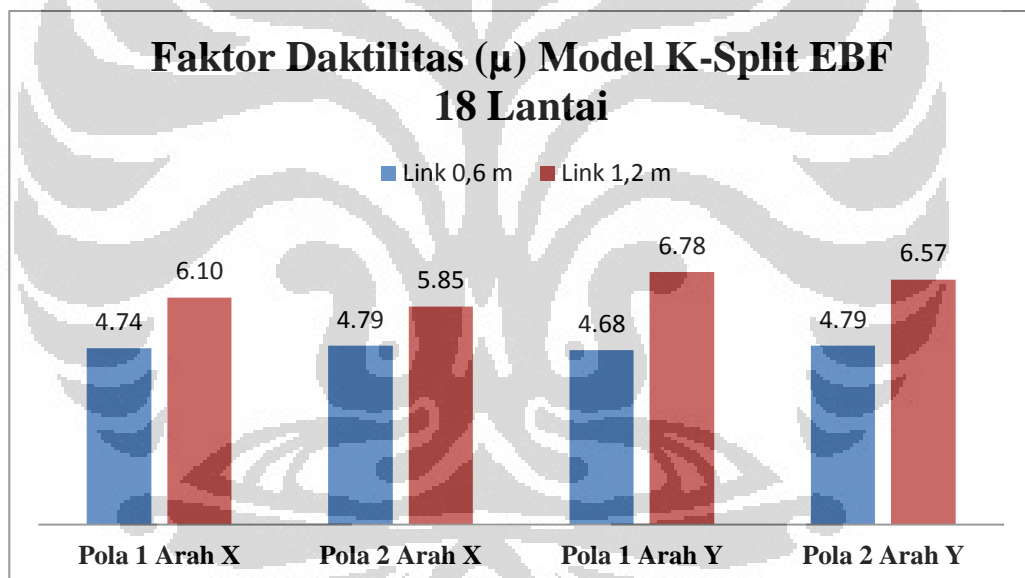
Tabel berikut ini menunjukkan daktilitas dari kedua model dengan *link* 0,6 meter dan 1,2 meter, pada masing-masing arah dan pola gempa. Besarnya faktor daktilitas ( $\mu$ ) diperoleh dari rasio perbandingan perpindahan titik kontrol saat mencapai batas ultimit dengan perpindahan titik kontrol saat terjadi leleh pertama pada *link beam*.



Gambar 4.26 Perbandingan Daktilitas Model *K-Split EBF* 6 Lantai *Link* 0,6 m dan 1,2 m



Gambar 4.27 Perbandingan Daktilitas Model *K-Split EBF* 12 Lantai *Link* 0,6 m dan 1,2 m



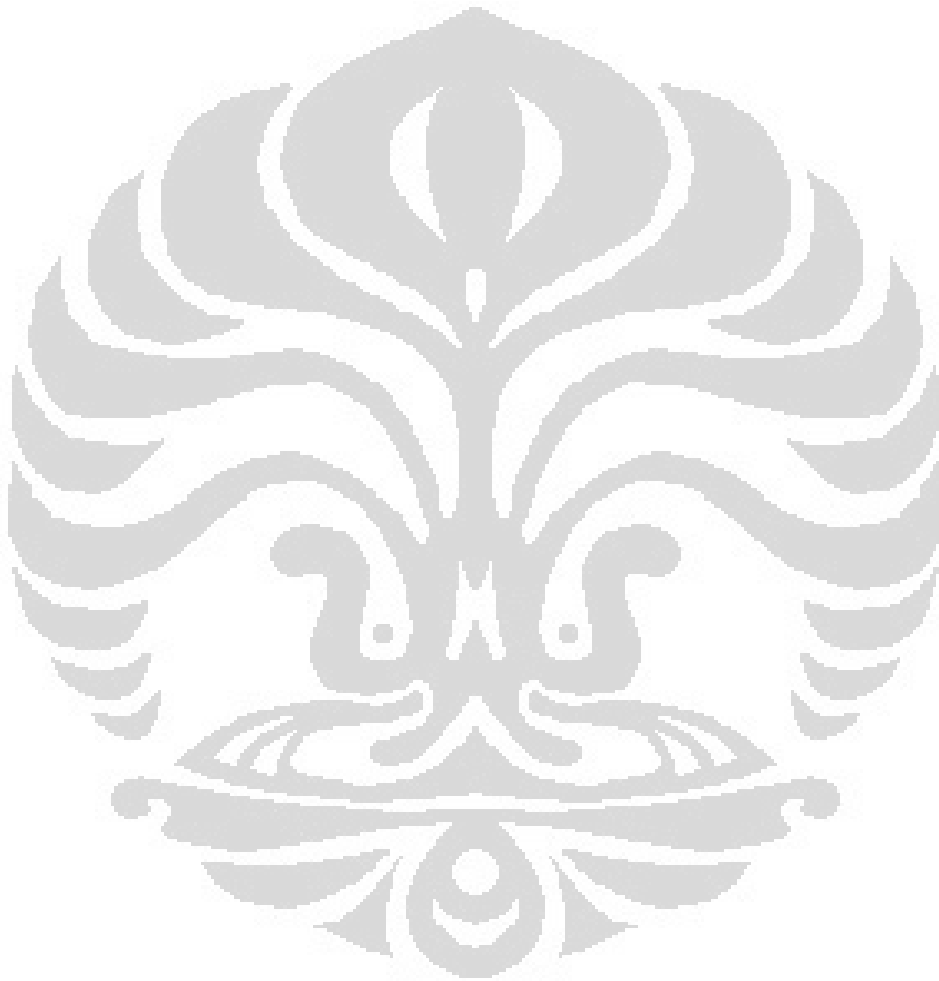
Gambar 4.28 Perbandingan Daktilitas Model *K-Split EBF* 18 Lantai *Link* 0,6 m dan 1,2 m

Dari 3 grafik diatas (Gambar 4.26, 4.27, 4.28) dapat dianalisis yaitu sebagai berikut :

- Model struktur dengan panjang *link* 1,2 meter memiliki daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan model struktur dengan panjang *link* 0,6 meter, baik pada model 6, 12, dan 18 lantai.
- Persentase terbesar perbedaan faktor daktilitas model dengan *link* 1,2 meter mencapai 44,71% relatif lebih besar terhadap model dengan *link* 0,6 meter.

Yaitu terdapat pada model 18 lantai dengan gempapola 1 arah Y. Dengan besarnya  $\mu = 6,78$  pada model dengan panjang *link* 1,2 meter dan  $\mu = 4,68$  pada model dengan panjang *link* 0,6 meter.

- $\mu$  terbesar = 11,2 terdapat pada model 6 lantai dengan link 1,2 meter pola gempapola 2 arah Y (Gambar 4.26).  $\mu$  terkecil = 4,68 yaitu terdapat pada model 18 lantai dengan link 0,6 meter pola gempapola 1 arah Y (Gambar 4.28).



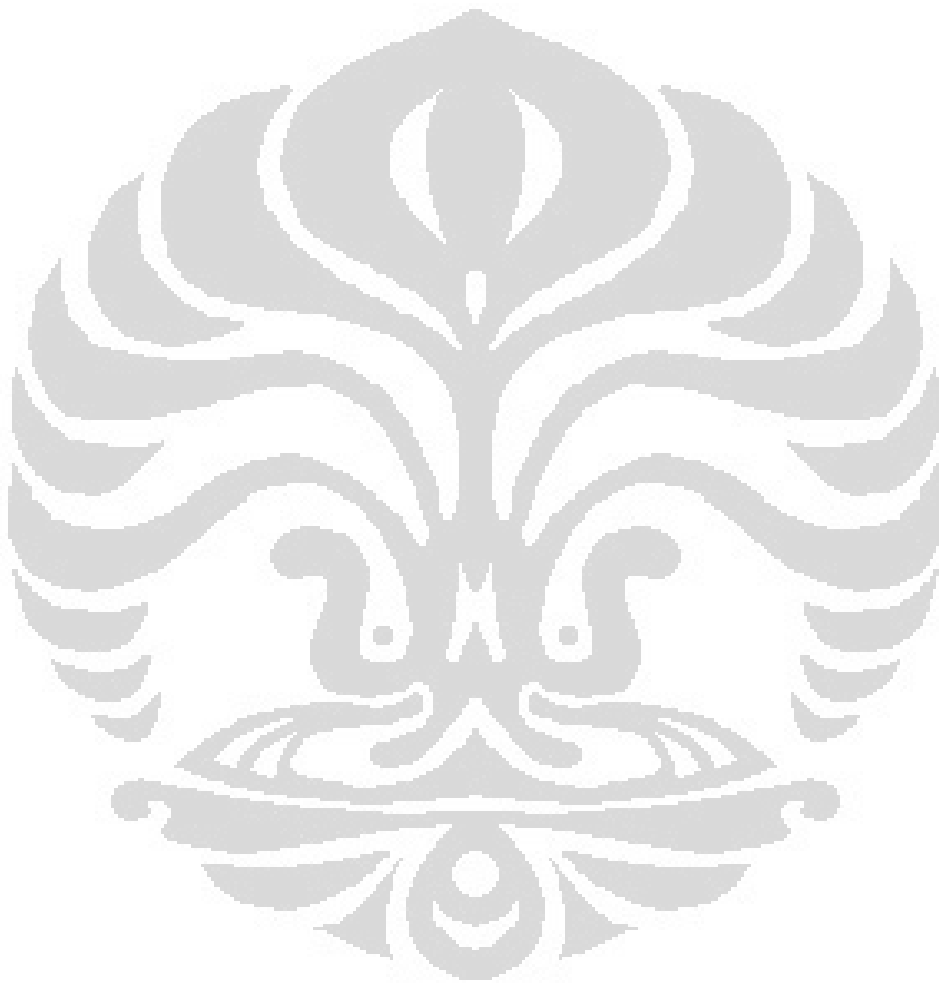
## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

- Perbedaan mekanisme sendi plastis pada model *K-Split EBF* dengan panjang *link* 0,6 meter dan 1,2 meter adalah terletak pada lokasi dan jenis sendi plastis yang muncul. Pada model dengan panjang *link* 0,6 meter, sendi plastis muncul terkontrol di tengah *link*. Sedangkan pada model dengan panjang *link* 1,2 meter, beberapa sendi plastis muncul pada elemen balok bukan *link* dan balok *Open Frame* sehingga diperlukan perhatian khusus pada elemen selain *link beam* untuk model dengan panjang *link* 1,2 meter.
- Variasi panjang *link beam* memengaruhi jenis keruntuhan dan perilaku pada *link beam* serta memengaruhi kinerja bangunan. *Link beam* sepanjang 0,6 meter berperilaku sebagai *link geser*, sedangkan *link beam* sepanjang 1,2 meter berperilaku dominan sebagai *link geser* dan sebagian sebagai *link menengah*. Kinerja rata-rata bangunan model *K-Split EBF* dengan panjang *link* 1,2 meter adalah IO (*Immediate Occupancy*), sedangkan model dengan panjang *link* 0,6 meter adalah dominan LS (*Life Safety*).
- Persentase terbesar kekuatan model *K-Split EBF* dengan panjang *link* 1,2 meter mencapai 24,32% relatif lebih besar terhadap model dengan panjang *link* 0,6 meter. Sedangkan persentase terbesar kekakuan model *K-Split EBF* dengan panjang *link* 1,2 meter mencapai 34,2% relatif lebih kecil terhadap model dengan panjang *link* 0,6 meter. Dan persentase terbesar daktilitas model *K-Split EBF* dengan panjang *link* 1,2 meter mencapai 44,71% relatif lebih besar terhadap model dengan panjang *link* 0,6 meter.

## 5.2 Saran

- Perlu dilakukan penelitian lanjutan pada model struktur *K-Split EBF* dengan menggunakan jenis *link beam* lentur.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan analisis nonlinier dinamik *Time History* untuk membuktikan kebenaran analisis nonlinier statik *Pushover*.



## DAFTAR PUSTAKA

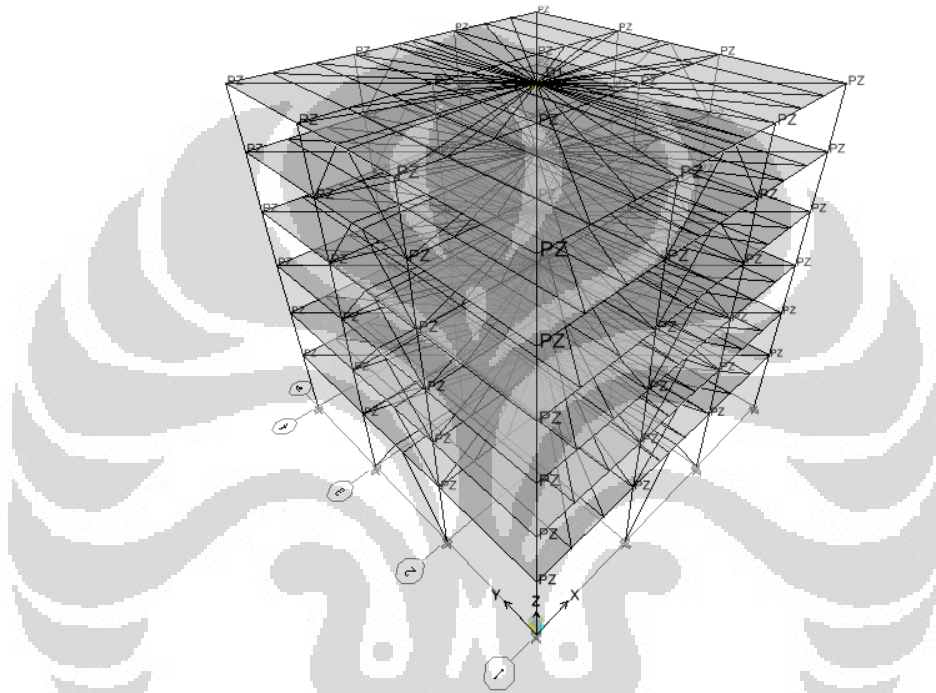
- American Institute of Steel Construction, Inc. (2005). *ANSI/AISC 341-05 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Include Supplement No.1
- American Institute of Steel Construction. (2009). *Earthquake and Seismic Design, Facts For Steel Building*.
- Becker, Roy, dkk. (1996). *Seismic Design Practice For Eccentrically Braced Frames*. Based On The 1994 UBC.
- Bruneau M.; Uang C.M., and Whittaker, A. (1998). *Ductile Design of Steel Structures, McGraw-Hill International Editions*.
- Dewobroto, Wiryanto. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. <http://jurnalsipiluph.files.wordpress.com/2006/12/vol312.pdf>.
- Dewobroto, Wiryanto. (2005). *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisis Pushover*. Jurusan Teknik Sipil, UPH.
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings FEMA 356*.
- Khalifa, Tezar, dkk. (2007). *Kajian Kinerja Portal Berpengaku Eksentrik*. Tugas Akhir. ITB : Bandung.
- Mastrandrea, Luigi, dkk. (2008). *Plastic Design of Eccentrically Braced Frames, II : Failure Mode Control*. Journal of Constructional Steel Research.
- Rancangan Standar Nasional Indonesia. (2010). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung RSNI 03-1726-201x*, Badan Standarisasi Nasional : Bandung.
- Ryan, Bona. (2009). *Evaluasi Kinerja Eccentrically Braced Frames Sebagai Sistem Penahan Gaya Lateral Dengan Analisis Pushover*. Laporan Penelitian, Universitas Indonesia : Jakarta.
- Siyani, Prakash, dkk. (2009). *Learning of ETABS Software*. ETERDCS-Nirma Uni.
- Standar Nasional Indonesia. (2001). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 03-1726-2002*, Badan Standarisasi Nasional : Jakarta.

**LAMPIRAN 1****Langkah-langkah Permodelan Struktur *K-Split EBF* pada Program ETABS****9.6.0. (Singkat)**

1. Buka program ETABS 9.6.0, pilih Menu File, New Model. Masukkan data geometri model (ketinggian, lebar bentang, dan jumlah lantai).
2. Pilih Menu Define, Material Properties, gunakan material baja (STEEL).
3. Desain ukuran awal profil baja yang digunakan. Pilih Menu Define, Frame Sections, gunakan profil I (Wide Flange), dan masukkan beberapa profil I tersebut pada pilihan Add Auto Select List untuk beberapa elemen struktur yang meliputi :
  - a. Kolom
  - b. Bressing
  - c. Balok dan balok anak
  - d. *Link beam*
4. Menginstall elemen struktur (kolom, bressing, balok, *link beam*, balok anak, pelat) dengan Menu Draw. Kemudian pilih Draw Line Objects untuk memasang elemen balok, kolom, dan bressing. Sedangkan pelat dipasang dengan memilih Draw Area Objects. Khusus untuk balok anak dan bressing, setelah elemen tersebut di pasang, lakukan release moment pada ujung-ujungnya, karena tidak dikehendaki untuk menahan momen.
5. Define Static Load Cases (DEAD, LIVE, SDL).
6. Assign beban hidup (LIVE) dan beban SDL pada pelat, dan beban SDL pada balok.
7. Define Respon Spectrum Function, masukkan respon spektrum berdasarkan RSNI 03-1726-201x wilayah Jakarta dengan kondisi tanah lunak ( $S_s = 0,7$  ;  $S_1 = 0,3$  ; Site Class = E).
8. Define Respon Spectrum Cases, berupa gempa arah sumbu X (EQX) dan gempa arah sumbu Y (EQY). Masukkan Damping sebesar 5%, gunakan analisis Modal Combination CQC, dan Directional Combination SRSS. Masukkan respon spectrum function yang telah di define sebelumnya pada Direction U1 (untuk EQX) dan U2 (untuk EQY).
9. Membuat pelat menjadi rigid diafragma.

(Sambungan)

10. Menetapkan rigid zone factor (rigid zone factor baja = 1)
11. Define Load Combination (6 kombo berdasarkan RSNI 03-1726-201x)
12. Define Mass Source (DEAD = 1; LIVE = 0,3 ; SDL = 1)
13. Set Panel Zone pada hubungan balok – kolom. Yaitu dengan meng-klik joint/ hubungan balok – kolom, kemudian pilih Menu Assign, Joint/Point, Panel Zone, pilih Elastic Properties from Column.



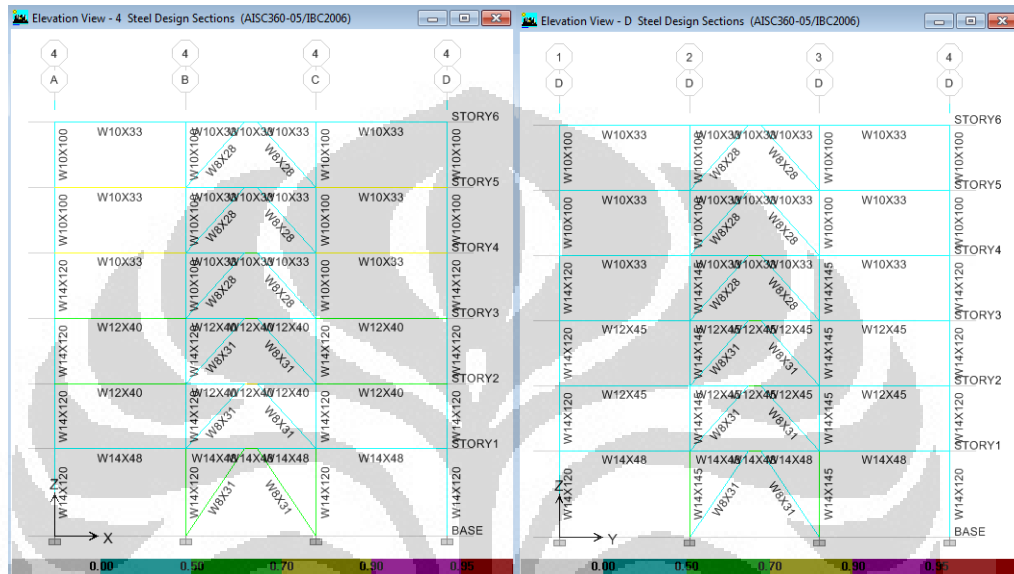
Gambar Model 6 Lantai tampak 3D setelah semua komponen terpasang, dan lantai rigid diafragma, serta panel zone terpasang.

14. Pilih Menu Analyze, pilih Set Analysis Options, Check list Include P-Delta, Set P-Delta Parameters, pilih Iterative – Based on Load Combination, masukkan P-Delta Combinations (sama seperti mass source).
15. Pilih Menu Options, Preferences, Steel Frame Design, Ubah Design Code menjadi AISC360-05/ IBC2006, dan sesuaikan parameter gempa respon spektrum dengan RSNI 03-1726-201x.
16. Run Analysis.
17. Setelah di analisis, kemudian lakukan Stress Check pada komponen struktur. Dengan memilih Menu Design, Steel Frame Design, Start Design/ Check of Structure. Ganti dan masukkan beberapa profil I baru



(Sambungan)

yang lebih besar pada Add Auto Select List jika ada komponen yang masih belum lolos Stress Check. Pastikan desain model yang dibuat telah memenuhi syarat RSNI 03-1726-201x diantaranya : pengecekan gaya geser dasar dinamik terhadap gaya geser dasar statik, persyaratan sistem ganda (Frame dan Bressing).

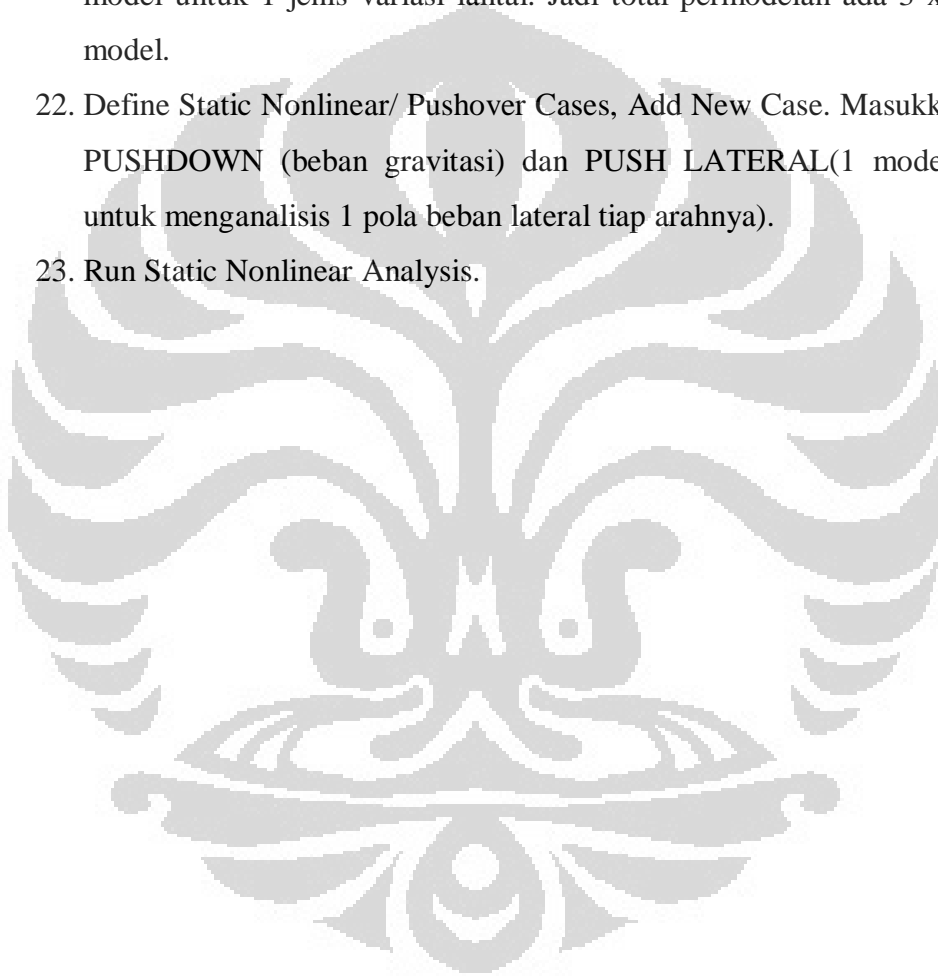


Gambar Hasil Stress Check Model *K-Split EBF* 6 lantai *link* 0,6 meter portal arah X (kiri) dan portal arah Y (kanan)

18. Lakukan langkah di atas sampai semua profil baja yang digunakan lolos stress check. Gunakan profil yang telah lolos Stress Check tersebut menjadi profil yang akan dipakai untuk analisis selanjutnya.
19. Lakukan persiapan untuk analisis selanjutnya, yaitu Analisis Pushover.
20. Persiapkan sendi plastis pada tiap komponen struktur, dengan meng-klik elemen yang akan dipasang sendi plastis, kemudian pilih Menu Assign, Assign Frame Nonlinear Hinges pada balok, link beam, kolom, dan bracing. Untuk Balok, sediakan sendi plastis pada ujung-ujung balok (sejarak 0,5h balok dari muka kolom) berupa M3 dan V2. Khusus link beam, sediakan M3 pada ujung-ujung untuk mengantisipasi kegagalan lentur dan sediakan V2 pada tengah bentang untuk mengantisipasi kegagalan akibat geser. Pada kolom sediakan sendi plastis PMM pada ujung-ujungnya. Pada bracing, sediakan sendi plastis P pada ujung dan di tengah untuk mengantisipasi tekuk inelastis.

(Sambungan)

21. Buat pola distribusi beban lateral (minimal 2 pola, berdasarkan FEMA 356). Pilih Menu Define, Define Static Load Cases, pilih quake user loads (masukkan pola distribusi beban lateral). 1 Model hanya diperbolehkan untuk menganalisis 1 jenis pola beban lateral tiap arahnya. Misalkan : Model 1 = pola beban 1 arah X. Sehingga total berjumlah 4 model untuk 1 jenis variasi lantai dan 1 jenis variasi panjang link beam. Total 8 buah model untuk 1 jenis variasi lantai. Jadi total permodelan ada  $3 \times 8 = 24$  model.
22. Define Static Nonlinear/ Pushover Cases, Add New Case. Masukkan Case PUSHDOWN (beban gravitasi) dan PUSH LATERAL(1 model hanya untuk menganalisis 1 pola beban lateral tiap arahnya).
23. Run Static Nonlinear Analysis.



## LAMPIRAN 2

**Tabel Karakteristik Dinamik Respon Spektrum (RSNI 03-1726-201x) Model Struktur K-Split EBF 6 Lantai**

Tabel *Modal Mass Participating Ratios* Model K-Split EBF 6 Lantai dengan Panjang *Link* 0,6 meter

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
<b>1</b>	<b>0.831</b>	<b>83.94</b>	0	0	83.94	0	0
<b>2</b>	<b>0.808</b>	0	<b>82.63</b>	0	83.94	82.63	0
<b>3</b>	<b>0.556</b>	0	0	<b>84</b>	83.94	82.63	84.00
4	0.296	12.416	0	0	96.35	82.63	84.00
5	0.278	0	12.715	0	96.35	95.35	84.00
6	0.198	0	0	12.428	96.35	95.35	96.43
7	0.164	2.3394	0	0	98.69	95.35	96.43
8	0.153	0	2.7161	0	98.69	98.07	96.43
9	0.119	0.8272	0	0	99.52	98.07	96.43
10	0.110	0	0	2.2507	99.52	98.07	98.68
11	0.105	0	1.208	0	99.52	99.27	98.68
12	0.095	0.3047	0	0	99.82	99.27	98.68

Tabel *Modal Mass Participating Ratios* Model K-Split EBF 6 Lantai dengan Panjang *Link* 1,2 m

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
<b>1</b>	<b>1.028</b>	<b>83.95</b>	0	0	83.95	0	0
<b>2</b>	<b>1.003</b>	0	<b>81.79</b>	0	83.95	81.79	0
<b>3</b>	<b>0.708</b>	0	0	<b>83.52</b>	83.95	81.79	83.52
4	0.371	11.612	0	0	95.57	81.79	83.52
5	0.345	0	12.437	0	95.57	94.22	83.52
6	0.256	0	0	12.005	95.57	94.22	95.52
7	0.210	2.6615	0	0	98.23	94.22	95.52
8	0.190	0	3.2761	0	98.23	97.50	95.52
9	0.149	1.0588	0	0	99.29	97.50	95.52
10	0.145	0	0	2.5867	99.29	97.50	98.11
11	0.124	0	1.5492	0	99.29	99.05	98.11
12	0.116	0.4864	0	0	99.77	99.05	98.11

(Sambungan)

Tabel Pengecekan Gaya Geser Dasar Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
dengan Panjang *Link* 0,6 meter

Gaya Geser Dasar (Vb) yang ditinjau	Vb Dinamik (kN)	Vb Statik (kN)	% (Vb Dinamik/ Vb Statik)	% Izin	Keterangan
Arah X (Vbx)	902.69	1062.07	85%	85%	OK
Arah Y (Vby)	895.37	1062.07	85%	85%	OK

Tabel Pengecekan Gaya Geser Dasar Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
dengan Panjang *Link* 1,2 m

Gaya Geser Dasar (Vb) yang ditinjau	Vb Dinamik (kN)	Vb Statik (kN)	% (Vb Dinamik/ Vb Statik)	% Izin	Keterangan
Arah X (Vbx)	894.51	1052.33	85%	85%	OK
Arah Y (Vby)	894.51	1052.33	85%	85%	OK

Tabel Pola Gempa 1 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model  
*K-Split EBF* 6 Lantai dengan Panjang *Link* 0,6 meter (Pola Segitiga)

Lantai i	hi (m)	Wi (ton)	Wi hi <sup>k</sup>	Wi hi <sup>k</sup> / ∑ Wi hi <sup>k</sup> = (Cv)	Vb (KN)	Gaya Lateral Fi (KN) = (Cv) . Vb
6	19	168.683	5214.07	0.2182	1062.07	231.70
5	16	249.277	6306.95	0.2639		280.26
4	13	250.154	4968.95	0.2079		220.81
3	10	252.245	3690.65	0.1544		164.00
2	7	252.496	2437.98	0.1020		108.34
1	4	254.798	1281.64	0.0536		56.95
		∑ =	<b>23900.23</b>			

Tabel Pola Gempa 2 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model  
*K-Split EBF* 6 Lantai dengan Panjang *Link* 0,6 m (Pola Merata)

Lantai i	Wi (ton)	μ (rasio Wi / W total)	Vb (KN)	Gaya Lateral Fi (KN) = μ . Vb
6	168.683	0.1182	1062.07	125.487
5	249.277	0.1746		185.443
4	250.154	0.1752		186.096
3	252.245	0.1767		187.651
2	252.496	0.1769		187.838
1	254.798	0.1785		189.551
	∑ =	<b>1427.7</b>		

(Sambungan)

Tabel Pola Gempa 1 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model  
*K-Split EBF* 6 Lantai dengan Panjang *Link* 1,2 meter (Pola Segitiga)

Lantai i	Gaya Geser Tingkat Respon Spektrum (Vi)		Gaya Lateral (Fi)	
	Vi X (kN)	Vi Y (kN)	Fi X (kN)	Fi Y (kN)
6	183.14	191.44	183.14	191.44
5	410.52	420.68	227.38	229.24
4	590.16	602.16	179.64	181.48
3	729.21	740.22	139.05	138.06
2	832.74	839.39	103.53	99.17
1	894.51	894.51	61.77	55.12

Tabel Pola Gempa 2 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model  
*K-Split EBF* 6 Lantai dengan Panjang *Link* 1,2 m (Pola Merata)

Lantai i	Wi (ton)	$\mu$ (rasio Wi / W total)	Vb (kN)	Gaya Lateral Fi (kN) = $\mu \cdot Vb$	Fi Y(KN)
6	168.65	0.1182	894.51	105.701	105.7005934
5	249.186	0.1746		156.176	156.1758416
4	250.063	0.1752		156.726	156.7256846
3	252.177	0.1767		158.050	158.0503718
2	252.424	0.1769		158.205	158.2053031
1	254.733	0.1785		159.652	159.6522056
$\Sigma =$	<b>1427.23</b>				

(Sambungan)

**Tabel Karakteristik Dinamik Respon Spektrum (RSNI 03-1726-201x) Model Struktur K-Split EBF 12 Lantai**

Tabel Modal Mass Partisipating Ratios Model K-Split EBF 12 Lantai  
dengan Panjang Link 0,6 meter

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	1.770	0	75.0901	0	0	75.090	0
2	1.745	75.7334	0	0	75.733	75.090	0
3	1.201	0	0	75.7302	75.733	75.090	75.730
4	0.600	16.7878	0	0	92.521	75.090	75.730
5	0.595	0	16.299	0	92.521	91.389	75.730
6	0.414	0	0	16.9437	92.521	91.389	92.674
7	0.326	3.9747	0	0	96.496	91.389	92.674
8	0.314	0	4.1442	0	96.496	95.533	92.674
9	0.224	1.6851	0	0	98.181	95.533	92.674
10	0.222	0	0	3.9679	98.181	95.533	96.642
11	0.219	0	1.731	0	98.181	97.264	96.642
12	0.172	0.7465	0	0	98.927	97.264	96.642

Tabel Modal Mass Partisipating Ratios Model K-Split EBF 12 Lantai  
dengan Panjang Link 1,2 m

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	2.087	0	76.5088	0	0	76.509	0
2	2.034	77.462	0	0	77.462	76.509	0
3	1.440	0	0	77.4604	77.462	76.509	77.460
4	0.727	0	14.1443	0	77.462	90.653	77.460
5	0.724	14.632	0	0	92.095	90.653	77.460
6	0.517	0	0	14.6991	92.095	90.653	92.160
7	0.414	3.7885	0	0	95.883	90.653	92.160
8	0.395	0	4.1106	0	95.883	94.764	92.160
9	0.290	0	0	3.8493	95.883	94.764	96.009
10	0.284	1.8257	0	0	97.709	94.764	96.009
11	0.273	0	1.9105	0	97.709	96.674	96.009
12	0.219	0.923	0	0	98.632	96.674	96.009

(Sambungan)

Tabel Pengecekan Gaya Geser Dasar Model *K-Split EBF* 12 Lantai  
dengan Panjang *Link* 0,6 meter

Gaya Geser Dasar (Vb) yang Ditinjau	Vb Dinamik (kN)	Vb Statik (kN)	% (Vb Dinamik / Vb Statik)	% izin	Keterangan
Vb X	1123.26	1321.44	85%	85%	OK
Vb Y	1123.25	1321.44	85%	85%	OK

Tabel Pengecekan Gaya Geser Dasar Model *K-Split EBF* 12 Lantai  
dengan Panjang *Link* 1,2 m

Gaya Geser Dasar (Vb) yang Ditinjau	Vb Dinamik (kN)	Vb Statik (kN)	% (Vb Dinamik / Vb Statik)	% izin	Keterangan
Vb X	1122.98	1321.104	85.0032%	85%	OK
Vb Y	1123.05	1321.104	85.0085%	85%	OK

Tabel Pola Gempa 1 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model  
*K-Split EBF* 12 Lantai dengan Panjang *Link* 0,6 meter (Pola Segitiga)

Lantai i	Gaya Geser Tingkat Respon Spektrum (Vi)		Gaya Lateral (Fi)	
	Vi X (kN)	Vi Y (kN)	Fi X (kN)	Fi Y (kN)
12	153.45	155.24	153.45	155.24
11	341.18	344.23	187.73	188.99
10	486.43	490.44	145.25	146.21
9	598.25	604.28	111.82	113.84
8	689.88	695.17	91.63	90.89
7	768.26	771.61	78.38	76.44
6	839.15	843.47	70.89	71.86
5	907.09	913.46	67.94	69.99
4	973.82	980.31	66.73	66.85
3	1035.71	1042.31	61.89	62
2	1088.3	1093.4	52.59	51.09
1	1123.26	1123.25	34.96	29.85

(Sambungan)

Tabel Pola Gempa 2 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model

*K-Split EBF* 12 Lantai dengan Panjang *Link* 0,6 m (Pola Merata)

Lantai i	Wi (ton)	$\mu$ (rasio Wi / W total)	Vb (kN)	Gaya Lateral Fi (kN) = $\mu \cdot Vb$
12	168.331	0.0570	1123.26	63.998
11	248.852	0.0842		94.611
10	248.852	0.0842		94.611
9	250.291	0.0847		95.158
8	251.528	0.0851		95.629
7	251.941	0.0853		95.786
6	252.253	0.0854		95.904
5	253.523	0.0858		96.387
4	254.488	0.0861		96.754
3	256.100	0.0867		97.367
2	257.643	0.0872		97.954
1	260.663	0.0882		99.102
$\Sigma =$	<b>2954.5</b>			

Tabel Pola Gempa 1 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model

*K-Split EBF* 12 Lantai dengan Panjang *Link* 1,2 meter (Pola Segitiga)

Lantai i	Gaya Geser Tingkat Respon Spektrum (Vi)		Gaya Lateral (Fi)	
	Vi X (kN)	Vi Y (kN)	Fi X (kN)	Fi Y (kN)
12	155.92	160.66	155.92	160.66
11	345.82	352.6	189.9	191.94
10	491.13	497.94	145.31	145.34
9	600.53	608.82	109.4	110.88
8	688.86	694.98	88.33	86.16
7	763.81	766.74	74.95	71.76
6	831.68	836.26	67.87	69.52
5	898.39	906.07	66.71	69.81
4	966.5	974.35	68.11	68.28
3	1031.1	1039.23	64.6	64.88
2	1086.58	1092.81	55.48	53.58
1	1122.98	1123.05	36.4	30.24



(Sambungan)

Tabel Pola Gempa 2 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model

*K-Split EBF* 12 Lantai dengan Panjang *Link* 1,2 m (Pola Merata)

Lantai i	W <sub>i</sub> (ton)	$\mu$ (rasio W <sub>i</sub> / W total)	V <sub>b</sub> (kN)	Gaya Lateral F <sub>i</sub> (kN) = $\mu \cdot V_b$
12	168.302	0.057	1122.98	63.987
11	248.794	0.084		94.590
10	248.794	0.084		94.590
9	250.230	0.085		95.136
8	251.463	0.085		95.605
7	251.872	0.085		95.760
6	252.181	0.085		95.878
5	253.451	0.086		96.361
4	254.417	0.086		96.728
3	256.029	0.087		97.341
2	257.572	0.087		97.927
1	260.598	0.088		99.078
$\Sigma =$	<b>2953.7</b>			

(Sambungan)

**Tabel Karakteristik Dinamik Respon Spektrum (RSNI 03-1726-201x) Model Struktur K-Split EBF 18 Lantai**

Tabel Modal Mass Partisipating Ratios Model K-Split EBF 18 Lantai  
dengan Panjang Link 0,6 meter

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	2.575	71.963	0	0	71.963	0	0
2	2.572	0	71.135	0	71.963	71.135	0
3	1.763	0	0	71.762	71.963	71.135	71.762
4	0.860	17.716	0	0	89.679	71.135	71.762
5	0.854	0	17.748	0	89.679	88.883	71.762
6	0.591	0	0	18.047	89.679	88.883	89.809
7	0.467	5.315	0	0	94.994	88.883	89.809
8	0.455	0	4.995	0	94.994	93.879	89.809
9	0.319	0	0	5.165	94.994	93.879	94.973
10	0.313	2.025	0	0	97.019	93.879	94.973
11	0.304	0	2.310	0	97.019	96.189	94.973
12	0.236	1.103	0	0	98.122	96.189	94.973

Tabel Modal Mass Partisipating Ratios Model K-Split EBF 18 Lantai  
dengan Panjang Link 1,2 meter

Mode	Period (s)	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
1	2.817	0	73.518	0	0	73.518	0
2	2.816	74.544	0	0	74.544	73.518	0
3	1.959	0	0	74.566	74.544	73.518	74.566
4	0.981	15.556	0	0	90.100	73.518	74.566
5	0.978	0	15.482	0	90.100	89.000	74.566
6	0.689	0	0	15.633	90.100	89.000	90.199
7	0.556	4.706	0	0	94.806	89.000	90.199
8	0.545	0	4.412	0	94.806	93.412	90.199
9	0.389	0	0	4.5	94.806	93.412	94.700
10	0.380	1.893	0	0	96.698	93.412	94.700
11	0.368	0	2.263	0	96.698	95.675	94.700
12	0.289	1.114	0	0	97.813	95.675	94.700

(Sambungan)

Tabel Pengecekan Gaya Geser Dasar Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
dengan Panjang *Link* 0,6 meter

Gaya Geser Dasar (Vb) yang Ditinjau	Vb Dinamik (kN)	Vb Statik (kN)	% (Vb Dinamik / Vb Statik)	% izin	Keterangan
Vb X	1271.7	1496.116	85.00%	85%	OK
Vb Y	1271.7	1496.116	85.00%	85%	OK

Tabel Pengecekan Gaya Geser Dasar Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
dengan Panjang *Link* 1,2 meter

Gaya Geser Dasar (Vb) yang Ditinjau	Vb Dinamik (kN)	Vb Statik (kN)	% (Vb Dinamik / Vb Statik)	% izin	Keterangan
Vb X	1271.4	1495.602	85.01%	85%	OK
Vb Y	1271.4	1495.602	85.01%	85%	OK

Tabel Pola Gempa 1 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model  
*K-Split EBF* 18 Lantai dengan Panjang *Link* 0,6 meter (Pola Segitiga)

Lantai i	Gaya Geser Tingkat Respon Spektrum (Vi)		Gaya Lateral (Fi)	
	Vi X (kN)	Vi Y (kN)	Fi X (kN)	Fi Y (kN)
18	144.86	145.9	144.86	145.9
17	323.96	326.53	179.1	180.63
16	461.91	465.58	137.95	139.05
15	563.07	565.81	101.16	100.23
14	636.25	637.53	73.18	71.72
13	690.34	691.87	54.09	54.34
12	732.08	734.83	41.74	42.96
11	768.95	771.76	36.87	36.93
10	807.26	808.86	38.31	37.1
9	849.77	851.21	42.51	42.35
8	898.33	901.31	48.56	50.1
7	953.28	958.57	54.95	57.26
6	1013.26	1020.65	59.98	62.08
5	1075.84	1084.9	62.58	64.25
4	1137.84	1148.08	62	63.18
3	1195.07	1204.75	57.23	56.67
2	1242.23	1248.11	47.16	43.36
1	1271.7	1271.7	29.47	23.59

(Sambungan)

Tabel Pola Gempa 2 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model

*K-Split EBF* 18 Lantai dengan Panjang *Link* 0,6 m (Pola Merata)

Lantai i	Wi (ton)	$\mu$ (rasio Wi / W total)	Vb (kN)	Gaya Lateral Fi (kN) = $\mu \cdot Vb$
18	168.379	0.037	1271.7	47.551
17	248.761	0.055		70.251
16	248.761	0.055		70.251
15	248.761	0.055		70.251
14	250.105	0.056		70.630
13	250.597	0.056		70.769
12	250.809	0.056		70.829
11	251.469	0.056		71.015
10	251.999	0.056		71.165
9	252.672	0.056		71.355
8	254.799	0.057		71.956
7	255.985	0.057		72.291
6	257.613	0.057		72.751
5	259.326	0.058		73.235
4	261.079	0.058		73.729
3	261.838	0.058		73.944
2	263.170	0.058		74.320
1	267.018	0.059		75.407
$\Sigma =$	<b>4503.14</b>			

Tabel Pola Gempa 1 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model

*K-Split EBF* 18 Lantai dengan Panjang *Link* 1,2 meter (Pola Segitiga)

Lantai i	Gaya Geser Tingkat Respon Spektrum (Vi)		Gaya Lateral (Fi)	
	Vi X (kN)	Vi Y (kN)	Fi X (kN)	Fi Y (kN)
18	141.35	144.39	141.35	144.39
17	320.47	326.33	179.12	181.94
16	460.82	468.02	140.35	141.69
15	565.53	570.98	104.71	102.96
14	642.88	646.13	77.35	75.15
13	701.83	705.09	58.95	58.96
12	748	752.32	46.17	47.23
11	788.02	791.98	40.02	39.66
10	827.67	830.05	39.65	38.07
9	869.28	871.58	41.61	41.53
8	915.22	919.19	45.94	47.61

(Sambungan)

Tabel Pola Gempa 1 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model  
*K-Split EBF* 18 Lantai dengan Panjang *Link* 1,2 meter (Pola Segitiga) (Lanjutan)

Lantai i	Gaya Geser Tingkat Respon Spektrum (Vi)		Gaya Lateral (Fi)	
	Vi X (kN)	Vi Y (kN)	Fi X (kN)	Fi Y (kN)
7	966.5	972.91	51.28	53.72
6	1022.4	1031.29	55.9	58.38
5	1081.41	1092.45	59.01	61.16
4	1140.99	1153.4	59.58	60.95
3	1196.92	1208.25	55.93	54.85
2	1243.16	1249.64	46.24	41.39
1	1271.4	1271.36	28.24	21.72

Tabel Pola Gempa 2 (Arah X dan Y) Distribusi Gaya Lateral pada Model  
*K-Split EBF* 18 Lantai dengan Panjang *Link* 1,2 m (Pola Merata)

Lantai i	Wi (ton)	$\mu$ (rasio Wi / W total)	Vb (kN)	Gaya Lateral Fi (kN) = $\mu \cdot Vb$
18	168.347	0.037	1271.4	47.545
17	248.697	0.055		70.238
16	248.697	0.055		70.238
15	248.697	0.055		70.238
14	250.037	0.056		70.616
13	250.525	0.056		70.754
12	250.737	0.056		70.814
11	251.397	0.056		71.001
10	251.928	0.056		71.151
9	252.600	0.056		71.341
8	254.725	0.057		71.941
7	255.908	0.057		72.275
6	257.534	0.057		72.734
5	259.246	0.058		73.217
4	260.998	0.058		73.712
3	261.757	0.058		73.927
2	263.089	0.058		74.303
1	266.676	0.059		75.316
$\Sigma =$	<b>4501.6</b>			

## LAMPIRAN 3

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 6 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 1 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.029	1512.46	35.87	1079	1	0	0	0	0	0	0	0	1080
2	0.0347	1749.77	41.50	1075	4	1	0	0	0	0	0	0	1080
3	0.1435	3435.99	81.50	1070	0	10	0	0	0	0	0	0	1080
<b>*4</b>	<b>0.1889</b>	<b>3993.47</b>	<b>94.72</b>	<b>1024</b>	<b>46</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1080</b>
5	0.2234	4215.97	100.00	1001	69	5	3	1	1	0	0	0	1080
6	0.2234	3430.33	81.37	1001	69	5	3	0	0	0	2	0	1080
7	0.2293	3554.46	84.31	1001	69	5	2	1	0	0	0	2	1080
<b>*8</b>	<b>0.2415</b>	<b>3673.16</b>	<b>87.13</b>	1001	69	4	2	1	1	0	2	0	1080
9	0.2415	2911.31	69.05	1001	69	4	2	0	0	0	4	0	1080
10	0.2505	3032.24	71.92	1001	69	4	2	0	0	0	4	0	1080
. . . . sebagian sengaja dihapus . . . .													
21	0.5377	1343.41	31.86	965	11	72	17	1	2	0	12	0	1080
	<b>V max =</b>	<b>4215.97</b>											

\*Keterangan 1 : Baris ke-4 berwarna biru telur asin pada tabel di atas, menunjukkan bahwa pada langkah ke-4 berdasarkan target perpindahan, sesuai dengan judul tabel yaitu model 6 lantai dengan *link beam* sepanjang 0,6 meter, dengan beban gempa pola 1 arah sumbu X, struktur bangunan telah mencapai kinerja bangunan, yaitu masuk ke dalam kategori kinerja **Life Safety**, dengan besar gaya geser dasar  $V = 3993,47$  kN dan perpindahan titik kontrol pada puncak atap lantai 6 sebesar  $\Delta = 0,1889$  meter.

\*Keterangan 2 : Baris ke-8 berwarna merah pada teks menandakan pada langkah ke-8, struktur telah mencapai batas kapasitas ultimit, dengan  $V = 3673,16$  kN dan  $\Delta = 0,2415$  m. Batas ultimit diperoleh saat  $V = V_{maks}$  atau  $V \geq 85\%V_{maks}$ .

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 6 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 1 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0497	1779.38	38.36	1079	1	0	0	0	0	0	0	1080
2	0.0626	2152.28	46.40	1074	5	1	0	0	0	0	0	1080
3	0.1492	3425.70	73.86	1066	4	10	0	0	0	0	0	1080
<b>4</b>	<b>0.1878</b>	<b>3839.24</b>	<b>82.776</b>	<b>1026</b>	<b>44</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1080</b>
5	0.2422	4108.66	88.58	986	84	10	0	0	0	0	0	1080
6	0.3222	4328.37	93.32	970	68	42	0	0	0	0	0	1080
7	0.4099	4525.45	97.57	959	29	87	5	0	0	0	0	1080
8	0.463	4638.10	100.00	953	31	90	4	1	1	0	0	1080
9	0.463	4494.70	96.91	953	31	90	3	2	0	1	0	1080
10	0.4655	4514.47	97.33	953	31	90	3	2	0	1	0	1080
11	0.4664	4518.27	97.42	953	31	90	3	2	0	0	1	1080
12	0.4664	4152.40	89.53	953	31	90	3	1	0	1	1	1080
13	0.471	4213.56	90.85	953	31	90	3	1	0	1	1	1080
14	0.4734	4232.40	91.25	953	31	90	3	1	0	0	2	1080
15	0.4734	3977.07	85.75	953	31	90	3	1	0	0	2	1080
16	0.4804	4069.80	87.75	953	31	90	3	1	0	0	2	1080
17	0.4923	4152.29	89.53	953	28	93	2	2	0	0	2	1080
18	0.4942	4160.80	89.71	953	27	94	2	1	1	0	2	1080
19	0.4942	4022.25	86.72	953	27	94	2	1	0	1	2	1080
<b>20</b>	<b>0.4964</b>	<b>4046.14</b>	<b>87.24</b>	953	27	94	2	1	0	0	3	1080
	<b>V max =</b>	<b>4638.10</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 6 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 2 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0248	1669.11	34.94	1079	1	0	0	0	0	0	0	1080
2	0.028	1840.06	38.52	1076	4	0	0	0	0	0	0	1080
3	0.1049	3638.12	76.16	1070	2	8	0	0	0	0	0	1080
<b>4</b>	<b>0.158</b>	<b>4479.82</b>	<b>93.78</b>	<b>1034</b>	<b>36</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1080</b>
5	0.1981	4777.15	100.00	1014	56	6	1	2	1	0	0	1080
6	0.1981	4131.84	86.49	1014	56	6	1	1	0	1	1	1080
7	0.1985	4142.13	86.71	1014	56	6	1	1	0	0	2	1080
8	0.1985	3829.57	80.16	1014	56	6	1	1	0	0	2	1080
9	0.2084	4060.17	84.99	1014	56	5	2	1	0	0	2	1080
<b>10</b>	<b>0.22</b>	<b>4191.77</b>	<b>87.75</b>	1014	54	6	2	1	1	0	2	1080
11	0.22	3037.52	63.58	1014	30	30	2	0	0	0	4	1080
12	0.2866	3489.12	73.04	1010	24	40	2	0	0	0	4	1080
13	0.3535	3733.87	78.16	1006	16	36	16	1	1	0	4	1080
14	0.3535	2982.54	62.43	990	24	44	16	0	0	0	6	1080
15	0.3916	3298.54	69.05	986	28	44	16	0	0	0	6	1080
16	0.4186	3430.02	71.80	986	28	44	16	0	0	0	6	1080
17	0.4418	3477.69	72.80	986	28	43	13	0	4	0	6	1080
18	0.4418	1737.60	36.37	986	28	43	1	0	0	0	22	1080
19	0.4644	1935.89	40.52	986	28	39	5	0	0	0	22	1080
20	0.5312	2226.66	46.61	974	40	31	10	0	3	0	22	1080
	<b>V max =</b>	<b>4777.15</b>										



(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 6 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 2 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0443	1985.37	38.10	1079	1	0	0	0	0	0	0	1080
2	0.1233	3754.12	72.04	1068	4	8	0	0	0	0	0	1080
<b>3</b>	<b>0.1523</b>	<b>4197.10</b>	<b>80.537</b>	<b>1038</b>	<b>34</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1080</b>
4	0.1684	4340.65	83.29	1022	49	9	0	0	0	0	0	1080
5	0.2502	4720.96	90.59	1002	40	38	0	0	0	0	0	1080
6	0.333	5015.25	96.24	984	34	58	4	0	0	0	0	1080
<b>7</b>	<b>0.3935</b>	<b>5211.37</b>	<b>100.00</b>	978	30	68	1	2	1	0	0	1080
8	0.3936	4315.45	82.81	978	30	52	17	1	0	1	1	1080
9	0.3951	4335.34	83.19	978	30	52	17	1	0	0	2	1080
10	0.3951	3935.27	75.51	978	30	52	17	1	0	0	2	1080
11	0.4029	4039.28	77.51	978	30	52	15	1	2	0	2	1080
12	0.4029	1948.41	37.39	977	31	52	1	1	0	0	18	1080
13	0.4387	2329.68	44.70	962	46	52	1	1	0	0	18	1080
14	0.465	2470.98	47.42	958	38	60	5	1	0	0	18	1080
15	0.5286	2645.57	50.77	954	34	68	2	2	2	0	18	1080
16	0.5286	2441.32	46.85	954	34	68	2	2	0	0	20	1080
17	0.5338	2465.20	47.30	954	34	66	2	2	2	0	20	1080
18	0.5338	2247.56	43.13	954	34	64	4	2	0	0	22	1080
19	0.548	2317.81	44.48	954	34	62	6	2	0	0	22	1080
20	0.5691	2372.37	45.52	954	34	52	12	2	4	0	22	1080
	<b>V max =</b>	<b>5211.37</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 6 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 1 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0303	1659.93	37.25	1079	1	0	0	0	0	0	0	1080
2	0.037	1934.75	43.42	1073	6	1	0	0	0	0	0	1080
3	0.1278	3319.38	74.49	1069	1	10	0	0	0	0	0	1080
<b>4</b>	<b>0.2081</b>	<b>4239.31</b>	<b>95.13</b>	<b>1016</b>	<b>52</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1080</b>
5	0.2381	4456.39	100.00	988	80	6	3	2	1	0	0	1080
6	0.2381	3851.04	86.42	988	80	6	2	2	0	0	2	1080
<b>7</b>	<b>0.2436</b>	<b>3926.59</b>	<b>88.11</b>	988	80	5	2	2	1	0	2	1080
8	0.2437	3700.33	83.03	988	80	5	2	2	0	1	2	1080
9	0.2442	3714.02	83.34	988	80	5	2	2	0	0	3	1080
10	0.2442	3441.08	77.22	988	80	5	2	2	0	0	3	1080
11	0.2472	3496.79	78.47	988	80	5	2	1	1	0	3	1080
12	0.2472	3319.20	74.48	988	80	5	2	1	0	1	3	1080
13	0.2491	3358.30	75.36	988	80	5	2	1	0	0	4	1080
14	0.2491	3120.08	70.01	988	80	5	2	1	0	0	4	1080
. . . sebagian sengaja dihapus . . . .												
30	0.5718	3271.48	73.41	952	40	76	1	1	1	0	9	1080
	<b>V max =</b>	<b>4456.39</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 6 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 1 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0528	1917.29	37.578	1079	1	0	0	0	0	0	0	1080
2	0.0673	2312.05	45.315	1073	5	2	0	0	0	0	0	1080
3	0.1545	3512.63	68.845	1066	4	10	0	0	0	0	0	1080
<b>4</b>	<b>0.1978</b>	<b>3969.35</b>	<b>77.797</b>	<b>1015</b>	<b>55</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1080</b>
5	0.3	4510.65	88.406	978	86	16	0	0	0	0	0	1080
6	0.3607	4774.88	93.585	956	92	31	1	0	0	0	0	1080
7	0.4467	4976.51	97.537	939	57	77	7	0	0	0	0	1080
8	0.5057	5102.20	100.00	932	24	114	7	1	2	0	0	1080
9	0.5057	4558.84	89.351	932	24	114	5	2	0	0	3	1080
10	0.5109	4608.08	90.316	932	24	114	5	2	0	0	3	1080
11	0.52	4661.86	91.37	930	26	114	4	2	1	0	3	1080
12	0.52	4454.00	87.296	930	25	115	4	2	0	0	4	1080
13	0.5257	4535.24	88.888	930	25	114	5	2	0	0	4	1080
14	0.5272	4549.66	89.17	930	25	114	4	2	1	0	4	1080
15	0.5272	4346.17	85.182	930	25	114	4	2	0	0	5	1080
<b>16</b>	<b>0.5297</b>	<b>4383.55</b>	<b>85.915</b>	930	25	114	4	1	1	0	5	1080
17	0.5297	4158.24	81.499	930	25	114	4	1	0	1	5	1080
18	0.5337	4230.32	82.912	930	25	114	4	1	0	1	5	1080
19	0.5395	4289.42	84.07	930	25	114	4	1	0	0	6	1080
. . . . sebagian sengaja dihapus . . . .												
<b>V max =</b>		<b>5102.20</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 6 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 2 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0266	1881.16	34.66	1079	1	0	0	0	0	0	0	0	1080
2	0.0379	2393.30	44.10	1074	2	4	0	0	0	0	0	0	1080
<b>3</b>	<b>0.1418</b>	<b>4485.27</b>	<b>82.64</b>	<b>1068</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1080</b>
4	0.2091	5427.50	100.00	1005	65	6	3	0	1	0	0	0	1080
5	0.2091	5064.79	93.32	1005	65	6	2	1	0	0	1	1	1080
6	0.2167	5174.12	95.33	1003	67	5	2	1	1	0	1	1	1080
7	0.2167	4904.72	90.37	1003	67	5	2	1	0	1	1	1	1080
8	0.2185	4962.61	91.43	1003	67	5	2	1	0	0	2	2	1080
9	0.2185	4636.88	85.43	1003	67	5	2	1	0	0	2	2	1080
10	0.2253	4824.48	88.89	1003	67	5	2	1	0	0	2	2	1080
<b>11</b>	<b>0.2278</b>	<b>4857.90</b>	<b>89.51</b>	1003	67	5	1	1	1	0	2	2	1080
12	0.2278	4433.42	81.68	1003	67	5	1	1	0	0	3	3	1080
13	0.2316	4499.47	82.90	1003	67	5	1	0	1	0	3	3	1080
14	0.2316	4221.52	77.78	1003	67	5	1	0	0	1	3	3	1080
. . . sebagian sengaja dihapus . . . .													
29	0.4851	3926.78	72.35	972	20	78	2	0	0	0	8	8	1080
	<b>V max =</b>	<b>5427.50</b>											

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 6 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 2 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0.000	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.047	2168.49	35.65	1079	1	0	0	0	0	0	0	1080
2	0.062	2726.27	44.82	1074	5	1	0	0	0	0	0	1080
3	0.140	4197.20	69.01	1066	5	9	0	0	0	0	0	1080
<b>4</b>	<b>0.218</b>	<b>5117.69</b>	<b>84.14</b>	<b>1004</b>	<b>66</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1080</b>
5	0.250	5348.21	87.93	984	86	10	0	0	0	0	0	1080
6	0.332	5630.98	92.58	964	80	35	1	0	0	0	0	1080
7	0.435	5944.39	97.73	954	28	93	5	0	0	0	0	1080
8	0.482	6082.34	100.00	951	29	94	3	2	1	0	0	1080
9	0.482	5923.12	97.38	951	29	94	3	2	0	1	0	1080
10	0.484	5936.50	97.60	951	29	94	3	2	0	1	0	1080
11	0.488	5948.36	97.80	951	29	94	3	2	0	0	1	1080
12	0.488	5764.11	94.77	951	29	94	3	2	0	0	1	1080
13	0.490	5778.86	95.01	951	29	94	3	2	0	0	1	1080
14	0.500	5818.13	95.66	950	28	96	3	0	2	0	1	1080
15	0.500	5435.40	89.36	950	28	96	3	0	0	2	1	1080
16	0.504	5491.31	90.28	950	28	96	2	1	0	2	1	1080
17	0.508	5533.50	90.98	950	26	96	4	1	0	1	2	1080
18	0.508	5308.03	87.27	950	26	95	5	1	0	1	2	1080
. . . . Sebagian sengaja dihapus . . . .												
<b>22</b>	<b>0.522</b>	<b>5201.62</b>	<b>85.52</b>	950	26	95	5	0	1	0	3	1080
	<b>V max =</b>	<b>6082.34</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 12 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 1 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0808	1799.63	36.81	2159	1	0	0	0	0	0	0	0	2160
2	0.1303	2552.31	52.20	2144	3	13	0	0	0	0	0	0	2160
3	0.2937	3940.41	80.59	2139	1	20	0	0	0	0	0	0	2160
<b>*4</b>	<b>0.386</b>	<b>4579.94</b>	<b>93.67</b>	<b>2048</b>	<b>91</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2160</b>
<b>*5</b>	<b>0.484</b>	<b>4889.20</b>	<b>100.00</b>	1980	158	9	10	2	1	0	0	0	2160
6	0.4841	3741.84	76.53	1980	146	20	9	1	0	0	4	0	2160
7	0.5367	4026.90	82.36	1980	134	32	7	2	1	0	0	4	2160
8	0.5367	3354.67	68.61	1980	114	52	6	2	0	0	0	6	2160
9	0.5842	3616.81	73.98	1980	114	52	4	3	1	0	0	6	2160
10	0.5842	3091.87	63.24	1980	94	72	4	2	0	0	0	8	2160
11	0.6269	3331.32	68.14	1980	94	72	3	3	0	0	0	8	2160
12	0.6364	3363.62	68.80	1980	94	72	2	3	1	0	0	8	2160
13	0.6364	2923.68	59.80	1980	76	90	2	2	0	0	0	10	2160
<b>V max =</b>		<b>4889.20</b>											

\*Keterangan 1 : Baris ke-4 berwarna biru telur asin pada tabel di atas, menunjukkan bahwa pada langkah ke-4 berdasarkan target perpindahan, sesuai dengan judul tabel yaitu model 12 lantai dengan *link beam* sepanjang 0,6 meter, dengan beban gempa pola 1 arah tinjau sumbu X, struktur bangunan telah mencapai kinerja bangunan, yaitu masuk ke dalam kategori kinerja *Life Safety*, dengan besar gaya geser dasar  $V = 4579,94$  kN dan perpindahan titik kontrol pada puncak atap lantai 12 sebesar  $\Delta = 0,386$  meter.

\*Keterangan 2 : Baris ke-5 berwarna merah pada teks menandakan pada langkah ke-5, struktur telah mencapai batas kapasitas ultimit, dengan  $V = 4889,2$  kN dan  $\Delta = 0,484$  m. Batas ultimit diperoleh saat  $V = V_{maks}$  atau  $V \geq 85\%V_{maks}$ .

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 12 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 1 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1256	2175.06	41.31	2159	1	0	0	0	0	0	0	2160
2	0.1827	2900.48	55.09	2144	7	9	0	0	0	0	0	2160
<b>3</b>	<b>0.3315</b>	<b>4047.1589</b>	<b>76.8676</b>	<b>2128</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2160</b>
4	0.3834	4329.08	82.22	2043	97	20	0	0	0	0	0	2160
5	0.5465	4677.77	88.84	1973	167	20	0	0	0	0	0	2160
6	0.7045	4912.34	93.30	1932	111	117	0	0	0	0	0	2160
7	0.8875	5115.90	97.17	1914	55	179	12	0	0	0	0	2160
<b>8</b>	<b>1.0266</b>	<b>5265.10</b>	<b>100.00</b>	1898	40	203	9	7	3	0	0	2160
9	1.0266	3579.03	67.98	1897	41	202	9	2	2	1	6	2160
10	1.0266	3381.66	64.23	1897	41	202	9	2	0	3	6	2160
11	1.0325	3426.05	65.07	1897	41	202	9	2	0	3	6	2160
12	1.0348	3437.47	65.29	1897	41	202	9	2	0	2	7	2160
13	1.0348	3271.27	62.13	1897	41	202	9	2	0	2	7	2160
14	1.0478	3363.01	63.87	1897	41	202	9	2	0	2	7	2160
15	1.0511	3376.28	64.13	1897	41	202	9	2	0	1	8	2160
16	1.0511	3249.46	61.72	1897	41	202	9	2	0	1	8	2160
17	1.0626	3325.56	63.16	1897	41	202	9	2	0	1	8	2160
18	1.1382	3563.90	67.69	1897	39	184	29	2	0	0	9	2160
	<b>V max =</b>	<b>5265.10</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 12 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 2 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0599	1824.96	34.05	2159	1	0	0	0	0	0	0	0	2160
2	0.1244	3102.09	57.88	2146	5	9	0	0	0	0	0	0	2160
<b>3</b>	<b>0.2732</b>	<b>4833.709</b>	<b>90.18633</b>	<b>2116</b>	<b>27</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2160</b>
4	0.3489	5359.69	100.00	2067	75	13	4	0	1	0	0	0	2160
5	0.3489	4586.49	85.57	2067	73	14	3	1	0	0	0	2	2160
<b>6</b>	<b>0.3637</b>	<b>4735.10</b>	<b>88.35</b>	2067	69	18	2	1	1	0	0	2	2160
7	0.3637	3948.32	73.67	2067	57	30	2	0	0	0	0	4	2160
8	0.3968	4259.44	79.47	2067	49	36	4	0	0	0	0	4	2160
9	0.438	4487.38	83.72	2061	29	62	1	2	1	0	0	4	2160
10	0.438	3592.83	67.03	2057	21	74	1	1	0	0	0	6	2160
11	0.4612	3748.40	69.94	2057	17	78	1	1	0	0	0	6	2160
12	0.5267	4007.89	74.78	2057	11	84	1	1	0	0	0	6	2160
13	0.5378	4036.91	75.32	2057	9	86	0	1	1	0	0	6	2160
14	0.5378	3372.27	62.92	2041	25	86	0	0	0	0	0	8	2160
15	0.594	3699.27	69.02	2041	23	88	0	0	0	0	0	8	2160
16	0.6165	3777.75	70.48	2041	21	89	1	0	0	0	0	8	2160
17	0.7437	3974.40	74.15	2033	17	66	34	0	2	0	0	8	2160
	<b>V max =</b>	<b>5359.69</b>											



(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 12 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 2 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0972	2279.75	39.56	2159	1	0	0	0	0	0	0	2160
2	0.249	4362.13	75.69	2136	9	15	0	0	0	0	0	2160
<b>3</b>	<b>0.3487</b>	<b>5044.09</b>	<b>87.52</b>	<b>2069</b>	<b>75</b>	<b>16</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2160</b>
4	0.5098	5494.65	95.34	2007	76	75	2	0	0	0	0	2160
5	0.6492	5763.43	100.00	1987	68	98	5	1	1	0	0	2160
6	0.6493	5244.44	91.00	1987	63	103	4	1	0	1	1	2160
7	0.6521	5269.76	91.43	1987	62	104	4	1	0	0	2	2160
8	0.6521	5020.91	87.12	1987	62	104	4	1	0	0	2	2160
9	0.6596	5094.26	88.39	1987	62	104	4	1	0	0	2	2160
<b>10</b>	<b>0.6833</b>	<b>5201.86</b>	<b>90.26</b>	1987	60	106	2	2	1	0	2	2160
11	0.6833	4870.25	84.50	1987	60	105	3	1	1	0	3	2160
12	0.6833	4669.71	81.02	1986	61	105	3	1	0	1	3	2160
13	0.685	4686.60	81.32	1986	61	105	3	1	0	0	4	2160
14	0.685	4436.91	76.98	1986	61	105	3	1	0	0	4	2160
15	0.7198	4701.02	81.57	1985	60	101	9	1	0	0	4	2160
16	0.7467	4821.68	83.66	1984	55	105	10	2	0	0	4	2160
17	0.7545	4841.63	84.01	1984	54	106	10	1	1	0	4	2160
18	0.7545	3964.07	68.78	1984	54	88	28	0	0	0	6	2160
19	0.7629	4018.62	69.73	1984	54	84	30	0	2	0	6	2160
20	0.7085	3142.76	54.53	1984	54	84	30	0	0	0	8	2160
	<b>V max =</b>	<b>5763.43</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 12 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 1 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0849	1828.14	42.43	2159	1	0	0	0	0	0	0	0	2160
2	0.1038	2156.31	50.05	2147	9	4	0	0	0	0	0	0	2160
3	0.2726	3402.76	78.97	2139	1	20	0	0	0	0	0	0	2160
<b>4</b>	<b>0.3902</b>	<b>4080.11</b>	<b>94.70</b>	<b>2042</b>	<b>96</b>	<b>19</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2160</b>
<b>5</b>	<b>0.4588</b>	<b>4308.67</b>	<b>100.00</b>	2000	138	11	9	1	1	0	0	0	2160
6	0.4588	3369.75	78.21	2000	138	11	5	2	0	0	4	0	2160
7	0.4705	3457.44	80.24	2000	136	13	4	1	2	0	0	4	2160
8	0.4705	3134.86	72.76	2000	136	13	3	2	0	0	0	6	2160
9	0.4782	3175.39	73.70	2000	132	17	3	1	1	0	0	6	2160
10	0.4783	2894.15	67.17	2000	132	17	3	1	0	0	0	7	2160
11	0.4946	3010.52	69.87	2000	129	20	3	0	1	0	0	7	2160
12	0.4947	2745.51	63.72	2000	129	19	4	0	0	0	0	8	2160
13	0.527	2929.52	67.99	2000	120	28	4	0	0	0	0	8	2160
14	0.5766	3097.96	71.90	1998	90	60	0	2	2	0	0	8	2160
15	0.5674	2793.27	64.83	1996	88	64	0	2	0	0	0	10	2160
	<b>V max =</b>	<b>4308.67</b>											

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 12 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 1 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1284	2077.70	43.58	2159	1	0	0	0	0	0	0	2160
2	0.1515	2392.19	50.18	2149	10	1	0	0	0	0	0	2160
3	0.3005	3395.26	71.22	2136	4	20	0	0	0	0	0	2160
<b>4</b>	<b>0.3813</b>	<b>3793.2251</b>	<b>79.56292</b>	<b>2055</b>	<b>85</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2160</b>
5	0.5396	4162.71	87.31	1966	173	21	0	0	0	0	0	2160
6	0.7181	4473.86	93.84	1936	136	83	5	0	0	0	0	2160
<b>7</b>	<b>0.9022</b>	<b>4767.58</b>	<b>100.00</b>	1909	77	159	10	4	1	0	0	2160
8	0.9022	3802.15	79.75	1909	75	161	9	1	0	1	4	2160
9	0.906	3830.49	80.34	1909	75	161	9	1	0	0	5	2160
10	0.906	3684.19	77.28	1909	75	161	9	1	0	0	5	2160
11	0.9094	3710.15	77.82	1909	75	161	9	0	1	0	5	2160
12	0.9094	3578.84	75.07	1909	75	161	9	0	0	1	5	2160
13	0.9175	3639.95	76.35	1909	75	161	9	0	0	0	6	2160
14	0.9175	3465.00	72.68	1909	75	160	10	0	0	0	6	2160
15	0.9447	3630.70	76.15	1909	75	160	10	0	0	0	6	2160
16	0.966	3708.45	77.78	1909	75	160	7	1	2	0	6	2160
17	0.966	3553.93	74.54	1907	77	160	7	1	0	0	8	2160
18	0.9913	3657.90	76.72	1907	76	159	7	1	2	0	8	2160
19	0.9913	3421.45	71.76	1907	76	159	7	1	0	0	10	2160
20	1.0153	3529.77	74.04	1905	78	156	10	1	0	0	10	2160
	<b>V max =</b>	<b>4767.58</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 12 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 2 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.0652	1928.67	36.84	2159	1	0	0	0	0	0	0	0	2160
2	0.0895	2485.90	47.49	2150	5	5	0	0	0	0	0	0	2160
<b>3</b>	<b>0.2597</b>	<b>4329.25</b>	<b>82.70</b>	<b>2138</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2160</b>
<b>4</b>	<b>0.3953</b>	<b>5234.97</b>	<b>100.00</b>	2032	108	11	7	1	1	0	0	0	2160
5	0.3953	3949.07	75.44	2032	108	11	3	2	0	0	4	0	2160
6	0.4001	4000.34	76.42	2032	108	11	2	2	1	0	4	0	2160
7	0.4001	3815.32	72.88	2032	108	11	2	1	1	0	5	0	2160
8	0.4001	3502.13	66.90	2032	108	11	2	1	0	0	6	0	2160
9	0.4271	3755.66	71.74	2032	104	14	3	1	0	0	6	0	2160
10	0.4424	3849.84	73.54	2032	96	22	2	1	1	0	6	0	2160
11	0.4424	3652.29	69.77	2032	96	22	2	0	1	0	7	0	2160
12	0.4424	3369.55	64.37	2032	96	22	2	0	0	0	8	0	2160
13	0.4764	3619.66	69.14	2032	72	46	2	0	0	0	8	0	2160
14	0.5308	3850.96	73.56	2026	54	70	0	1	1	0	8	0	2160
15	0.5173	3398.33	64.92	2020	58	72	0	0	0	0	10	0	2160
	<b>V max =</b>	<b>5234.97</b>											

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 12 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 2 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1011	2241.27	37.85	2159	1	0	0	0	0	0	0	2160
2	0.1278	2749.45	46.43	2150	8	2	0	0	0	0	0	2160
3	0.2791	4240.31	71.61	2129	15	16	0	0	0	0	0	2160
<b>4</b>	<b>0.432</b>	<b>4988.9189</b>	<b>84.25013</b>	<b>2017</b>	<b>125</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2160</b>
5	0.5893	5491.70	92.74	1983	118	56	3	0	0	0	0	2160
6	0.7812	5859.47	98.95	1938	84	128	7	3	0	0	0	2160
<b>7</b>	<b>0.822</b>	<b>5921.56</b>	<b>100.00</b>	1938	54	158	5	4	1	0	0	2160
8	0.822	4700.28	79.38	1938	54	158	4	1	0	1	4	2160
9	0.8229	4707.75	79.50	1938	54	158	4	1	0	0	5	2160
10	0.8229	4518.98	76.31	1938	54	158	4	1	0	0	5	2160
11	0.8403	4669.19	78.85	1938	54	158	4	0	1	0	5	2160
12	0.8403	4519.73	76.33	1938	54	158	4	0	0	1	5	2160
13	0.845	4571.72	77.20	1938	54	158	4	0	0	1	5	2160
14	0.85	4606.82	77.80	1938	54	158	4	0	0	0	6	2160
15	0.85	4406.95	74.42	1938	54	158	4	0	0	0	6	2160
16	0.901	4689.34	79.19	1938	52	160	2	2	0	0	6	2160
17	0.9243	4774.86	80.64	1938	50	162	1	2	1	0	6	2160
18	0.9244	4672.33	78.90	1938	50	161	2	2	0	1	6	2160
19	0.9265	4686.43	79.14	1938	50	161	2	2	0	0	7	2160
20	0.9265	4559.41	77.00	1938	50	161	2	2	0	0	7	2160
	<b>V max =</b>	<b>5921.56</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 18 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 1 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1428	2080.90	35.71	3239	1	0	0	0	0	0	0	0	3240
2	0.3791	4352.16	74.68	3214	1	25	0	0	0	0	0	0	3240
<b>*3</b>	<b>0.5642</b>	<b>5469.45</b>	<b>93.85</b>	<b>3109</b>	<b>101</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3240</b>
<b>*4</b>	<b>0.6765</b>	<b>5827.80</b>	<b>100.00</b>	3035	174	24	5	0	2	0	0	0	3240
5	0.6765	4232.95	72.63	3035	128	68	3	0	0	0	0	6	3240
6	0.7414	4502.38	77.26	3035	98	97	3	0	1	0	0	6	3240
7	0.7414	3932.79	67.48	3035	92	101	4	0	0	0	0	8	3240
8	0.8235	4266.57	73.21	3035	76	117	3	1	0	0	0	8	3240
9	0.8443	4320.79	74.14	3035	76	117	2	1	1	0	0	8	3240
10	0.6508	2268.23	38.92	3035	76	117	2	1	0	0	0	9	3240
<b>V max =</b>		<b>5827.80</b>											

\*Keterangan 1 : Baris ke-3 berwarna biru telur asin pada tabel di atas, menunjukkan bahwa pada langkah ke-3 berdasarkan target perpindahan, sesuai dengan judul tabel yaitu model 18 lantai dengan *link beam* sepanjang 0,6 meter, dengan beban gempa pola 1 arah sumbu X, struktur bangunan telah mencapai kinerja bangunan, yaitu masuk ke dalam kategori kinerja *Life Safety*, dengan besar gaya geser dasar  $V = 5469,45$  kN dan perpindahan titik kontrol pada puncak atap lantai 18 sebesar  $\Delta = 0,5642$  meter.

\*Keterangan 2 : Baris ke-4 berwarna merah pada teks menandakan pada langkah ke-4, struktur telah mencapai batas kapasitas ultimit, dengan  $V = 5827,8$  kN dan  $\Delta = 0,6765$  m. Batas ultimit diperoleh saat  $V = V_{maks}$  atau  $V \geq 85\%V_{maks}$ .

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 18 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 1 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1979	2494.98	40.48	3239	1	0	0	0	0	0	0	0	3240
2	0.4276	4480.73	72.69	3214	4	22	0	0	0	0	0	0	3240
<b>3</b>	<b>0.5494</b>	<b>5124.30</b>	<b>83.13</b>	<b>3117</b>	<b>96</b>	<b>27</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3240</b>
4	0.7864	5642.89	91.54	3003	188	49	0	0	0	0	0	0	3240
5	1.0359	5968.60	96.83	2965	91	177	7	0	0	0	0	0	3240
<b>6</b>	<b>1.2065</b>	<b>6164.13</b>	<b>100.00</b>	2949	71	206	10	3	1	0	0	0	3240
7	1.2064	4585.42	74.39	2949	71	198	15	1	0	0	0	6	3240
8	1.2493	4762.91	77.27	2947	73	181	31	1	1	0	0	6	3240
9	1.196	4040.82	65.55	2947	73	181	31	0	0	0	1	7	3240
	<b>V max =</b>	<b>6164.13</b>											

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 18 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 2 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1043	2106.28	34.44	3239	1	0	0	0	0	0	0	0	3240
2	0.3318	4943.35	80.82	3217	3	20	0	0	0	0	0	0	3240
<b>3</b>	<b>0.4842</b>	<b>6043.52</b>	<b>98.81</b>	<b>3120</b>	<b>97</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3240</b>
<b>4</b>	<b>0.4999</b>	<b>6116.34</b>	<b>100.00</b>	3118	99	18	3	1	1	0	0	0	3240
5	0.4999	4837.88	79.10	3118	67	48	3	0	0	0	0	4	3240
6	0.5395	5095.58	83.31	3116	53	63	2	1	1	0	0	4	3240
7	0.5396	4431.17	72.45	3116	45	71	2	0	0	0	0	6	3240
8	0.5909	4762.75	77.87	3116	35	79	4	0	0	0	0	6	3240
9	0.6479	4993.07	81.63	3104	33	93	1	2	1	0	0	6	3240
10	0.648	4248.83	69.47	3102	29	99	1	1	0	0	0	8	3240
11	0.6623	4346.80	71.07	3102	27	101	1	1	0	0	0	8	3240
	<b>V max =</b>	<b>6116.34</b>											



(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 18 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 2 Arah X

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1471	2562.45	39.03	3239	1	0	0	0	0	0	0	0	3240
2	0.3692	5081.89	77.40	3198	24	18	0	0	0	0	0	0	3240
<b>3</b>	<b>0.5273</b>	<b>5883.82</b>	<b>89.62</b>	<b>3105</b>	<b>113</b>	<b>22</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3240</b>
4	0.814	6482.14	98.73	3047	64	123	6	0	0	0	0	0	3240
<b>5</b>	<b>0.861</b>	<b>6565.54</b>	<b>100.00</b>	3043	58	131	5	2	1	0	0	0	3240
6	0.861	5296.10	80.67	3043	58	130	4	1	0	0	4	0	3240
7	0.9051	5525.48	84.16	3043	58	122	11	1	1	0	4	0	3240
8	0.9051	5414.09	82.46	3043	58	122	11	1	0	0	5	0	3240
9	0.9052	4868.72	74.16	3043	58	117	16	0	0	0	6	0	3240
10	0.9595	5179.22	78.88	3043	58	91	42	0	0	0	6	0	3240
11	1.038	5363.34	81.69	3037	64	87	43	2	1	0	6	0	3240
12	1.0162	4865.56	74.11	3037	64	85	45	1	0	2	6	0	3240
	<b>V max =</b>	<b>6565.54</b>											

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 18 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 1 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1515	2183.94	38.73	3239	1	0	0	0	0	0	0	3240
2	0.3792	4249.63	75.36	3212	3	25	0	0	0	0	0	3240
<b>3</b>	<b>0.5778</b>	<b>5279.28</b>	<b>93.62</b>	<b>3066</b>	<b>142</b>	<b>30</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3240</b>
<b>4</b>	<b>0.7094</b>	<b>5639.09</b>	<b>100.00</b>	2972	236	21	8	2	1	0	0	3240
5	0.7094	3875.17	68.72	2972	176	80	4	0	0	0	8	3240
6	0.7606	4090.15	72.53	2972	172	84	2	2	0	0	8	3240
<b>V max =</b>		<b>5639.09</b>										

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 18 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 1 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.2028	2502.83	40.98	3239	1	0	0	0	0	0	0	3240
2	0.425	4304.52	70.48	3211	6	23	0	0	0	0	0	3240
<b>3</b>	<b>0.5406</b>	<b>4838.71</b>	<b>79.22</b>	<b>3087</b>	<b>125</b>	<b>28</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3240</b>
4	0.7947	5337.20	87.39	2970	233	37	0	0	0	0	0	3240
5	1.0317	5677.86	92.96	2936	113	189	2	0	0	0	0	3240
6	1.2603	5970.41	97.75	2912	86	225	17	0	0	0	0	3240
<b>7</b>	<b>1.3742</b>	<b>6107.63</b>	<b>100.00</b>	2905	81	236	10	6	2	0	0	3240
8	1.2672	3773.37	61.78	2903	83	236	7	3	0	1	7	3240
<b>V max =</b>		<b>6107.63</b>										

(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 18 Lantai, Panjang *Link* 0,6 m, Pola Gempa 2 Arah Y

Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.1118	2255.1538	36.48	3239	1	0	0	0	0	0	0	0	3240
2	0.3355	4930.2646	79.75	3216	3	21	0	0	0	0	0	0	3240
<b>3</b>	<b>0.5358</b>	<b>6182.06</b>	<b>100.00</b>	<b>3079</b>	<b>137</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3240</b>
4	0.5358	4583.2539	74.14	3079	95	56	4	0	0	0	0	6	3240
5	0.5673	4784.4946	77.39	3079	91	60	1	2	1	0	0	6	3240
6	0.5673	4609.1606	74.56	3079	87	64	1	1	1	0	0	7	3240
7	0.5673	4340.4775	70.21	3079	81	70	1	1	0	0	0	8	3240
8	0.612	4619.3555	74.72	3079	65	86	0	1	1	0	0	8	3240
9	0.5654	3940.9595	63.75	3079	65	86	0	1	0	0	0	9	3240
	<b>V max =</b>	<b>6182.0581</b>											

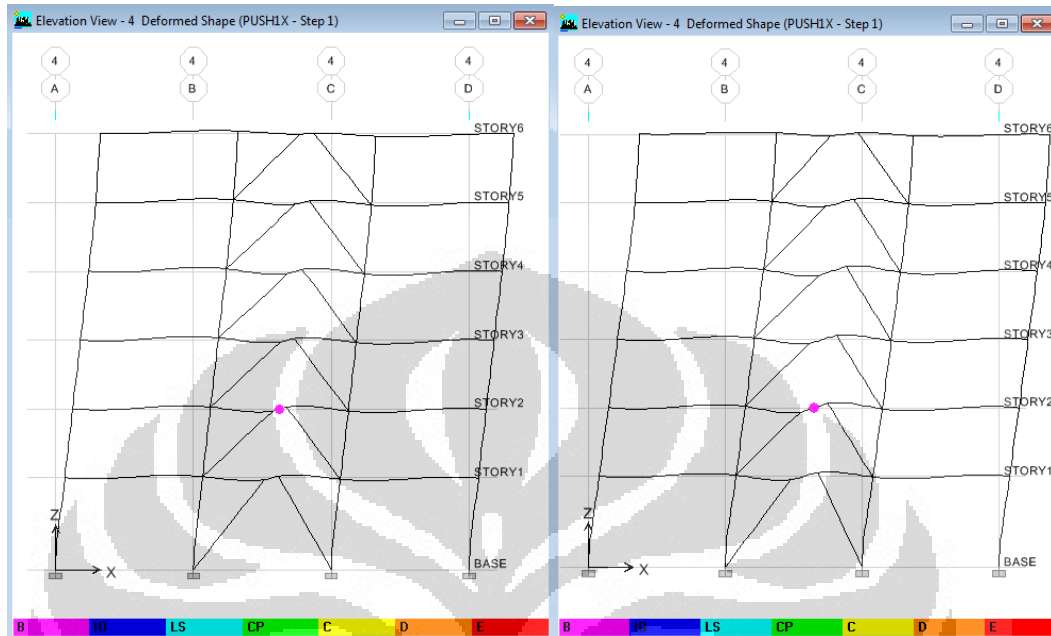
(Sambungan)

Tabel *Pushover* (Gaya Geser Dasar – Perpindahan Titik Kontrol), Model 18 Lantai, Panjang *Link* 1,2 m, Pola Gempa 2 Arah Y

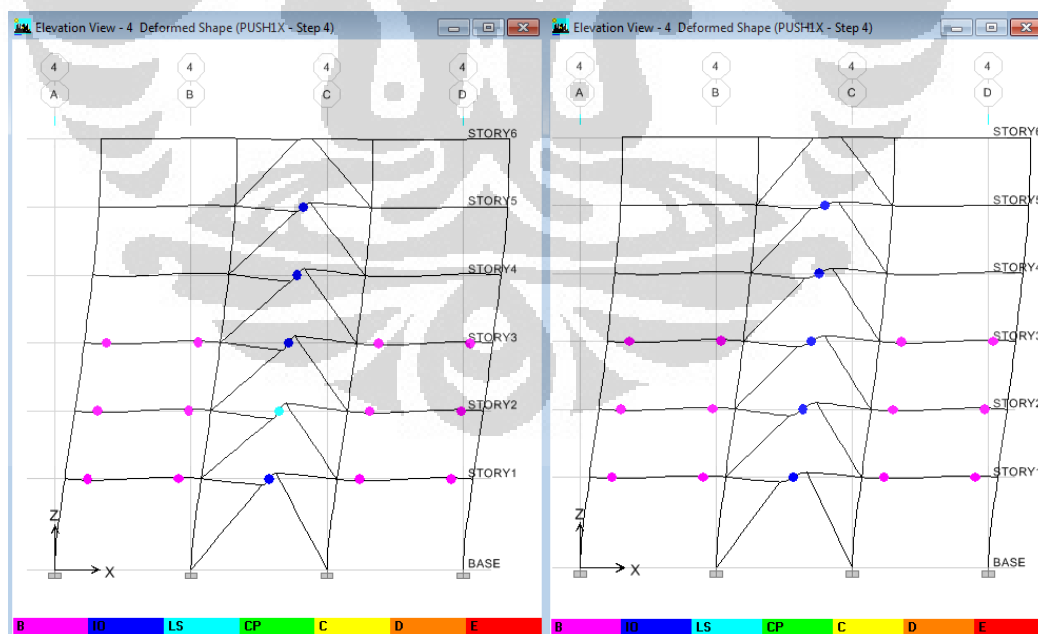
Langkah i	Perpindahan Atap $\Delta_i$ (m)	Gaya Geser Dasar $V_i$ (kN)	% ( $V_i/V_{max}$ )	Mekanisme Sendi Plastis								TOTAL	
				A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E		
0	0	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.15	2596.34	37.70	3239	1	0	0	0	0	0	0	0	3240
2	0.3742	5031.04	73.05	3189	32	19	0	0	0	0	0	0	3240
<b>3</b>	<b>0.607</b>	<b>6028.41</b>	<b>87.53</b>	<b>3064</b>	<b>143</b>	<b>33</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3240</b>
4	0.8433	6629.08	96.25	3009	99	125	7	0	0	0	0	0	3240
<b>5</b>	<b>0.9853</b>	<b>6887.58</b>	<b>100.00</b>	2993	77	160	6	3	1	0	0	0	3240
6	0.9853	5754.15	83.54	2993	77	160	2	3	1	0	4	4	3240
7	0.9853	5676.02	82.41	2993	77	160	2	2	1	1	1	4	3240
8	0.9853	5584.13	81.08	2993	77	160	2	2	0	2	4	4	3240
9	0.9895	5609.43	81.44	2993	77	159	3	2	0	1	5	5	3240
10	0.9895	5468.46	79.40	2993	77	159	3	1	1	1	5	5	3240
11	0.9895	5307.40	77.06	2993	77	159	3	1	0	2	5	5	3240
12	0.9962	5361.05	77.84	2993	77	159	3	1	0	1	6	6	3240
13	0.9962	5164.41	74.98	2993	77	159	3	1	0	1	6	6	3240
14	1.0299	5385.68	78.19	2993	77	159	3	1	0	0	7	7	3240
15	1.0135	5119.22	74.33	2993	77	159	3	1	0	0	7	7	3240
	<b>V max =</b>	<b>6887.58</b>											

## LAMPIRAN 4

### Mekanisme Sendi Plastis Portal X Model *K-Split EBF* 6 Lantai Pola Gempa 1 Arah X

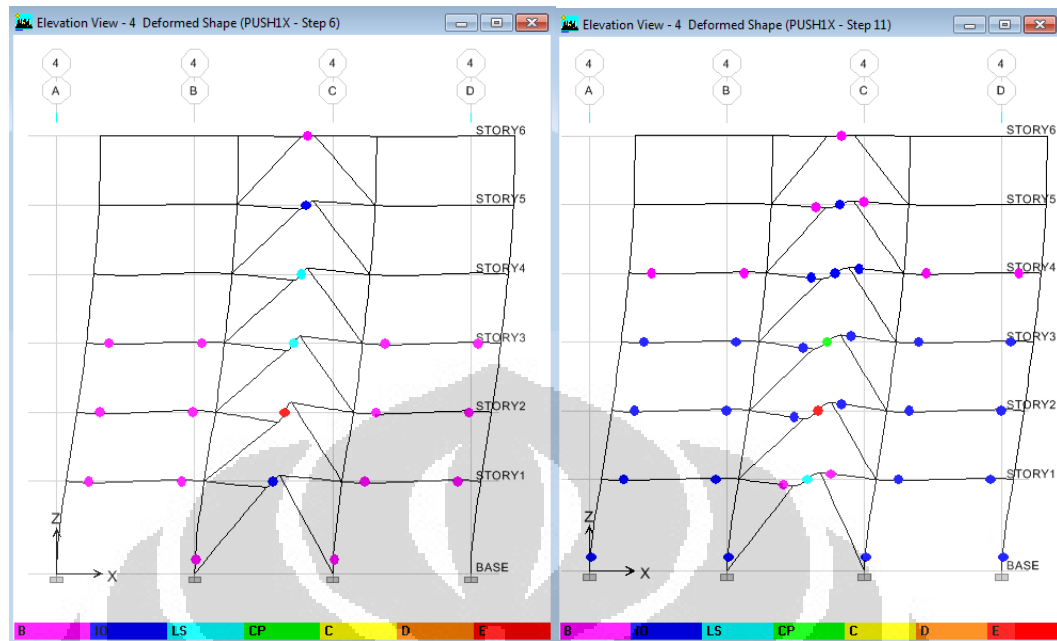


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal X Model *K-Split EBF* 6 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

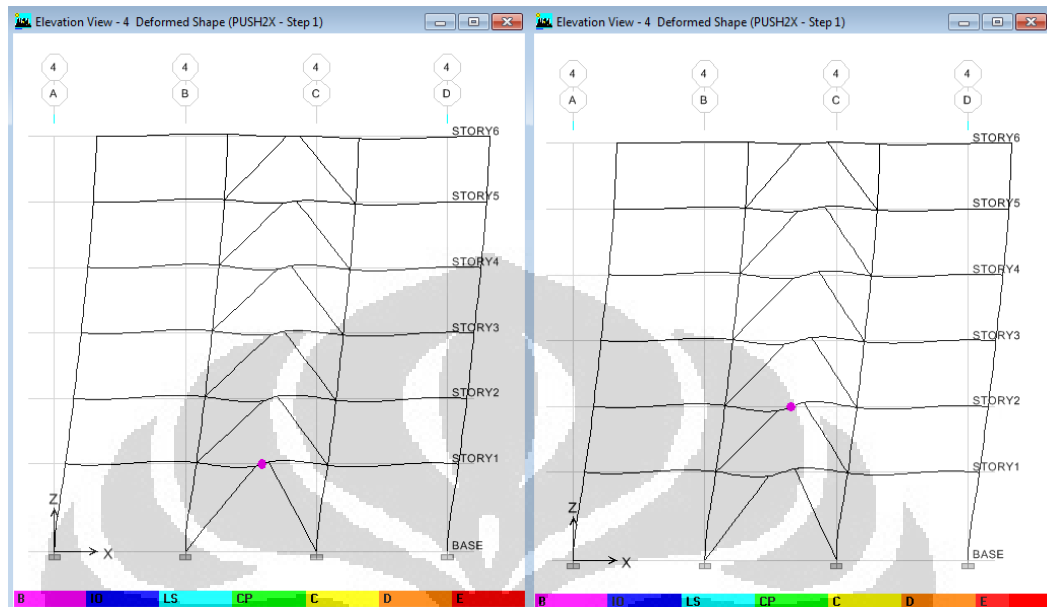
(Sambungan)



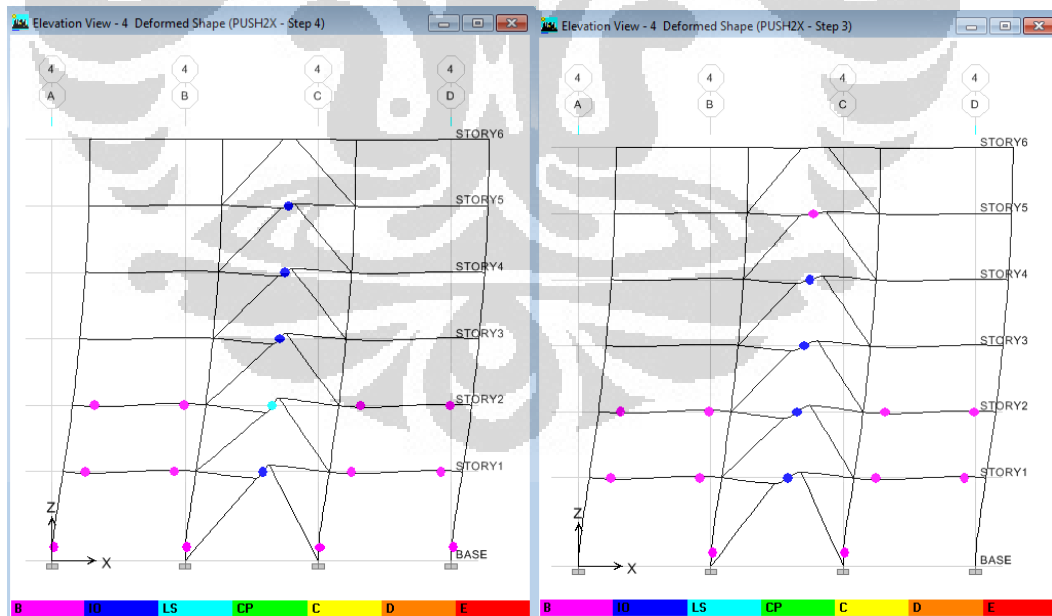
Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal X Model *K-Split EBF* 6 Lantai Pola Gempa 2 Arah X

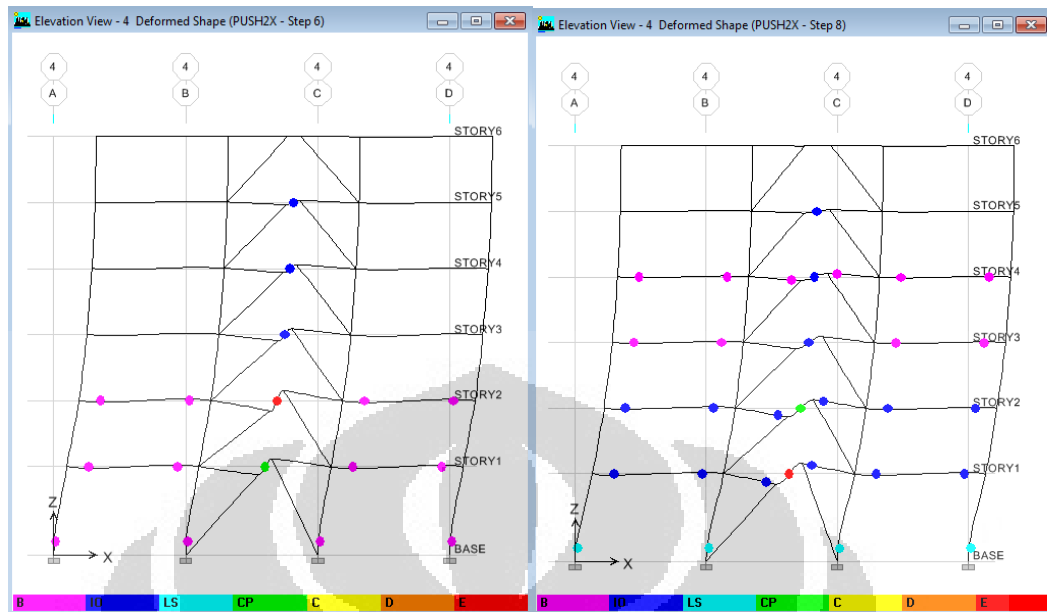


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal X Model *K-Split EBF* 6 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

(Sambungan)

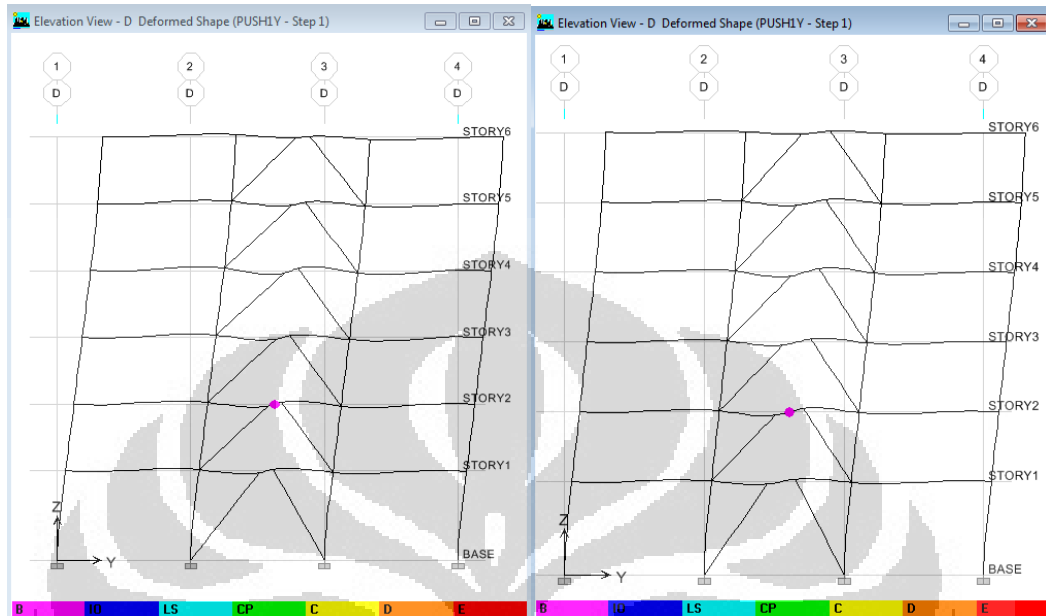


Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

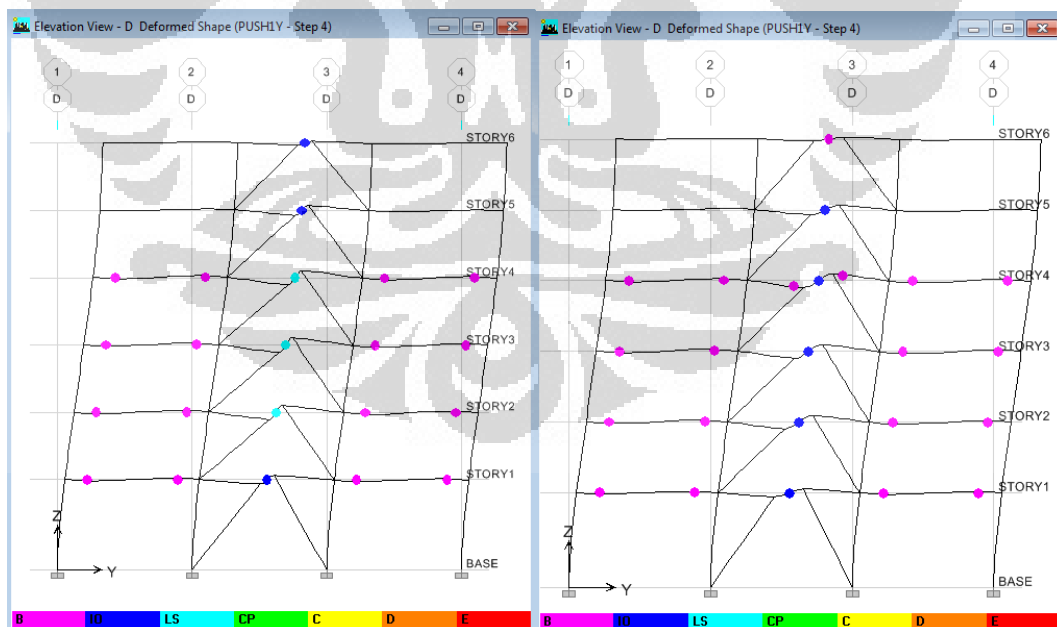


(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal Y Model *K-Split EBF* 6 Lantai Pola Gempa 1 Arah Y

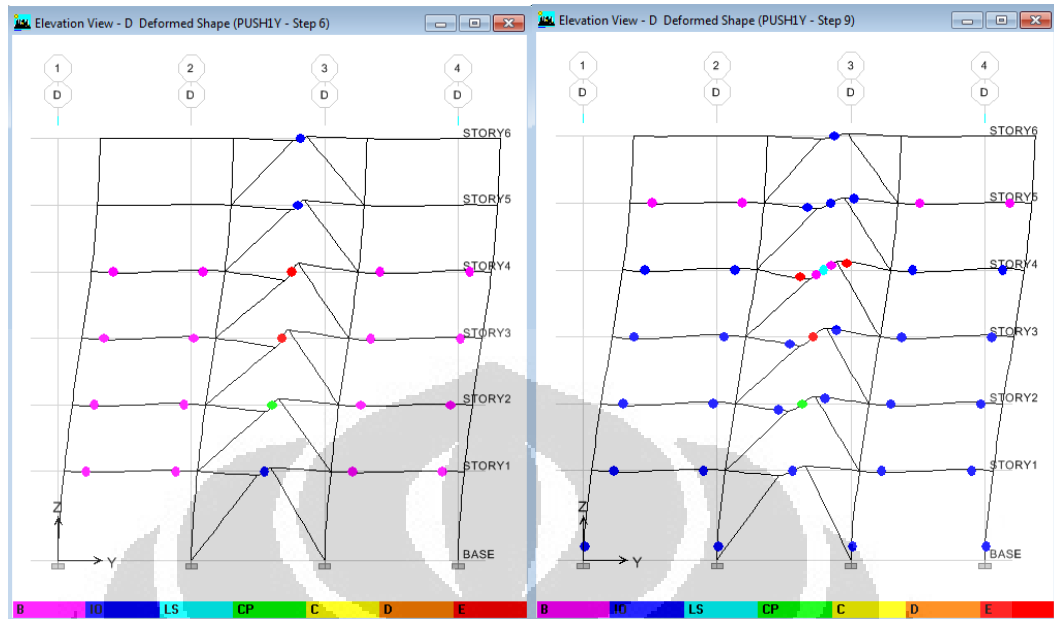


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal Y Model *K-Split EBF* 6 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

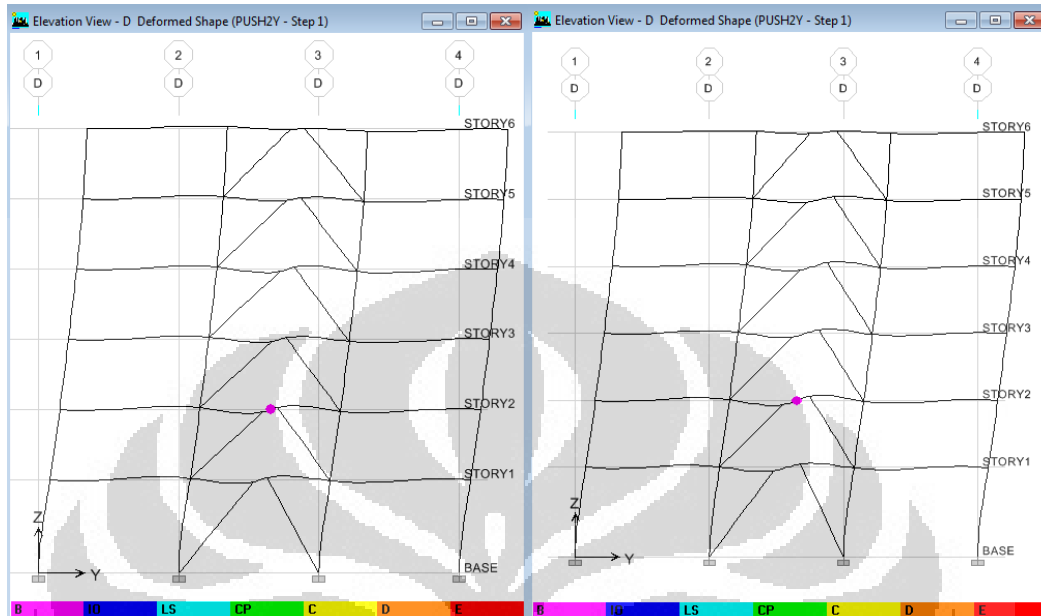
(Sambungan)



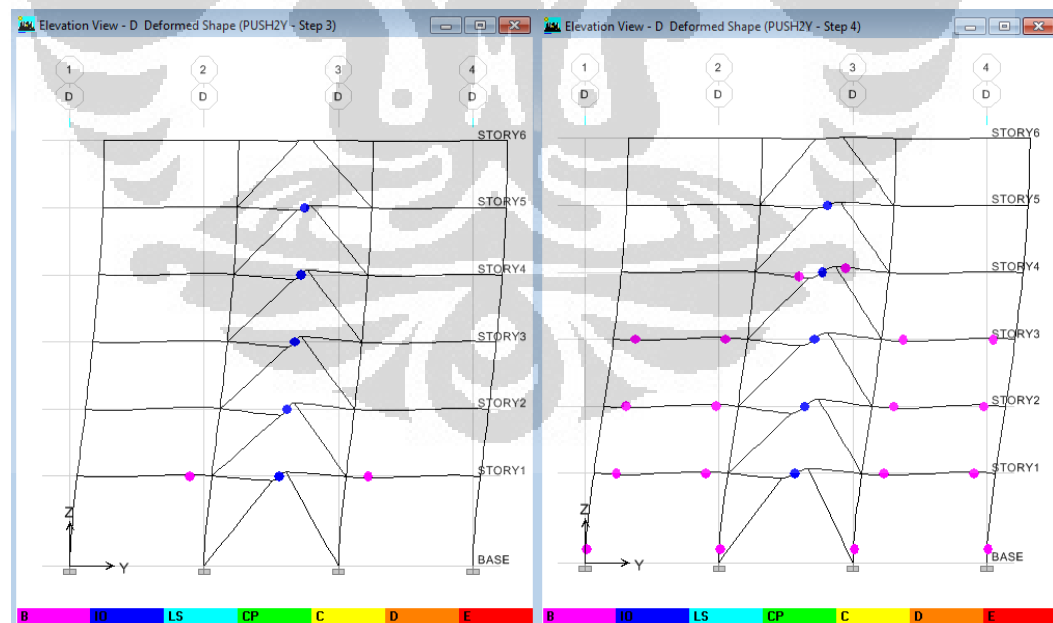
Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal Y Model *K-Split EBF* 6 Lantai Pola Gempa 2 Arah Y

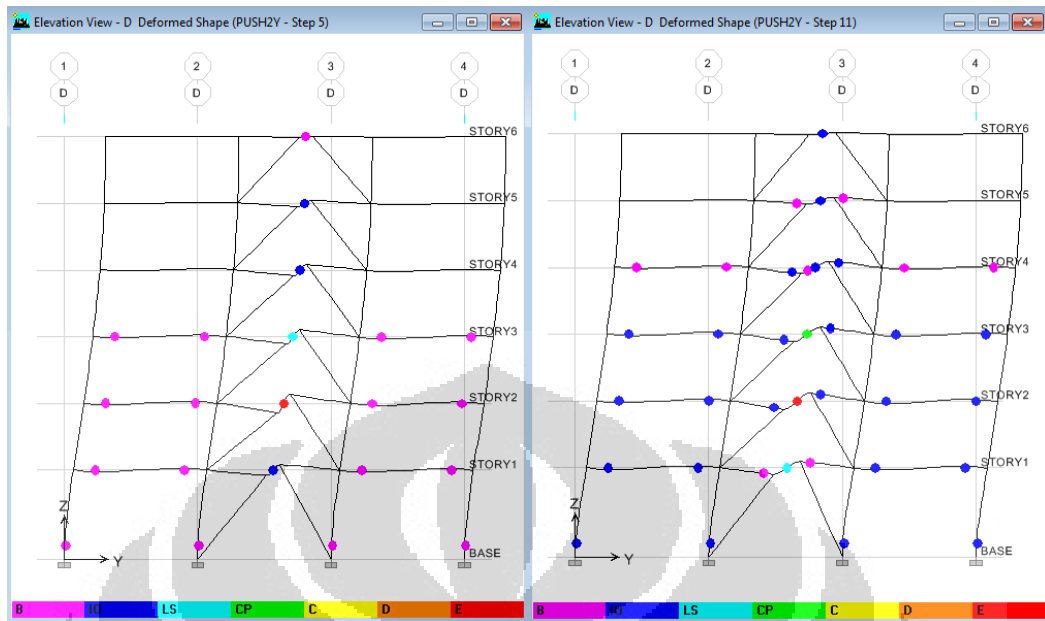


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal Y Model *K-Split EBF* 6 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

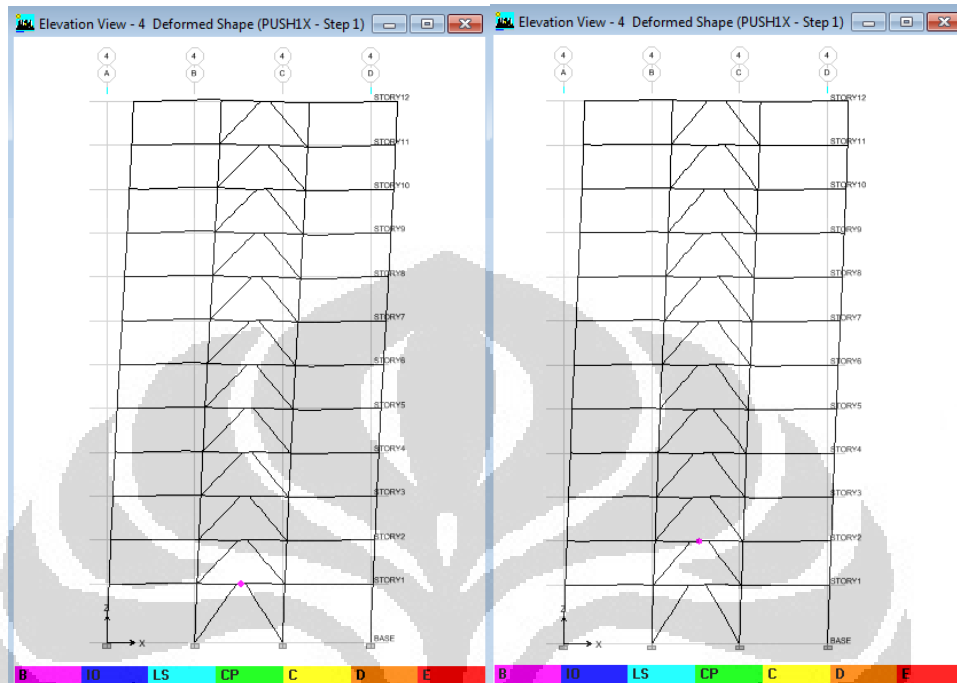
(Sambungan)



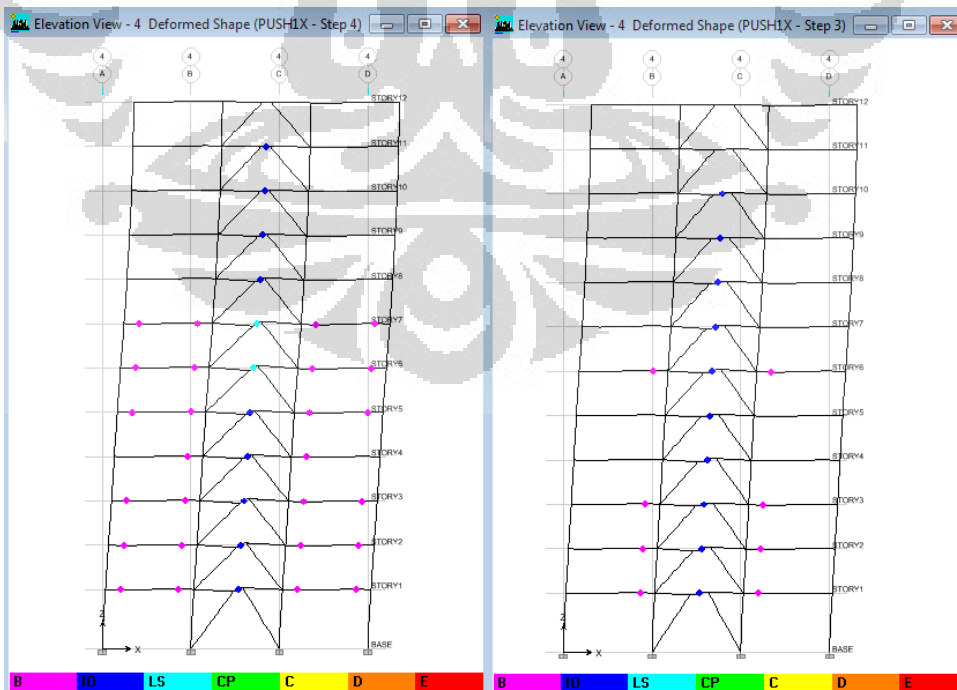
Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 6 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai Pola Gempa 1 Arah X

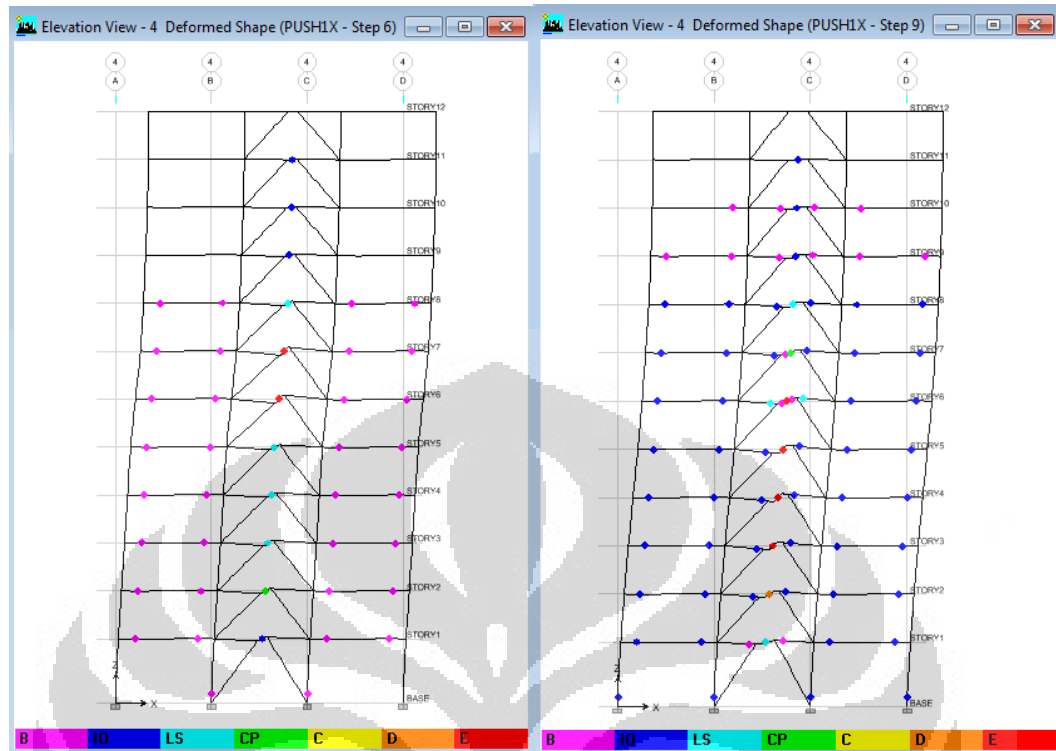


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan  
Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

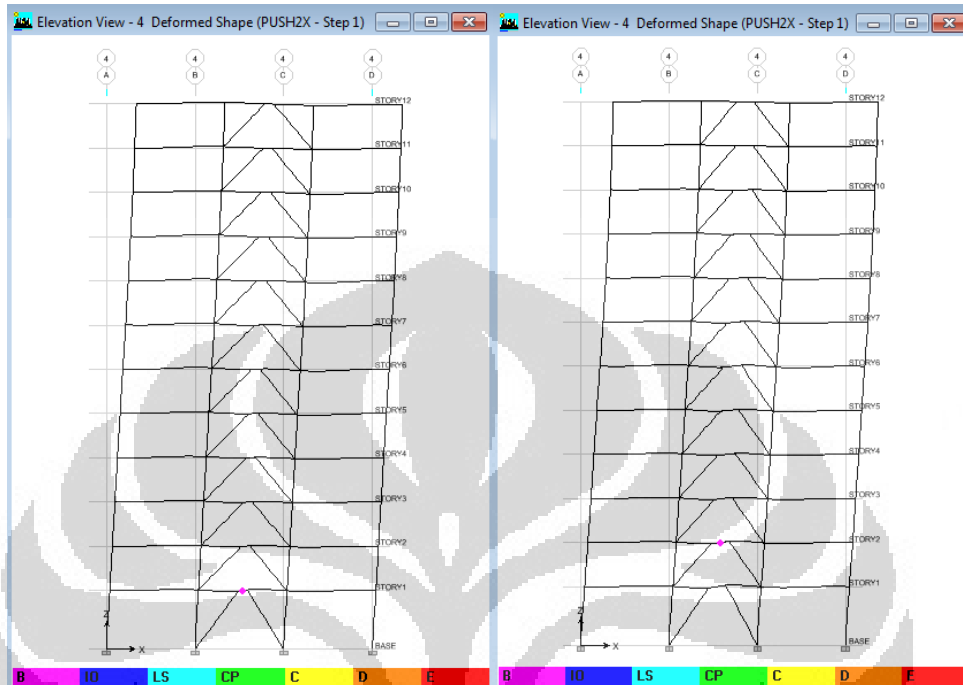
(Sambungan)



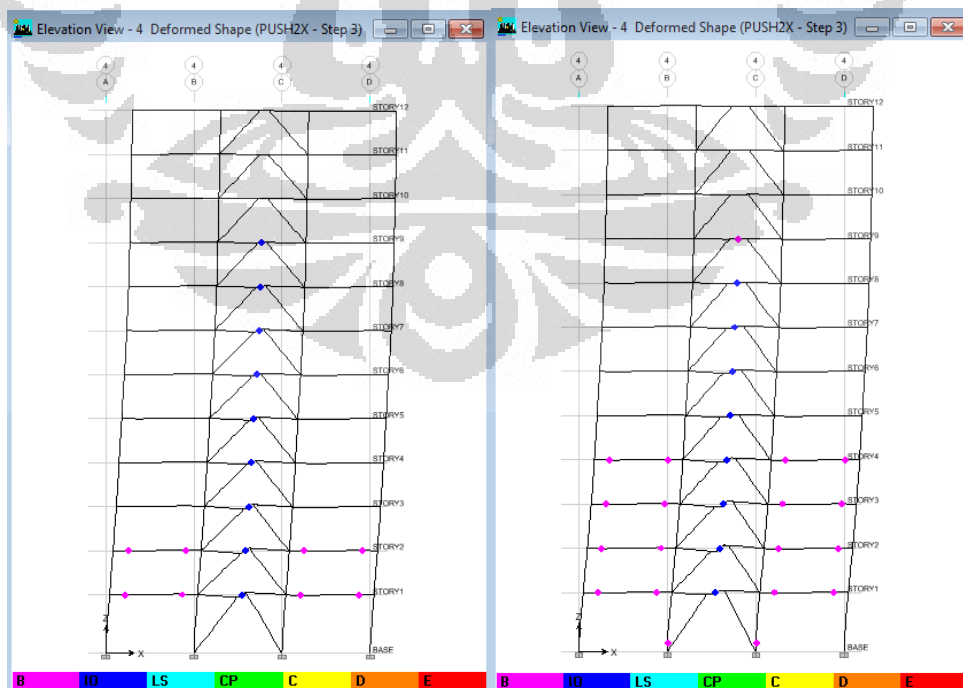
Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai Pola Gempa 2 Arah X

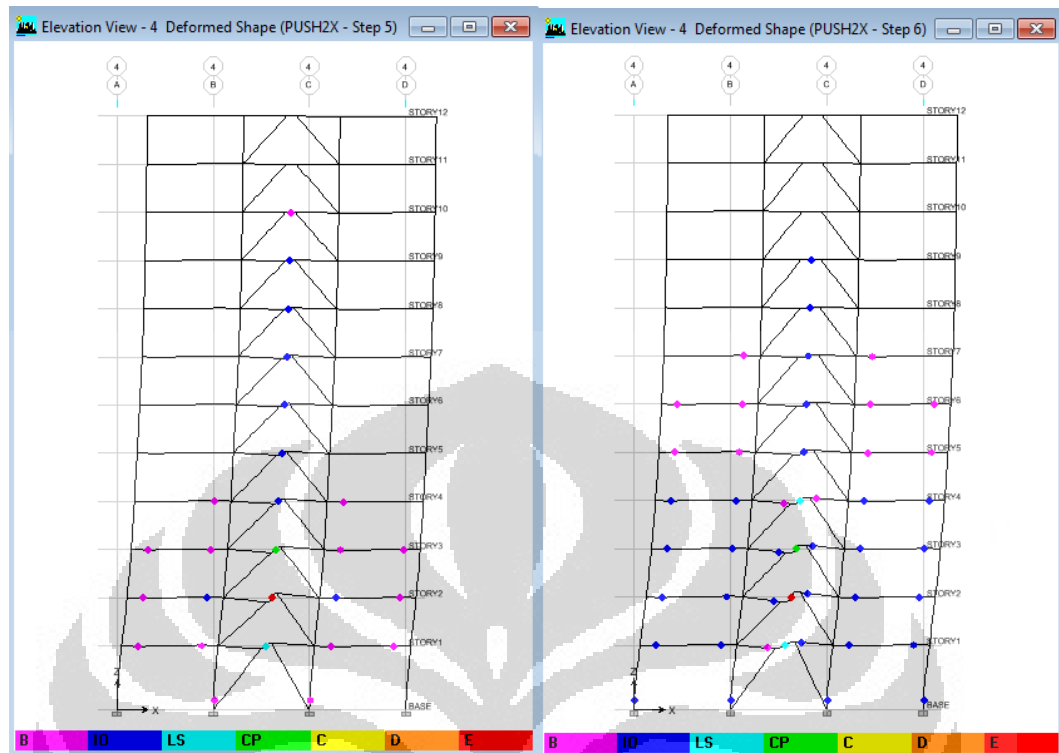


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan  
Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

(Sambungan)

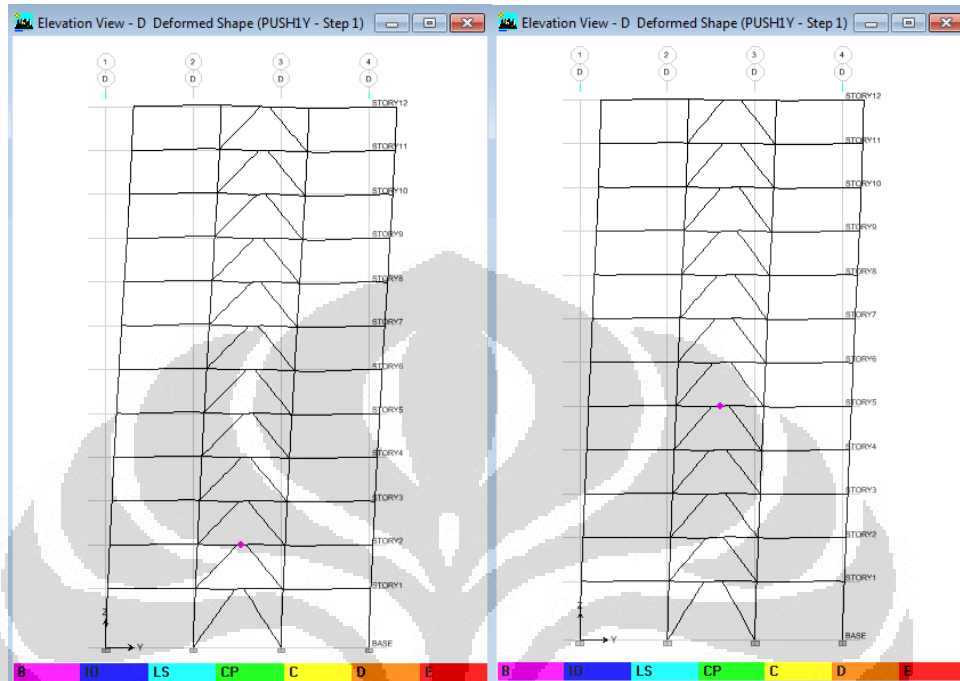


Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

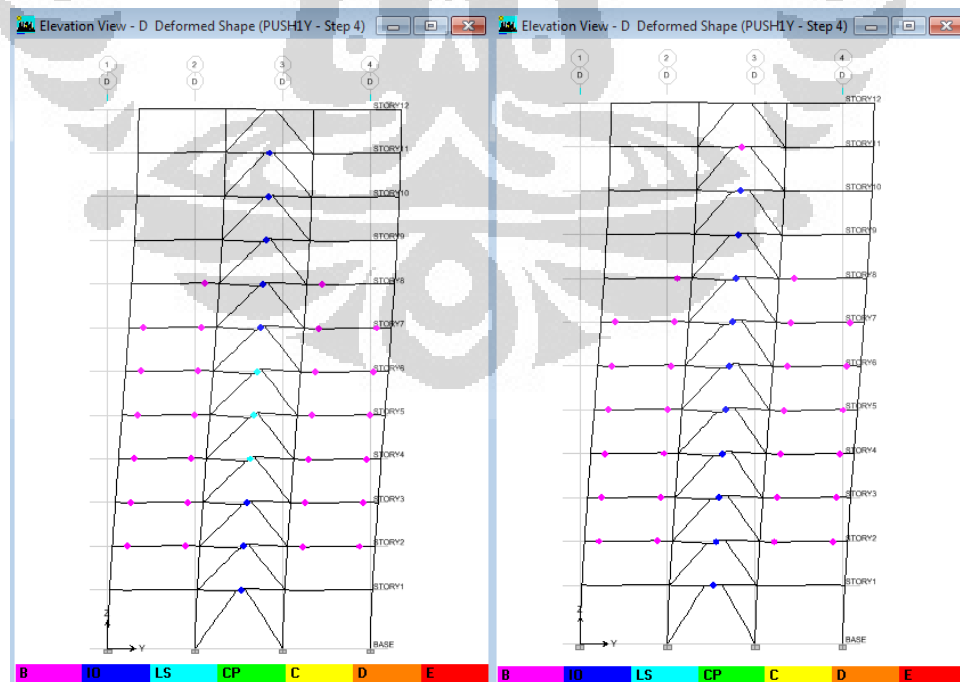


(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai Pola Gempa 1 Arah Y

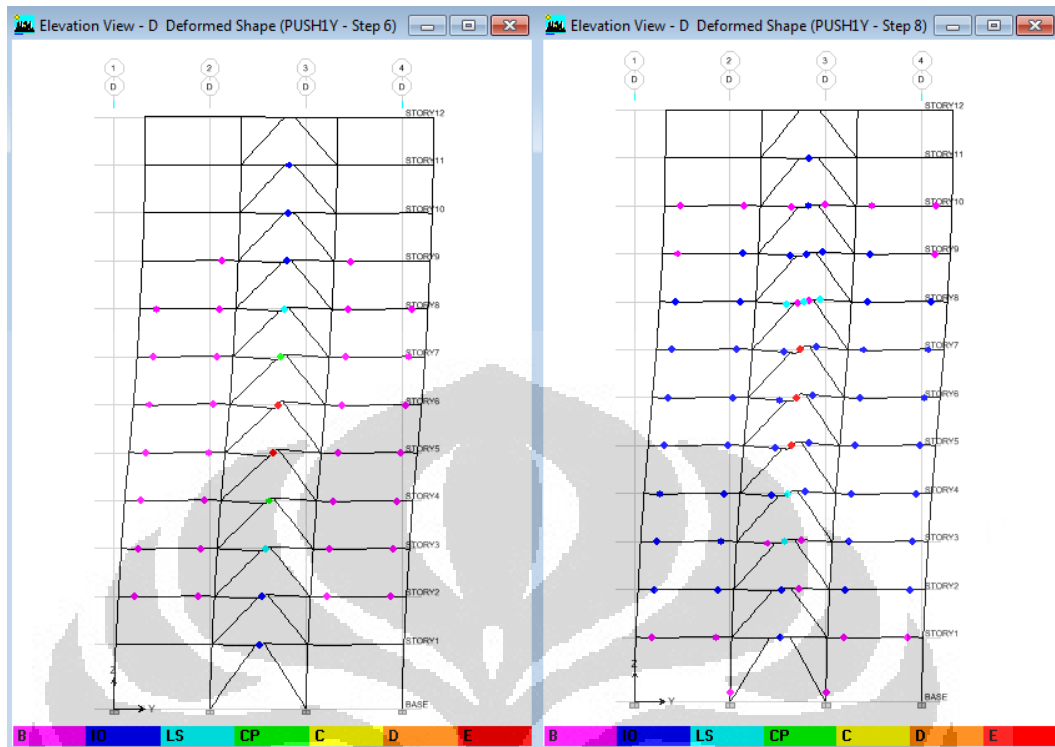


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai (*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

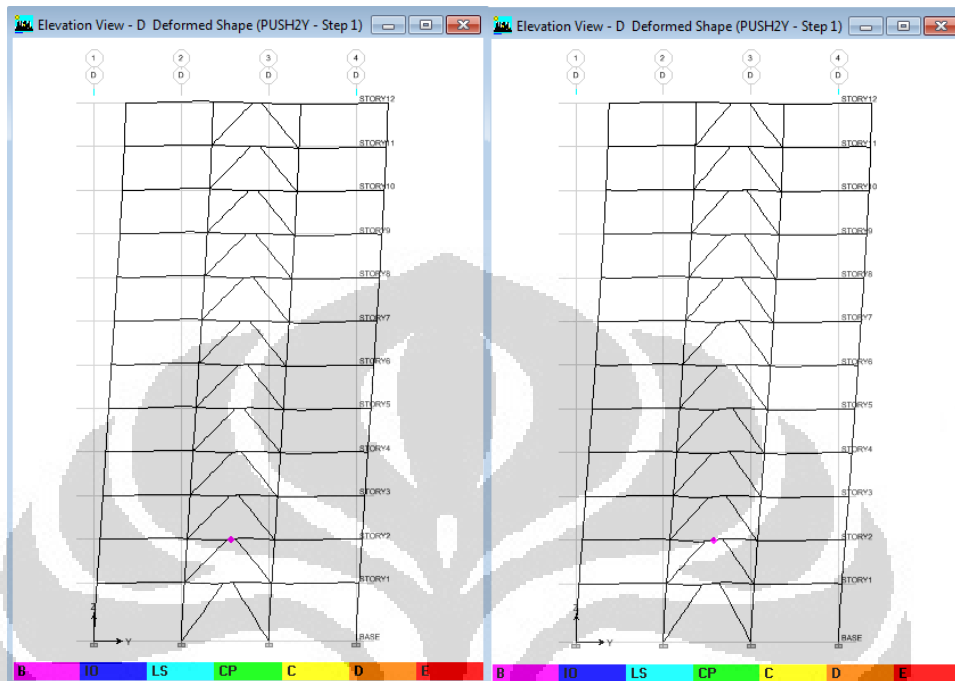
(Sambungan)



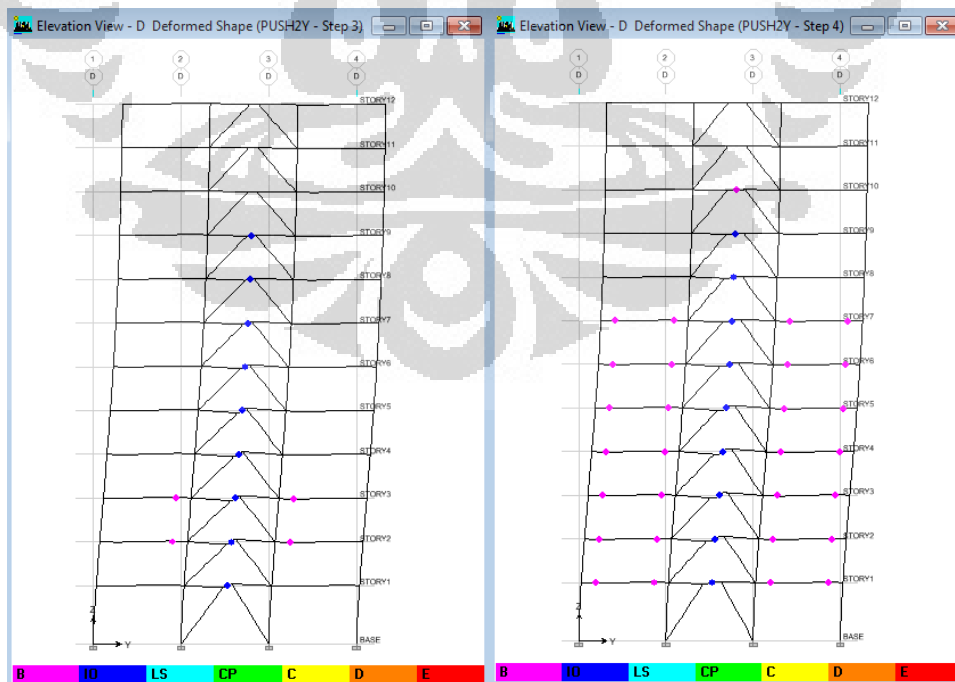
Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai Pola Gempa 2 Arah Y

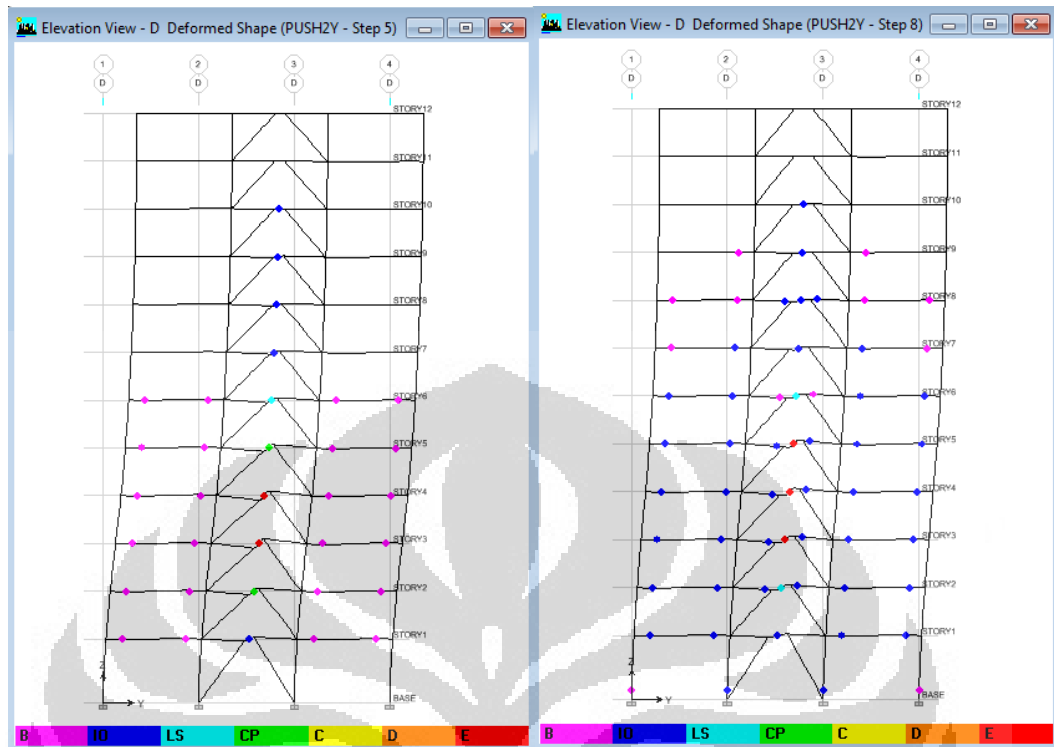


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

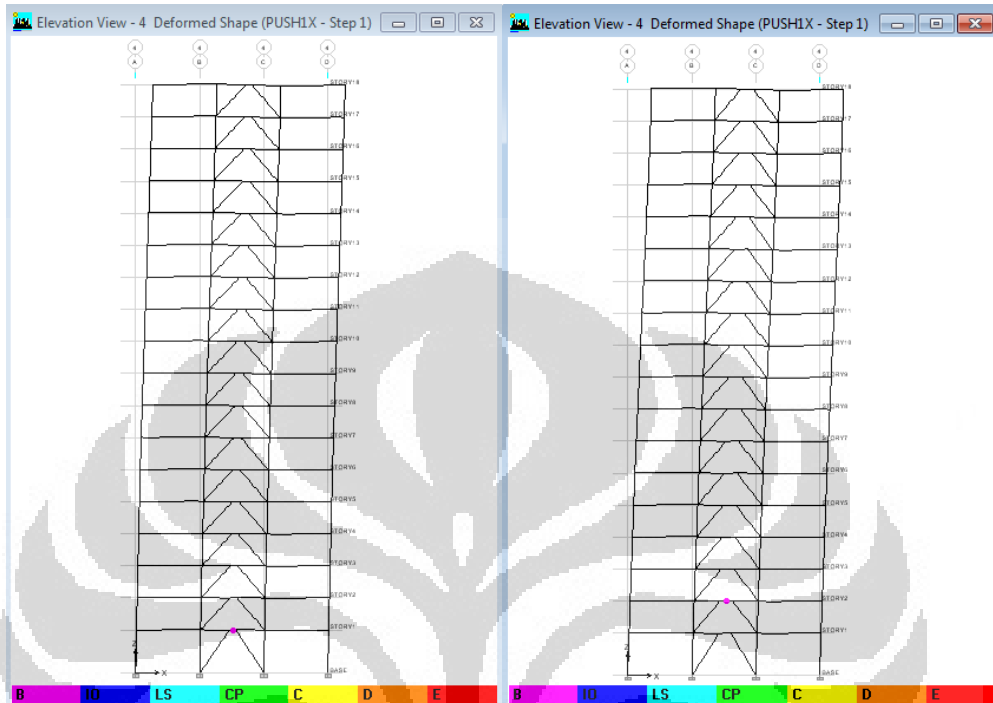
(Sambungan)



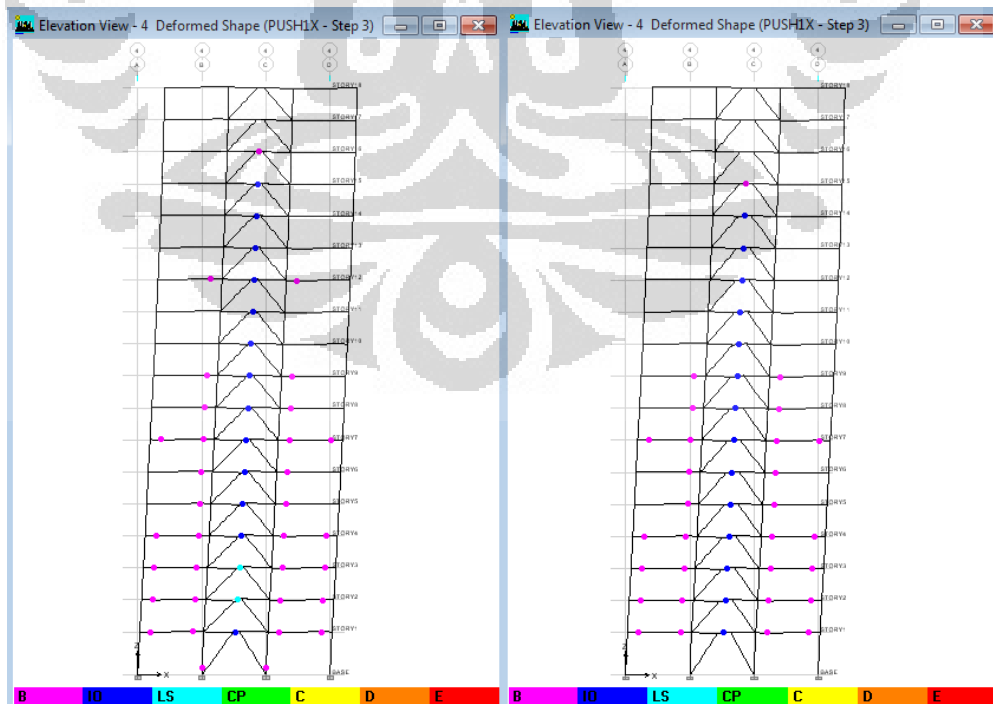
Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal X Model *K-Split EBF* 18 Lantai Pola Gempa 1 Arah X

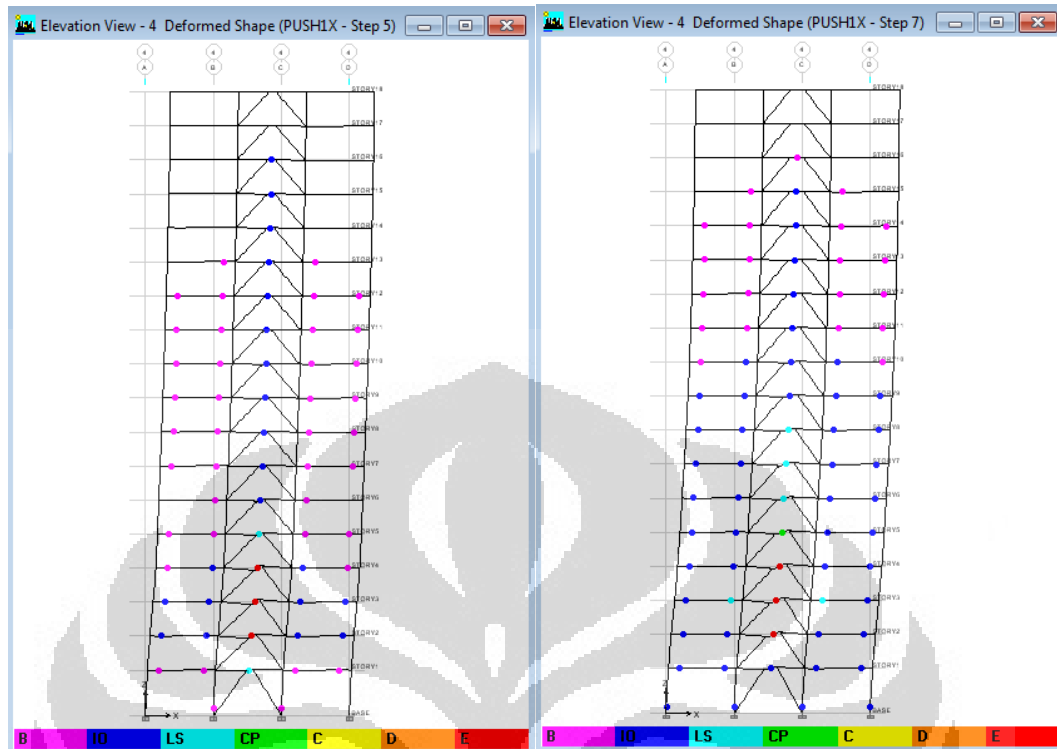


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan  
Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

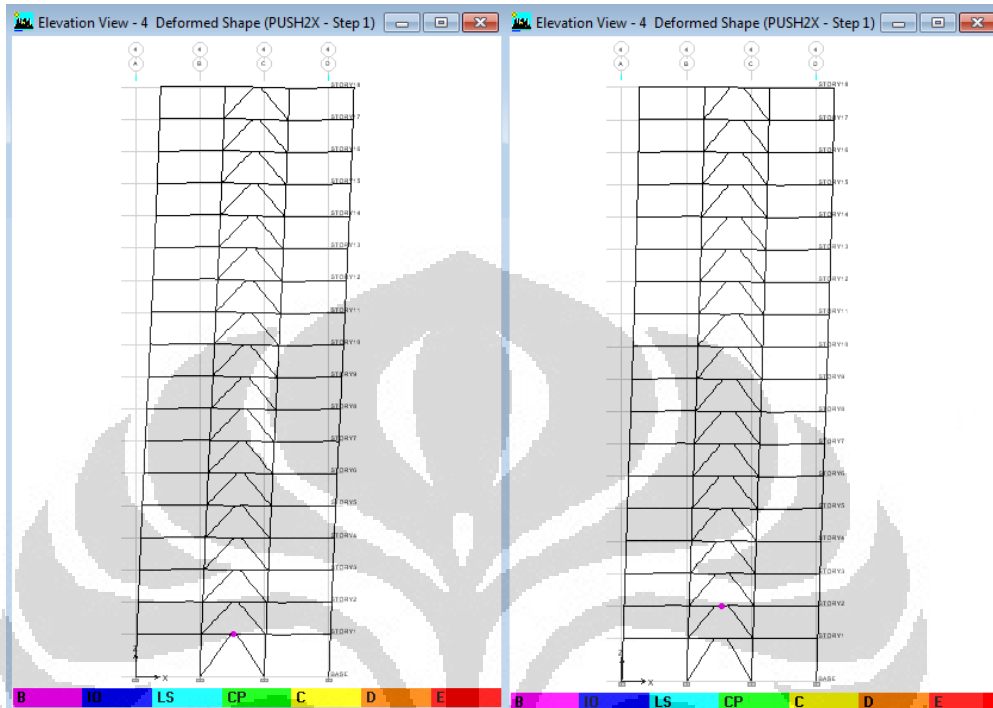
(Sambungan)



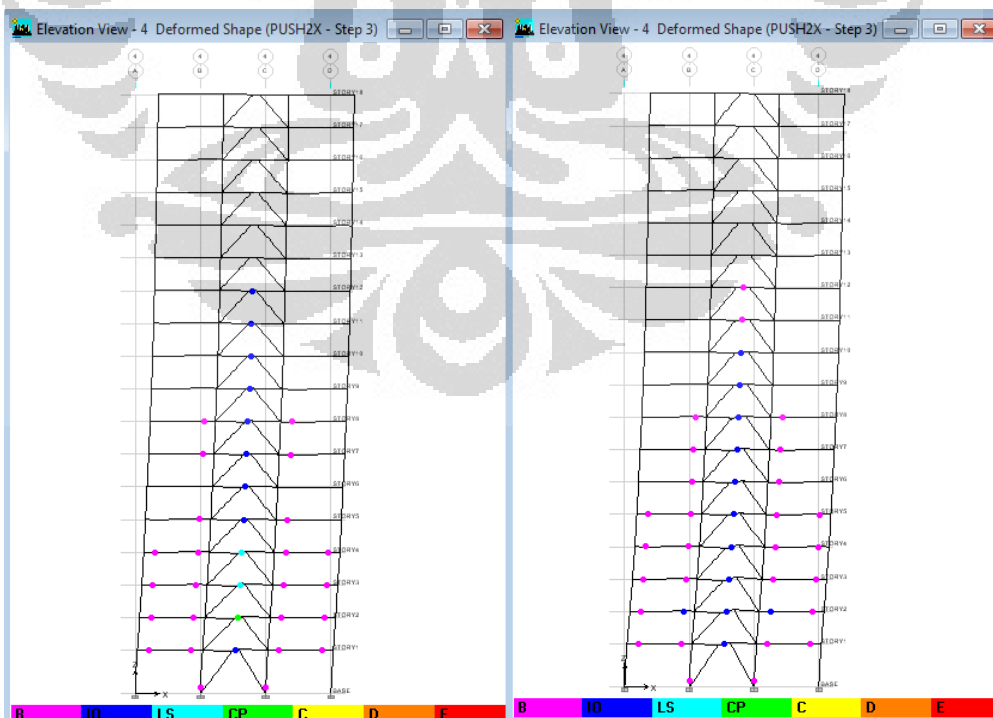
Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal X Model *K-Split EBF* 18 Lantai Pola Gempa 2 Arah X

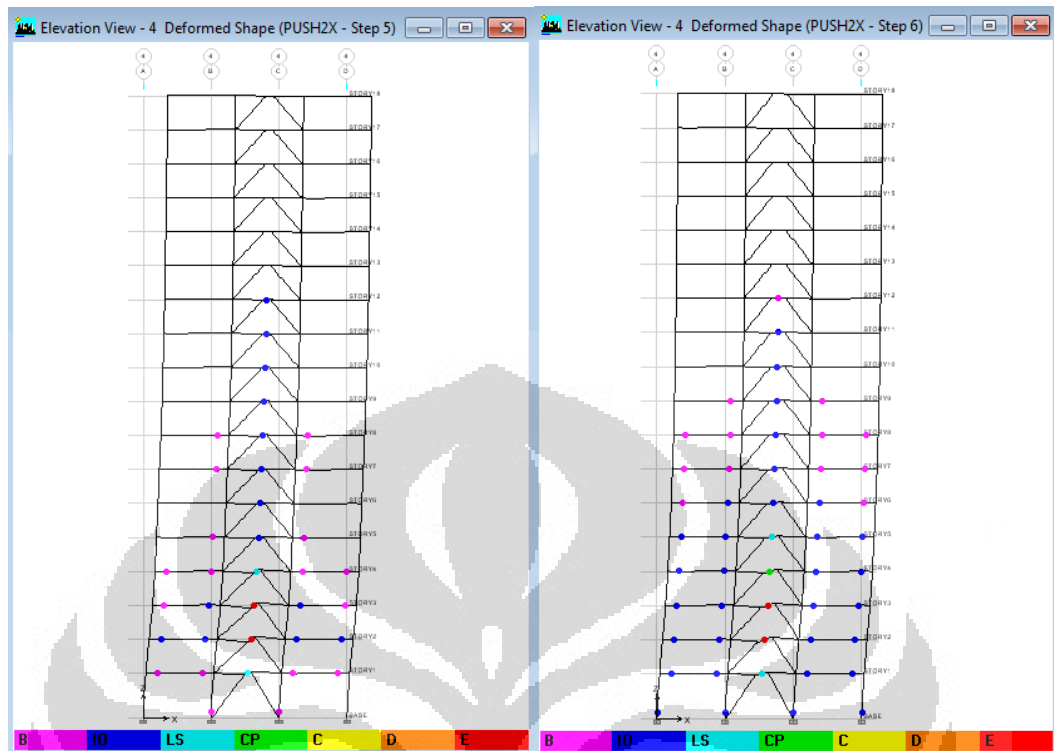


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal X Model *K-Split EBF* 12 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan  
Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

(Sambungan)

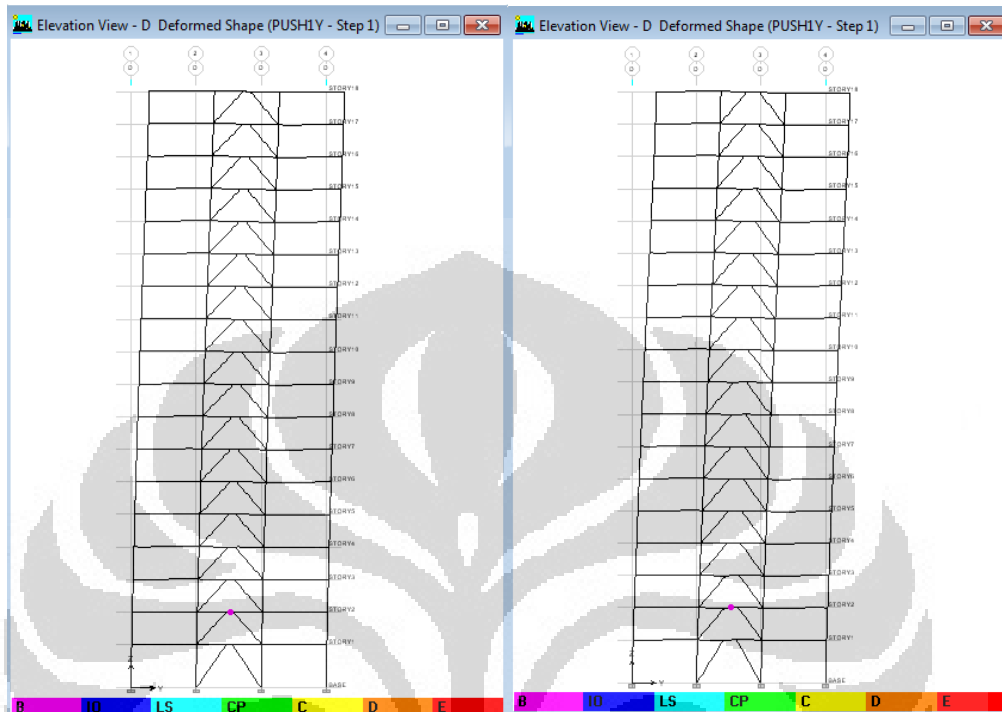


Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal X Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

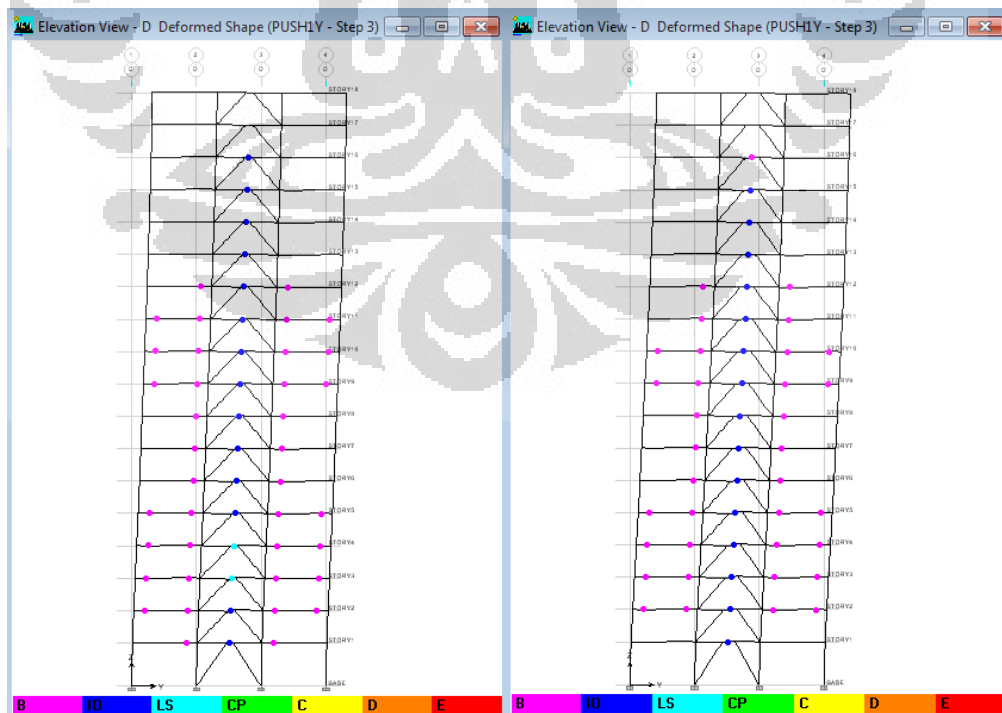


(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal Y Model *K-Split EBF* 18 Lantai Pola Gempa 1 Arah Y

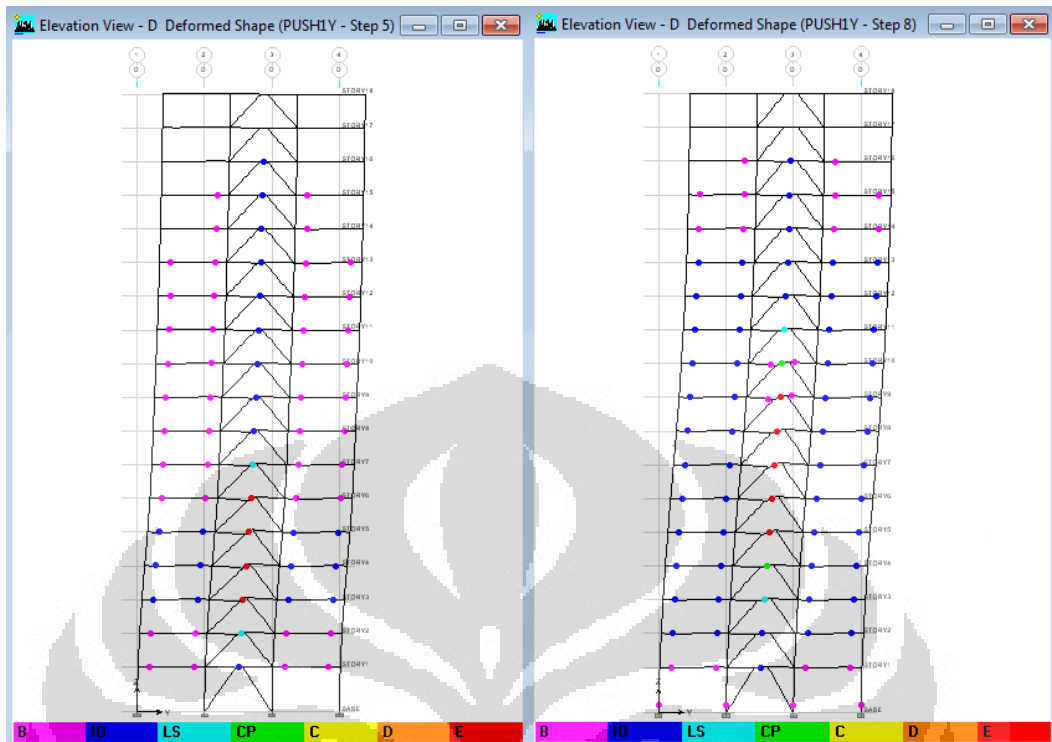


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

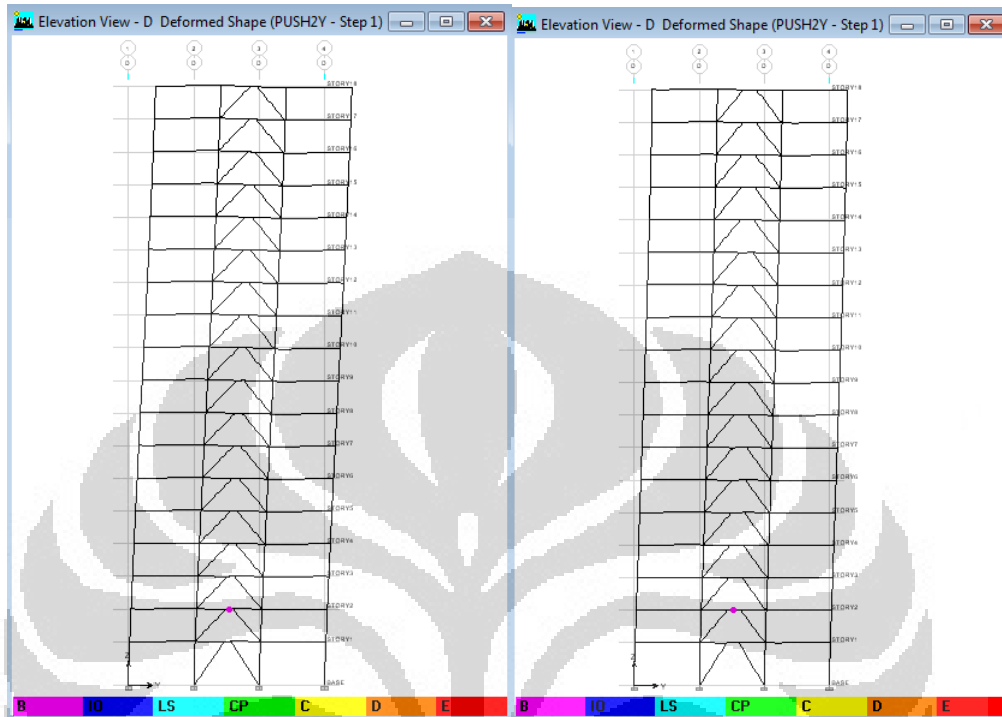
(Sambungan)



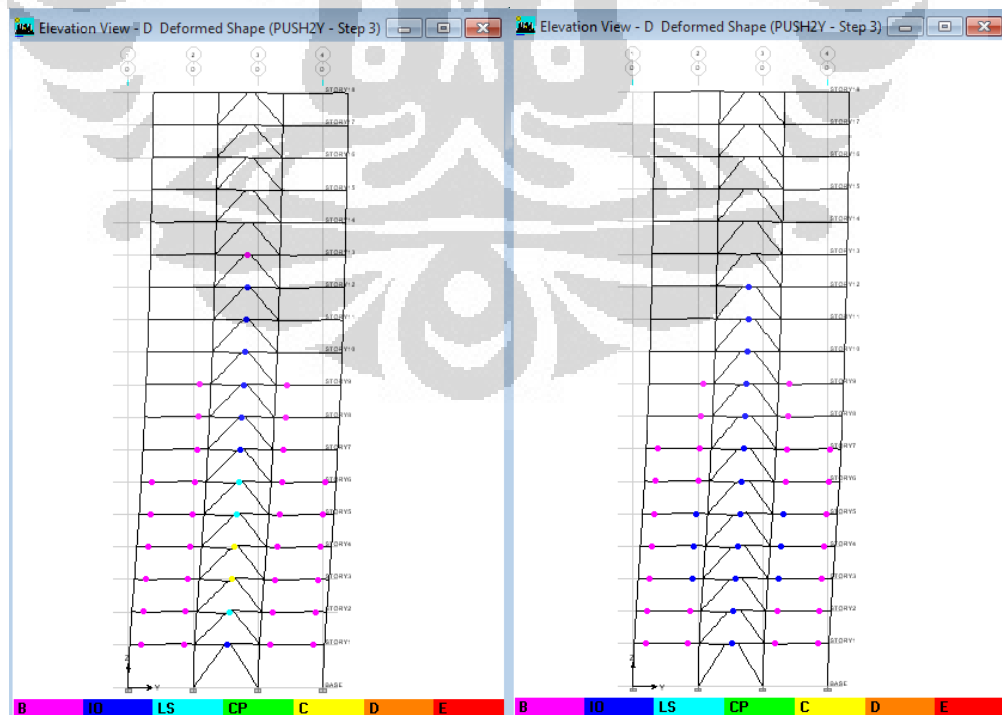
Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

(Sambungan)

## Mekanisme Sendi Plastis Portal Y Model *K-Split EBF* 18 Lantai Pola Gempa 2 Arah Y

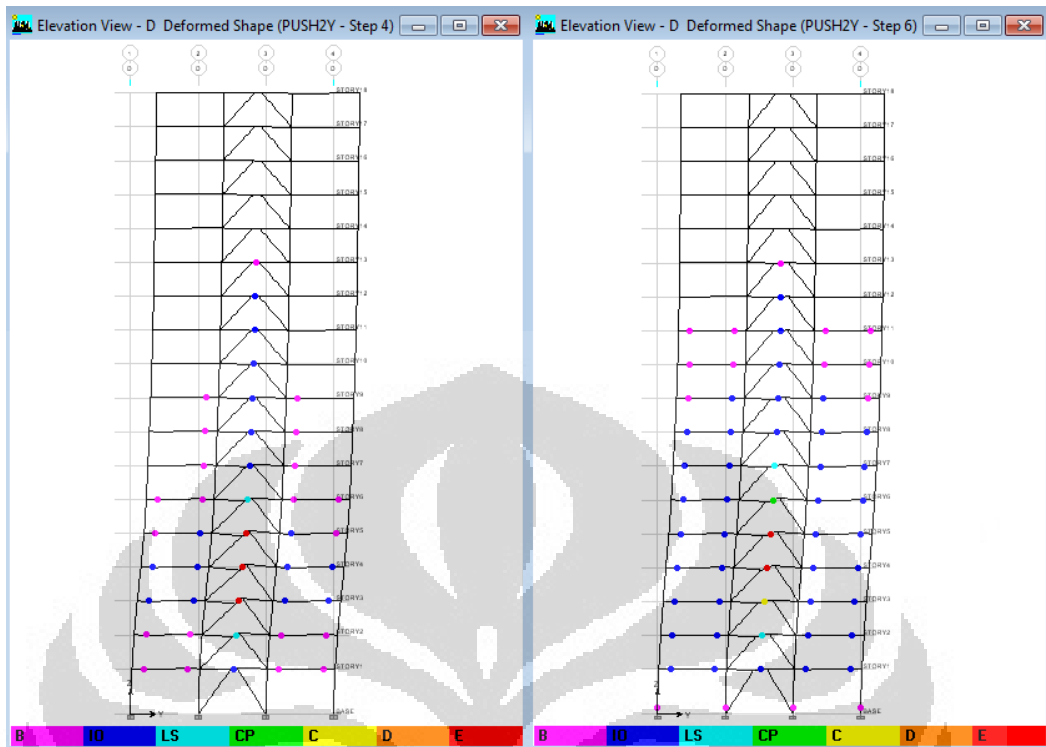


Gambar Leleh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))



Gambar Portal Y Model *K-Split EBF* 12 Lantai saat Mencapai Kinerja Bangunan, Model dengan  
Panjang *link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan)

(Sambungan)



Gambar Runtuh Pertama pada *Link beam* Portal Y Model *K-Split EBF* 18 Lantai  
(*link beam* 0,6 m (kiri) & 1,2 m (kanan))

