



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI KINERJA *ECCENTRICALLY BRACED FRAMES*
SEBAGAI SISTEM PENAHAN GAYA LATERAL DENGAN
ANALISIS *PUSHOVER***

SKRIPSI

**BONA RYAN
0405010124**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
NOPEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI KINERJA *ECCENTRICALLY BRACED FRAMES*
SEBAGAI SISTEM PENAHAN GAYA LATERAL DENGAN
ANALISIS *PUSHOVER***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**BONA RYAN
0405010124**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN STRUKTUR
DEPOK
NOPEMBER 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Bona Ryan

NPM : 0405010124

Tanda Tangan :

Tanggal : 3 Nopember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Bona Ryan
NPM : 0405010124
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Seminar Skripsi : Evaluasi Kinerja *Eccentrically Braced Frames*
sebagai Sistem Penahan Gaya Lateral dengan
Analisis *Pushover*

Telah berhasil dipertahankan 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 : Ir. Syahril A. R., M.Eng (.....)

Penguji : Dr-Ing. Ir. Henki W. Ashadi (.....)

Penguji : Dr. Ir. Heru Purnomo, DEA (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Nopember 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, karena atas kasih karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Syahril A. Rahim, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan doa, perhatian, serta dukungan material dan moral;
- (3) Sahabat dan teman-teman saya yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 3 Nopember 2009

Penulis

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

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

Nama : Bona Ryan
NPM : 0405010124
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:

**EVALUASI KINERJA *ECCENTRICALLY BRACED FRAMES* SEBAGAI
SISTEM PENAHAN GAYA LATERAL 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 tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok
Pada tanggal : 3 Nopember 2009
Yang menyatakan

(Bona Ryan)

ABSTRAK

Nama : Bona Ryan
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Evaluasi Kinerja *Eccentrically Braced Frames* sebagai Sistem Penahan Gaya Lateral dengan Analisis *Pushover*

Skripsi ini membahas kinerja *Eccentrically Braced Frames* dalam menahan gaya lateral akibat gempa berdasarkan prinsip *performance-based design*. Perencanaan struktur tahan gempa saat ini umumnya didasarkan pada analisis struktur elastis yang kemudian diberi faktor beban untuk mensimulasi kondisi ultimate (batas). Pada kenyataannya perilaku keruntuhan struktur saat gempa adalah inelastis. Oleh karena itu, perancangan struktur berdasarkan peraturan ini seringkali tidak dapat menunjukkan dengan tepat respon inelastis struktur di bawah pembebanan gempa kuat.

Perancangan berbasis gaya (*force based*) juga tidak dapat menunjukkan secara langsung kinerja struktur di bawah pembebanan rencana, sehingga potensi kerusakan yang dapat dialami struktur tidak dapat diketahui dengan tepat. Kinerja ini nantinya terkait dengan resiko keselamatan pengguna bangunan (*life*), kesiapan pakai bangunan (*occupancy*), dan kerugian ekonomi (*economic loss*) yang dapat dialami pemilik bangunan.

Trend perencanaan struktur saat ini mulai beralih dari perencanaan berbasis kekuatan (*strength-based*) ke arah perencanaan berbasis performa (*performance-based design, PBD*). Pada PBD, perencanaan dilakukan dengan menetapkan berbagai tingkat kinerja (*multiple performance levels*) yang diharapkan dipenuhi pada saat struktur menerima beban gempa dengan berbagai tingkat intensitas. Saat ini terdapat tiga metode evaluasi kinerja dengan analisis statik nonlinier, yaitu metode spektrum kapasitas ATC-40, metode koefisien perpindahan FEMA 356, dan metode koefisien perpindahan yang diperbaiki FEMA 440.

Penelitian ini adalah penelitian simulasi numerik dengan bantuan program komputer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur EBF memiliki kinerja yang baik dalam melokalisir lokasi sendi plastis yang terjadi akibat beban gempa, sehingga dapat membatasi kerusakan struktural pada bangunan. Melalui analisis *pushover*, dapat diketahui perilaku keruntuhan suatu struktur akibat gempa.

Kata kunci: *eccentrically braced frames, performance-based design, target perpindahan, tingkat kinerja, analisis statik nonlinier*

ABSTRACT

Name : Bona Ryan
Study Program: Civil Engineering
Title : Evaluation of Eccentrically Braced Frames's Seismic Performance with Pushover Nonlinear Analysis

The focus of this study is to discuss the seismic performance of eccentrically braced frames under seismic loading based on performance-based design criteria. Currently, seismic resistant building design procedure is doing based on elastic structural analysis that added R factor to simulate ultimate (inelastic) condition. In reality, most of structural behavior during seismic event is inelastic. Therefore current code cannot show exactly the inelastic response of structures due to seismic loading.

This forced based analysis also cannot show directly the damage potential that can be suffered by the building. This performance, furthermore, related to life safety, building occupancy, and economic loss suffered by the owner.

Now, building design procedure is starting to change over from strength-based design to performance-based design. In this procedure, the designer can choose expected performance level of the structure under seismic loading. There are three method can be used to determine target displacement based on static nonlinear pushover analysis, that is improved displacement coefficient method FEMA 440, displacement coefficient method FEMA 356, and capacity spectrum method ATC-40.

Results of this study indicated that EBF structures have well performance in localize plastic hinge formation and then restrict structural damage of the building. By doing pushover analysis, it is possible to see post-yielding behavior of the structure under seismic loading.

Key words: eccentrically braced frames, performance-based design, target displacement, performance level, nonlinear static analysis

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	7
I.1 LATAR BELAKANG	7
I.2 TUJUAN PENELITIAN.....	9
I.3 MANFAAT PENELITIAN	9
I.4 BATASAN MASALAH.....	9
I.5 METODE PENELITIAN.....	9
I.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	10
BAB II STUDI LITERATUR	11
II.1 ECCENTRICALLY BRACED FRAMES (EBF)	11
II.2 PERANCANGAN ECCENTRICALLY BRACED FRAMES (EBF)	13
II.2.1 KRITERIA DESAIN BERDASARKAN PERATURAN SNI	15
II.2.2 DESAIN ELASTIS	17
II.2.3 DESAIN ULTIMIT	17
II.2.4 KONSEP PENDEKATAN DESAIN KAPASITAS	18
II.2.5 PERENCANAAN STRUKTUR TAHAN GEMPA BERBASIS KINERJA	22
II.2.5.1 Pendahuluan.....	22
II.2.5.2 Prosedur Perencanaan Berbasis Kinerja	23
II.2.5.3 Kriteria Penerimaan (<i>Acceptance Criteria</i>)	26
II.2.5.3.1 Elemen dan komponen struktur.....	26
II.2.5.3.2 Kriteria Penerimaan.....	29
II.2.6 ANALISIS BEBAN DORONG STATIK (<i>PUSHOVER ANALYSIS</i>)	32
II.2.6.1 Pola Beban Dorong	33
II.2.6.2 Target Perpindahan	34
II.2.6.3 Metoda Spektrum Kapasitas (<i>CSM</i>).....	34
II.2.6.1.1 Kurva Kapasitas Dan Spektrum Kapasitas.....	36
II.2.6.1.2 Spektrum Demand (<i>Demand Spectrum</i>)	37
II.2.6.4 Metode Koefisien Perpindahan (<i>DCM</i>)	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	43
III.1 PROSEDUR ANALISIS	43
III.1.1 Tahapan Analisis	43
III.1.2 Prosedur Pushover dengan SAP 2000	44

III.1.3	Parameter studi	48
III.1.4	Modelisasi	49
III.1.4.1	Model Struktur Gedung 5 Lantai	51
III.1.4.3	Model Struktur Gedung 9 Lantai	53
III.1.4.4	Pembebanan	54
III.1.4.5	Analisis yang digunakan	56
BAB IV	ANALISIS HASIL SIMULASI MODEL STRUKTUR	57
IV.1	MODEL STRUKTUR GEDUNG 5 LANTAI.....	57
IV.1.1	Analisis Beban Gempa	57
A.	Model Moment Resisting Frame (MRF)	57
B.	Model Eccentrically Braced Frames (EBF).....	58
IV.1.2	Analisis Pushover Pada Elemen Struktur	58
A.	Model Moment Resisting Frame (MRF)	58
B.	Model Struktur Eccentrically Braced Frames (EBF)	62
IV.1.3	Analisis Perbandingan Stuktur MRF Vs EBF	64
IV.2	MODEL STRUKTUR GEDUNG 7 LANTAI.....	72
IV.2.1	Analisis Beban Gempa	72
A.	Model Moment Resisting Frame (MRF)	72
B.	Model Eccentrically Braced Frames (EBF).....	73
IV.2.2	Analisis Push Over Pada Elemen Struktur	73
A.	Model Moment Resisting Frame (MRF)	73
B.	Model Stuktur Eccentrically Braced Frames (EBF)	75
IV.2.3	Analisis Perbandingan Stuktur MRF Vs EBF	77
IV.3	MODEL STRUKTUR GEDUNG 9 LANTAI.....	84
IV.3.1	Analisis Beban Gempa	84
A.	Model Moment Resisting Frame (MRF)	84
B.	Model Eccentrically Braced Frames (EBF).....	85
IV.3.2	Analisis Push Over Pada Elemen Struktur	85
A.	Model Moment Resisting Frames (MRF).....	85
B.	Model Stuktur Eccentrically Braced Frames (EBF)	87
IV.3.3	Analisis Perbandingan Stuktur MRF Vs EBF	88
IV.4	PENGARUH POLA BEBAN LATERAL TERHADAP SEISMIC PERFORMANCE STRUKTUR	95

IV.5 PENGARUH PANJANG LINK (e) TERHADAP SEISMIC PERFORMANCE STRUKTUR.....	101
IV.6 PENGARUH KONFIGURASI / TIPE BRACING TERHADAP SEISMIC PERFORMANCE STRUKTUR	107
IV.7 PENGARUH JUMLAH LANTAI TERHADAP SEISMIC PERFORMANCE LEVEL STRUKTUR	112
BAB V KESIMPULAN	115
DAFTAR PUSTAKA	117

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 4.01 Pengecekan Eksentrisitas dan Drift Gedung 5 Lantai.....	112
LAMPIRAN 4.02 Analisis Dinamik Gedung EBF.....	114
LAMPIRAN 4.03 Tabel PushOver untuk Model Struktur Eccentrically Braced Frames (EBF) 5 Lantai.....	116
LAMPIRAN 4.04 Tabel PushOver untuk Model Struktur Eccentrically Braced Frames (EBF) 7 Lantai.....	125
LAMPIRAN 4.05 Tabel PushOver untuk Model Struktur Eccentrically Braced Frames (EBF) 9 Lantai.....	134
LAMPIRAN 4.06 Pengecekan Panjang Link.....	143
LAMPIRAN 4.07 Lokasi Pembentukan Sendi Plastis Struktur Gedung 5 lantai (Kondisi Titik Kinerja).....	145
LAMPIRAN 4.08 Lokasi Pembentukan Sendi Plastis Struktur Gedung 7 lantai (Kondisi Titik Kinerja)	146
LAMPIRAN 4.09 Lokasi Pembentukan Sendi Plastis Struktur Gedung 9 lantai (Kondisi Titik Kinerja)	147
LAMPIRAN 4.10 Lokasi Pembentukan Sendi Plastis Struktur Gedung 5 lantai (Kondisi Ultimit)	149
LAMPIRAN 4.11 Lokasi Pembentukan Sendi Plastis Struktur Gedung 7 lantai (Kondisi Ultimit)	150
LAMPIRAN 4.12 Lokasi Pembentukan Sendi Plastis Struktur Gedung 9 lantai (Kondisi Ultimit)	151
LAMPIRAN 4.13 Profil Terpakai Model Struktur MRF	153
LAMPIRAN 4.14 Kutipan Data dari FEMA 356.....	154

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Level Kinerja Struktural	23
Tabel 2. Level Kinerja Non-Struktural	24
Tabel 3. Building Performance Level	24
Tabel 4. Contoh seismic performace level untuk bangunan penting	25
Tabel 5. Contoh seismic performace level untuk bangunan biasa	25
Tabel 6. Parameter pemodelan dan kriteria penerimaan untuk prosedur non-linier	30
Tabel 7. Periode getar alami bangunan MRF 5 lantai.....	57
Tabel 8. Perhitungan beban gempa statik ekuivalen gedung 5 lantai MRF	58
Tabel 9. Pengecekan rasio gaya geser dasar dinamik - statik	58
Tabel 10. Pembentukan sendi plastis pada gedung MRF 5 lantai.....	59
Tabel 11. Evaluasi kinerja sesuai ATC-40.....	61
Tabel 12. <i>Performance level</i> elemen struktur pada gedung MRF 5 lantai.....	62
Tabel 13. Target perpindahan sesuai ATC-40	62
Tabel 14. Target perpindahan sesuai FEMA 356 dan FEMA 440.....	63
Tabel 15. Seismic performance level gedung 5 lantai	63
Tabel 16. Berat model struktur 5 lantai.....	68
Tabel 17. <i>Strength-to-Weight ratio</i> model struktur 5 lantai.....	69
Tabel 18. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 5 Lantai.....	69
Tabel 19. Distribusi Sendi Plastis Gedung 5 Lantai	70
Tabel 20. Global performance level gedung 5 lantai	70
Tabel 21. Periode getar alami bangunan MRF 7 lantai.....	72
Tabel 22. Perhitungan beban gempa statik ekuivalen gedung 7 lantai MRF	72
Tabel 23. Pengecekan rasio gaya geser dasar dinamik - statik	72
Tabel 24. Pembentukan sendi plastis pada gedung MRF 7 lantai.....	73
Tabel 25. Target perpindahan sesuai ATC-40	75
Tabel 26. <i>Performance level</i> elemen struktur pada gedung MRF 7 lantai.....	75
Tabel 27. Target perpindahan gedung 7 lantai sesuai FEMA 356 dan FEMA 440	76
Tabel 28. Seismic performance level gedung 7 lantai	76
Tabel 29. Berat model struktur 7 lantai.....	80
Tabel 30. <i>Strength-to-Weight ratio</i> model struktur 7 lantai.....	81
Tabel 31. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 7 Lantai.....	81
Tabel 32. Distribusi Sendi Plastis Gedung 7 Lantai	82
Tabel 33. Global performance level gedung 7 lantai	82
Tabel 34. Periode getar alami bangunan MRF 9 lantai.....	84
Tabel 35. Perhitungan beban gempa statik ekuivalen gedung 9 lantai MRF	84
Tabel 36. Pengecekan rasio gaya geser dasar dinamik - statik	84
Tabel 37. Pembentukan sendi plastis pada gedung MRF 9 lantai.....	85
Tabel 38. <i>Performance level</i> elemen struktur pada gedung MRF 9 lantai.....	87
Tabel 39. Target perpindahan gedung 9 lantai sesuai FEMA 356 dan FEMA 440	87
Tabel 40. Seismic performance level gedung 9 lantai	88
Tabel 41. Berat model struktur 9 lantai.....	91
Tabel 42. <i>Strength-to-Weight ratio</i> model struktur 9 lantai.....	92
Tabel 43. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 9 Lantai.....	93
Tabel 44. Distribusi Sendi Plastis Gedung 9 Lantai	93
Tabel 45. Global performance level gedung 9 lantai	94

Tabel 46. Target perpindahan dan level kinerja gedung 5 lantai	101
Tabel 47. <i>performance level</i> struktur 5,7 dan 9 lantai (case: 1st mode)	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Konfigurasi Umum <i>Eccentrically Braced Frames</i>	12
Gambar 2. Perilaku <i>hysteretic</i> dari ketiga jenis portal baja. (a) <i>Moment-resisting frames</i> ; (b) <i>concentric braced frames</i> ; (c) <i>eccentric braced frames</i>	13
Gambar 3. Perbandingan mekanisme disipasi energi. (a) <i>beam side sway mechanism</i> ; (b) <i>column hinge mechanism</i>	19
Gambar 4. Peningkatan momen dalam	20
Gambar 5. Bentuk lendutan dan mekanisme runtuh	20
Gambar 6. Hubungan beban-lendutan	21
Gambar 7. Matriks Kinerja (FEMA 303).....	25
Gambar 8. Diagram alur <i>performance-based design</i>	26
Gambar 9. Perilaku Gaya-Deformasi dan Parameternya	27
Gambar 10. Definisi Perputaran Untuk Evaluasi.....	28
Gambar 11. Kriteria penerimaan menurut level kinerja.....	29
Gambar 12. Pola beban lateral	33
Gambar 13. Performance Point pada Capacity Spectrum Method.....	34
Gambar 14. Beberapa titik kinerja dalam satu grafik dalam CSM	35
Gambar 15. Kurva Kapasitas	36
Gambar 16. Spektrum respon yang ditampilkan dalam format standar dan ADRS	38
Gambar 17. Reduksi respon spektrum	38
Gambar 18. Penentuan titik kinerja menurut spektrum kapasitas.....	39
Gambar 19. Periode Getar Alami dari Kurva Pushover.....	40
Gambar 20. Skematik Prosedur Metode Koefisien Perpindahan (<i>FEMA 440</i>).....	42
Gambar 21. Contoh model struktur sederhana.....	44
Gambar 22. Data <i>hinge properties</i>	45
Gambar 23. menentukan sendi plastis.....	45
Gambar 24. Data <i>load case pushover</i>	46
Gambar 25. Kurva pushover	46
Gambar 26. Data tabular untuk kurva pushover	47
Gambar 27. Kurva spectrum kapasitas	47
Gambar 28. Deformasi dan gaya member step by step.....	48
Gambar 29. Konfigurasi bresing. (a) EBF tipe D, (b) EBF tipe Split-V, (c) EBF tipe V	49
Gambar 30. Denah Bangunan Tipikal (m).....	50
Gambar 31. Elevasi Portal Pinggir (m).....	50
Gambar 32. Model 3D gedung 5 lantai.....	51
Gambar 33. Model 3D gedung 7 lantai.....	52
Gambar 34. Model 3D gedung 9 lantai.....	53
Gambar 35. Respon spektrum percepatan gempa rencana.....	55
Gambar 36. Grafik kurva kapasitas gedung MRF 5 lantai.....	59
Gambar 37. Spektrum kapasitas gedung MRF 5 lantai.....	60

Gambar 38. Grafik rasio kekakuan pada gedung EBF 5 lantai.....	65
Gambar 39. Grafik periode getar alami gedung EBF 5 lantai.....	66
Gambar 40. Grafik rasio kekuatan pada gedung EBF 5 lantai.....	67
Gambar 41. Grafik rasio daktilitas pada gedung EBF 5 lantai	68
Gambar 42. Grafik rasio berat material terpakai gedung EBF 5 lantai.....	68
Gambar 43. Grafik kurva kapasitas gedung MRF 7 lantai.....	73
Gambar 44. Spektrum kapasitas gedung MRF 7 lantai.....	74
Gambar 45. Grafik rasio kekakuan pada gedung EBF 7 lantai.....	77
Gambar 46. Grafik periode getar alami gedung EBF 7 lantai.....	78
Gambar 47. Grafik rasio kekuatan pada gedung EBF 7 lantai.....	79
Gambar 48. Grafik rasio daktilitas pada gedung EBF 7 lantai	80
Gambar 49. Grafik rasio berat material terpakai gedung EBF 7 lantai.....	80
Gambar 50. Grafik kurva kapasitas gedung MRF 9 lantai.....	85
Gambar 51. Spektrum kapasitas gedung MRF 9 lantai.....	86
Gambar 52. Grafik rasio kekakuan pada gedung EBF 9 lantai.....	89
Gambar 53. Grafik periode getar alami gedung EBF 9 lantai.....	89
Gambar 54. Grafik rasio kekuatan pada gedung EBF 9 lantai.....	90
Gambar 55. Grafik rasio daktilitas pada gedung EBF 9 lantai	91
Gambar 56. Grafik rasio berat material terpakai gedung EBF 9 lantai.....	92
Gambar 57. Grafik interstory drift ratio dan floor displacement struktur EBF dan MRF 5, 7, dan 9 lantai ($e = 0,9m$).....	95
Gambar 58. Grafik gaya dalam lintang dan momen balok link struktur EBF 5, 7, dan 9 lantai ($e = 0,9m$).....	97
Gambar 59. Grafik rasio kekakuan, kekuatan, dan daktilitas gedung 5 lantai.....	98
Gambar 60. Grafik rasio kekakuan, kekuatan, dan daktilitas gedung 7 lantai.....	98
Gambar 61. Grafik rasio kekakuan, kekuatan, dan daktilitas gedung 9 lantai.....	99
Gambar 62. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF 5, 7, dan 9 lantai ($e = 0,9m$).....	100
Gambar 63. Grafik story drift ratio dan displacement struktur EBF tipe D (case: 1st mode).....	102
Gambar 64. Grafik story drift ratio dan displacement EBF tipe Split-V (case: 1st mode)	102
Gambar 65. Grafik story drift ratio dan displacement struktur EBF tipe V (case: 1st mode).....	102
Gambar 66. Grafik gaya dalam lintang dan momen struktur EBF tipe D (case: 1st mode).....	103
Gambar 67. Grafik gaya dalam lintang dan momen EBF tipe Split-V (case: 1st mode).....	103
Gambar 68. Grafik gaya dalam lintang dan momen struktur EBF tipe V (case: 1st mode).....	103
Gambar 69. Grafik gaya dalam aksial bracing struktur EBF (case: 1st mode).....	104
Gambar 70. Grafik rasio kekakuan, kekuatan, dan daktilitas gedung 5 lantai (case: 1st mode).....	105
Gambar 71. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF Tipe D (case: 1st mode).....	106
Gambar 72. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF Tipe Split-V (case: 1 st mode)	106
Gambar 73. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF Tipe V (case: 1 st mode).....	106
Gambar 74. Grafik <i>story drift ratio</i> dan <i>floor displacement</i> gedung MRF dan EBF variasi konfigurasi bracing (case: 1st mode, $e = 0,9m$)	108
Gambar 75. Grafik gaya dalam lintang dan momen balok link struktur EBF (case: 1st mode)	109
Gambar 76. Grafik gaya dalam aksial pada bracing struktur EBF (case: 1st mode, $e=0,7m$)	109
Gambar 77. Grafik rasio kekakuan, kekuatan dan daktilitas gedung 5 lantai (case: 1st mode).....	110
Gambar 78. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF ($e=1,2m$).....	111
Gambar 79. Grafik rasio kekakuan gedung 5 lantai (case: 1st mode)	112
Gambar 80. Grafik rasio kekuatan gedung 5 lantai (case: 1st mode)	113
Gambar 81. Grafik rasio daktilitas gedung 5 lantai (case: 1st mode)	113
Gambar 82. Grafik rasio periode getar.....	114

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Sebagian besar wilayah Indonesia merupakan daerah rawan gempa karena berada di daerah pertemuan empat lempeng tektonik besar, yaitu lempeng Pasifik, Eurasia, Filipina, dan Indo-Australia. Masalah ini menjadi salah satu faktor penting yang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur di Indonesia. Struktur harus didesain agar mampu memikul beban gempa rencana yang diberikan.

Gelombang gempa mengakibatkan permukaan tanah mengalami pergerakan horizontal dan vertikal yang acak, menghasilkan eksitasi berupa percepatan, \ddot{u}_g , pada taraf lantai dasar struktur. Ketika permukaan tanah bergerak, gaya inersia memberikan perlawanan dengan berusaha menjaga struktur pada posisi semula, menghasilkan peralihan dan gaya dalam tambahan pada struktur. Respon struktur terhadap gempa ini merupakan interaksi antara pengaruh percepatan tanah dan karakteristik dinamik struktur.

Struktur bangunan tahan gempa yang umum terbuat dari material beton atau baja atau gabungan keduanya (struktur komposit). Material baja memberikan beberapa keuntungan untuk desain struktur tahan gempa karena baja memiliki tingkat daktilitas dan penyerapan energi yang tinggi. Struktur portal baja tahan gempa yang biasa digunakan adalah *Moment Resisting Frames* (MRF) dan *Braced Frames* jenis *Concentrically Braced Frames* (CBF). MRF memiliki sifat yang daktil tetapi seringkali terlalu fleksibel untuk memenuhi persyaratan kontrol simpangan, sementara CBF memiliki sifat kaku sehingga kemampuan disipasi energinya terbatas. Sebagai perpaduan sifat menguntungkan dari kedua jenis braced frame tersebut, saat ini berkembang penggunaan *Eccentrically Braced Frame* (EBF). EBF memiliki kekakuan yang tinggi seperti CBF serta daktilitas dan kapasitas disipasi energi yang baik seperti MRF.

Peraturan perencanaan yang berlaku saat ini yaitu Tatacara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002), maupun Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1729-2002), dibuat menggunakan konsep perhitungan berbasis gaya (*force based*). Perencanaan berbasis gaya tidak menyatakan dengan spesifik kriteria kinerja yang ingin dicapai. Pada metode

ini struktur dirancang berdasarkan keselamatan pengguna bangunan dengan mencegah terjadinya keruntuhan total (*collapse*) struktur pada gempa kuat. Pengamatan terhadap gempa besar yang terjadi, seperti gempa Northridge (1994) dan Kobe (1999), menunjukkan perencanaan berdasarkan kekuatan telah berhasil mengurangi korban jiwa menjadi sangat kecil, karena struktur tidak runtuh. Tetapi kerusakan struktur dapat sedemikian rupa sehingga struktur tersebut tidak dapat diperbaiki dan tidak berfungsi lagi. Hal ini tentunya menimbulkan kerugian ekonomi yang besar bagi pemilik bangunan dan juga menjadi masalah bagi beberapa struktur khusus seperti struktur penting yang kritikal, struktur dimana tingkat kerusakan harus dibatasi, atau struktur yang harus dapat segera digunakan kembali setelah gempa.

Perencanaan berbasis kinerja (*Performance Based Design*) yang sedang dikembangkan saat ini, menggunakan kinerja struktur sebagai sasaran perencanaan. Perencanaan berbasis kinerja mensyaratkan taraf kinerja (*level of performance*) yang diinginkan untuk suatu taraf beban gempa dengan periode ulang tertentu. Metode ini memungkinkan desainer untuk mengetahui potensi kerusakan yang dapat dialami struktur. Prosedur perencanaan berbasis kinerja ini diatur dalam dokumen peraturan rekomendasi NEHRP (BSSC, 1995) FEMA-273.

Kinerja struktur dapat diketahui melalui evaluasi kinerja dengan berbagai metode analisis. FEMA-273 menyebutkan ada empat analisis yang dapat digunakan, yaitu statis linier, dinamis linier, statis nonlinier, dan dinamis nonlinier. Agar dapat menggambarkan kinerja struktur sampai dengan level *life safety limit state*, dimana struktur telah mengalami pelelehan pada beberapa tempat, diperlukan analisis riwayat waktu nonlinier (*nonlinear time history analysis, NLTHA*). Akan tetapi, metode ini memerlukan proses perhitungan yang rumit dan panjang sehingga kurang praktis untuk diterapkan dalam praktek perencanaan struktur. Salah satu alternatif analisis nonlinier yang lebih sederhana yang dapat digunakan adalah analisis statis nonlinier yang dinamakan *nonlinear static pushover analysis* atau analisis beban dorong statik.

I.2 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengevaluasi kinerja *eccentrically braced frame* di bawah pembebanan gempa rencana dengan menggunakan analisis statik nonlinier sehingga didapatkan *seismic performance level* dari struktur tersebut, dan membandingkannya dengan melakukan variasi terhadap konfigurasi bresing dan panjang link.
2. Mengetahui perbedaan hasil analisis *pushover* dengan metode spektrum kapasitas (*CSM*) ATC-40, metode koefisien perpindahan (*DCM*) FEMA 356, dan metode koefisien perpindahan yang diperbaiki (*DCM*) FEMA 440.

I.3 MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini bermanfaat untuk mengetahui perilaku struktur akibat beban gempa dengan menggunakan analisis *pushover*, sehingga nantinya dapat memberikan rekomendasi terhadap penggunaan metode analisis ini.

I.4 BATASAN MASALAH

Sistem *eccentrically braced frame* yang dibahas dalam studi ini dibatasi sebagai struktur portal baja EBF tiga dimensi tipe D, Split-V, dan V, dimana setiap struktur tersebut direncanakan menurut peraturan perencanaan bangunan tahan gempa Indonesia dengan menggunakan program ETABS v9.02. Prosedur analisis yang digunakan adalah analisis dinamik respon spektrum dan analisis beban dorong statik atau *pushover analysis*. Dalam penelitian ini, interaksi tanah-struktur (*soil-structure interaction*) tidak ditinjau.

I.5 METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui simulasi numerik dengan bantuan program analisis struktur ETABS v9.02 yang memiliki kemampuan untuk menganalisis struktur baik secara linier maupun nonlinier. Pada tahap awal dilakukan modelisasi struktur berdasarkan studi literatur. Model struktur yang telah dibuat diberikan berbagai beban rencana dan dianalisis dengan menggunakan metode *pushover* untuk mendapatkan respon inelastis struktur.

I.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Laporan skripsi ini disusun dalam 6 Bab, yaitu :

BAB I. PENDAHULUAN

Bagian ini menguraikan tentang latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II. STUDI LITERATUR

Bagian ini menjelaskan tentang dasar teori dan peraturan yang berlaku, yang dijadikan dasar pemodelan dan analisis. Bab ini juga menjelaskan konsep *performance-based design* dan analisis seismik yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur, yaitu analisis beban dorong statis nonlinier.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menjelaskan tentang informasi umum perencanaan, parameter studi, modelisasi struktur, serta analisis yang digunakan untuk model yang telah dibuat.

BAB IV. HASIL ANALISIS MODEL STRUKTUR

Bagian ini menjelaskan tentang hasil analisis dinamik respon spektrum dan analisis pushover untuk masing – masing model struktur. Bab ini juga menjelaskan analisis perbandingan model struktur berdasarkan parameter studi yang telah ditetapkan.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini menjelaskan tentang kesimpulan yang didapat dari hasil analisis. 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 II

STUDI LITERATUR

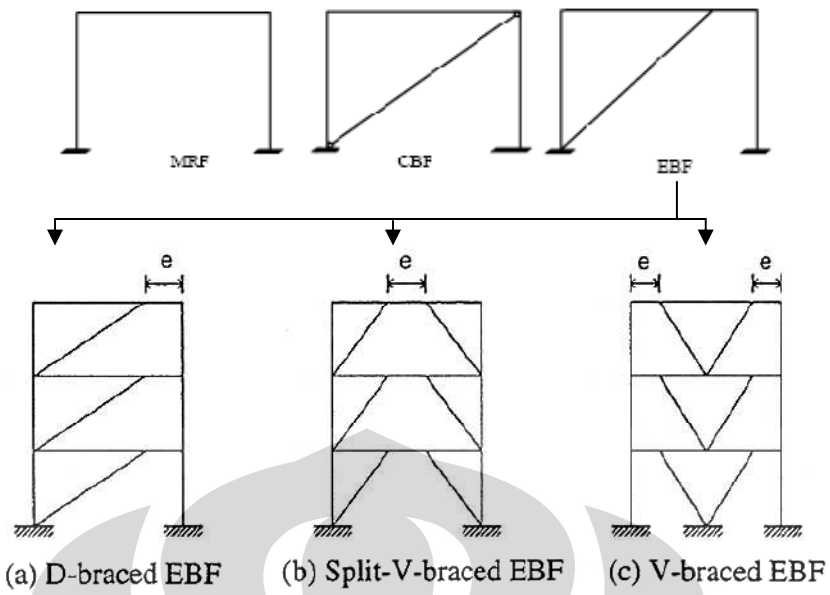
II.1 ECCENTRICALLY BRACED FRAMES (EBF)

Eccentrically Braced Frame (EBF) adalah suatu sistem struktur portal baja penahan gaya lateral dimana salah satu ujung bresingnya tidak terhubung secara konsentrik ke kolom atau ujung bresing lainnya tetapi dipisahkan oleh suatu segmen balok. Sistem portal ini menggabungkan dua sifat menguntungkan dari sistem portal konvensional: moment resisting frame (MRF) dan concentrically braced frame (CBF).

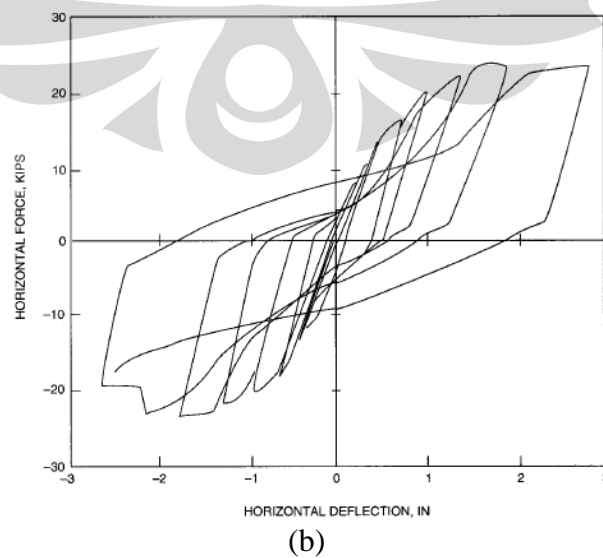
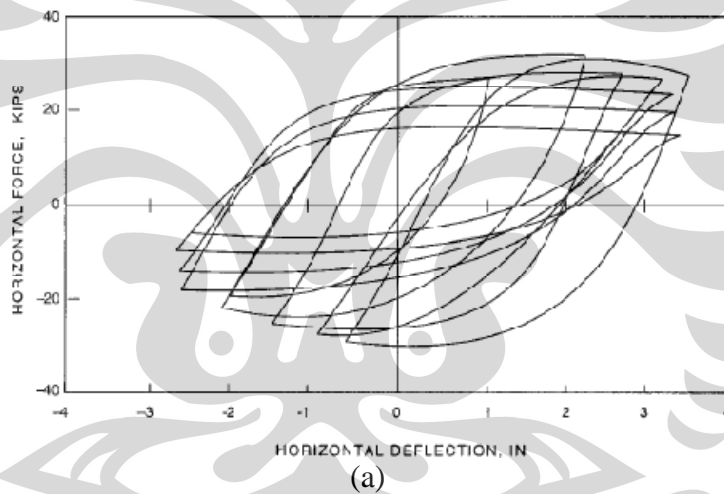
MRF merupakan sistem portal yang paling fleksibel, memiliki perilaku daktail dan inelastis yang stabil di bawah pembebanan siklik akibat gempa. Sistem ini tidak memiliki bresing penahan gaya lateral sehingga sebagian besar kekakuan dari portal diberikan oleh sambungan. Karena fleksibilitasnya yang tinggi, desain dari portal ini biasanya ditentukan oleh kriteria defleksi, dan sebagai hasilnya dimensi baja dan kekuatan yang dibutuhkan akan lebih besar. Sistem MRF paling kritis pada bagian sambungan kolom-balok dan sangat penting untuk menjaga daktilitas di daerah ini. Oleh karena itu, desain dan detailing sambungan yang baik sangat diperlukan pada sistem ini.

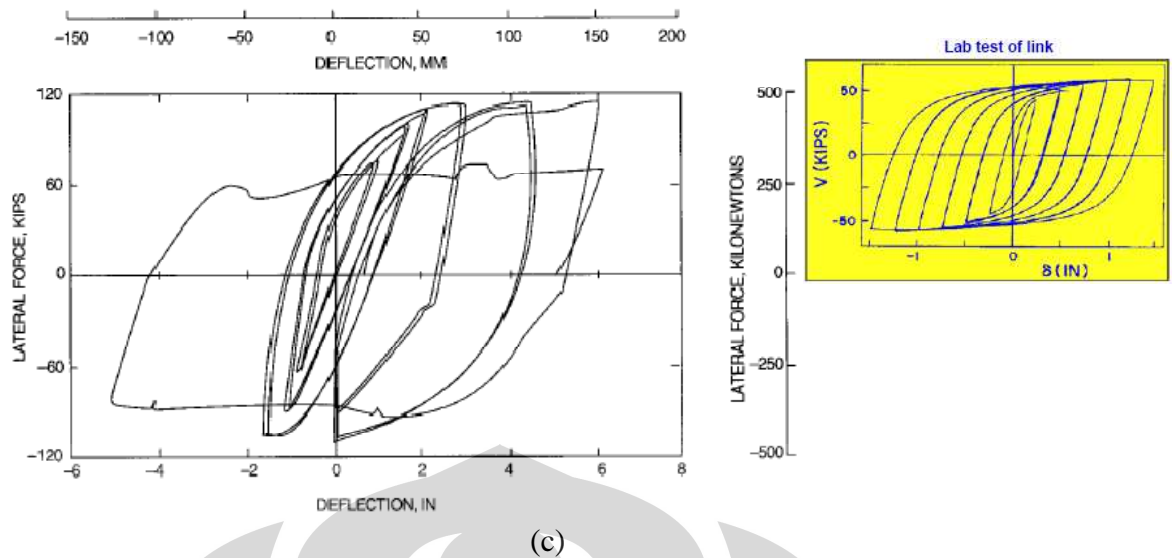
CBF terdiri dari sistem portal tipikal, dengan bresing yang dihubungkan pada sambungan antara kolom dan balok. Keberadaan bresing membuat CBF memiliki kekakuan lateral yang lebih besar sehingga dapat membatasi kerusakan akibat *drift*. Namun, di bawah pembebanan gempa yang kuat, bresing dapat mengalami tekuk. Daktilitas dan kapasitas disipasi energi CBF akan turun secara signifikan ketika bresing mengalami tekuk.

Eccentrically Braced Frames (EBF) sukses menggabungkan keunggulan dari MRF dan CBF, yakni memiliki kekakuan lateral yang tinggi, respon inelastik yang stabil terhadap pembebanan lateral siklik, serta daktilitas dan kapasitas disipasi energi yang baik. Karakteristik eccentrically braced frame tersebut membuat sistem ini muncul sebagai pilihan sistem braced frame di daerah dengan intensitas gempa yang tinggi. Fitur yang membedakan EBF dengan portal lainnya adalah adanya sebuah segmen balok yang disebut *link*, yang terhubung dengan salah satu ujung bresing.



Gambar 1. Konfigurasi Umum *Eccentrically Braced Frames*





Gambar 2. Perilaku *hysteretic* dari ketiga jenis portal baja. (a) *Moment-resisting frames*; (b) *concentric braced frames*; (c) *eccentric braced frames*.

II.2 PERANCANGAN ECCENTRICALLY BRACED FRAMES (EBF)

Konsep dasar desain *eccentrically braced frame* adalah: membatasi/memfokuskan *inelastic action* pada bagian *link*, dan mendesain frame di sekitar *link* untuk dapat menahan gaya maksimum yang disalurkan oleh *link*. Desain ini membuat link bertindak sebagai *ductile seismic fuses*, yang menyerap energy input gempa tanpa mengalami penurunan kekuatan dan kekakuan yang signifikan, sehingga dapat menjaga integritas frame di sekitarnya. Di bawah pembebanan gempa, link diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang cukup besar sementara komponen lain dari EBF direncanakan untuk tetap dalam keadaan elastis. Oleh karena itu, pendekatan desain EBF berfokus pada kapasitas deformasi dari *link* akibat pembebanan siklik.

Dalam perancangan struktur ada tiga properti struktur yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Kekakuan (stiffness)

Kekakuan merupakan properti struktur yang menghubungkan beban atau gaya dengan deformasi struktur yang terjadi. Secara pendekatan, kekakuan diidealisasikan: $K = S_y / \Delta y$ dimana S_y = kuat leleh dan Δy = simpangan leleh. Hubungan ini ditentukan menggunakan properti geometri dari member struktur dan modulus elastisitas material. Properti struktur ini sangat penting dalam kontrol deformasi struktur.

2. Kekuatan (*strength*)

Struktur harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan gaya internal yang dihasilkan selama peristiwa gempa rencana. Sifat ini berhubungan dengan kuat leleh material (S_y) yang membentuk struktur dan digunakan untuk memenuhi kriteria kerusakan.

3. Daktilitas (*ductility*)

Untuk meminimalisir kerusakan besar dan untuk menjamin survival struktur ketika mendapat gaya lateral, struktur harus mampu menahan sebagian besar kekuatan awalnya selama gempa kuat yang menyebabkan deformasi yang besar. Deformasi ini mungkin saja melampaui batas elastis struktur. Kemampuan struktur atau komponen struktur untuk menahan deformasi inelastis yang besar sambil tetap mempertahankan kapasitas kekuatannya, dikenal dengan istilah daktilitas. Daktilitas biasanya dihitung dalam rasio daktilitas peralihan, μ , yaitu rasio antara defleksi maksimum atau batas, Δ_u , dengan defleksi saat leleh, Δ_y , ($\mu = \Delta/\Delta_y > 1$).

Daktilitas struktur juga dapat diketahui melalui perilaku histeretis dari komponen struktur yang kritis. Perilaku hysteresis ini dapat diamati dari kurva gaya siklik-defleksi, dimana kemiringan kurva menunjukkan kekakuan struktur atau komponen struktur, dan luas area yang dilingkupinya menunjukkan energy yang didisipasi. Sejumlah penelitian menunjukkan, jika dirancang dengan baik, EBF memiliki kinerja inelastic yang baik seperti ditunjukkan pada gambar 2(c). Namun, meskipun memiliki daktilitas dan kapasitas disipasi energi yang baik, perilaku global dari EBF dapat menyimpang dari harapan, seperti deformasi inelastis yang tidak terdistribusi secara merata sepanjang tinggi struktur, aktivitas leleh yang tidak sepenuhnya terkurung dalam link, serta terbentuknya sendi plastis di kolom. Hal ini sangat dipengaruhi oleh metode perancangan komponen struktur yang digunakan.

Secara garis besar, metode perancangan dapat dibagi dalam dua kategori, yaitu metode desain elastis atau *allowable stress design* dan metode desain batas atau *ultimate design*. Turut dibahas uraian tentang kriteria perancangan EBF berdasarkan SNI 2002.

II.2.1 KRITERIA DESAIN BERDASARKAN PERATURAN SNI

Kriteria desain untuk EBF yang disyaratkan dalam SNI 2002 dirangkum sebagai berikut:

- 1) EBF didesain sedemikian supaya di bawah pembebanan gempa, leleh terutama terjadi pada bagian *link*. Elemen di luar link seperti bresing diagonal, kolom, dan segmen balok harus direncanakan untuk tetap dalam keadaan elastis akibat gaya-gaya yang dihasilkan oleh link pada saat mengalami pelelehan penuh hingga tahap perkerasan regangan. Perlu dicatat bahwa *soft story* dapat terjadi jika link mengalami leleh bersamaan dengan pembentukan sendi plastis di kolom; oleh karena itu sendi plastis dihindari terjadi pada kolom.
- 2) Klasifikasi panjang link (e) dan sudut rotasi link maksimum (γ_p) untuk profil W dinyatakan sebagai berikut.

- Link pendek (*Shear yielding link*):

$$e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad \gamma_p = 0,08 \text{ radian}$$

- Link panjang (*Flexural yielding link*):

$$e \geq 2.6 \frac{M_p}{V_p} \quad \gamma_p = 0,02 \text{ radian}$$

- Link menengah (*kombinasi Shear dan Flexural yielding*):

$$1.6 \frac{M_p}{V_p} < e < 2.6 \frac{M_p}{V_p} \quad \gamma_p = \text{interpolasi antara } 0,08 \text{ dan } 0,02 \text{ radian}$$

- 3) Untuk link geser, kuat geser rencana dihitung sebagai nilai terkecil dari:

$$\phi V_n = 0,9V_p = 0,9(0,6F_y A_w) = 0,9[0,6F_y (d_b - 2t_f)t_w] \quad \text{atau}$$

$$\phi V_n = 0,9 \frac{2M_p}{e}$$

dimana ϕ = faktor reduksi kekuatan = 0,9

F_y = tegangan leleh minimum baja, tidak melampaui 50 ksi

d_b = tinggi balok keseluruhan

t_f = tebal flens

t_w = tebal web

e = panjang link

- 4) Link harus memenuhi rasio lebar-tebal yang ditentukan dalam Tabel 15.7-1,

Untuk flens dari profil I:

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0,30 \sqrt{\frac{E_s}{F_y}} = \frac{135}{\sqrt{F_y}}$$

Untuk web dari profil I:

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{1.365}{\sqrt{F_y}} \left(1 - 1,54 \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right) \quad ; \text{ bila } \frac{P_u}{\phi_b P_y} \leq 0,125$$

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{500}{\sqrt{F_y}} \left(2,33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y} \right) \geq \frac{665}{\sqrt{F_y}} \quad ; \text{ bila } \frac{P_u}{\phi_b P_y} > 0,125$$

Perlu dicatat bahwa batasan rasio lebar-tebal flens pada SNI 2002 ini dipenuhi oleh hampir semua baja *rolled shape* ASTM A36 ($F_y=36$ ksi atau 250 MPa). Namun, untuk baja yang banyak digunakan saat ini ASTM A992 ($F_y=50$ ksi atau 345 MPa), sedikitnya ada 52 profil wide-flange yang melampaui batasan ini ($135/\sqrt{F_y}$). Berdasarkan hasil penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Arce (2002), batasan ini dirubah menjadi ($0.38\sqrt{E_s/F_y}$) pada AISC *Seismic Provisions* 2005.

- 5) Untuk menjamin bahwa leleh dan disipasi energi sebagian besar terjadi pada link, pendekatan desain kapasitas digunakan untuk desain bresing diagonal dan segmen balok di luar link. Komponen di luar link didesain untuk menahan gaya yang dihasilkan oleh link pada saat mengalami pelelehan penuh dan perkerasan regangan. Untuk link geser, gaya ini dapat dihitung sebagai:

$$\text{Geser link} = 1,25R_y V_p$$

Pada AISC 2005, momen ujung yang ditimbulkan oleh link dinyatakan oleh:

$$\text{Momen ujung link pada kolom} = R_y M_p$$

$$\text{Momen ujung link pada bresing} = \left[e(1,25R_y V_p) - R_y M_p \right] \geq 0,75R_y M_p$$

dimana R_y = faktor modifikasi tegangan leleh. Untuk baja A992, $R_y = 1,1$

Namun, untuk desain segmen balok di luar link, kuat perlu balok yang diizinkan peraturan adalah berdasarkan 1,1 kali kuat geser link, yaitu

$$\text{Geser link} = 1,1R_y V_p \quad (1.10)$$

Pengurangan gaya ultimit link ini disebabkan oleh adanya penambahan kekuatan balok akibat slab komposit. Jika slab komposit tidak ada, maka kuat perlu segmen balok harus dihitung berdasarkan faktor perkerasan regangan link 1,25.

Akibat keberadaan gaya aksial dan momen yang besar (Engelhardt and Popov, 1989b), maka bresing diagonal dan balok segmen diluar link harus didesain sebagai balok-kolom.

- 6) Kolom dari EBF harus didesain menggunakan pendekatan desain kapasitas. Persamaan (1.10) diizinkan untuk desain kolom dengan pertimbangan bahwa link di atas kolom yang ditinjau tidak akan mencapai geser maksimum pada waktu yang bersamaan. Namun, untuk EBF bertingkat rendah, kondisi ini dapat terjadi sehingga digunakan faktor perkerasan regangan 1,25.

II.2.2 DESAIN ELASTIS

Pada desain elastis, yg menjadi parameter desain adalah besarnya tegangan maksimum yang terjadi pada penampang elemen struktur. Sesuai dengan istilah yang digunakan, maka tegangan yg terjadi pada penampang elemen struktur diasumsikan masih dalam batas elastis. Dari asumsi ini dapat diturunkan formula untuk menentukan besarnya tegangan lentur, tegangan geser, dan tegangan aksial pada tiap penampang elemen struktur. Kemudian sebagai fungsi kontrol ditetapkan suatu nilai tegangan izin. Besarnya tegangan izin ini didapat dari hasil pengujian bahan (biasanya untuk bahan beton) atau dengan spesifikasi yang telah ditentukan oleh pihak pembuat (biasanya untuk bahan baja). Untuk keamanan maka besarnya nilai tegangan maksimum akibat total pembebanan harus lebih kecil atau sama dengan nilai tegangan izin yg telah dikalikan dengan faktor reduksi tertentu.

II.2.3 DESAIN ULTIMIT

Pada desain ultimit, yang menjadi parameter desain adalah besarnya gaya-gaya dalam maksimum yang terjadi pada penampang elemen struktur. Dalam desain ultimit diperkenalkan istilah kuat nominal atau *nominal strength*, yaitu besarnya gaya-gaya dalam yang dapat dipikul oleh suatu penampang elemen struktur dengan properti-properti tertentu. Besarnya kekuatan nominal ini didapat dari hasil analisis diagram tegangan-regangan penampang. Sesuai istilah yg digunakan maka regangan dan

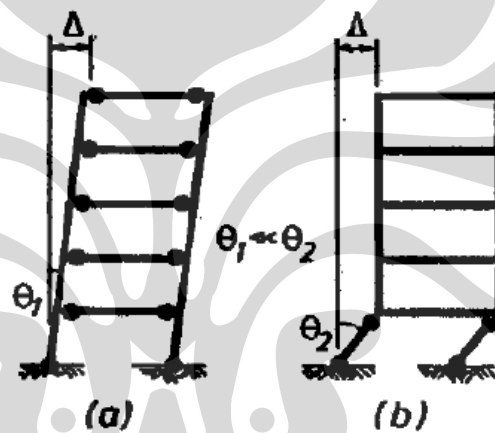
tegangan sudah tidak lagi berada dalam porsi elastis melainkan sudah mencapai nilai ultimit. Kemudian diperkenalkan istilah faktor reduksi yg diaplikasikan untuk mereduksi nilai nominal strength dengan dasar bahwa tidaklah mungkin kekuatan nominal tersebut dapat tercapai sepenuhnya disebabkan oleh faktor teknis pembuatannya maupun proses konstruksinya. Konsep desain ultimit digunakan dalam peraturan perencanaan bangunan gedung yang berlaku di Indonesia saat ini.

II.2.4 KONSEP PENDEKATAN DESAIN KAPASITAS

Dalam konsep desain kapasitas, ditentukan terlebih dahulu ragam keruntuhan struktur akibat gempa dengan elemen-elemen kritis dipilih sedemikian rupa sehingga mekanisme keruntuhan dapat memancarkan energy sebesar mungkin dan keruntuhan struktur dapat dihindarkan. Pada pendekatan desain ini, elemen-elemen tertentu dari sistem struktur dipilih serta dirancang dan didetail secara khusus untuk mendisipasi energi selama peristiwa gempa kuat. Daerah kritikal dari komponen struktur ini, yang sering disebut sebagai sendi plastis, didetail untuk mengalami deformasi inelastis yang besar. Semua elemen struktur lainnya dirancang untuk memiliki kekuatan yang lebih besar dari kekuatan overstrength maksimum daerah sendi plastis untuk mencegah kegagalan struktur. Komponen struktur daktail tersebut dirancang sebagai sekring struktur (*structural fuses*) dan didetail secara khusus untuk memiliki kemampuan respon inelastis yang baik. Karena komponen ini diharapkan akan mengalami kerusakan yang signifikan pada gempa kuat, lokasi komponen ini dipilih sedemikian supaya kerusakan komponen ini tidak mengurangi kapasitas sistem dalam menahan beban gravitasi. Leleh pada kolom harus dihindari karena dapat menyebabkan keruntuhan struktur. Oleh karena itu, salah satu filosofi yang dikenal dalam desain kapasitas adalah filosofi *strong column - weak beam*, yang mendorong sendi plastis terbentuk di ujung-ujung elemen balok. Hal ini dikarenakan kinerja optimal dari struktur terhadap beban gempa akan diperoleh apabila kuat lentur pada kolom lebih besar dibandingkan kuat lentur pada balok, sehingga mekanisme goyang dengan pembentukan sebagian besar sendi plastis pada balok lebih dikehendaki daripada mekanisme pembentukan sebagian besar sendi plastis yang terpusat pada ujung-ujung kolom suatu lantai, seperti ditunjukkan pada gambar 3(a).

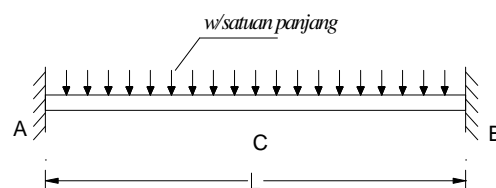
Perancangan dengan dasar desain kapasitas harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Mekanisme keruntuhan struktur ditentukan sehingga saat terbentuk sendi plastis pada komponen struktur, tidak terjadi keruntuhan
2. Mekanisme sendi plastis sebisa mungkin dipilih sedemikian sehingga disipasi energi terbentuk secara maksimal dan memiliki daktilitas displacement keseluruhan yang memberikan rotasi inelastis terkecil pada sendi plastis (Gambar 3a)
3. Komponen struktur diluar sendi plastis harus dirancang lebih kuat sedemikian sehingga selama mekanisme sendi plastis terbentuk, komponen struktur ini bersifat elastis dan tidak mengalami deformasi inelastis.
4. Harus ada jaminan selama mekanisme sendi plastis terbentuk dengan deformasi yg besar tetapi struktur tidak runtuh. Dalam hal ini mekanisme disipasi energi dari sendi plastis harus berfungsi secara maksimal.



Gambar 3. Perbandingan mekanisme disipasi energi. (a) *beam side sway mechanism*; (b) *column hinge mechanism*

Sendi plastis terjadi apabila penambahan beban lateral yang ada sudah mencapai kapasitas momen plastis dari struktur sehingga sistem struktur yang sebelumnya memiliki hubungan jepit sempurna menjadi struktur sendi yang memiliki putaran sudut, sehingga dapat menyebabkan *collapse* pada sistem struktur tersebut. Suatu struktur balok dengan kedua ujungnya terjepit seperti pada gambar dengan panjang L dan beban merata sebesar w per satuan panjang.



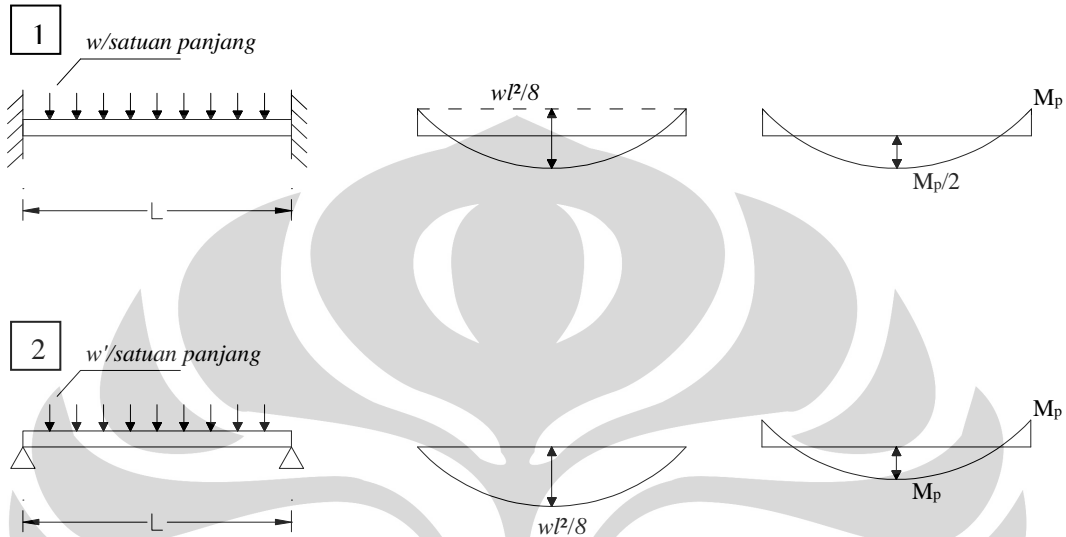
Berdasarkan perilaku tegangan-regangan material, sampai batas beban tertentu

struktur masih bersifat elastis, sehingga dengan menerapkan analisa elastis, dapat ditentukan besarnya momen tumpuan sebagai berikut:

$$M_A = M_B = wl^2 / 12$$

$$M_C = wl^2 / 24$$

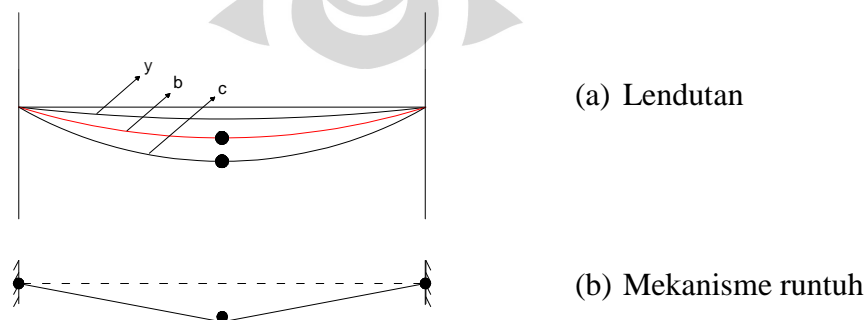
Sehingga diperoleh diagram momen sebagai berikut:



Gambar 4. Peningkatan momen dalam

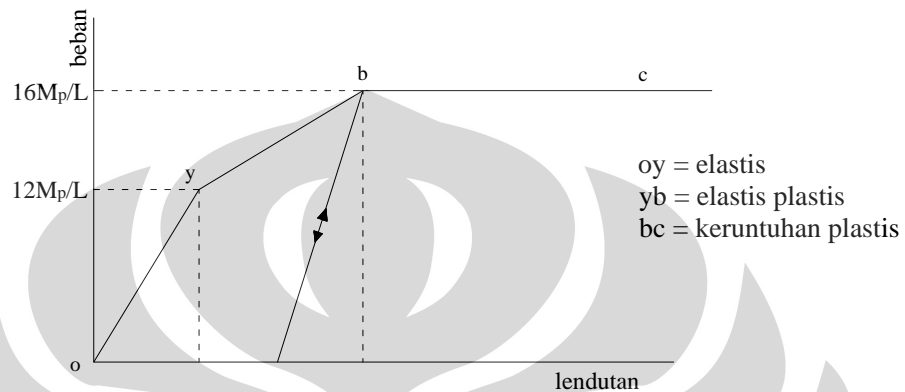
Selanjutnya, bila kedua momen terbesar yang terdapat pada tumpuan A dan B telah mencapai kapasitas momen plastisnya (kondisi 2), maka akan diperoleh beban w' sebesar $12M_p/L^2$, yang menyebabkan terjadinya sendi plastis pada kedua tumpuan ini.

Adanya penambahan beban berikutnya dapat menyebabkan terbentuknya sendi plastis yang ketiga, dan dari gambar 5 terlihat letak sendi plastis tersebut adalah di tengah bentang



Gambar 5. Bentuk lendutan dan mekanisme runtuh

Dengan menggabungkan bentuk lendutan dari semua kondisi tersebut, akan terlihat peningkatan lendutan seperti pada gambar 6. Selama proses dari kondisi kedua hingga ketiga tidak terjadi penambahan momen pada tumpuan, tetapi beban dan momen di tengah bentang masih dapat bertambah. Keadaan ini dimungkinkan karena adanya redistribusi momen dalam struktur. Hubungan antara beban (w) dan lendutan dapat dinyatakan dalam kurva berikut ini.



Gambar 6. Hubungan beban-lendutan

Terlihat pada gambar bahwa setelah titik b merupakan garis horizontal, menunjukkan bahwa lendutan pada kondisi plastis akan terus bertambah tanpa perlu penambahan beban lagi. Keadaan ini menunjukkan bahwa struktur telah mencapai mekanisme runtuhnya.

Salah satu ketidakpastian terbesar dari respon struktur yang dirancang dengan desain kapasitas adalah tingkat deformasi inelastis yang terjadi (Paulay dan Priestley,1992). Selain itu, persyaratan desain kolom kuat - balok lemah yang ada pada peraturan saat ini, bagaimanapun, tidak menjamin bahwa sendi plastis tidak akan terjadi di kolom selama peristiwa gempa kuat (Paulay dan Priestley,1992; Lee 1996). Leleh pada kolom juga dapat disebabkan oleh mode getaran yang lebih besar, terutama pada lantai atas, akibat penggunaan metode desain elastis yang kurang akurat dalam menggambarkan distribusi gaya lateral pada kondisi inelastis.

Sebagai penyempurnaan konsep desain kapasitas, saat ini berkembang prosedur perencanaan berbasis kinerja (*performance-based design*) yang ditujukan untuk mencapai perilaku struktur yang *predictable* dan *controllable* selama peristiwa gempa rencana.

II.2.5 PERENCANAAN STRUKTUR TAHAN GEMPA BERBASIS KINERJA

II.2.5.1 Pendahuluan⁵

Setiap sistem struktur dirancang untuk memiliki *seismic capacity* yang melampaui *seismic demand*. Kapasitas tersebut merupakan fungsi yang kompleks dari kekuatan, kekakuan, dan kemampuan deformasi yang besarnya dapat diperkirakan dari konfigurasi sistem dan properti material struktur. Kunci dari *performance-based seismic engineering* (PBSE) adalah untuk memberikan suatu perkiraan *seismic capacity* dan *seismic demand* tersebut dengan tingkat kepastian yang tinggi.

Sebagian besar struktur tahan gempa yang ada saat ini direncanakan berdasarkan prosedur yang terdapat dalam peraturan perencanaan bangunan (*building code*). Pada peraturan perencanaan ketahanan gempa, faktor modifikasi respon global (atau faktor-R) menjadi inti dari persamaan gaya gempa yang digunakan. Tujuan utama dari faktor reduksi gaya ini adalah untuk menyederhanakan proses analisis sehingga metode elastis dapat digunakan untuk memprediksi kuat inelastis perlu pada struktur yang diberikan beban rencana. Faktor ini memperhitungkan reduksi gaya gempa akibat berbagai faktor seperti daktilitas sistem struktur, kuat lebih (*overstrength*) dari material, dan reduksi. Dalam hal ini, hanya komponen daktilitas dari faktor-R yang dinyatakan dalam peraturan, dimana disebutkan bahwa sistem dengan daktilitas yang lebih besar memiliki faktor reduksi yang lebih kecil. Selain faktor-faktor tersebut terdapat juga faktor *engineering judgement* dalam penentuan faktor-R ini. Peraturan gempa saat ini juga menetapkan suatu faktor amplifikasi peralihan, C_d , dalam menghitung displacement inelastis sistem. Kedua faktor ini, R dan C_d , adalah ukuran respon global yang tidak memberikan evaluasi performa pada tingkat komponen struktur. Terdapat kekhawatiran bahwa perencanaan berbasis gaya yang menggunakan faktor R dan C_d memiliki sejumlah kekurangan. Sebagai contoh, faktor ini tidak bergantung pada periode struktur dan karakteristik gerakan tanah, selain itu faktor-R yang sama digunakan untuk struktur beton bertulang penahan momen, struktur baja, dan portal berpengaku. Dapat dikatakan bahwa sebuah faktor modifikasi global tidak dapat menangkap dengan tepat distribusi perilaku nonlinier diantara elemen-elemen struktur selama peristiwa gempa kuat. Hal ini terlihat dari berbagai penelitian dimana struktur yang dirancang dengan peraturan gempa yang ada saat ini memiliki kinerja yang tidak dapat diprediksi dengan presisi, seperti mekanisme leleh yang tidak sepenuhnya terkurung dalam komponen 'lemah' dan tidak tersebar secara merata sepanjang tinggi struktur (Chao dan Goel, 2006).

Meskipun peraturan ketahanan gempa yang ada saat ini dibuat berdasarkan keselamatan pengguna bangunan, dimana tujuan utamanya adalah untuk mencegah hilangnya nyawa atau cedera dengan mencegah terjadinya keruntuhan bangunan, namun prosedur yang digunakan dalam peraturan tersebut tidak dapat secara langsung menunjukkan kinerja bangunan yang sebenarnya terhadap suatu gempa.

Berbagai kekurangan yang ada dalam peraturan perencanaan struktur tahan gempa tersebut coba diatasi oleh pendekatan perencanaan berbasis kinerja (*performance-based design*). Dalam NEHRP, *performance-based design* didefinisikan sebagai strategi dalam perencanaan, pelaksanaan, dan perbaikan sedemikian supaya suatu bangunan dapat berkinerja sesuai yang diharapkan pada suatu kondisi gempa yang ditetapkan, yang diukur dari tingkat kerusakan dan dampak perbaikan yang perlu dilakukan. Kinerja ini terkait dengan resiko keselamatan pengguna bangunan (*life*), kesiapan pakai bangunan (*occupancy*), dan kerugian ekonomi (*economic loss*) yang dapat dialami pemilik bangunan. *Performance-based design* secara eksplisit mengevaluasi bagaimana bangunan berkinerja, sehingga memberikan pemahaman terhadap potensi kerusakan yang dapat dialami.

II.2.5.2 Prosedur Perencanaan Berbasis Kinerja

Proses perencanaan dengan metode ini dimulai dengan menetapkan sasaran kinerja struktur terhadap gempa. Sasaran kinerja ini terdiri dari gempa rencana yang ditetapkan (*design earthquake hazard*) dan taraf kerusakan yang diizinkan atau level kinerja struktur (*performance level*). Level kinerja yang ditetapkan dalam NEHRP FEMA-273 terdiri dari level kinerja struktural dan level kinerja nonstruktural.

Tabel 1. Level Kinerja Struktural

Level Kinerja	Penjelasan
<i>Operational</i>	Tidak ada kerusakan berarti pada struktur, bangunan tetap berfungsi dengan baik
<i>Immediate Occupancy (SP-1)</i>	Tidak ada kerusakan berarti pada struktur, dimana kekuatan dan kekakuannya kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa. Komponen non-struktural masih berada di tempatnya dan sebagian besar masih berfungsi. Bangunan dapat tetap berfungsi dan tidak terganggu dengan masalah perbaikan
<i>Damage Control Range (SP-2)</i>	Bukan merupakan <i>performance level</i> , melainkan kondisi kerusakan yang berada di dalam <i>range</i> antara S-1 dan S-3
<i>Life Safety (SP-3)</i>	Terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang, tetapi masih mempunyai ambang yang cukup terhadap keruntuhan. Komponen non-struktural masih ada tetapi tidak berfungsi. Dapat dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan.
<i>Limited Safety Range (SP-4)</i>	Bukan merupakan <i>performance level</i> , melainkan kondisi kerusakan yang berada di dalam <i>range</i> antara S-3 dan S-5
<i>Collapse Prevention (SP-5)</i>	Kerusakan yang berarti pada komponen struktural dan non-struktural. Kekuatan struktur dan kekakuannya berkurang banyak, hampir runtuh. Kecelakaan akibat kejatuhan material bangunan yang rusak sangat mungkin terjadi

Tabel 2. Level Kinerja Non-Struktural

Level Kinerja	Penjelasan
<i>Operational</i> (NP-A)	Tidak ada kerusakan berarti pada komponen non-struktural, seluruhnya masih berada di tempatnya dan tetap berfungsi dengan baik
<i>Immediate Occupancy</i> (NP-B)	Sebagian besar komponen non-struktural masih berada di tempatnya dan sebagian besar masih Berfungsi
<i>Life Safety</i> (NP-C)	Terjadi kerusakan komponen non-struktural namun tidak cukup besar untuk mengakibatkan keruntuhan yang menimbulkan korban jiwa. Dapat dipakai lagi jika sudah dilakukan perbaikan.
<i>Reduced Hazard</i> (NP-D)	Kerusakan yang berat pada komponen non-struktural namun komponen-komponen yang besar dan berat tidak runtuh sehingga tidak menimbulkan korban jiwa
<i>Not Considered</i> (NP-E)	Komponen non-struktural yang tidak memberikan dampak terhadap respon struktur, tidak Diperhitungkan

Kombinasi antara *structural performance level* dan *non-structural performance level* membentuk *building performance level* yang secara lengkap menunjukkan kinerja struktur yang diinginkan. Kombinasi ini ditunjukkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 3. Building Performance Level

Building Performance Levels						
Non-structural Performance Levels	Structural Performance Levels					
	SP-1 Immediate Occupancy	SP-2 Damage Control (Range)	SP-3 Life Safety	SP-4 Limited Safety (Range)	SP-5 Structural Stability	SP-6 Not Considered
NP-A Operational	1-A Operational	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Immediate Occupancy	1-B Immediate Occupancy	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Life Safety	1-C	2-C	3-C Life Safety	4-C	5-C	6-C
NP-D Reduced Hazards	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E Not Considered	NR	NR	3-E	4-E	5-E Structural Stability	Not Applicable

Legend

	Commonly referenced Building Performance Levels (SP-NP)
	Other possible combinations of SP-NP
	NR
	Not recommended combinations of SP-NP

Gempa rencana (*design earthquake hazard*) yang diberikan, ditentukan berdasarkan periode ulang gempa, yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. The serviceability earthquake (SE): merupakan gempa dengan 50% peluang berulang dalam rentang waktu 50 tahun.
2. The design earthquake (DE): merupakan gempa dengan 10% peluang berulang dalam rentang waktu 50 tahun.
3. The maximum earthquake (ME): merupakan gempa dengan 5% peluang berulang dalam rentang waktu 50 tahun. Kategori gempa ini menunjukkan frekuensi gempa yang

sangat jarang terjadi. Kategori ini dapat diterapkan pada struktur yang berada di daerah yang sangat rentan terhadap gempa besar.

Berbagai level kinerja (*performance level*) yang dinyatakan dalam tabel 3 dapat dikombinasikan dengan berbagai *seismic level* yang ada, membentuk *seismic performance level*, seperti yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini. *Performance level* ini juga ditentukan berdasarkan pertimbangan fungsional bangunan, pemeliharaan, dan biaya.

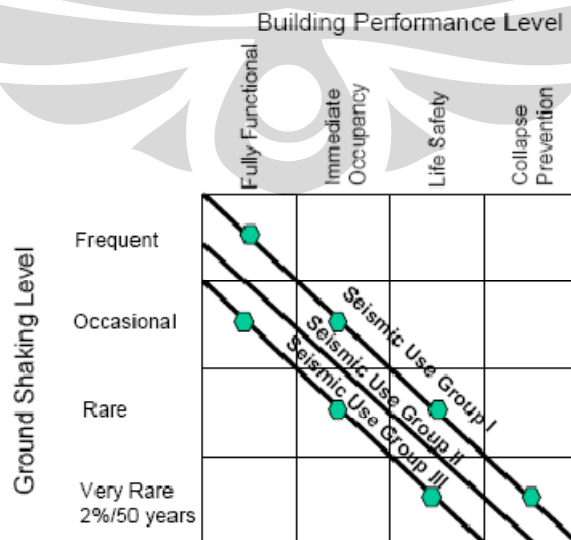
Tabel 4. Contoh seismic performance level untuk bangunan penting

Seismic Hazard	Source of Sample				
	Triservices Essential	California Hosp /Essent	VA Hospital	Other Example A	Other Example B
	Combined Performance Level				
SE	1B				
DE		1B		1A	1B
ME	3C	5E	1A	1C	

Tabel 5. Contoh seismic performance level untuk bangunan biasa

Seismic Hazard	Source of Sample			
	New Buildings	Current Common Retrofit	Example: High Occupancy	Example: Minimum Downtime
	Combined Performance Level			
SE				
DE	2C	3D	3C	1C
ME	5E		3D	

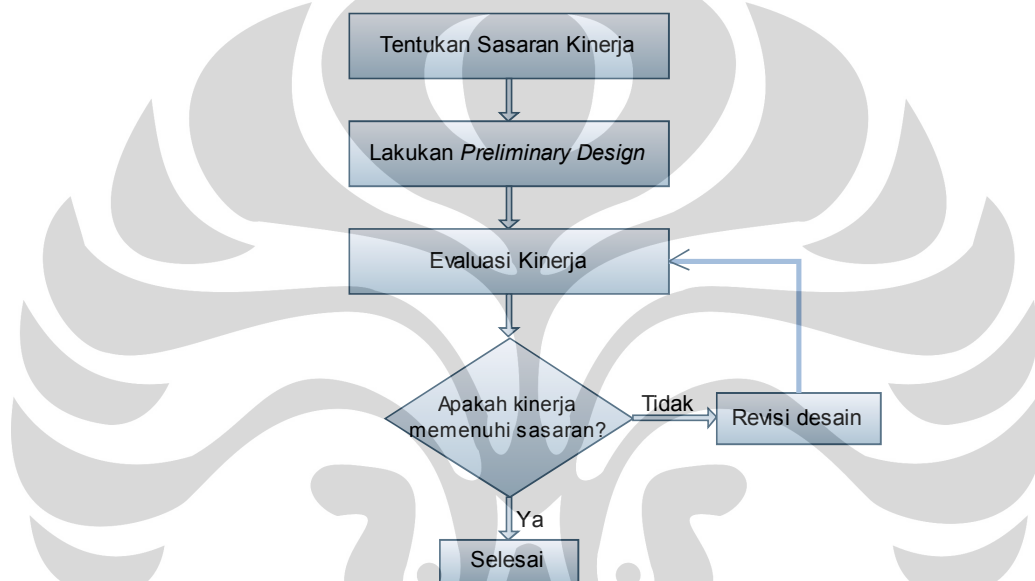
Fema 303 menyatakan level ini dalam bentuk matriks kinerja, yang menjadi rekomendasi sasaran kinerja minimum untuk perencanaan bangunan baru, seperti ditunjukkan dalam Gambar 7.



Gambar 7. Matriks Kinerja (FEMA 303)

Dalam gambar tersebut, *Seismic Use Group III* meliputi fasilitas respon darurat, seperti rumah sakit, stasiun pemadam kebakaran, dan pusat komunikasi. *Seismic Use Group II* meliputi bangunan yang ditempati oleh orang banyak seperti gedung tinggi dan balai pertemuan. *Seismic Use Group I* meliputi bangunan untuk penempatan biasa.

Setelah sasaran kinerja ditentukan, dilakukan perancangan struktur awal dan pemodelannya. Model rencana ini kemudian dievaluasi kinerjanya terhadap berbagai kejadian gempa. Dari setiap proses evaluasi diketahui tingkat kerusakan struktur (*level of damage*) dan ketahanan struktur yang dapat dibandingkan dengan sasaran kinerja yang telah ditentukan pada awal perencanaan.



Gambar 8. Diagram alur *performance-based design*

II.2.5.3 Kriteria Penerimaan (*Acceptance Criteria*)

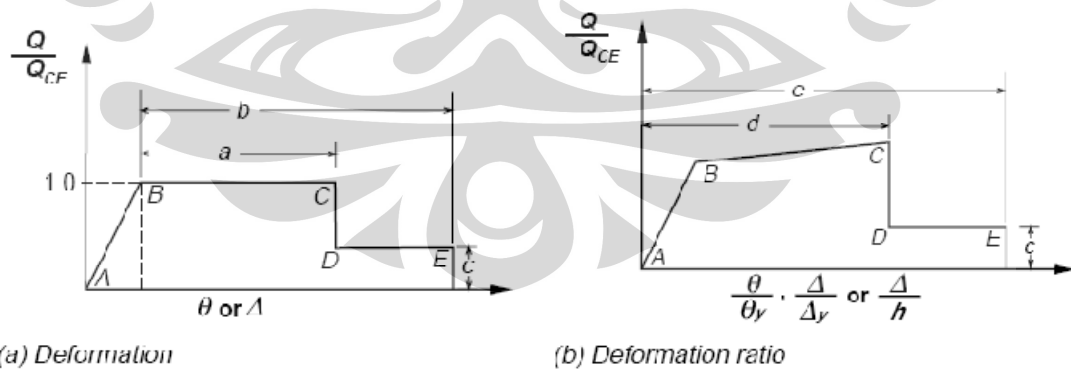
II.2.5.3.1 Elemen dan komponen struktur

Suatu sistem struktur terdiri dari elemen struktur dan komponen struktur. Elemen struktur adalah bagian utama dari struktur, baik vertikal maupun horizontal, yang memberikan aksi untuk menahan gaya lateral dan vertikal yang diberikan. Portal, diafragma, dinding geser, dan pondasi merupakan contoh pendefinisian elemen struktur. Elemen struktur disusun oleh beberapa komponen struktur, seperti kolom, balok, bresing, sambungan, dsb. Setiap elemen harus dicek apakah setiap komponen tunggalnya memenuhi *acceptance criteria* dalam pembebanan yang diberikan. Elemen dan komponen struktur dibagi dalam kategori primer dan sekunder. Elemen atau komponen yang memberikan peranan penting dalam kekuatan struktur dan kekakuan

lateral pada titik performa yang ditinjau dinyatakan sebagai elemen primer. Sementara elemen atau komponen selain elemen primer dinyatakan sebagai elemen sekunder. Pengklasifikasian ini dibutuhkan untuk mengetahui bagian mana dari struktur yang harus memenuhi persyaratan dan bagian mana yang diperbolehkan mengalami deformasi inelastic yang besar. Aksi elemen atau komponen juga diklasifikasikan ke dalam aksi primer dan sekunder.

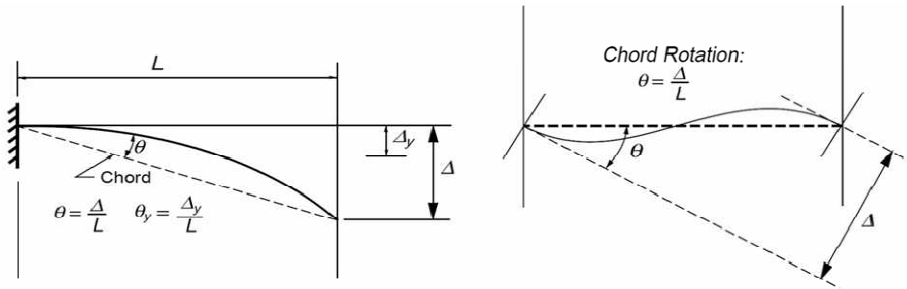
Gambar 9 di bawah ini menunjukkan kurva idealisasi gaya terhadap lendutan yang digunakan untuk mengidentifikasi *acceptance criteria* untuk *deformation-controlled*. Respon linier digambarkan oleh garis antara titik A (*unloaded component*) dan titik leleh efektif (titik B). Titik C memiliki ordinat yang menunjukkan kekuatan komponen dan absis yang menunjukkan deformasi dimana penurunan kekuatan yang signifikan dimulai (garis CD). Setelah titik D, komponen merespon dengan kekuatan yang terus berkurang ditandai dengan deformasi yang besar tanpa perlu penambahan beban, hingga titik E. Pada deformasi yang lebih besar dari titik E, kekuatan komponen adalah nol.

Untuk beberapa komponen lebih sesuai untuk menjelaskan *acceptance criteria* dalam bentuk deformasi, sementara untuk komponen lainnya lebih sesuai untuk menjelaskan *acceptance criteria* dalam bentuk rasio deformasi. Untuk mengakomodir hal ini maka dua jenis kurva idealisasi gaya vs deformasi digunakan pada FEMA-273, seperti ditunjukkan pada gambar 9 (a) dan (b).



Gambar 9. Perilaku Gaya-Deformasi dan Parameternya

Q adalah gaya pada komponen dan Q_{CE} adalah kekuatan yang tersedia dari komponen. Pada balok dan kolom, θ adalah rotasi elastis - plastis total dari balok atau kolom, θ_y adalah rotasi pada saat leleh, Δ adalah perpindahan elastis - plastis total, dan Δ_y adalah perpindahan saat leleh. Pada panel zone, θ_y adalah sudut deformasi geser dalam radian.



Gambar 10. Definisi Perputaran Untuk Evaluasi

Gambar di atas menyatakan putaran pada balok. Rotasi total (*chord rotation*) dihitung dengan menambahkan rotasi leleh, θ_y , dengan rotasi plastis atau mengambil sama dengan besarnya *story drift*. Persamaan berikut adalah untuk balok dan kolom yang akan digunakan untuk menghitung rotasi leleh, θ_y , dengan asumsi titik belok terjadi pada tengah-tengah balok atau kolom.

Balok:
$$\theta_y = \frac{ZF_{ye} l_b}{6EI_b}$$

Kolom:
$$\theta_y = \frac{ZF_{ye} l_c}{6EI_c} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right)$$

Link:
$$\theta_y = \frac{Q_{CE}}{K_e e}$$

dimana
$$K_e = \frac{K_s K_b}{K_s + K_b} ; K_s = \frac{GA_w}{e} ; K_b = \frac{12EI_b}{e^3}$$

Q dan Q_{CE} berturut-turut adalah komponen gaya dan komponen kekuatan yang tersedia. Untuk aksi lentur dari balok dan kolom, Q_{CE} adalah kapasitas momen plastis dari rumusan berikut:

Balok:
$$Q_{CE} = M_{CE} = ZF_{ye}$$

Kolom:
$$Q_{CE} = M_{CE} = 1,18ZF_{ye} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right) \leq ZF_{ye}$$

Panel Zone:
$$Q_{CE} = V_{CE} = 0,55F_{ye} d_c t_p$$

Link: Jika $e \leq \frac{1,6M_{CE}}{V_{CE}}$

$$Q_{CE} = V_{CE} = 0,6F_{ye} t_w A_w$$

Jika $e > \frac{2,6M_{CE}}{V_{CE}}$

$$Q_{CE} = V_{CE} = 2 \frac{M_{CE}}{e}$$

Jika $\frac{1,6M_{CE}}{V_{CE}} \leq e \leq \frac{2,6M_{CE}}{V_{CE}}$

gunakan interpolasi linier

dimana,

l_b = panjang balok

I = momen inersia penampang

Z = Plastic section modulus

d_c = tinggi kolom

F_{ye} = kuat leleh material

t_p = tebal daerah panel termasuk plat ganda jika ada

M_{CE} = kuat momen yang diharapkan

P = gaya aksial pada kolom

P_{ye} = gaya aksial leleh yang diharapkan dari kolom = $A_g \cdot F_{ye}$

V_{CE} = kuat gaya geser yang diharapkan

A_w = $(db - 2tf) tw$

e = Panjang balok link

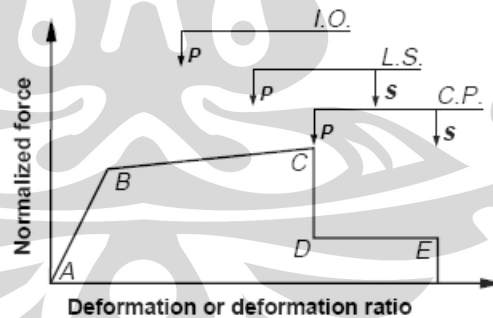
G = Shear modulus

K_e = Kekakuan balok link

K_b = Kekakuan lentur

K_s = Kekakuan geser

II.2.5.3.2 Kriteria Penerimaan



(c) Component or element deformation limits

Gambar 11. Kriteria penerimaan menurut level kinerja

FEMA 273 menetapkan kriteria deformasi atau rasio deformasi yang dapat diterima untuk komponen primer (P) dan sekunder (S) masing-masing untuk level kinerja Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), dan Collapse Prevention (CP), seperti ditunjukkan pada gambar 11. Gambar tersebut menunjukkan perilaku gaya deformasi atau momen-rotasi dari sendi plastis (*hinge*) yang ditinjau. Nilai parameter a , b , c , d , dan e serta acceptance criteria untuk tiap level kinerja diperoleh dari tabel berikut ini:

Tabel 6. Parameter pemodelan dan kriteria penerimaan untuk prosedur non-linier

Table 5-8 Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Braced Frames and Steel Shear Walls

Component/Action	$\frac{\Delta}{\Delta_y}$		Residual Force Ratio	Deformation				
	d	e		c	Primary			Secondary
			IO		LS	CP	LS	CP
Concentric Braced Frames								
a. Columns in compression ¹	Force-controlled, use Equation 3-19							
b. Columns in tension ¹	6	8	1.000	1	4	6	7	8
Braces in Compression^{2,3}								
a. Two angles buckle in plane	1	10	0.2	0.8	6	8	8	9
b. Two angles buckle out of plane	1	9	0.2	0.8	5	7	7	8
c. W or I shape	1	9	0.2	0.8	6	8	8	9
d. Two channels buckle in plane	1	10	0.2	0.8	6	8	8	9
e. Two channels buckle out of plane	1	9	0.2	0.8	5	7	7	8
f. Concrete-filled tubes	1	8	0.2	0.8	5	7	7	8
g. Rectangular cold-formed tubes								
1. $\frac{d}{t} \leq \frac{90}{\sqrt{F_y}}$	1	8	0.4	0.8	5	7	7	8
2. $\frac{d}{t} \geq \frac{190}{\sqrt{F_y}}$	1	4	0.2	0.8	2	3	3	4
3. $\frac{90}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{d}{t} \leq \frac{190}{\sqrt{F_y}}$	Use linear interpolation							
h. Circular hollow tubes								
1. $\frac{d}{t} \leq \frac{1500}{F_y}$	1	10	0.4	0.8	5	7	6	9
2. $\frac{d}{t} \geq \frac{6000}{F_y}$	1	4	0.2	0.8	2	3	3	4
3. $\frac{1500}{F_y} \leq \frac{d}{t} \leq \frac{6000}{F_y}$	Use linear interpolation							
Braces in Tension	12	15	0.800	1	8	10	12	14
Eccentric Braced Frames								
a. Beams	Governed by link							
b. Braces	Force-controlled, use Equation 3-19							
c. Columns in compression	Force-controlled, use Equation 3-19							
d. Columns in tension	6	8	1.000	1	4	6	7	8

Table 5-8 Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Braced Frames and Steel Shear Walls (continued)

Component/Action	$\frac{\Delta}{\Delta_y}$		Residual Force Ratio	Deformation				
	<i>d</i>	<i>e</i>		Primary			Secondary	
			<i>c</i>	IO	LS	CP	LS	CP
Link Beam³								
a. $\frac{2M_{CE}}{eV_{CE}} \leq 1.6$	15	18	0.80	1.5	12	15	15	17
b. $\frac{2M_{CE}}{eV_{CE}} \geq 2.6$	Same as for beam in FR moment frame (see Table 5-4)							
c. $1.6 \leq \frac{2M_{CE}}{eV_{CE}} \leq 2.6$	Use linear interpolation							
Steel Shear Walls⁵								
	15	17	.07	1.5	11	14	14	16

1. Columns in moment or braced frames need only be designed for the maximum force that can be delivered.
2. Δ_c is the axial deformation at expected buckling load.
3. Deformation is rotation angle between link and beam outside link or column. Assume Δ_y is 0.01 radians for short links.
4. Link beams with three or more web stiffeners. If no stiffeners, use half of these values. For one or two stiffeners, interpolate.
5. Applicable if stiffeners are provided to prevent shear buckling.

Dalam peraturan FEMA-273, evaluasi kinerja struktur dapat dilakukan melalui empat metode analisis, yaitu static linier, dinamik linier, static nonlinier, dan dinamik nonlinier. Analisis statik dan dinamik linier tidak dapat mengakomodir dengan tepat perilaku inelastis struktur, yang merupakan perilaku dominan pada peristiwa gempa kuat. Oleh karena itu digunakan analisis nonlinier untuk memperhitungkan kondisi inelastis. Dari keempat metode tersebut, metode analisis dinamik nonlinier riwayat waktu (*NLTHA*) memberikan hasil yang paling akurat. Akan tetapi metode ini pengaplikasiannya sangat rumit sehingga dianggap tidak praktis. Hal ini membuat peneliti mengembangkan metode analisis statik nonlinier untuk mengevaluasi kinerja struktur.

II.2.6 ANALISIS BEBAN DORONG STATIK (*PUSHOVER ANALYSIS*)

Analisis pushover merupakan analisis statik nonlinier yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan struktur terhadap beban lateral. Analisis dilakukan dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian ditingkatkan secara bertahap hingga mencapai suatu target perpindahan lateral yang ditetapkan.

Analisis pushover menghasilkan kurva pushover yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (V) versus perpindahan pada titik yang ditinjau (*control node*), dalam hal ini atap (D). Pada analisis pushover, struktur didorong sampai mengalami leleh di satu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Kurva kapasitas akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku nonlinier.

Kurva pushover dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan sebagai beban dorong. Tujuan analisis pushover adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja dari struktur yang kritis.

Tahapan umum dalam analisis Pushover:

1. Menentukan titik kontrol (*control node*) untuk memonitor besarnya perpindahan struktur. Rekaman besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar digunakan untuk menyusun kurva *pushover*.
2. 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 adalah tidak pasti, maka perlu dibuat beberapa pola pembebanan lateral yang berbeda untuk mendapatkan kondisi yang paling menentukan.
3. Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana (target perpindahan). Titik kontrol didorong sampai taraf perpindahan tersebut, yang mencerminkan perpindahan maksimum yang diakibatkan oleh intensitas gempa rencana yang ditentukan.
4. Mengevaluasi level kinerja struktur ketika titik kontrol tepat berada pada target perpindahan. 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 komputer (fasilitas *pushover* dan evaluasi kinerja yang terdapat secara *built-in* pada program SAP2000, mengacu pada FEMA - 356).

II.2.6.1 Pola Beban Dorong

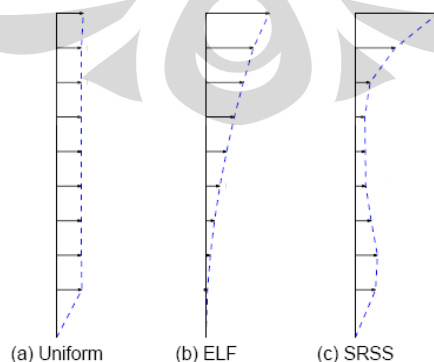
Hasil analisis pushover sangat dipengaruhi oleh pola distribusi gaya lateral yang digunakan. Oleh karena itu, analisa beban dorong statik memerlukan berbagai kombinasi pola distribusi yang berbeda untuk menangkap kondisi yang paling ekstrim untuk perencanaan, sebagai cerminan sifat beban gempa yang acak dan tidak pasti. Pola pembebanan gaya lateral yang diberikan pada model struktur disesuaikan dengan proporsi distribusi gaya inersia pada diafragma lantai sepanjang tinggi struktur. Beban lateral harus diberikan pada pusat massa setiap tingkat, dan diberikan secara bertahap dalam satu arah (monotonik). FEMA 273 mensyaratkan sedikitnya digunakan dua pola pembebanan lateral. Yang pertama yaitu distribusi *Uniform*, dimana gaya lateral pada suatu lantai sama dengan total massa pada lantai tersebut, $s_j^* = m_j$. Pola yang kedua adalah salah satu dari dua pilihan berikut:

1. Pola beban lateral dapat diwakili oleh nilai C_{vx} bilamana sedikitnya 75% massa berpartisipasi pada mode fundamental pada arah yang ditinjau (Equivalent Lateral Force).

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_i m_i h_i^k} \quad ; \quad k = 1.0 \text{ untuk } T \leq 0,5 \text{ detik} \\ = 2.0 \text{ untuk } T \geq 2.5 \text{ detik}$$

$$F_x = C_{vx} V$$

2. Pola beban lateral yang dihitung oleh kombinasi respon modal (SRSS) menggunakan (1) analisis respon spectrum dengan jumlah mode yang cukup dimana sedikitnya mencakup 90% partisipasi massa (2) spectrum gerakan tanah yang sesuai



Gambar 12. Pola beban lateral

II.2.6.2 Target Perpindahan

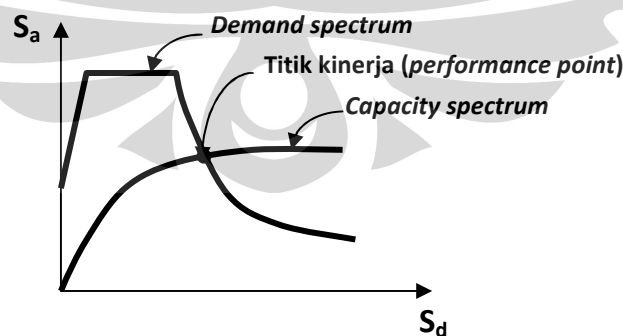
Gaya dan deformasi setiap komponen / elemen dihitung terhadap perpindahan tertentu di titik kontrol (*control node*) yang disebut sebagai “target perpindahan” dengan notasi δ_t dan dianggap sebagai perpindahan maksimum yang terjadi saat bangunan mengalami gempa rencana.

Kriteria evaluasi level kinerja kondisi bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi ketika perpindahan titik kontrol sama dengan target perpindahan δ_t . Jadi parameter target perpindahan sangat penting peranannya bagi perencanaan berbasis kinerja.

Untuk menentukan target perpindahan ini, dapat digunakan dua cara yang sudah dikenal yaitu *Capacity Spectrum Method* (FEMA-273/356/440 dan ATC 40) yang sudah built-in dalam SAP 2000, dan *Displacement Coefficient Method* (FEMA-274/440 dan ATC 40)

II.2.6.3 Metoda Spektrum Kapasitas (CSM)

Capacity spectrum method menyajikan secara grafis dua buah grafik yang disebut spektrum, yaitu spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya dorong total (*base shear*) dan perpindahan lateral struktur (biasanya ditetapkan di level atap bangunan), serta spektrum *demand* yang menggambarkan besarnya *demand* (tuntutan kinerja) akibat gempa dengan periode ulang tertentu (Gambar 13).

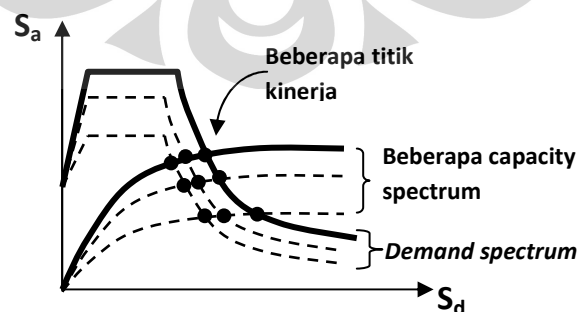


Gambar 13. Performance Point pada Capacity Spectrum Method

Spektrum kapasitas didapatkan dari kurva kapasitas (*capacity curve*) yang diperoleh dari analisis *static pushover*. Karena kurva kapasitas merupakan hubungan antara gaya dorong total yang diberikan ke suatu struktur berderajat kebebasan

banyak (*multi-degree-of-freedom-system*, MDOF) terhadap perpindahan yang dipilih sebagai referensi (umumnya puncak/atap bangunan) sedangkan spektrum *demand* dibuat untuk struktur dengan kebebasan satu (*single-degree-of-freedom-system*, SDOF), maka kurva kapasitas dengan cara tertentu harus diubah menjadi spektrum kapasitas dengan satuan yang sama dengan spektrum *demand*. Spektrum *demand* didapatkan dengan mengubah spektrum respon yang biasanya dinyatakan dalam spektral kecepatan, S_a , dan Periode, T , menjadi format spektral percepatan, S_a , dan spektral perpindahan, S_d . Format yang terakhir ini disebut *Acceleration-Displacement Response Spectra (ADRS)*. Kurva kapasitas yang merupakan produk dari *pushover* dinyatakan dalam satuan gaya (kN) dan perpindahan (m), sedangkan *demand spectrum* memiliki satuan percepatan ($m/detik^2$) dan perpindahan (m). Satuan dari kedua kurva tersebut perlu diubah dalam format yang sama, yaitu spektral percepatan, S_a , dan spektral perpindahan, S_d , agar dapat ditampilkan dalam satu tampilan..

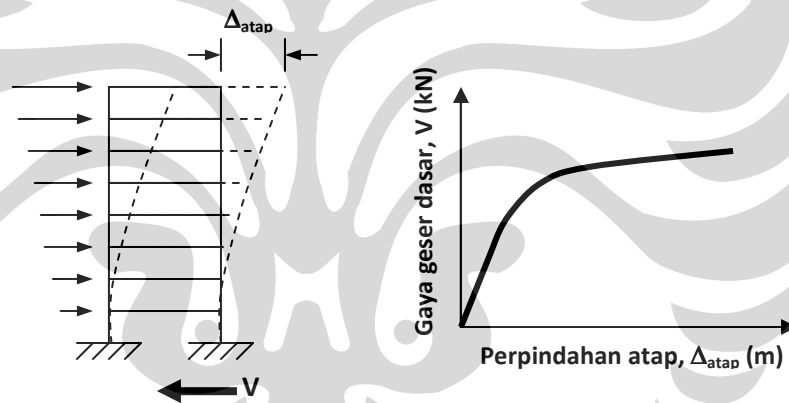
Penyajian secara grafis dapat memberikan gambaran yang jelas bagaimana sebuah bangunan merespon beban gempa. Perencana dapat membuat berbagai skenario kekuatan struktur (dengan cara mengganti kekakuan dari beberapa komponen struktur) dan melihat kinerjanya akibat beberapa level *demand* yang dikehendaki secara cepat dalam satu grafik (Gambar 14). Titik kinerja merupakan perpotongan antara spektrum kapasitas dan spektrum *demand*. Dengan demikian titik kinerja merupakan representasi dari dua kondisi, yaitu: 1) karena terletak pada spektrum kapasitas, merupakan representasi kekuatan struktur pada suatu nilai perpindahan tertentu, dan 2) karena terletak pada kurva *demand*, menunjukkan bahwa kekuatan struktur dapat memenuhi *demand* beban yang diberikan.



Gambar 14. Beberapa titik kinerja dalam satu grafik dalam CSM

II.2.6.1.1 Kurva Kapasitas Dan Spektrum Kapasitas

Kurva kapasitas yang didapatkan dari analisis *pushover* menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan momen-deformasi dari masing-masing komponen struktur. Cara termudah untuk membuat kurva ini adalah dengan mendorong struktur secara bertahap (*pushover*) dan mencatat hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap akibat beban lateral yang dikerjakan pada struktur dengan pola pembebanan tertentu (Gambar 15). Pola pembebanan umumnya berupa respon mode-1 struktur (atau bisa juga berupa beban statik ekuivalen) berdasarkan asumsi bahwa ragam struktur yang dominan adalah mode-1. Hal ini berlaku untuk bangunan yang memiliki periode fundamental struktur yang relatif kecil. Untuk bangunan yang lebih fleksibel dengan periode struktur yang lebih besar, sebaiknya memperhitungkan pengaruh mode yang lebih tinggi dalam analisisnya.



Gambar 15. Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas diubah menjadi spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) dalam format ADRS melalui persamaan:

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (1)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{atap}}{PF_1 \phi_{atap,1}} \quad (2)$$

$$PF_1 = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g}{\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g} \right] \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]} \quad (4)$$

dimana:

PF_1 = faktor partisipasi ragam (*modal participation factor*) untuk mode ke-1

α_1 = koefisien massa ragam untuk ragam ke-1

w_i/g = massa lantai i

ϕ_{i1} = perpindahan pada lantai i ragam ke-1

N = jumlah lantai

V = gaya geser dasar

W = berat struktur (akibat beban mati dan beban hidup tereduksi)

Δ_{atap} = perpindahan atap (yang digunakan pada kurva kapasitas)

S_a = spektrum percepatan

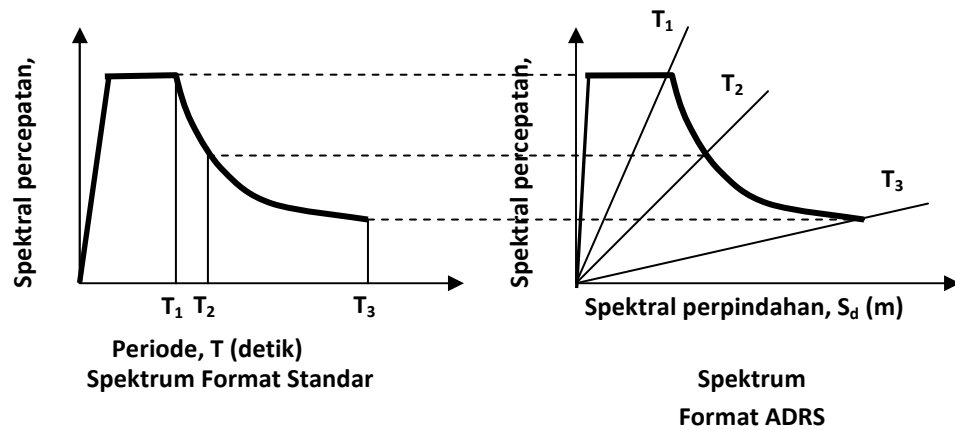
S_d = spektrum perpindahan

II.2.6.1.2 Spektrum Demand (*Demand Spectrum*)

Spektrum demand didapatkan dari spektrum respons elastis yang disediakan di peraturan bangunan, yang pada umumnya dinyatakan dalam satuan percepatan, S_a (m/detik²) dan periode struktur, T (detik). Sama halnya dengan kurva kapasitas, spektrum respons ini juga perlu diubah dalam format ADRS menjadi spektrum demand. Gambar 16 menunjukkan spektrum yang sama yang ditampilkan dalam format standar (S_a dan T) dan format ADRS (S_a dan S_d). Pada format ADRS, periode struktur yang sama merupakan garis lurus radial dari titik nol. Hubungan antara S_a , S_d , dan T , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [12]:

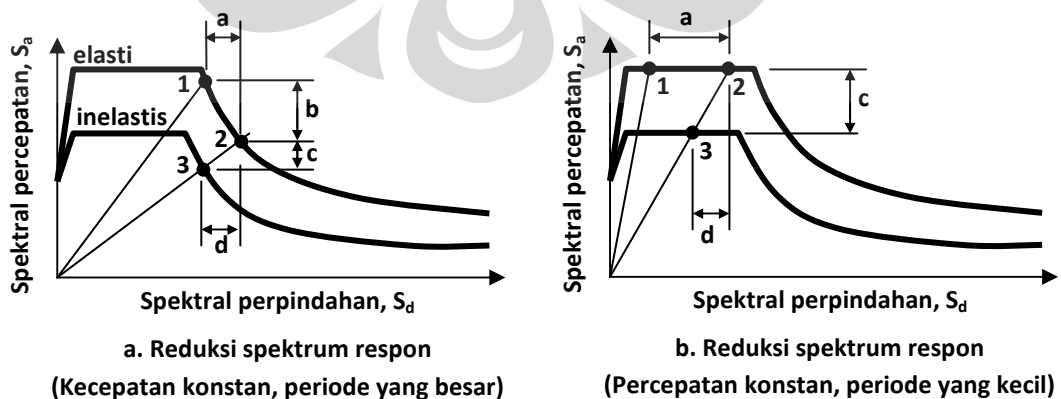
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_a}} \quad (5)$$

$$S_d = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 S_a \quad (6)$$



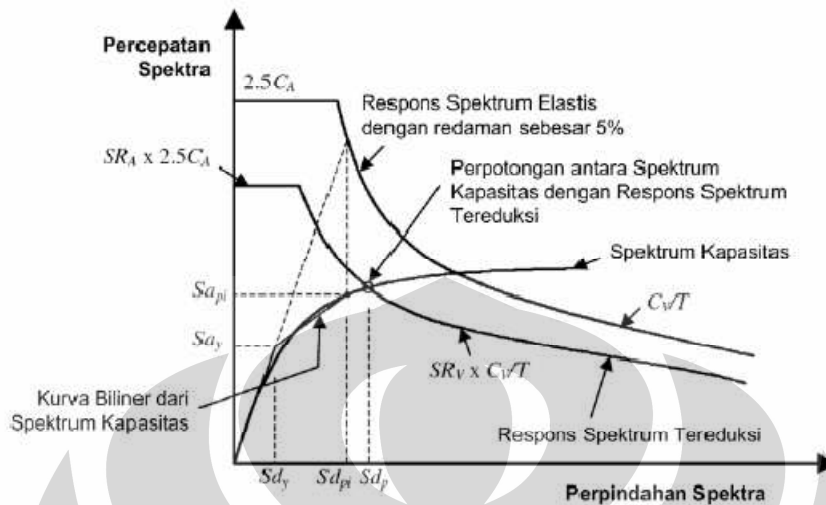
Gambar 16. Spektrum respon yang ditampilkan dalam format standar dan ADRS

Karena pada saat gempa besar telah terjadi plastifikasi di banyak tempat, maka perlu dibuat spektrum demand dengan memperhatikan redaman (*damping*) yang terjadi karena plastifikasi tersebut. Gambar 17 memberikan penjelasan mengapa terjadi reduksi pada respon inelastis. Titik 1 menunjukkan *demand* elastis. Jika terjadi reduksi kekuatan struktur akibat perilaku inelastis, periode efektif struktur menjadi semakin besar seperti pada titik 2. Pada kondisi ini, perpindahan bertambah sebesar "a" dan percepatan berkurang sebesar "b". Jika struktur berperilaku inelastis (nonlinier), pada periode yang sama dengan titik 2, *demand* berkurang menjadi spektrum respon inelastis pada titik 3. Jadi, kembali terjadi pengurangan percepatan sebesar "c" dan pengurangan perpindahan sebesar "d". Total pengurangan percepatan sebesar "b+c" dan perpindahan perlu dimodifikasi sebesar "a-d". Jika besarnya "a" diperkirakan sama dengan "d", maka perpindahan inelastis sama dengan perpindahan elastis (Gambar 17a). Jika "a" lebih besar daripada "d" maka perpindahan inelastis menjadi lebih kecil daripada perpindahan elastis (Gambar 17b).



Gambar 17. Reduksi respon spektrum

Karena waktu getar ekuivalen dan redaman merupakan fungsi dari perpindahan maka penyelesaian untuk mendapatkan perpindahan inelastik maksimum (titik kinerja) adalah bersifat iteratif.



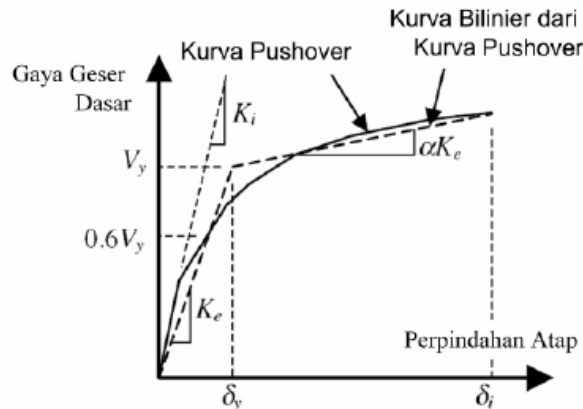
Gambar 18. Penentuan titik kinerja menurut spektrum kapasitas

Metode spectrum kapasitas telah *built-in* dalam program ETABS, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program. Data yang perlu dimasukkan cukup memberikan kurva respon spektrum rencana, yang terdapat dalam peraturan.

II.2.6.4 Metode Koefisien Perpindahan (*DCM*)

Displacement Coefficient Method merupakan prosedur statik nonlinier yang terdapat dalam FEMA 273/356. Penyelesaian dilakukan dengan memodifikasi respons elastis linier dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 sehingga diperoleh perpindahan global maksimum (elastis dan inelastis) yang disebut target perpindahan, δT .

Proses dimulai dengan menetapkan waktu getar efektif, T_e , yang memperhitungkan kondisi inelastis bangunan. Untuk memperoleh periode getar alami efektif dapat dilakukan dengan bantuan kurva hasil analisis *pushover*.



Gambar 19. Periode Getar Alami dari Kurva Pushover

Kurva pushover diubah terlebih dahulu menjadi kurva bilinear untuk mengestimasi kekakuan lateral efektif bangunan, K_e , dan kuat leleh bangunan, V_y . Kekakuan lateral efektif dapat diambil dari kekakuan secant yang dihitung dari gaya geser dasar sebesar 60% dari kuat leleh. Karena kuat leleh diperoleh dari titik potong kekakuan lateral efektif pada kondisi elastis (K_e) dan kondisi inelastis (αK_e), maka prosesnya dilakukan secara *trial and error*. Selanjutnya waktu getar alami efektif, T_e , dapat dihitung sebagai:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (7)$$

dimana K_i dan T_i adalah kekakuan awal pada arah yang ditinjau dan periode alami awal elastis (dalam detik).

Waktu getar alami efektif ini di-plot-kan pada spektrum respons sehingga diperoleh percepatan puncak, S_a . Rendaman yang digunakan 5% yang mewakili level yang diharapkan terjadi pada struktur yang mempunyai respons pada daerah elastis. Spektral Peralihan puncak, S_d , berhubungan langsung dengan spektral akselerasi, S_a , melalui persamaan sebagai berikut:

$$S_d = \frac{T_e^2}{4\pi^2} S_a \quad (8)$$

Selanjutnya target perpindahan pada titik kontrol δ_T , ditentukan dari rumus berikut :

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g \quad (9)$$

dimana,

T_e = waktu getar alami efektif

C_0 = koefisien faktor bentuk, untuk merubah perpindahan spektral menjadi perpindahan atap, umumnya memakai faktor partisipasi ragam yang pertama (*first mode participation factor*) atau berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA 356.

C_1 = faktor modifikasi yang menghubungkan perpindahan inelastik maksimum dengan perpindahan yang dihitung dari respon elastik linier.

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{aT_e}$$

Konstanta a adalah sama dengan 130, 90 dan 60 untuk site kategori B, C dan D. Untuk waktu getar kurang dari 0.2 detik maka nilai C_1 pada 0.2 detik dapat dipakai. Untuk waktu getar lebih dari 1.0 detik maka C_1 dapat dianggap sama dengan 1

R = rasio kuat elastik perlu terhadap koefisien kuat leleh terhitung

$$R = \frac{S_a}{V_y / W} C_m$$

S_a = akselerasi respons spektrum yang berkesesuaian dengan waktu getar alami efektif pada arah yang ditinjau.

V_y = gaya geser dasar pada saat leleh, dari idealisasi kurva *pushover* menjadi bilinier.

W = total beban mati dan beban hidup yang dapat direduksi.

C_m = faktor massa efektif yang diambil dari Tabel 3-1 dari FEMA 356.

C_2 = koefisien untuk memperhitungkan efek “pinching” dari hubungan beban-deformasi akibat degradasi kekakuan dan kekuatan.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{R-1}{T_e} \right)^2$$

untuk waktu getar kurang dari 0.2 detik maka nilai C_2 pada 0.2 detik dapat dipakai. Untuk waktu getar lebih dari 0.7 detik maka C_2 dapat dianggap sama dengan 1.

C_3 = koefisien untuk memperhitungkan pembesaran lateral akibat adanya efek P- Δ .

Koefisien diperoleh secara empiris dari studi statistik analisa riwayat waktu non-linier dari SDOF dan diambil berdasarkan pertimbangan *engineering*

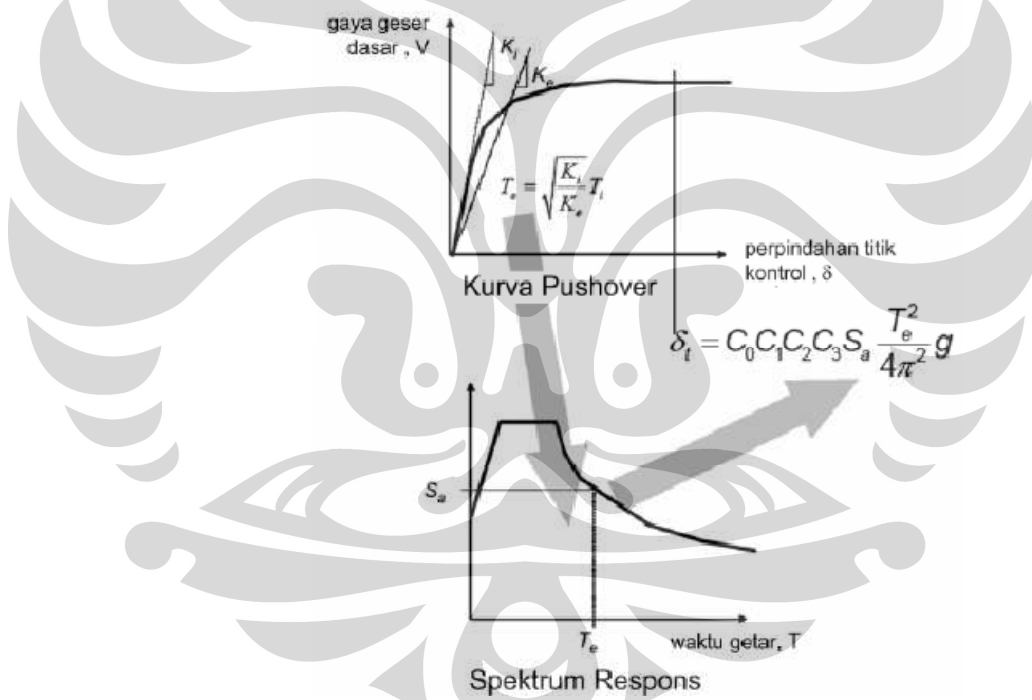
judgement, dimana jika perilaku hubungan gaya geser dasar – lendutan pada kondisi pasca leleh kekakuannya positif (kurva meningkat) maka $C_3 = 1$, sedangkan jika perilaku pasca lelehnya negatif (kurva menurun) maka

$$C_3 = 1.0 + \frac{|\alpha|(R-1)^{3/2}}{T_e}$$

α = rasio kekakuan pasca leleh terhadap kekakuan elastik efektif, dimana hubungan gayalendutan diidealisasikan sebagai kurva bilinear

g = percepatan gravitasi 9.81 m/det².

Ilustrasi berikut dapat memberikan gambaran secara jelas penerapan Metode Koefisien Perpindahan dalam menetapkan target perpindahan dari struktur yang akan dievaluasi.



Gambar 20. Skematik Prosedur Metode Koefisien Perpindahan (*FEMA 440*)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 PROSEDUR ANALISIS

III.1.1 Tahapan Analisis

Tahapan utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Melakukan pemodelan struktur 3 dimensi yang memenuhi ketentuan perencanaan bangunan baja Indonesia dan AISC 2005.
2. Melakukan analisis beban gempa terhadap model struktur dengan analisis modal
3. Melakukan pengecekan terhadap model struktur untuk melihat apakah model memenuhi persyaratan untuk analisis statik non-linier serta persyaratan-persyaratan yang terdapat dalam peraturan, bila perlu dilakukan *redesign*.
4. Membuat pemodelan struktur 2D dari gedung yang ditinjau
5. Melakukan analisis pushover dengan SAP 2000. Analisis beban dorong dilakukan dalam dua tahap, yang pertama struktur diberi beban gravitasi (kombinasi beban mati dan beban hidup yang direduksi). Analisis tahap pertama belum memperhitungkan kondisi non-linier. Selanjutnya analisis dilanjutkan dengan memberikan pola beban lateral yang diberikan secara monotonik bertahap. Pola beban lateral minimal dua buah setiap arahnya sesuai ketentuan FEMA agar diperoleh kondisi yang paling kritis.
6. Proses pembebanan dilanjutkan sampai batas kinerja terdeteksi dari perpindahan titik kontrol pada atap.
7. Dari analisis pushover diperoleh kurva pushover. Kurva ini selanjutnya digunakan untuk menentukan target perpindahan
8. Selanjutnya akumulasi gaya dan deformasi dievaluasi pada target perpindahan untuk mengetahui kinerja setiap komponen.
 - a. Untuk perilaku yang dikontrol deformasi (misal, lentur balok), besarnya deformasi dibandingkan dengan deformasi ijin yang ada dalam FEMA 356.
 - b. Untuk perilaku yang dikontrol gaya (misal, geser balok), kapasitas kekuatan dibandingkan dengan gaya yang terjadi. Kapasitas kekuatan juga telah didefinisikan dalam FEMA-273/ 356.
9. Jika salah satu (a) **gaya perlu** dalam aksi atau komponen atau elemen yang dikontrol gaya, atau (b) **besarnya deformasi** yang terjadi dalam aksi, komponen atau elemen yang

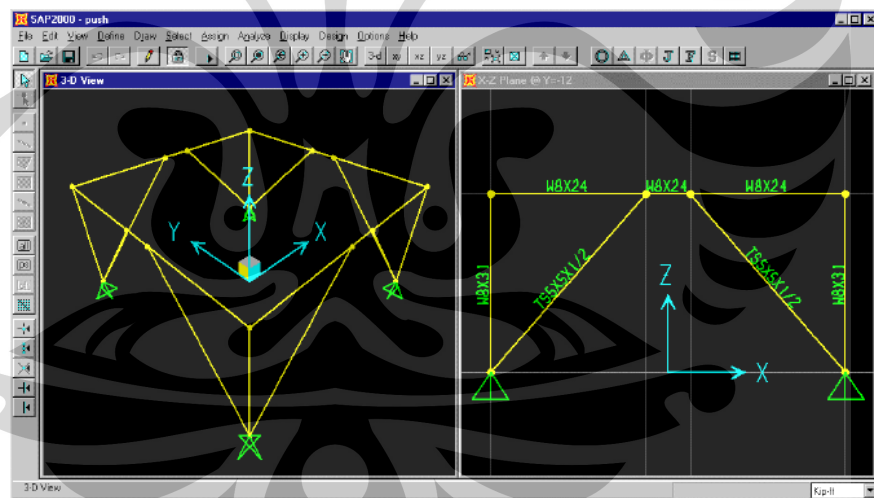
dikontrol deformasi, melebihi nilai-nilai yang ditetapkan maka dianggap kinerjanya tidak memenuhi syarat.

- * Tahap 9 dan 10 dalam prosedur ini dilakukan secara otomatis oleh program SAP 2000, dan hasilnya dapat berupa grafik atau tabel yang menyajikan kondisi setiap komponen.
- 10. Melakukan perubahan pada parameter yang ditinjau, yaitu konfigurasi bresing dan panjang link
- 11. Melakukan perbandingan hasil yang diperoleh pada tahap 10, kemudian dilakukan analisa terhadap hasil yang diperoleh untuk mendapatkan kesimpulan.

III.1.2 Prosedur Pushover dengan SAP 2000

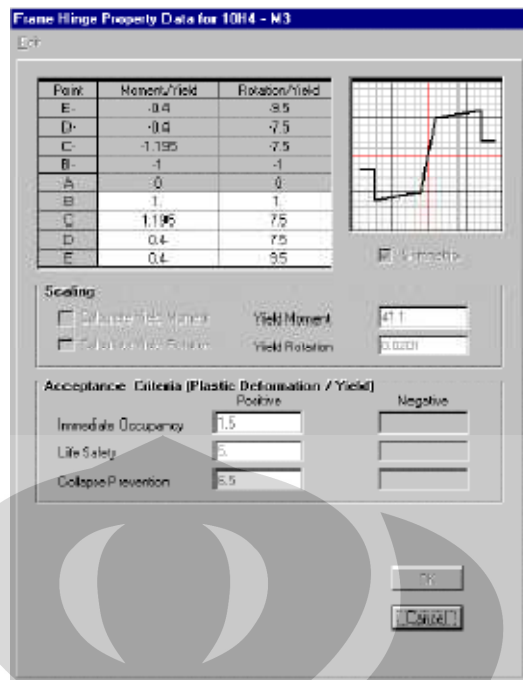
Prosedur analisis pushover dengan SAP 2000 mengacu pada *paper* berjudul “Practical Three Dimensional Nonlinear Static Pushover Analysis” yang ditulis oleh Ashraf Habibullah dan Stephen Pyle. Tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Membuat model struktur (tanpa data pushover), seperti ditunjukkan pada gambar 21.



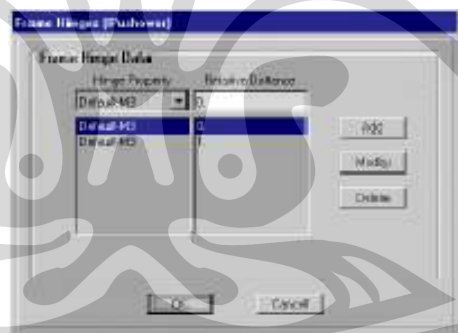
Gambar 21. Contoh model struktur sederhana

2. Definisikan *hinge properties* dan kriteria penerimaan untuk tinjauan nodal, seperti ditunjukkan pada gambar 22. Di dalam program SAP 2000 telah *built-in* berbagai *default hinge properties* berdasarkan nilai rata-rata dari ATC-40 (untuk beton) dan FEMA-273 (untuk baja).



Gambar 22. Data hinge properties

- Menetapkan lokasi nodal pushover pada model dengan memilih satu atau lebih member portal, dan tentukan hinge propertiesnya.



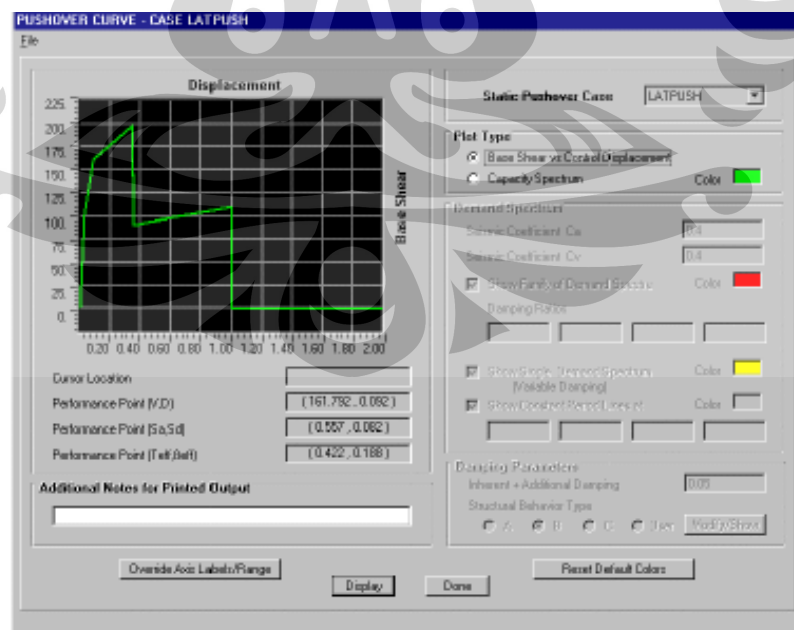
Gambar 23. menentukan sendi plastis

- Menentukan pushover *load cases*. Biasanya *pushover load case* yang pertama digunakan untuk beban gravitasi dan selanjutnya *pushover load case* beban lateral ditetapkan dan dimulai dari kondisi akhir pushover gravitasi. *pushover load case* dapat berupa *force-controlled*, dimana struktur didorong hingga mencapai target beban maksimum tertentu, atau *displacement-controlled*, dimana struktur didorong hingga target peralihan tertentu.



Gambar 24. Data *load case* pushover

5. Jalankan analisis statik dan, bila diinginkan, analisis dinamik. Kemudian jalankan analisis pushover static nonlinier
6. Tampilkan kurva pushover seperti ditunjukkan pada gambar 25. Untuk melihat kordinat dari tiap step kurva pushover, jumlah sendi plastis, dan kondisi sendi plastis yang dialami tiap nodal (misal IO, LS, atau CP), dapat ditunjukkan melalui tabel data kurva pushover, seperti pada gambar 26.

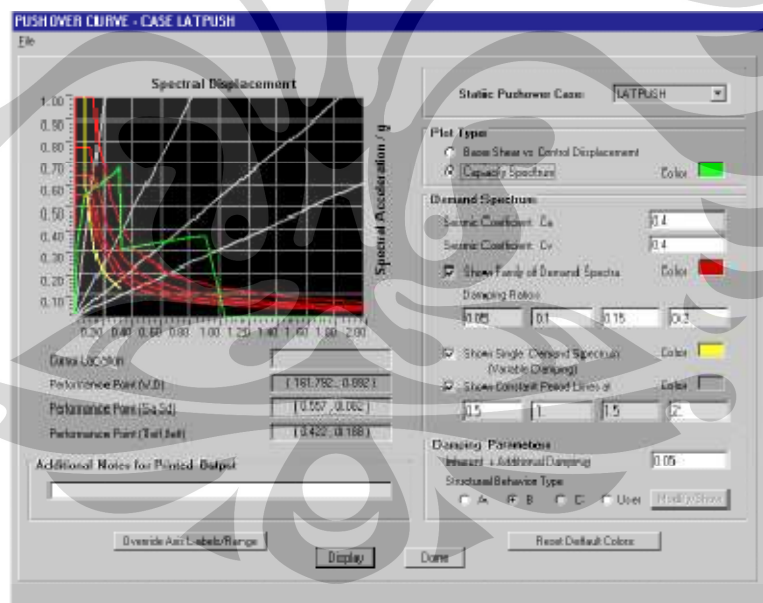


Gambar 25. Kurva pushover

Step	Displacement	Base Shear	A-B	B-ID	ID-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0.0000	0.0000	00	0	0	0	0	0	0	0	00
1	0.0274	100.4879	57	3	0	0	0	0	0	0	60
2	0.0821	157.4939	51	8	1	0	0	0	0	0	60
3	0.0970	161.1401	48	11	1	0	0	0	0	0	60
4	0.3481	198.9614	46	6	3	2	1	2	0	0	60
5	0.3481	160.7877	46	6	3	2	1	0	2	0	60
6	0.3513	161.2326	46	6	3	2	1	0	0	2	60
7	0.3513	142.7613	46	6	3	2	1	0	0	2	60
8	0.3530	144.4506	46	6	3	2	1	0	0	2	60
9	0.3564	144.9255	46	6	3	0	1	2	0	2	60
10	0.3565	108.0511	46	6	3	0	1	0	2	2	60
11	0.3596	108.2019	46	6	3	0	1	0	0	4	60
12	0.3596	89.6470	46	6	3	0	1	0	0	4	60
13	0.4538	93.9015	40	12	3	0	1	0	0	4	60
14	0.6538	99.5164	40	0	15	0	1	0	0	4	60
15	0.8538	105.1312	40	0	10	5	1	0	0	4	60
16	1.0031	109.3216	40	0	0	13	1	2	0	4	60
17	1.0031	-0.4843	40	0	0	11	1	0	0	8	60
18	1.2031	-0.4404	40	0	0	11	1	0	0	8	60
19	1.4031	-0.3965	40	0	0	11	1	0	0	8	60
20	1.6031	-0.3526	40	0	0	11	1	0	0	8	60
21	1.8031	-0.3086	40	0	0	11	1	0	0	8	60
22	2.0000	-0.2654	40	0	0	11	1	0	0	8	60

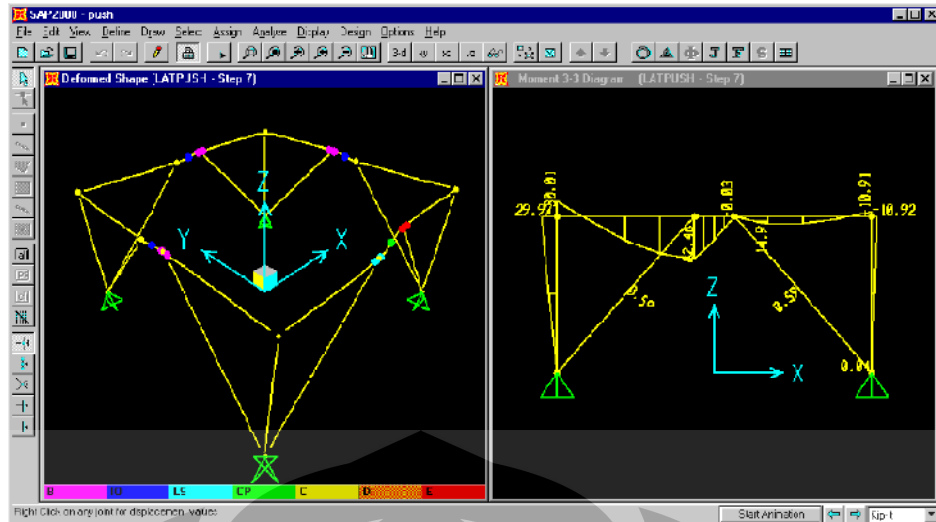
Gambar 26. Data tabular untuk kurva pushover

- Tampilkan kurva spektrum kapasitas seperti ditunjukkan pada gambar 27. Titik kinerja (*performance point*) dinyatakan sebagai perpotongan antara kurva kapasitas (hijau) dan kurva *spectrum demand* (kuning).



Gambar 27. Kurva spektrum kapasitas

- Evaluasi kembali secara step by step, bentuk peralihan dan formasi sendi plastis
- Evaluasi kembali secara step by step, gaya dalam member struktur. Output lain yang dapat dilihat untuk tiap tahap pushover antar lain displacement joint, gaya dalam, gaya pada sendi plastis, dan kondisi pembentukan sendi plastis. Hal ini dapat digunakan untuk mengetahui gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta bagian-bagian yang kritis.



Gambar 28. Deformasi dan gaya member step by step

III.1.3 Parameter studi

Parameter studi yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Konfigurasi bresing

Model struktur EBF dibuat dalam 3 tipe konfigurasi bracing, yaitu **tipe D**, **tipe Split-V**, dan **tipe V**. Konfigurasi ini ditunjukkan dalam gambar 29.

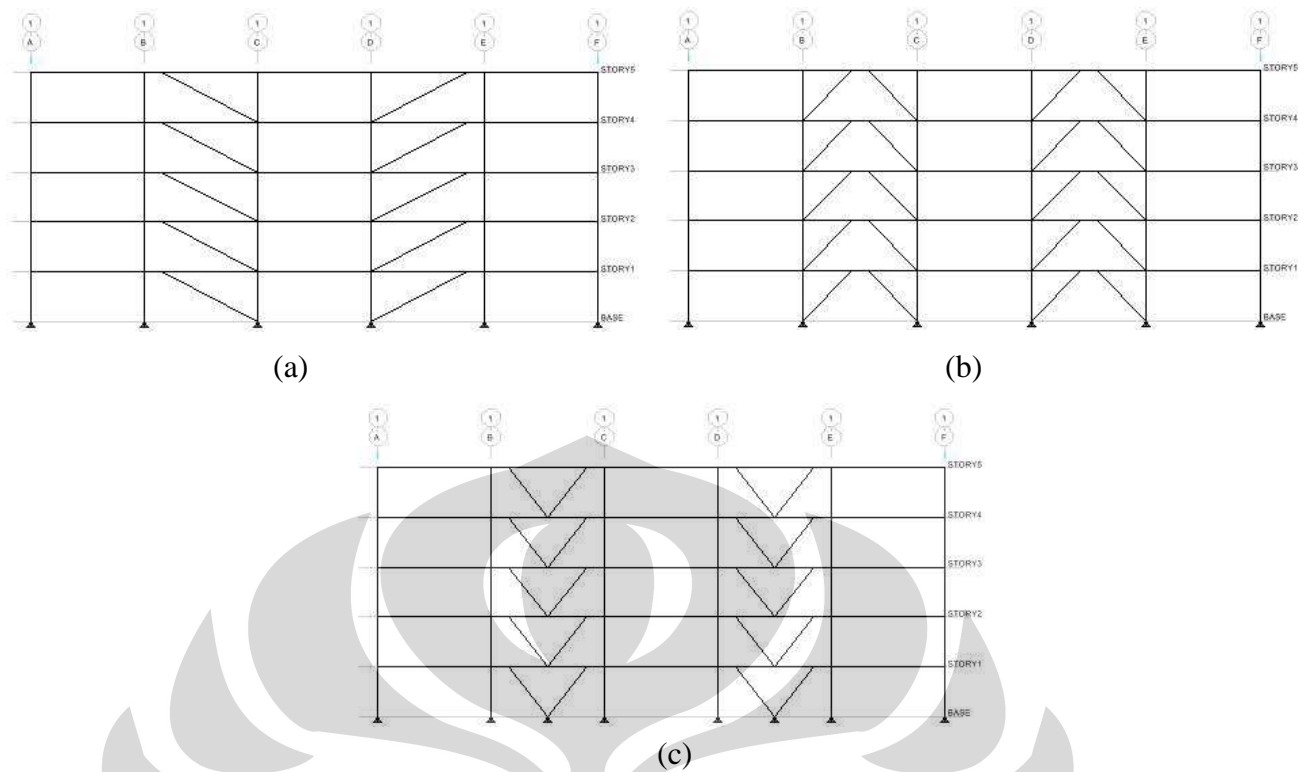
2. Panjang link

Masing-masing tipe EBF dibuat dalam tiga panjang link (e) yang berbeda, yaitu $e_1 = 0.7 \text{ m}$, $e_2 = 0.9 \text{ m}$, dan $e_3 = 1.2 \text{ m}$. Panjang link e_1 dan e_2 masuk dalam kategori link pendek, sementara link e_3 masuk kategori link menengah. Untuk pengecekan kategori panjang link dapat dilihat pada lampiran 4.06

3. Jumlah lantai

Model struktur dibuat dalam tiga ketinggian yang berbeda, yaitu **5 lantai**, **7 lantai**, dan **9 lantai**.

Model struktur dalam penelitian ini terdiri dari model MRF dan EBF. Untuk tiap ketinggian terdapat 1 model MRF dan 9 model EBF, sehingga total terdapat 30 model struktur yang dianalisis.

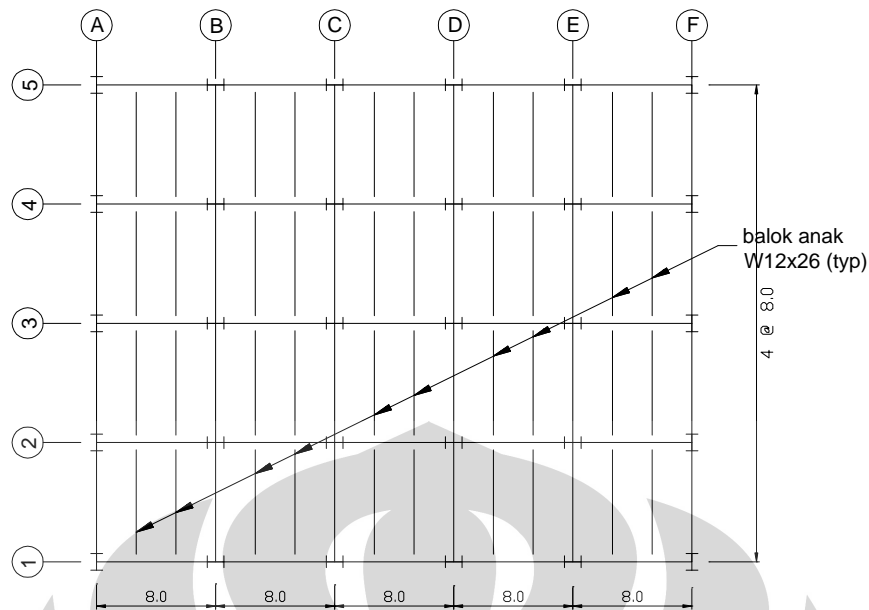


Gambar 29. Konfigurasi bresing. (a) EBF tipe D, (b) EBF tipe Split-V, (c) EBF tipe V

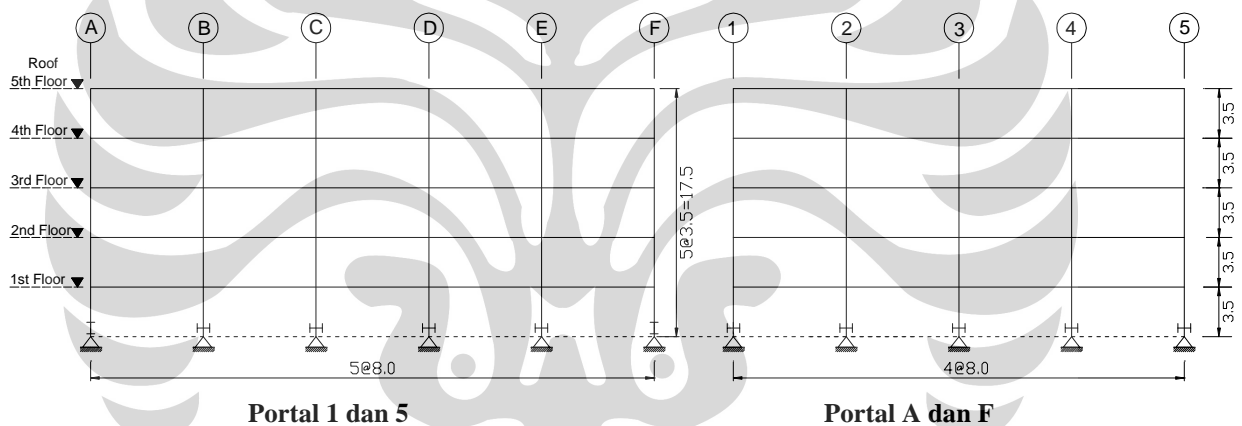
III.1.4 Modelisasi

Dalam perancangan struktur bangunan gedung, dilakukan analisis dinamik 3D untuk mengetahui karakteristik dinamik gedung dan mendapatkan profil optimum berdasarkan stress ratio. Pemodelan struktur dilakukan dengan bantuan program ETABS v9.02. Perletakan struktur dianggap sendi dan tidak dibahas interaksi tanah-struktur. Model dibuat sesuai dengan parameter studi yang digunakan, yaitu berdasarkan konfigurasi bresing, panjang link, dan ketinggian.

Struktur direncanakan terlebih dahulu mengacu pada standar SNI 03 – 1729 – 2000 dan SNI 03 – 1726 – 2002. Pada cara perencanaan yang biasa maka proses selesai jika setiap persyaratan terpenuhi. Untuk perencanaan berbasis kinerja, kondisi tersebut dilanjutkan dengan analisa beban dorong statik (*static push over analysis*) untuk melihat kinerja sesungguhnya terhadap pembebanan lateral.



Gambar 30. Denah Bangunan Tipikal (m)



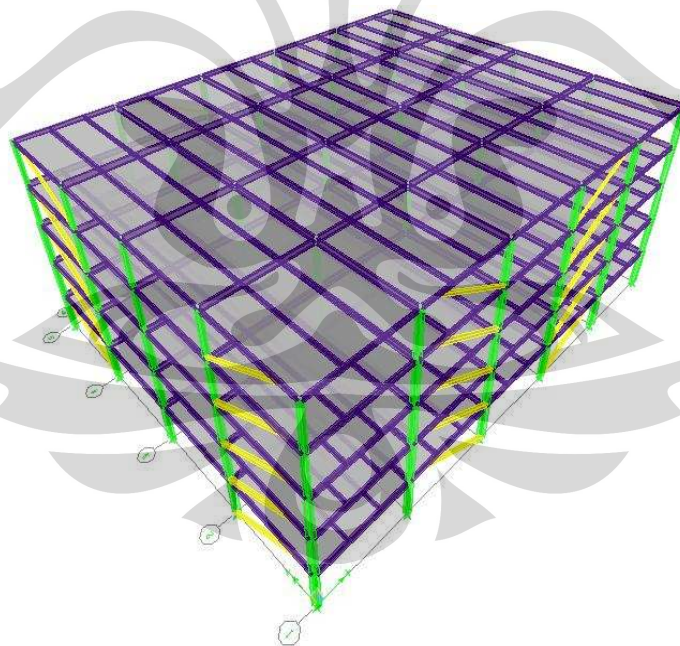
Gambar 31. Elevasi Portal Pinggir (m)

Konfigurasi bangunan yang dipilih adalah regular dan tipikal seperti halnya struktur baja pada umumnya, yaitu agar dapat difabrikasi dan dilaksanakan secara cepat. Tinggi lantai tipikal yaitu 3,5 m. Sistem lantai adalah beton bertulang dengan tebal 12 cm, yang didukung oleh balok anak setiap jarak 2,7 m (tipikal). Balok anak terdiri dari profil W12x26 sebagai sistem struktur sederhana (simple beam). Hubungan balok dengan lantai diberi tulangan angkur sehingga lantai dapat dianggap sebagai diafragma kaku pada bidang horizontal. Semua sistem sambungan dari portal adalah sambungan kaku yang mempunyai kekuatan sambungan minimal sama dengan penampang profil yang terlemah. Semua bracing model EBF pada studi ini dirancang *axial-force only*. Selanjutnya struktur akan dianalisis sebagai analisa struktur 3D.

Properti Sendi

Pemodelan sendi digunakan untuk mendefinisikan perilaku nonlinier *force-displacement* dan/atau momen-rotasi yang dapat ditempatkan pada beberapa tempat berbeda di sepanjang bentang balok atau kolom. Dalam studi ini, elemen kolom menggunakan tipe sendi *default PMM*, dengan pertimbangan bahwa elemen kolom terdapat hubungan gaya aksial dengan momen (diagram interaksi P-M). Sedangkan untuk elemen balok menggunakan tipe sendi *default-V2* dan *default-M3*, dengan pertimbangan bahwa balok efektif menahan momen dalam arah sumbu kuat (sumbu-3), sehingga diharapkan sendi plastis terjadi pada balok. Sendi diasumsikan terletak pada masing-masing ujung pada elemen balok dan elemen kolom. Sementara pada balok link sendi ditempatkan pada posisi ujung, $\frac{1}{4}$, dan $\frac{1}{2}$ bentang. Untuk menghindari keruntuhan pada sambungan yang bersifat getas maka semua sendi plastis pada ujung balok dianggap terjadi di muka kolom dengan asumsi $0.05L$ dari as.

III.1.4.1 Model Struktur Gedung 5 Lantai

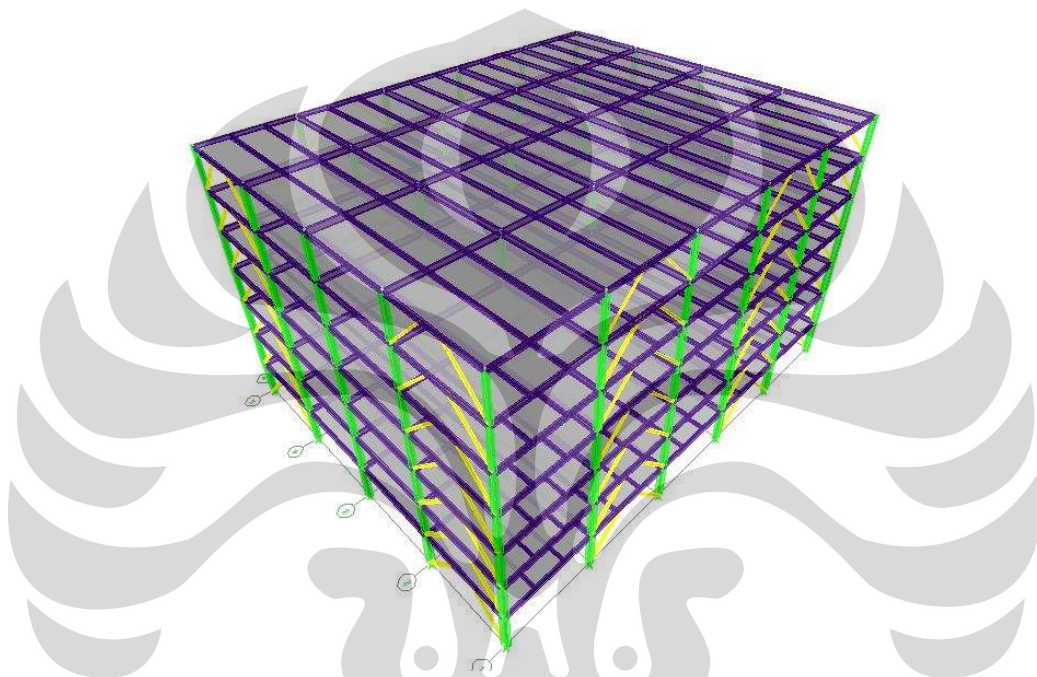


Gambar 32. Model 3D gedung 5 lantai

Edge Frames (Beams)			Interior Frames (Beams)		
Story	Elev 1 & 5	Elev A & F	Story	Elev 2 - 4	Elev B - E
5	W12X26	W12X26	5	W18X35	W18X50
4	W16X36	W16X36	4	W18X50	W18X55
3	W16X45	W16X45	3	W18X50	W18X55
2	W16X57	W16X57	2	W18X50	W18X55
1	W18X65	W18X65	1	W18X50	W18X55

Story	Kolom				Bracing					
	Elev 1 & 5		Elev 2 - 4		Type D		Type Split-V		Type V	
	Pinggir	Tengah	Pinggir	Tengah	Elev 1 & 5	Elev A & F	Elev 1 & 5	Elev A & F	Elev 1 & 5	Elev A & F
5	W14X74	W14X90	W14X82	W14X61	HSS7X7X5/16	HSS7X7X5/16	HSS5X5X1/2	HSS5X5X1/2	HSS5X5X1/4	HSS5X5X1/4
4	W14X74	W14X90	W14X82	W14X61	HSS10X10X5/16	HSS10X10X5/16	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/2	HSS7X7X5/16	HSS7X7X5/16
3	W14X145	W14X193	W14X159	W14X120	HSS10X10X5/16	HSS10X10X5/16	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/2	HSS7X7X5/16	HSS7X7X5/16
2	W14X145	W14X193	W14X159	W14X120	HSS10X10X3/8	HSS10X10X3/8	HSS7X7X3/8	HSS7X7X3/8	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2
1	W14X233	W14X257	W14X233	W14X159	HSS10X10X1/2	HSS10X10X1/2	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2

III.1.4.2 Model Struktur Gedung 7 Lantai

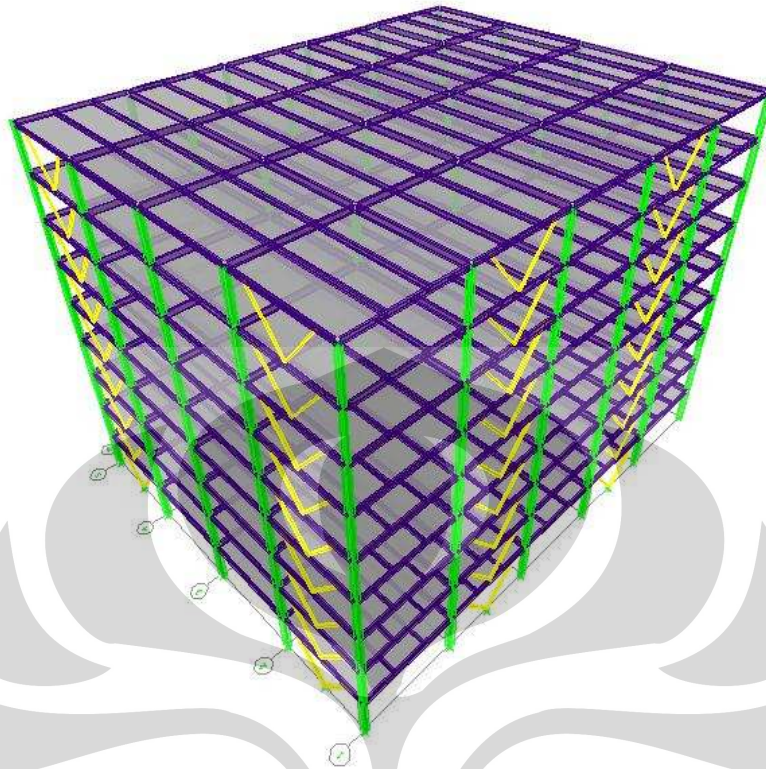


Gambar 33. Model 3D gedung 7 lantai

Edge Frames (Beams)			Interior Frames (Beams)		
Story	Elev 1 & 5	Elev A & F	Story	Elev 2 - 4	Elev B - E
7	W12X26	W12X26	7	W18X35	W18X50
6	W16X31	W16X31	6	W18X46	W18X55
5	W16X36	W16X36	5	W18X46	W18X55
4	W16X50	W16X50	4	W18X46	W18X55
3	W18X50	W18X50	3	W18X46	W18X55
2	W18X55	W18X55	2	W18X46	W18X55
1	W18X65	W18X65	1	W18X50	W18X55

Story	Kolom				Bracing					
	Elev 1 & 5		Elev 2 - 4		Bracing Type D		Type Split-V		Type V	
	Pinggir	Tengah	Pinggir	Tengah	Elev 1 & 5	Elev A & F	Elev 1 & 5	Elev A & F	Elev 1 & 5	Elev A & F
7	W14X68	W14X68	W14X90	W14X53	HSS7X7X5/16	HSS7X7X5/16	HSS5X5X3/8	HSS5X5X3/8	HSS4X4X5/16	HSS4X4X5/16
6	W14X68	W14X74	W14X90	W14X82	HSS8X8X3/8	HSS8X8X3/8	HSS6X6X5/16	HSS6X6X5/16	HSS5X5X5/16	HSS5X5X5/16
5	W14X109	W14X132	W14X145	W14X120	HSS10X10X5/16	HSS10X10X5/16	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/4	HSS6X6X1/4
4	W14X109	W14X132	W14X145	W14X120	HSS10X10X5/16	HSS10X10X5/16	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/4	HSS6X6X1/4
3	W14X176	W14X193	W14X211	W14X176	HSS10X10X3/8	HSS10X10X3/8	HSS7X7X3/8	HSS7X7X3/8	HSS6X6X3/8	HSS6X6X3/8
2	W14X176	W14X193	W14X211	W14X176	HSS10X10X3/8	HSS10X10X3/8	HSS7X7X3/8	HSS7X7X3/8	HSS6X6X3/8	HSS6X6X3/8
1	W14X283	W14X283	W14X283	W14X233	HSS10X10X5/8	HSS10X10X5/8	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2

III.1.4.3 Model Struktur Gedung 9 Lantai



Gambar 34. Model 3D gedung 9 lantai

Edge Frames (Beams)			Interior Frames (Beams)		
Story	Elev 1 & 5	Elev A & F	Story	Elev 2 - 4	Elev B - E
9	W12X26	W12X26	9	W18X35	W18X50
8	W16X31	W16X31	8	W18X46	W18X55
7	W16X36	W16X36	7	W18X46	W18X55
6	W16X36	W16X36	6	W18X46	W18X55
5	W16X45	W16X45	5	W18X50	W21X55
4	W16X45	W16X45	4	W18X50	W21X55
3	W18X50	W18X50	3	W18X50	W21X55
2	W18X50	W18X50	2	W18X50	W21X55
1	W18X65	W18X65	1	W18X50	W21X55

Story	Kolom				Bracing					
	Elev 1 & 5		Elev 2 - 4		Bracing Tipe D		Tipe Split-V		Tipe V	
	Pinggir	Tengah	Pinggir	Tengah	Elev 1 & 5	Elev A & F	Elev 1 & 5	Elev A & F	Elev 1 & 5	Elev A & F
9	W14X68	W14X68	W14X90	W14X48	HSS7X7X3/8	HSS7X7X3/8	HSS5X5X5/16	HSS5X5X5/16	HSS4X4X1/4	HSS4X4X1/4
8	W14X68	W14X68	W14X90	W14X82	HSS8X8X3/8	HSS8X8X3/8	HSS6X6X5/16	HSS6X6X5/16	HSS5X5X1/4	HSS5X5X1/4
7	W14X99	W14X109	W14X120	W14X120	HSS8X8X3/8	HSS8X8X3/8	HSS6X6X3/8	HSS6X6X3/8	HSS6X6X1/4	HSS6X6X1/4
6	W14X99	W14X109	W14X120	W14X120	HSS10X10X5/16	HSS10X10X5/16	HSS6X6X3/8	HSS6X6X3/8	HSS6X6X1/4	HSS6X6X1/4
5	W14X132	W14X159	W14X159	W14X159	HSS10X10X5/16	HSS10X10X5/16	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/4	HSS6X6X1/4
4	W14X132	W14X159	W14X159	W14X159	HSS10X10X3/8	HSS10X10X3/8	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/2	HSS6X6X1/4	HSS6X6X1/4
3	W14X193	W14X211	W14X233	W14X211	HSS10X10X3/8	HSS10X10X3/8	HSS7X7X3/8	HSS7X7X3/8	HSS6X6X3/8	HSS6X6X3/8
2	W14X193	W14X211	W14X233	W14X211	HSS10X10X1/2	HSS10X10X1/2	HSS7X7X3/8	HSS7X7X3/8	HSS6X6X3/8	HSS6X6X3/8
1	W14X257	W14X311	W14X342	W14X311	HSS10X10X5/8	HSS10X10X5/8	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2	HSS7X7X1/2

Pemodelan Elemen Struktur

Elemen-elemen struktur dimodelkan pada program ETABS meliputi elemen pelat, balok, kolom, dan pondasi.

- Pelat

Dalam program ETABS, pelat lantai dapat dimodelkan menjadi tiga type yang berbeda, antara lain :

- *Shell*

Type pelat lantai *shell* memiliki kekakuan membran pada kedua arah tegak lurus bidang dan *out-off plane bending stiffness*.

- *Membrane*

Pelat lantai jenis ini hanya memiliki kekakuan membran pada kedua arah tegak lurus bidangnya.

- *Plate*

Pelat lantai jenis ini hanya memiliki *out-off plane bending stiffness*.

Tipe pelat yang digunakan pada model struktur tugas akhir ini adalah type *shell*. Pelat lantai juga dimodelkan untuk bekerja sebagai *rigid diaphragm* karena lantai tingkat dan atap dianggap sangat kaku pada bidangnya terhadap beban kerja horizontal.

- 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.

- Pondasi

Pemodelan pondasi dilakukan dengan menganggap bahwa pondasi memberikan kekekangan translasi yang cukup pada semua arah sumbu bangunan. Berdasarkan asumsi yang digunakan tersebut, pondasi dimodelkan sebagai perletakan sendi pada lantai dasar bangunan, yaitu pada ujung-ujung kolom bawah lantai dasar.

III.1.4.4 Pembebanan

a. Beban mati pada pelat lantai

1. Adukan tebal 4 cm :	$4 \times 21 \text{ kgf/m}^2$	=	84.0 kgf/m^2
2. Lantai keramik tebal 7 mm :	$0.7 \times 24 \text{ kgf/m}^2$	=	16.8 kgf/m^2
3. Penggantung plafond		=	11.0 kgf/m^2
4. Penutup plafond		=	7.0 kgf/m^2
5. Mekanikal dan elektrik		=	20.0 kgf/m^2
			<hr/>
		SIDL	= 138.8 kgf/m^2

Beban hidup pada pelat lantai LL = 250.0 kgf/m^2

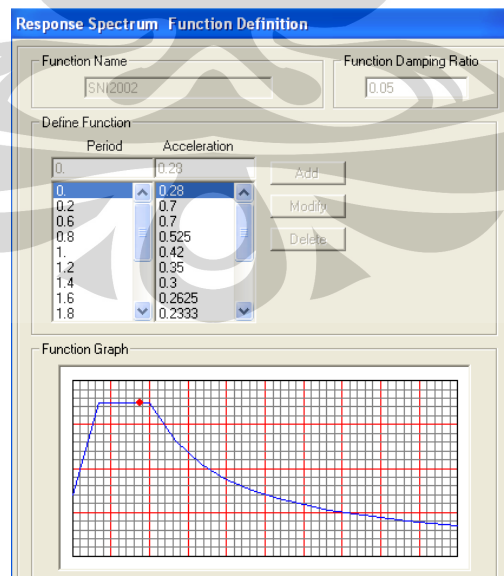
b. Beban mati pada pelat atap

1. Adukan tebal 4 cm :	$4 \times 21 \text{ kgf/m}^2$	=	84.0 kgf/m^2
2. Penggantung plafond		=	11.0 kgf/m^2
3. Penutup plafond		=	7.0 kgf/m^2
4. Mekanikal dan elektrik		=	20.0 kgf/m^2
			<hr/>
		SIDL	= 122.0 kgf/m^2

Beban hidup pada pelat atap LL = 100.0 kgf/m^2

c. Beban Dinamik

Pembebanan gempa pada program ETABS v9.02 diambil berdasarkan respon spektrum wilayah gempa 4 kondisi tanah sedang ($C = 0.42/T$), yaitu sebagai berikut:



Gambar 35. Respon spektrum percepatan gempa rencana

Faktor skala yang digunakan dalam input program ETABS adalah $\frac{I}{R} g = \frac{9.81}{8.5}$

Data-data teknis terkait pembebanan gempa adalah sebagai berikut:

- Kategori gedung: gedung perkantoran → Faktor keutamaan $I = 1$
- Sistem struktur gedung beraturan, tidak memiliki loncatan bidang muka
- Sistem rangka bresing eksentrik baja → $R_m = 7,0$
- Lokasi berada di zona (wilayah gempa) 4 dengan asumsi kondisi tanah sedang

→ Kombinasi beban analisa dinamik respon spektrum

Kombinasi beban yang digunakan mengacu pada SNI 03-2847-2002, yaitu:

Comb1: $1,4D + 1.4SDL$

Comb2: $1,2D + 1.2SDL + 1,6L$

Comb3: $1,2D + 1.2SDL + 0,5L + 1,0Eq-X$

Comb4: $1,2D + 1.2SDL + 0,5L + 1,0Eq-Y$

Comb5: $0,9D + 0,9SDL + 1,0Eq-X$

Comb6: $0,9D + 0,9SDL + 1,0Eq-Y$

→ Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental

Nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur dibatasi menurut persamaan $T_1 < \zeta n$. Menurut Tabel 8 SNI-1726-2002, untuk wilayah 4, maka nilai $\zeta = 0.17$

→ Faktor Reduksi Beban Hidup

Penulis mengambil faktor reduksi beban hidup berdasarkan SNI 1727-1989-F "Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung"

III.1.4.5 Analisis yang digunakan

Analisis nonlinier yang digunakan adalah analisis pushover dengan Capacity Spektrum Method (CSM), Displacement Coefficient Method (FEMA 356), dan Modified Displacement Coefficient Method (FEMA 440) untuk semua model sesuai FEMA-273 dengan bantuan program ETABS v9.02. Sebelum dilakukan analisis pushover, terlebih dahulu dilakukan analisis modal terhadap model struktur untuk pengecekan model dan untuk mendapatkan pola beban lateral. Hasil dari analisis CSM, DCM FEMA 356, dan DCM FEMA 440 dibandingkan untuk mengetahui perbedaan ketiganya dalam memprediksi respon struktur terhadap beban lateral gempa.

BAB IV

ANALISIS HASIL SIMULASI MODEL STRUKTUR

IV.1 MODEL STRUKTUR GEDUNG 5 LANTAI

IV.1.1 Analisis Beban Gempa

A. Model Moment Resisting Frame (MRF)

Dengan melakukan analisis modal struktur gedung MRF 5 lantai dengan ETABS v9.2, diperoleh karakteristik dinamik bangunan sebagai berikut:

Tabel 7. Periode getar alami bangunan MRF 5 lantai

Mode	Period	UX	UY	UZ
1	1,67115	83,0968	0	0
2	1,58154	0	84,2686	0
3	1,30789	0	0	0

Dari tabel di atas, diketahui bahwa untuk pola ragam getar pertama (mode shape 1), periodenya adalah 1,671 detik dengan arah utama X. Dari data-data tersebut, maka perhitungan beban gempa secara dinamik respon spektrum dapat dilakukan:

Evaluasi gempa arah x:

$T_x = 1,671$ detik, sedangkan untuk bangunan 5 lantai $T_{1maks} = 0,85$ detik sehingga digunakan T_{maks} . Dari kurva spektrum wilayah 4 tanah sedang, maka $C_1 = 0,42/0,85 = 0,494$, sehingga

$$V_1 = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,494 * 1}{8,5} (55332,4) = 3216,56 kN$$

Hasil analisis spektrum respon

$$V_x = 1489,4 kN < 0,8 * V_1 = 2573,24 kN$$

Jadi spektrum respon arah x diperbesar = $2573,24/1489,4 = 1,728$

Evaluasi gempa arah y:

$T_y = 1,582$ detik, sedangkan untuk bangunan 5 lantai $T_{1maks} = 0,85$ detik sehingga digunakan T_{maks} . Dari kurva spektrum didapat $C_1 = 0,42/0,85 = 0,494$, sehingga

$$V_1 = \frac{C_1 I}{R} W_t = \frac{0,494 * 1}{8,5} (55332,4) = 3216,56 kN$$

Hasil analisis spektrum respon

$$V_y = 1564,27 kN < 0,8 * V_1 = 2573,24 kN$$

Jadi spektrum respon arah x diperbesar = $2573,24/1564,27 = 1,645$

Tabel 8. Perhitungan beban gempa statik ekivalen gedung 5 lantai MRF

Story	Elevasi hi (m)	Diaphragm	Mass/Floor (ton)	Cumulative Mass (ton)	Weigh/Floor Wi (kN)	Wixhi	Fix (kN)	Fiy (kN)
5	17.5	D1	1012.8863	1012.8863	9936.4146	173887.26	989.4438	989.4438
4	14	D1	1118.5201	2131.4065	10972.682	153617.55	874.1062	874.1062
3	10.5	D1	1133.6722	3265.0787	11121.324	116773.9	664.4605	664.4605
2	7	D1	1148.9584	4414.0371	11271.282	78898.973	448.9466	448.9466
1	3.5	D1	1226.3706	5640.4077	12030.696	42107.435	239.5974	239.5974
					55332.399	565285.12	3216.555	3216.555

Dengan melakukan analisis respon dinamik menggunakan spektrum yang telah dikoreksi oleh faktor pembesaran diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 9. Pengecekan rasio gaya geser dasar dinamik - statik

Gaya geser dasar	Statik	Dinamik	Rasio dinamik/statik	
Vx	3216.6	2573.68	0.80013	ok
Vy	3216.6	2573.25	0.80000	ok

Dari tabel 9 di atas dapat disimpulkan bahwa gaya geser dinamik memenuhi persyaratan, sehingga beban gempa dinamik dapat digunakan dalam analisis struktur. Untuk pengecekan terhadap eksentrisitas bangunan dan simpangan dapat dilihat pada lampiran 4.01.

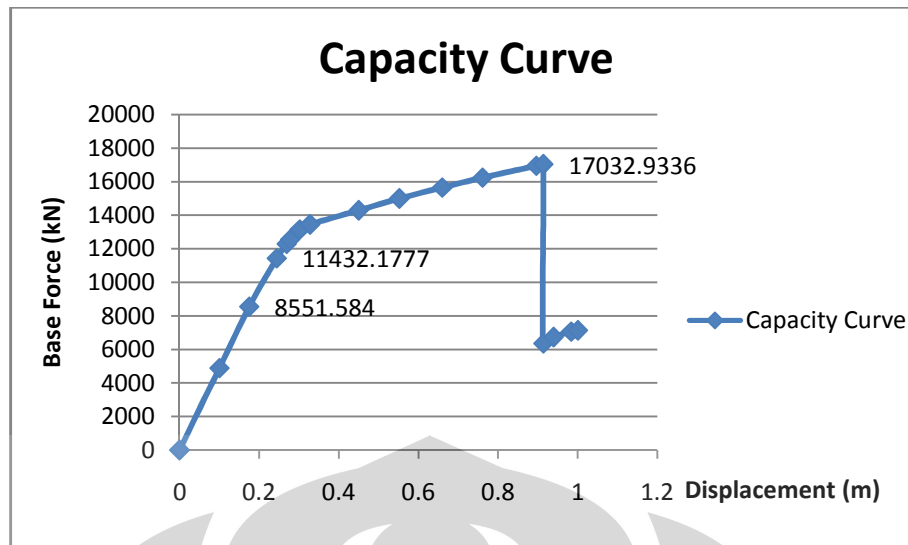
B. Model Eccentrically Braced Frames (EBF)

Analisis gempa dinamik respon spektrum untuk model struktur EBF dapat dilihat pada lampiran 4.02.

IV.1.2 Analisis Pushover Pada Elemen Struktur

A. Model Moment Resisting Frame (MRF)

Selanjutnya dilakukan analisis *pushover* pada model gedung yang diperoleh dari hasil analisis dinamik di atas untuk mengetahui kinerja dan perilaku inelastis struktur. Dalam penelitian ini, analisis push-over dilakukan pada bangunan 3D dengan arah tinjauan adalah arah sumbu-x. Pola beban lateral yang digunakan sebagai beban dorong statik terdiri dari pola ragam getar fundamental (mode 1) dan pola beban seragam (proporsional dengan massa tiap lantai), sesuai dengan yang disyaratkan dalam FEMA 273. Dari analisis push-over diperoleh hasil berupa kurva kapasitas (*capacity curve*) dan skema kelelahan berupa distribusi sendi plastis yang terjadi, seperti ditunjukkan berikut ini:



Gambar 36. Grafik kurva kapasitas gedung MRF 5 lantai

Tabel 10. Pembentukan sendi plastis pada gedung MRF 5 lantai

TABLE: Pushover Curve - Case 1st Mode

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	790	0	0	0	0	0	0	0	790
1	0.1	4895.0088	790	0	0	0	0	0	0	0	790
2	0.1747	8551.584	788	2	0	0	0	0	0	0	790
3	0.2436	11432.1777	745	45	0	0	0	0	0	0	790
4	0.2686	12290.0771	720	70	0	0	0	0	0	0	790
5	0.2775	12560.082	708	82	0	0	0	0	0	0	790
6	0.3021	13156.7627	665	125	0	0	0	0	0	0	790
7	0.3278	13446.1563	625	165	0	0	0	0	0	0	790
8	0.4496	14291.7021	617	101	72	0	0	0	0	0	790
9	0.5521	14993.0889	604	71	115	0	0	0	0	0	790
10	0.6598	15651.501	594	46	150	0	0	0	0	0	790
11	0.7606	16241.2051	574	55	149	12	0	0	0	0	790
12	0.8958	16946.0566	545	72	123	50	0	0	0	0	790
13	0.9134	17032.9336	541	76	117	44	0	12	0	0	790
14	0.9134	6361	533	84	117	6	0	0	0	50	790
15	0.9391	6737.4966	521	96	117	6	0	0	0	50	790
16	0.9838	7066.2305	511	106	117	6	0	0	0	50	790
17	1	7138.5127	511	98	125	6	0	0	0	50	790

Ket:
 Kondisi leleh
 Kondisi kinerja (pendekatan)
 Kondisi ultimit

Dari tabel di atas dapat ditentukan kondisi leleh dan kondisi ultimit. Kondisi leleh dinyatakan ketika pembentukan sendi plastis pertama akibat beban gempa terjadi. Sementara kondisi ultimit dinyatakan apabila elemen struktur mencapai salah satu dari 3 kondisi berikut:

- Terjadi pembentukan sendi plastis pada kolom di luar bagian yang diperbolehkan, yaitu ujung bawah kolom lantai dasar
- Semua balok telah mengalami pembentukan sendi plastis

- Salah satu balok melewati batas sendi plastis yang diperbolehkan, yaitu *collapse prevention* (CP)

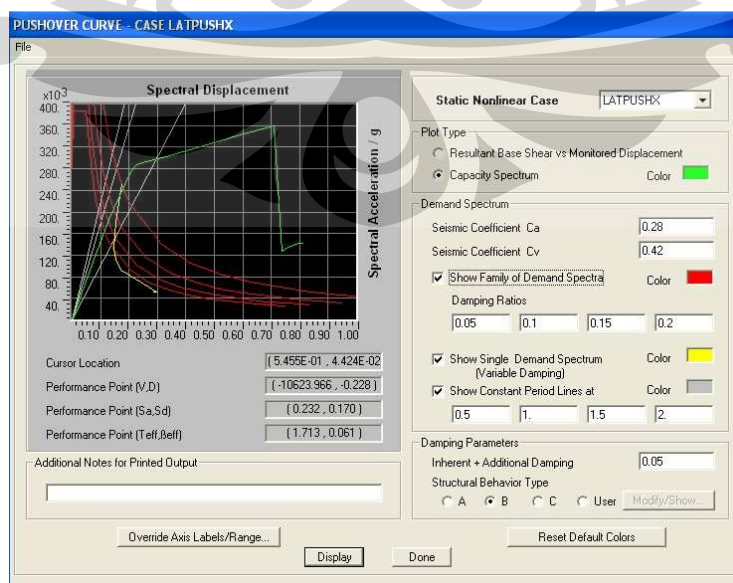
Berdasarkan tabel 10 di atas, kondisi leleh terjadi pada *step 2* dengan displacement yang terjadi sebesar **0,1747 m** dan gaya geser dasar sebesar **8551,584 kN**, sementara kondisi ultimit terjadi pada *step 13* dengan displacement sebesar **0,9134 m** dan gaya geser dasar sebesar **17032,93 kN**.

IV.1.2.1 Evaluasi Kinerja Struktur

Kriteria evaluasi level kinerja bangunan didasarkan pada gaya dan deformasi yang terjadi saat titik kinerja bangunan tercapai. Titik kinerja didefinisikan sebagai target perpindahan / perpindahan atap maksimum (δ_t) dan gaya geser dasar yang menyebabkannya (V_t), akibat beban gempa rencana. Pada studi ini, titik kinerja bangunan ditentukan menggunakan tiga metode yang berlaku saat ini, yaitu Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40) yang telah *built-in* dalam program ETABS, Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356), dan Metode Koefisien Perpindahan yang Diperbaiki (FEMA 440), seperti yang telah dijelaskan terdahulu pada bab 2. Dari ketiga metode di atas, dipilih target perpindahan yang paling besar (menentukan).

Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Dari kurva Respon Spektrum Rencana SNI 1726-2002 untuk wilayah 4 dengan kondisi tanah sedang, dapat diperoleh nilai $C_a = 0.28$ dan $C_v = 0.42$ yang diperlukan sebagai input data untuk menghasilkan spektrum kapasitas sebagai berikut:



Gambar 37. Spektrum kapasitas gedung MRF 5 lantai

Berdasarkan grafik di atas, hasil evaluasi kinerja ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 11. Evaluasi kinerja sesuai ATC-40

case: 1st mode				
Model Gedung	Wilayah Gempa	Sistem Struktur	Performance Point	
			V (kN)	D (m)
MRF	4	SRPMK	10623,97	0,228
case: uniform				
Model Gedung	Wilayah Gempa	Sistem Struktur	Performance Point	
			V (kN)	D (m)
MRF	4	SRPMK	12224.132	0,206

Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

Target perpindahan pada titik kontrol δ_t , ditentukan dari Pers. 9, adapun parameternya adalah:

$$T_e = 1.713 \text{ detik}$$

$$C_0 = 1.4 \text{ (Tabel 3.2 dari FEMA 356 untuk bangunan lima lantai)}$$

$$C_1 = 1.0 \text{ untuk } T_e \geq T_s$$

$T_s = 0.6$ adalah waktu getar karakteristik dari kurva respon spektrum wilayah 4 tanah sedang

$$C_2 = 1.1, \text{ anggap sebagai rangka Type 1 dan kinerja yang dipilih adalah LS (life safety)}$$

$$C_3 = 1.0, \text{ perilaku pasca leleh adalah positif}$$

$$S_a = 0.42/T = 0.245 \text{ (peta gempa Wilayah 4, dengan kondisi tanah sedang)}$$

Maka target perpindahan dapat dihitung, sebagai berikut: $\delta_t = 0.2756m$

Metode Koefisien Perpindahan yang Diperbaiki (FEMA 440)

Target perpindahan pada titik kontrol δ_t , juga ditentukan dari Pers. 9, dengan parameternya adalah:

$$T_e = 1.713 \text{ detik, lebih besar dari 1 detik maka } C_1 = C_2 = 1.0$$

$$C_0 = 1.4 \text{ (Tabel 3.2 dari FEMA 356 untuk bangunan lima lantai)}$$

$$C_3 = 1.0, \text{ perilaku pasca leleh adalah positif}$$

$$S_a = 0.42/T = 0.245 \text{ (peta gempa Wilayah 4, dengan kondisi tanah sedang)}$$

Maka target perpindahan dapat dihitung, sebagai berikut: $\delta_t = 0.251m$

Dari data-data hasil analisis pushover tersebut dapat diperoleh tabel yang menunjukkan *seismic performance level* dari struktur sebagai berikut:

Tabel 12. *Performance level* elemen struktur pada gedung MRF 5 lantai

Parameter kinerja		
daktilitas bangunan (μ_{Δ})	5.228391528	
R aktual	8.365426445	
kekakuan bangunan	48950.10876	kN/m
kekuatan	8551.584	kN
target perpindahan (δ_t)	0.228	m
target gaya geser dasar (V_t)	10623.966	kN
level performance elemen	IO	
Total hinge	45	

B. Model Struktur Eccentrically Braced Frames (EBF)

Analisis pushover juga dilakukan terhadap model EBF dengan variasi tipe bracing dan panjang link. Untuk tiap ketinggian terdapat 9 model struktur EBF, dimana target perpindahan untuk masing-masing model dapat dilihat pada tabel berikut:

Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Grafik spektrum kapasitas untuk masing-masing model struktur 5 lantai dapat dilihat pada lampiran 4.03. Hasilnya dapat dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 13. Target perpindahan sesuai ATC-40

case: 1st mode				
Gedung	Wilayah Gempa	Sistem Struktur	Performance Point	
			V (kN)	D (m)
EBF tipe D (e1)	4	SRPMK	19698.639	0.115
EBF tipe D (e2)	4	SRPMK	16451.151	0.111
EBF tipe D (e3)	4	SRPMK	16145.488	0.119
EBF tipe Split-V (e1)	4	SRPMK	20380.779	0.108
EBF tipe Split-V (e2)	4	SRPMK	17475.701	0.112
EBF tipe Split-V (e3)	4	SRPMK	16226.58	0.12
EBF tipe V (e1)	4	SRPMK	18744.705	0.109
EBF tipe V (e2)	4	SRPMK	15111.347	0.114
EBF tipe V (e3)	4	SRPMK	14931.824	0.126
case: uniform				
Gedung	Wilayah Gempa	Sistem Struktur	Performance Point	
			V (kN)	D (m)
EBF tipe D (e1)	4	SRPMK	22247.4	0.103
EBF tipe D (e2)	4	SRPMK	18669	0.1
EBF tipe D (e3)	4	SRPMK	18220.919	0.107
EBF tipe Split-V (e1)	4	SRPMK	22832.4	0.097
EBF tipe Split-V (e2)	4	SRPMK	19428	0.101
EBF tipe Split-V (e3)	4	SRPMK	17962.164	0.108
EBF tipe V (e1)	4	SRPMK	21173.3	0.097
EBF tipe V (e2)	4	SRPMK	16775	0.098
EBF tipe V (e3)	4	SRPMK	16597.732	0.114

Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356) dan Metode Koefisien Perpindahan yang Diperbaiki (FEMA 440)

Target perpindahan pada titik kontrol δ_i , ditentukan dari Pers. 9, dengan parameternya adalah sebagai berikut:

Tabel 14. Target perpindahan sesuai FEMA 356 dan FEMA 440

case: 1st Mode														
Model Struktur	Parameter						δ_i (m) FEMA 356	FEMA 440		Vy (kN)	W (kN)	R	δ_i (m) FEMA 440	
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		C_1	C_2					
MRF	1.4	1	1.1	1	0.245	1.713	0.2756	1.0011	1	8551.584	55332.4	1.428	0.2508	
EBF	tipe D (e1)	1.4	1	1.1	1	0.468	0.897	0.1443	1.0109	1	10802.63	54745.9	2.136	0.1326
	tipe D (e2)	1.4	1	1.1	1	0.43	0.977	0.1572	1.0091	1	9946.613	54738.54	2.129	0.1442
	tipe D (e2)	1.4	1	1.1	1	0.416	1.010	0.1625	1.0093	1	9173.304	54727.58	2.233	0.1491
	tipe Split-V (e1)	1.4	1	1.1	1	0.501	0.839	0.1350	1.0129	1	11335.54	54752.6	2.176	0.1243
	tipe Split-V (e2)	1.4	1	1.1	1	0.455	0.923	0.1485	1.0097	1	10815.95	54747.8	2.073	0.1363
	tipe Split-V (e3)	1.4	1	1.1	1	0.422	0.995	0.1601	1.0068	1	11122.69	54740.74	1.87	0.1465
	tipe V (e1)	1.4	1	1.1	1	0.475	0.884	0.1422	1.012	1	10552.51	54696.07	2.216	0.1308
	tipe V (e2)	1.4	1	1.1	1	0.417	1.008	0.1622	1.0085	1	9646.888	54688.18	2.126	0.1487
tipe V (e3)	1.4	1	1.1	1	0.397	1.058	0.1702	1.007	1	9678.606	54676.88	2.018	0.1558	

case: Uniform														
Model Struktur	Parameter						δ_i (m) FEMA 356	FEMA 440		Vy (kN)	W (kN)	R	δ_i (m) FEMA 440	
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		C_1	C_2					
MRF	1.4	1	1.1	1	0.268	1.568	0.2523	1.0008	1	10579.13	55332.4	1.261	0.2295	
EBF	tipe D (e1)	1.4	1	1.1	1	0.508	0.827	0.1331	1.0143	1	11002.97	54745.9	2.274	0.1227
	tipe D (e2)	1.4	1	1.1	1	0.464	0.906	0.1458	1.0117	1	10137.71	54738.54	2.253	0.1341
	tipe D (e2)	1.4	1	1.1	1	0.449	0.936	0.1506	1.0118	1	9438.157	54727.58	2.342	0.1385
	tipe Split-V (e1)	1.4	1	1.1	1	0.538	0.780	0.1255	1.0165	1	11518.43	54752.6	2.304	0.1160
	tipe Split-V (e2)	1.4	1	1.1	1	0.488	0.861	0.1385	1.0123	1	11004.46	54747.8	2.184	0.1275
	tipe Split-V (e3)	1.4	1	1.1	1	0.453	0.928	0.1493	1.0086	1	11338.53	54740.74	1.967	0.1369
	tipe V (e1)	1.4	1	1.1	1	0.513	0.819	0.1318	1.0156	1	10709.08	54696.07	2.357	0.1217
	tipe V (e2)	1.4	1	1.1	1	0.444	0.947	0.1524	1.0105	1	9809.987	54688.18	2.225	0.1400
tipe V (e3)	1.4	1	1.1	1	0.427	0.984	0.1583	1.009	1	9871.199	54676.88	2.128	0.1452	

Dari data-data hasil analisis pushover tersebut dapat diperoleh tabel yang menunjukkan *seismic performance level* dari struktur sebagai berikut:

Tabel 15. Seismic performance level gedung 5 lantai

case: 1st mode											
Parameter kinerja	MRF	EBF									
		tipe D e1	tipe D e2	tipe D e3	Split-V e1	Split-V e2	Split-V e3	tipe V e1	tipe V e2	tipe V e3	
daktilitas bangunan ($\mu\Delta$)	5.2284	3.1801	4.5975	2.5586	4.3327	4.7077	3.1621	5.0851	7.5333	3.8596	
R aktual	8.3654	5.0882	7.3560	4.0937	6.9323	7.5324	5.0593	8.1361	12.0533	6.1754	
kekakuan bangunan	48950.1	185293.7	177935.8	165284.8	223140.5	198822.6	170071.7	199480.3	178646.1	152659.4	
kekuatan	8551.58	10802.63	9946.61	9173.30	11335.54	10815.95	11122.69	10552.51	9646.89	9678.61	
target perpindahan (δ_t) ATC-40	0.228	0.114	0.111	0.119	0.108	0.112	0.12	0.109	0.114	0.126	
target gaya geser dasar (Vt)	10623.97	19636.90	16451.15	16145.49	20380.78	17475.70	16226.58	18744.71	15111.35	14931.82	
level performance komponen	IO	LS	LS	CP	IO	LS	LS	IO	LS	LS	
hinge number	70	26	26	10	104	40	32	172	60	24	

case: uniform

Parameter kinerja	MRF	EBF								
		tipe D e1	tipe D e2	tipe D e3	Split-V e1	Split-V e2	Split-V e3	tipe V e1	tipe V e2	tipe V e3
daktilitas bangunan ($\mu\Delta$)	4.6257	3.2739	5.8097	2.6667	4.2313	4.6081	3.0824	6.0357	7.8933	3.9707
R aktual	7.4012	5.2382	9.2956	4.2667	6.7701	7.3730	4.9318	9.6571	12.6292	6.3531
kekakuan bangunan	61292.78	233608.7	224285.7	208347.8	277552.6	247848.3	212332	254978.1	227609.9	192796.9
kekuatan	10579.13	11002.97	10137.71	9438.16	11518.43	11004.46	11338.53	10709.08	9809.99	9871.20
target perpindahan (δt) ATC-40	0.206	0.103	0.1	0.107	0.097	0.101	0.108	0.097	0.098	0.114
target gaya geser dasar (V_i)	12224.13	22247.36	18669.09	18220.92	22832.42	19428.48	17962.16	21173.34	16774.66	16597.73
level performance komponen	IO	LS	LS	D	LS	LS	LS	LS	LS	LS
hinge number	41	40	24	2	28	20	28	40	40	24
Total hinge	41	108	100	74	92	84	104	168	160	136

Untuk kurva kapasitas dan tabel pembentukan sendi plastis masing-masing model MRF dan EBF 5 lantai dapat dilihat pada lampiran 4.03.

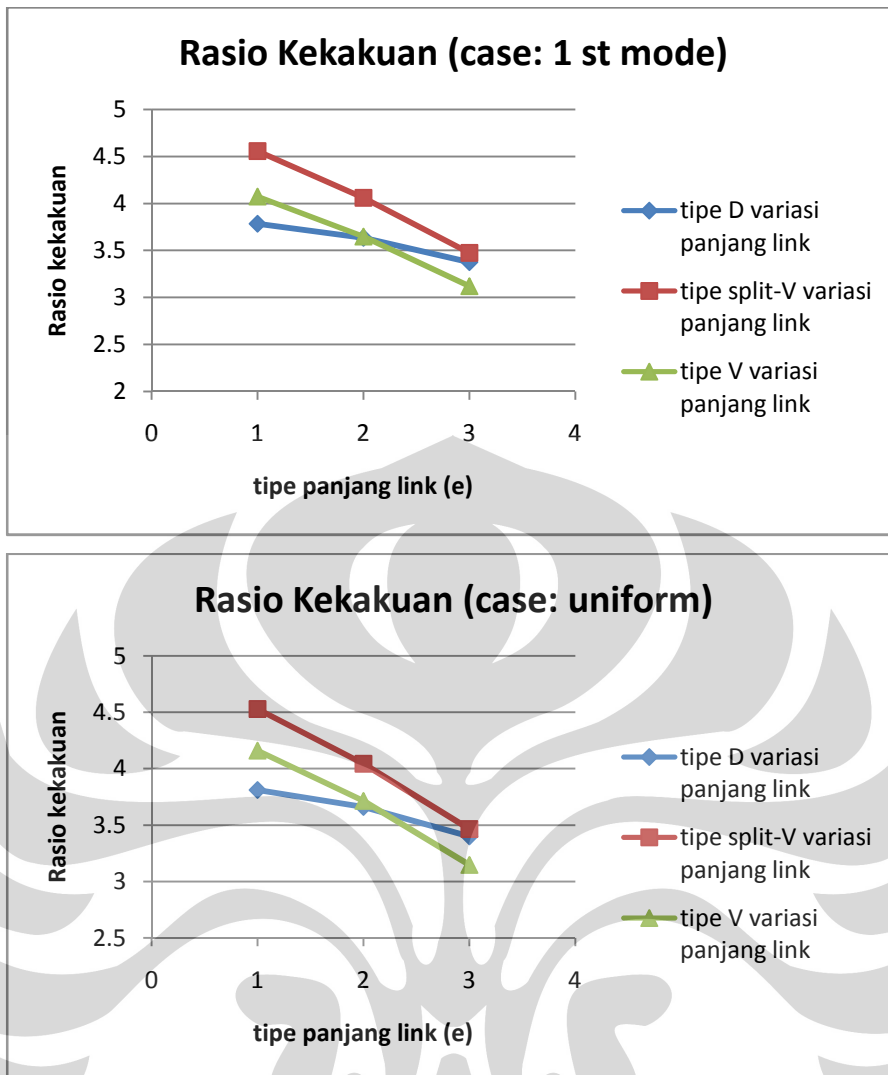
IV.1.3 Analisis Perbandingan Stuktur MRF Vs EBF

Analisis perbandingan dilakukan untuk mengetahui perbedaan tingkat kinerja antara model struktur MRF dan model struktur EBF, serta antar model EBF dengan variasi tipe bracing dan panjang link. Parameter perbandingan yang digunakan antara lain: rasio kekakuan, rasio daktilitas, rasio kekuatan, periode getar, *interstory drift*, *link plastic hinge deformation*, *internal forces in link elements*, *axial force in braces*, dan *level performance*.

Kekakuan diperoleh dengan mengetahui displacement ketika kondisi leleh terjadi dan gaya geser yang menyebabkan displacement itu, atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Kekakuan(K) = \frac{V_{leleh}}{\Delta_{leleh}}$$

Penggunaan bracing pada struktur EBF membuat kekakuan model EBF lebih tinggi dibanding model MRF. Untuk menunjukkan peningkatan kekakuan pada portal berpengaku eksentrik digunakan rasio kekakuan antara model struktur MRF dan model struktur EBF (rasio EBF / MRF), menghasilkan grafik berikut:

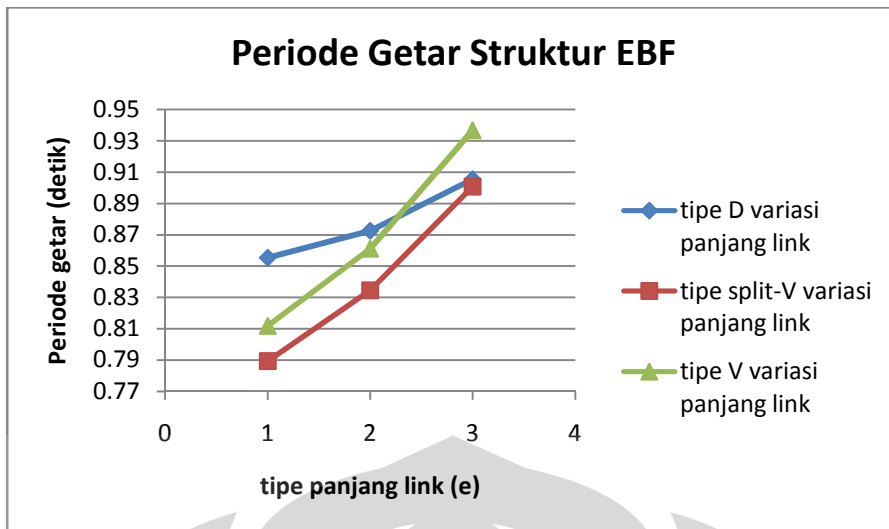


Gambar 38. Grafik rasio kekakuan pada gedung EBF 5 lantai

(ket: tipe panjang link menyatakan variasi panjang link, dimana tipe 1 menyatakan panjang link (e) = 0.7m, tipe 2: (e) = 0.9m, dan tipe 3: (e) = 1.2m)

Grafik di atas menunjukkan secara umum struktur EBF memiliki kekakuan yang lebih besar dibanding struktur MRF, dimana untuk variasi panjang link, terjadi penurunan kekakuan seiring dengan meningkatnya panjang link, sementara berdasarkan variasi tipe bracing, EBF dengan konfigurasi Split-V memiliki kekakuan yang paling tinggi. Penurunan rasio kekakuan terhadap pertambahan panjang link pada EBF tipe D terlihat lebih rendah dibanding tipe EBF lainnya.

Peningkatan kekakuan bangunan di atas berbanding terbalik dengan periode getar bangunan yang mengalami penurunan. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin kaku bangunan maka semakin kecil periode bangunan tersebut. Periode getar alami EBF jauh menurun dibandingkan periode MRF 5 lantai, yaitu 1.6712 detik, seperti ditunjukkan oleh gambar di bawah ini:

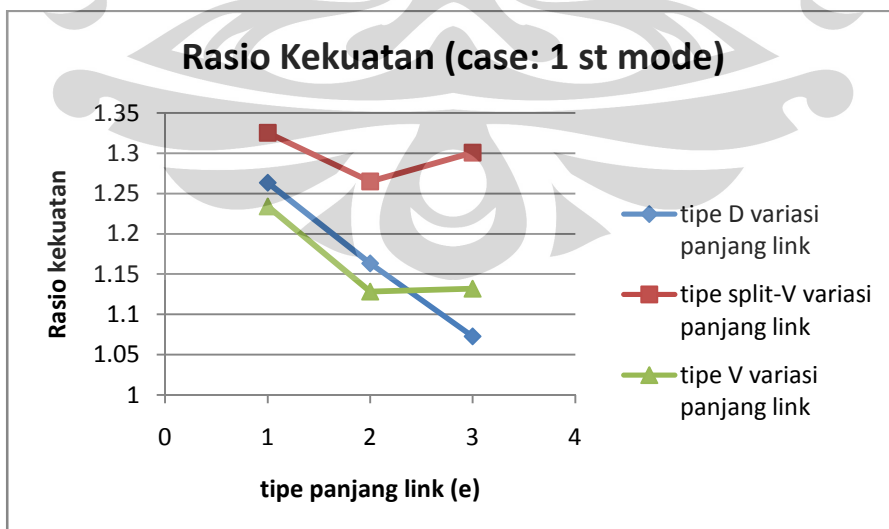


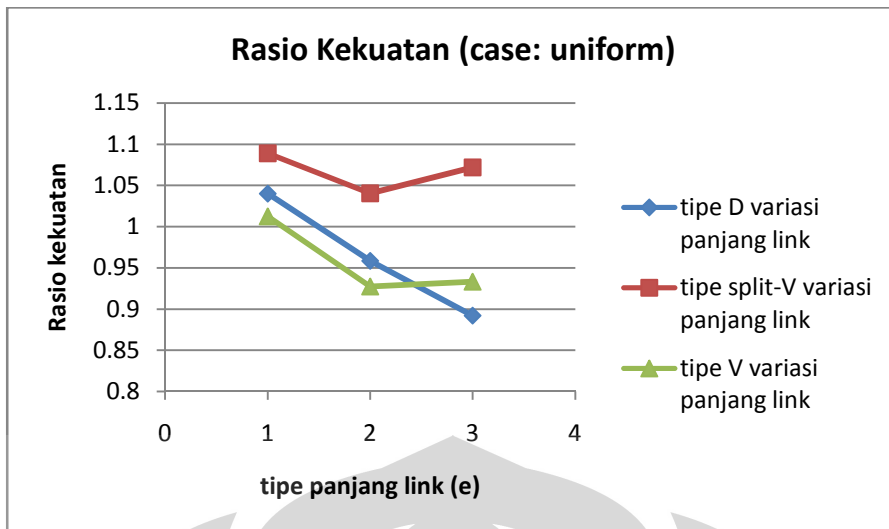
Gambar 39. Grafik periode getar alami gedung EBF 5 lantai

Kekuatan struktur dalam menahan beban gempa dinyatakan dalam besarnya gaya geser dasar yang diterima ketika kelelahan pertama terjadi:

$$\text{Kekuatan struktur} = V_{leleh}$$

Dari grafik terlihat bahwa semua model EBF memiliki kekuatan yang lebih besar dibanding model MRF. Untuk panjang link yang berbeda, kekuatan yang dihasilkan berbeda pula, dimana untuk semua tipe EBF terjadi penurunan kekuatan pada panjang link $e_2 = 0,9\text{m}$. Hal berbeda ditunjukkan untuk panjang link $e_3 = 1,2\text{m}$ (kategori link menengah), dimana terjadi peningkatan kekuatan pada EBF tipe Split-V dan V, namun menurun pada tipe D.



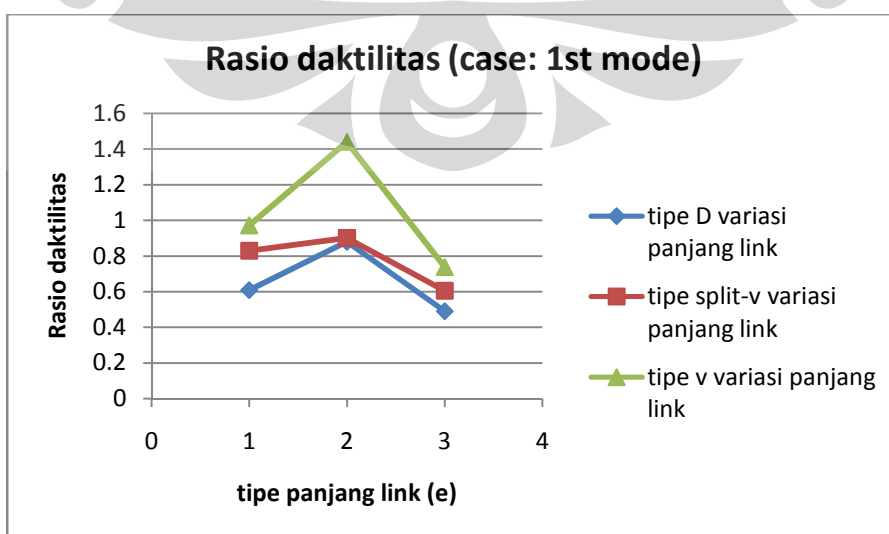


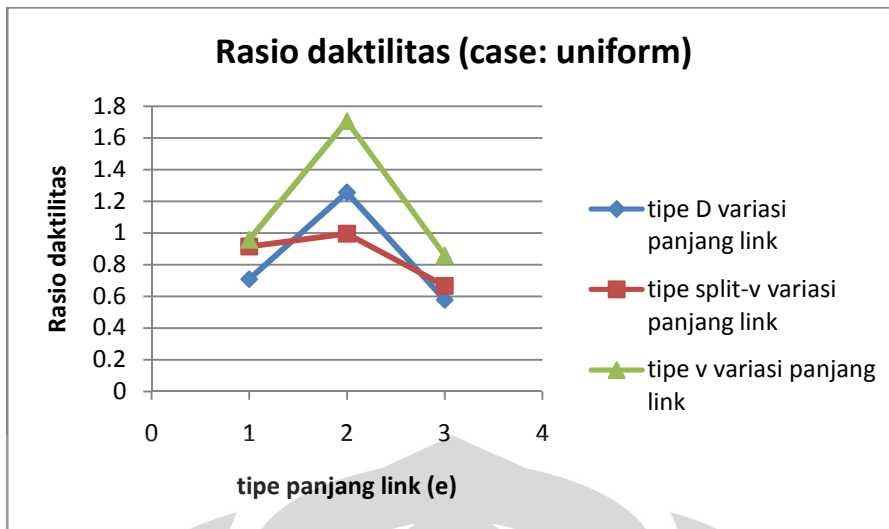
Gambar 40. Grafik rasio kekuatan pada gedung EBF 5 lantai

Daktilitas struktur diperoleh dengan menentukan terlebih dahulu kondisi leleh dan kondisi ultimit. Setelah mendapatkan displacement pada kedua kondisi tersebut, daktilitas struktur diperoleh dari persamaan:

$$Daktilitas(\mu) = \frac{\Delta_{ultimit}}{\Delta_{leleh}}$$

Untuk panjang link yang berbeda, daktilitas yang dihasilkan berbeda pula, dimana terjadi peningkatan daktilitas untuk panjang link $e_2 = 0,9m$, namun justru menurun ketika panjang link $e_3 = 1,2m$ (link kategori menengah). Grafik di bawah ini menunjukkan konfigurasi bracing tipe V memberikan rasio daktilitas yang paling tinggi. Berdasarkan pola beban sesuai mode pertama, terlihat bahwa EBF tipe Split-V dan D memiliki daktilitas yang lebih rendah dibanding model MRF. Hal tersebut berbeda dengan EBF tipe V e_2 yang justru lebih daktail dari model MRF.



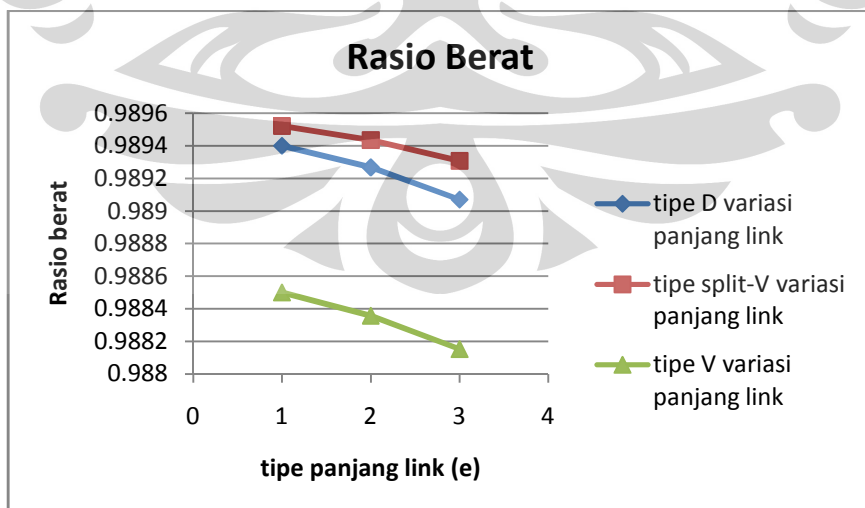


Gambar 41. Grafik rasio daktilitas pada gedung EBF 5 lantai

Model struktur gedung MRF dan EBF pada penelitian ini masing-masing dirancang dengan material yang sama dan sesuai dengan persyaratan ketahanan gempa SNI 03-1726-2002. Perbandingan berat dari masing-masing model struktur terlihat dalam tabel di bawah ini:

Tabel 16. Berat model struktur 5 lantai

Model Struktur		Berat (kN)			average MRF-EBF	
		panjang link			kN	kg
		e1	e2	e3		
EBF	tipe D	54745.9	54738.54	54727.58	595.05629	60658.13
	tipe Split-V	54752.6	54747.8	54740.74	585.35158	59668.87
	tipe V	54696.07	54688.18	54676.88	645.35477	65785.4
MRF		55332.40				



Gambar 42. Grafik rasio berat material terpakai gedung EBF 5 lantai

Tabel dan grafik di atas menunjukkan bahwa semua model EBF dalam analisis ini memiliki berat yang lebih kecil dibanding model MRF, dengan perbedaan berat sekitar

1%. Untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan material baja tersebut terhadap kekuatan struktur bangunan, digunakan parameter *Strength-to-Weight ratio*, seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 17. *Strength-to-Weight ratio* model struktur 5 lantai

Strength/Weight Ratio				
Model Struktur		panjang link		
		e1	e2	e3
EBF	tipe D	0.197323	0.181711	0.167618
	tipe Split-V	0.207032	0.19756	0.203189
	tipe V	0.19293	0.176398	0.177015
MRF		0.154549307		

Berdasarkan tabel di atas, secara umum model struktur EBF memiliki *Strength-to-Weight ratio* yang lebih tinggi dibanding struktur MRF, yang menunjukkan bahwa struktur EBF lebih efisien dalam hal penggunaan material baja. *Strength-to-weight ratio* yang tinggi tersebut berkorelasi dengan *strength-to-volume ratio* yang tinggi pula. Hal ini terlihat dari penggunaan profil baja yang lebih kecil dan lebih efisien pada struktur EBF (bab 3).

Evaluasi Kinerja

Hasil studi kinerja selengkapnya untuk masing – masing model struktur ditampilkan dalam tabel berikut ini:

Tabel 18. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 5 Lantai

Model Struktur	Target Perpindahan (m)			Nilai Batas SNI 1726 0.02H (m)
	Spektrum Kapasitas ATC-40	Koef. Perpindahan FEMA 356	Koef. Perpindahan FEMA 440	
MRF	0.2280 (65%)	0.2756 (79%)	0.2508 (72%)	0.35 (100%)
EBF	tipe D (e1)	0.1140 (33%)	0.1443 (41%)	
	tipe D (e2)	0.1110 (32%)	0.1572 (45%)	
	tipe D (e3)	0.1190 (34%)	0.1625 (46%)	
	tipe Split-V (e1)	0.1080 (31%)	0.1350 (39%)	
	tipe Split-V (e2)	0.1120 (32%)	0.1485 (42%)	
	tipe Split-V (e3)	0.1200 (34%)	0.1601 (46%)	
	tipe V (e1)	0.1090 (31%)	0.1422 (41%)	
	tipe V (e2)	0.1140 (33%)	0.1622 (46%)	
	tipe V (e3)	0.1260 (36%)	0.1702 (49%)	

Dari hasil evaluasi kinerja berdasarkan target perpindahan di atas, dapat dilihat bahwa :

1. Kinerja batas ultimit menurut SNI 1726-2002 adalah sebesar 0,35 meter untuk semua tipe gedung dan masih lebih besar daripada target peralihan yang dihitung menurut FEMA 356, FEMA 440, dan ATC-40.

- Evaluasi kinerja menurut ATC-40 menghasilkan titik kinerja yang paling kecil (paling konservatif), sementara titik kinerja yang paling besar (menentukan) didapat berdasarkan metode FEMA 356.
- Peningkatan panjang link cenderung menyebabkan meningkatnya target peralihan yang dialami struktur.

Dalam hal *performance level* elemen struktur, model EBF tipe Split-V dan tipe V panjang link e1 memiliki *performance level* yang paling baik di antara tipe EBF lainnya, yaitu IO (*Immediate Occupancy*) dengan jumlah sendi plastis masing-masing 104 dan 172. Kinerja ini sedikit menurun jika dibandingkan dengan *performance level* model MRF, yaitu IO (45 hinge). Secara umum, peningkatan dalam variasi panjang link (e) mengakibatkan penurunan *performance level* elemen struktur, seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 19. Distribusi Sendi Plastis Gedung 5 Lantai

Model Struktur	Disp. (m)	Base Force (kN)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL	<i>performance level</i> elemen struktur
MRF	0.2436	11432.178	745	45	0	0	0	0	0	0	790	IO
EBF	tipe D (e1)	0.1297	21973.930	1048	86	26	0	0	0	0	1160	LS
	tipe D (e2)	0.1229	17770.262	1056	78	26	0	0	0	0	1160	LS
	tipe D (e3)	0.1358	17983.529	1076	60	14	10	0	0	0	1160	CP
	tipe Split-V (e1)	0.1214	23866.881	1136	104	0	0	0	0	0	1240	IO
	tipe Split-V (e2)	0.1338	20581.715	1136	64	40	0	0	0	0	1240	LS
	tipe Split-V (e3)	0.1487	19334.197	1112	96	32	0	0	0	0	1240	LS
	tipe V (e1)	0.1273	21373.402	1388	172	0	0	0	0	0	1560	IO
	tipe V (e2)	0.1451	17947.240	1380	120	60	0	0	0	0	1560	LS
	tipe V (e3)	0.1349	16008.832	1396	140	24	0	0	0	0	1560	LS

Sementara itu, kinerja struktur secara global ditentukan berdasarkan dokumen FEMA-273 dan SNI 2002. Parameter yang digunakan adalah nilai batas peralihan atap dan *drift*, seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 20. Global performance level gedung 5 lantai

case: 1st mode						
Model Struktur	Peralihan Atap (meter)	Nilai Batas 0.02H (m)	Drift %	Nilai Batas (%)	Tingkat Kinerja Global	
MRF	0.228	0.35	1.30286	2.50%	<i>Damage Control</i>	
EBF	tipe D (e1)		0.115	0.65714	1.50%	<i>Damage Control</i>
	tipe D (e2)		0.111	0.63429		<i>Damage Control</i>
	tipe D (e3)		0.119	0.68		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e1)		0.108	0.61714		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e2)		0.112	0.64		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e3)		0.12	0.68571		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e1)		0.109	0.62286		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e2)		0.114	0.65143		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e3)		0.126	0.72		<i>Damage Control</i>

case: uniform

Model Struktur		Peralihan Atap (meter)	Nilai Batas 0.02H (m)	Drift %	Nilai Batas (%)	Tingkat Kinerja Global
MRF		0.206	0.35	1.17714	2.50%	<i>Damage Control</i>
EBF	tipe D (e1)	0.103		0.58857	1.50%	<i>Damage Control</i>
	tipe D (e2)	0.1		0.57143		<i>Damage Control</i>
	tipe D (e3)	0.107		0.61143		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e1)	0.097		0.55429		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e2)	0.101		0.57714		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e3)	0.108		0.61714		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e1)	0.097		0.55429		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e2)	0.098		0.56		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e3)	0.114		0.65143		<i>Damage Control</i>

Berdasarkan tabel di atas, tingkat kinerja struktur global untuk semua tipe bangunan masuk dalam kategori *Damage Control/SP-2*. Hal ini menunjukkan bahwa target fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran pada prediksi awal yaitu *Life Safety/SP-3* terpenuhi. Dilihat dari nilai peralihan atap dan drift, EBF tipe Split-V memiliki kinerja global yang paling baik diantara tipe-tipe lainnya.

Dari evaluasi *performance level* elemen struktur dan global, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dilihat dari *performance level* pada tingkat elemen struktur, struktur EBF menunjukkan kinerja yang lebih rendah dibanding struktur MRF, dimana model EBF tipe split-V panjang link e1 = 0,7 m memiliki kinerja paling baik diantara tipe EBF lainnya.
2. Meskipun *performance level* elemen struktur model EBF lebih rendah dari model MRF, kinerja struktur global EBF ternyata lebih baik dibanding model MRF. Hal ini disebabkan karena sendi plastis yang terbentuk pada model EBF terisolir pada elemen sekunder yang memang dikhususkan untuk mengalami aksi inelastis terbesar, yaitu balok link. Sehingga, kerusakan segmental pada balok link ini dapat menjaga integritas frame disekitarnya tanpa mengalami penurunan kekakuan dan kekuatan yang signifikan.

Lokasi pembentukan sendi plastis untuk model MRF dan EBF 5 lantai dapat dilihat pada lampiran 4.07. Sementara kinerja struktur global dapat dilihat melalui grafik kurva kapasitas pada lampiran 4.03.

IV.2 MODEL STRUKTUR GEDUNG 7 LANTAI

IV.2.1 Analisis Beban Gempa

A. Model Moment Resisting Frame (MRF)

Dengan melakukan analisis modal struktur gedung MRF 7 lantai dengan ETABS v9.2, diperoleh karakteristik dinamik bangunan sebagai berikut:

Tabel 21. Periode getar alami bangunan MRF 7 lantai

Mode	Period	UX	UY	UZ
1	2,245203	80,5782	0	0
2	2,158964	0	81,4619	0
3	1,781988	0	0	0

Dari data-data tersebut, maka perhitungan beban gempa secara dinamik respon spektrum dapat dilakukan:

Evaluasi gempa arah x:

Tx	T _{1maks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _x	0.8*V _x	V _x	
2.245	1.19	0.35294	8.5	77837.1	3231.99	2585.591	1549.15	1.669038316

Evaluasi gempa arah y:

Ty	T _{1maks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _y	0.8*V _y	V _y	
2.16	1.19	0.35294	8.5	77837.1	3231.99	2585.591	1596.79	1.619242798

Tabel 22. Perhitungan beban gempa statik ekuivalen gedung 7 lantai MRF

Story	Elevasi hi (m)	Diaphragm	Mass/Floor ton	Cumulative Mass ton	Weigh/Floor Wi (kN)	Wixhi	Fix kN	Fiy kN
7	24.5	D1	1011.0364	1011.0364	9918.26708	242997.5436	738.900524	738.900524
6	21	D1	1115.9275	2126.9638	10947.2488	229892.2243	699.050215	699.050215
5	17.5	D1	1127.9412	3254.9051	11065.1032	193639.3055	588.813295	588.813295
4	14	D1	1135.2656	4390.1706	11136.9555	155917.3775	474.109451	474.109451
3	10.5	D1	1149.9242	5540.0949	11280.7564	118447.9422	360.17338	360.17338
2	7	D1	1158.5456	6698.6405	11365.3323	79557.32635	241.91582	241.91582
1	3.5	D1	1235.8196	7934.4601	12123.3903	42431.86597	129.025699	129.025699
					77837.0536	1062883.585	3231.98838	3231.98838

Dengan melakukan analisis respon dinamik menggunakan spektrum yang telah dikoreksi diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 23. Pengecekan rasio gaya geser dasar dinamik - statik

Gaya geser dasar	Statik	Dinamik	Rasio dinamik/statik	
V _x	3231.99	2587.081	0.80046	ok
V _y	3231.99	2586.8	0.80037	ok

Dari tabel 23 di atas dapat disimpulkan bahwa gaya geser dinamik memenuhi persyaratan, sehingga beban gempa dinamik dapat digunakan dalam analisis struktur.

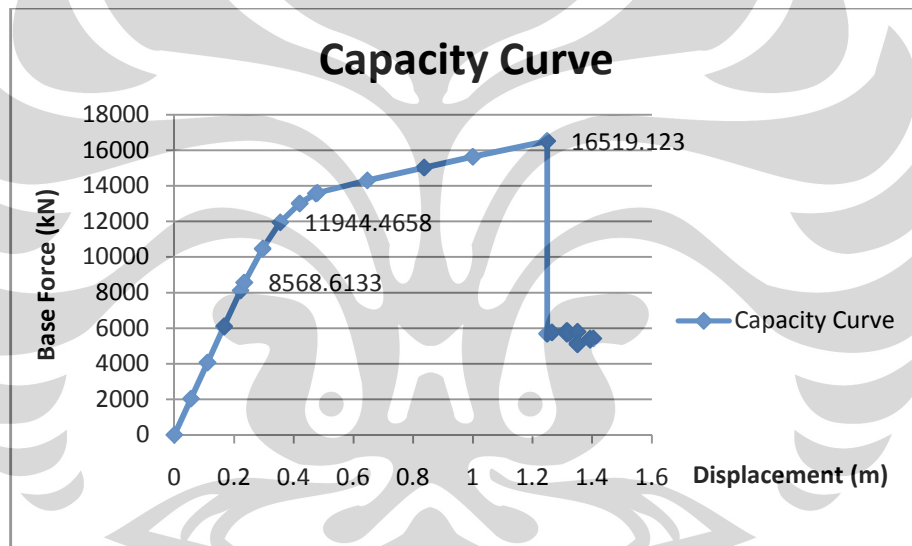
B. Model Eccentrically Braced Frames (EBF)

Analisis gempa dinamik respon spektrum untuk model struktur EBF 7 lantai dapat dilihat pada lampiran 4.03.

IV.2.2 Analisis Push Over Pada Elemen Struktur

A. Model Moment Resisting Frame (MRF)

Grafik yang menunjukkan kapasitas/kinerja struktur gedung serta tabel yang menunjukkan distribusi pembentukan sendi plastis pada komponen struktur MRF 7 lantai, ditunjukkan berikut ini:



Gambar 43. Grafik kurva kapasitas gedung MRF 7 lantai

Tabel 24. Pembentukan sendi plastis pada gedung MRF 7 lantai

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X											
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
	m	kN									
0	0	0	1106	0	0	0	0	0	0	0	1106
1	0.0556	2030.5295	1106	0	0	0	0	0	0	0	1106
2	0.1111	4061.0591	1106	0	0	0	0	0	0	0	1106
3	0.1667	6091.5889	1106	0	0	0	0	0	0	0	1106
4	0.2222	8122.1182	1106	0	0	0	0	0	0	0	1106
5	0.2344	8568.6133	1103	3	0	0	0	0	0	0	1106
6	0.2957	10465.6006	1049	57	0	0	0	0	0	0	1106
7	0.3377	11530.2178	934	172	0	0	0	0	0	0	1106
8	0.4201	13007.9326	913	193	0	0	0	0	0	0	1106
9	0.4739	13563.1465	887	201	18	0	0	0	0	0	1106
10	0.4798	13601.5645	884	204	18	0	0	0	0	0	1106
11	0.6466	14304.918	858	98	150	0	0	0	0	0	1106
12	0.8374	15031.0244	836	57	213	0	0	0	0	0	1106
13	1.0003	15636.2598	830	51	225	0	0	0	0	0	1106
14	1.2493	16519.123	818	38	110	128	0	12	0	0	1106

lanjutan....

15	1.2493	5690.9727	795	61	110	90	0	0	0	50	1106
16	1.2653	5754.9565	790	66	110	90	0	0	0	50	1106
17	1.3158	5846.9272	788	48	130	87	0	3	0	50	1106
18	1.3158	5690.3447	788	48	130	87	0	0	3	50	1106
19	1.3222	5719.0474	788	48	130	87	0	0	3	50	1106
20	1.3512	5794.3154	788	43	135	84	0	3	0	53	1106
21	1.3512	5142.6118	788	43	135	73	0	0	12	55	1106
22	1.3512	5095.3296	788	43	135	73	0	0	12	55	1106
23	1.3933	5418.5576	788	41	137	73	0	0	11	56	1106
24	1.3933	5344.0244	788	41	137	73	0	0	9	58	1106
25	1.4042	5421.4106	788	41	137	67	0	6	6	61	1106
26	1.181	2228.2161	788	41	137	65	0	2	12	61	1106

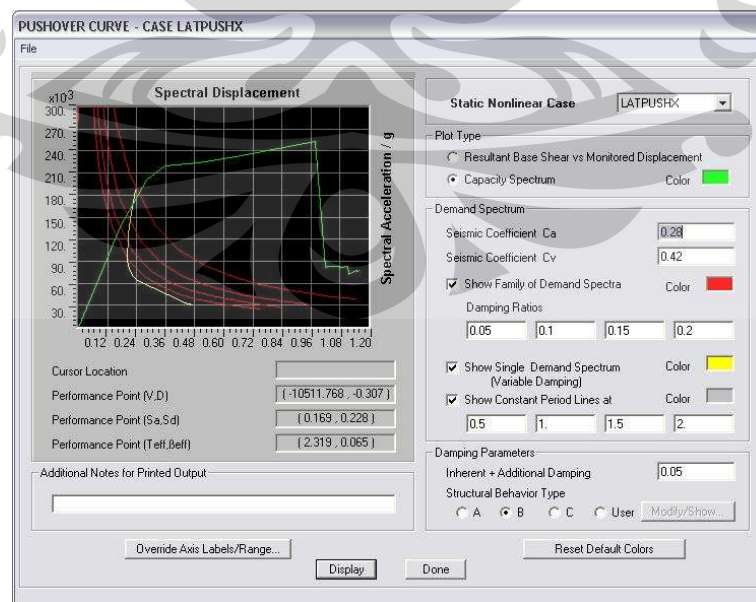
Ket: ■ Kondisi leleh
■ Kondisi kinerja (pendekatan)
■ Kondisi ultimit

Dari tabel di atas dapat ditentukan kondisi leleh dan kondisi ultimit struktur. Berdasarkan tabel 24 di atas, kondisi leleh terjadi pada *step 5* dengan displacement yang terjadi sebesar **0,2344 m** dan gaya geser dasar sebesar **8568,613 kN**, sementara kondisi ultimit terjadi pada *step 14* dengan displacement sebesar **1,2493 m** dan gaya geser dasar sebesar **16519,123 kN**.

Target perpindahan gedung MRF 7 lantai untuk masing-masing metode ditunjukkan berikut ini:

Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Dari kurva Respon Spektrum Rencana SNI 1726-2002 untuk wilayah 4 dengan kondisi tanah sedang, dapat diperoleh nilai $C_a = 0.28$ dan $C_v = 0.42$ yang diperlukan sebagai input data untuk menghasilkan spektrum kapasitas sebagai berikut:



Gambar 44. Spektrum kapasitas gedung MRF 7 lantai

Berdasarkan grafik di atas, hasil evaluasi kinerja ditampilkan dalam tabel berikut:

Tabel 25. Target perpindahan sesuai ATC-40

case: 1st mode				
Model Gedung	Wilayah Gempa	Sistem Struktur	Performance Point	
			V (kN)	D (m)
MRF	4	SRPMK	10511,77	0,307
case: uniform				
Model Gedung	Wilayah Gempa	Sistem Struktur	Performance Point	
			V (kN)	D (m)
MRF	4	SRPMK	12414,67	0,274

Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356) dan Metode Koefisien Perpindahan yang Diperbaiki (FEMA 440)

Target perpindahan pada titik kontrol δ_i , ditentukan dari Pers. 9, adapun parameternya adalah sebagai berikut:

case: 1st Mode													
Model Struktur	Parameter						δ_i (m)	FEMA 440		Vy (kN)	W (kN)	R	δ_i (m)
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		FEMA 356	C_1				
MRF	1.44	1	1.1	1	0.1811	2.319	0.3838	1.0007	1	8568.61	77837.1	1.481	0.3491
case: Uniform													
Model Struktur	Parameter						δ_i (m)	FEMA 440		Vy (kN)	W (kN)	R	δ_i (m)
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		FEMA 356	C_1				
MRF	1.44	1	1.1	1	0.2008	2.092	0.3462	1.0006	1	10397.8	77837.1	1.353	0.3149

Maka, target perpindahan berdasarkan metode FEMA 356, adalah: $\delta_i = 0.3838m$

target perpindahan berdasarkan metode FEMA 440, adalah: $\delta_i = 0.3491m$

Dari data-data hasil analisis pushover tersebut dapat diperoleh tabel yang menunjukkan *seismic performance level* dari struktur sebagai berikut:

Tabel 26. *Performance level* elemen struktur pada gedung MRF 7 lantai

Parameter kinerja		
daktilitas bangunan (μ_Δ)	5.329778157	
R aktual	8.527645051	
kekakuan bangunan	36555.51749	kN/m
kekuatan	8568.6133	kN
target perpindahan (δ_i)	0.307	m
target gaya geser dasar (V_i)	10511.768	kN
level performance komponen	IO	
Total hinge	107	

B. Model Stuktur Eccentrically Braced Frames (EBF)

Analisis pushover dilakukan terhadap model EBF 7 lantai dengan variasi tipe bracing dan panjang link. Target perpindahan untuk masing-masing model dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 27. Target perpindahan gedung 7 lantai sesuai FEMA 356 dan FEMA 440

case: 1st Mode														
Model Struktur	Parameter						δ_t (m) FEMA 356	FEMA 440		Vy (kN)	W (kN)	R	δ_t (m) FEMA 440	
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		C_1	C_2					
MRF	1.44	1	1.1	1	0.181	2.319	0.3838	1.001	1	8568.61	77837.1	1.481	0.3491	
EBF	tipe D (e1)	1.44	1	1.1	1	0.337	1.245	0.2060	1.006	1.001	10544.5	77304.2	2.226	0.1887
	tipe D (e2)	1.44	1	1.1	1	0.312	1.348	0.2231	1.005	1.001	9737.71	77293.2	2.226	0.2041
	tipe D (e2)	1.44	1	1.1	1	0.303	1.388	0.2297	1.005	1.001	9145.05	77276.8	2.301	0.2101
	tipe Split-V (e1)	1.44	1	1.1	1	0.353	1.190	0.1969	1.006	1.001	11280.9	77257	2.175	0.1804
	tipe Split-V (e2)	1.44	1	1.1	1	0.325	1.292	0.2138	1.005	1.001	10775.6	77250.7	2.097	0.1955
	tipe Split-V (e3)	1.44	1	1.1	1	0.304	1.380	0.2284	1.004	1.001	11103.2	77241.3	1.906	0.2085
	tipe V (e1)	1.44	1	1.1	1	0.323	1.302	0.2155	1.005	1.001	10145.3	77120.5	2.207	0.1972
	tipe V (e2)	1.44	1	1.1	1	0.291	1.444	0.2390	1.004	1.001	9317.7	77111.8	2.166	0.2183
	tipe V (e3)	1.44	1	1.1	1	0.28	1.501	0.2484	1.004	1.001	9421.78	77099.3	2.061	0.2268

case: Uniform														
Model Struktur	Parameter						δ_t (m) FEMA 356	FEMA 440		Vy (kN)	W (kN)	R	δ_t (m) FEMA 440	
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		C_1	C_2					
MRF	1.44	1	1.1	1	0.201	2.092	0.3462	1.001	1	10397.8	77837.1	1.353	0.3149	
EBF	tipe D (e1)	1.44	1	1.1	1	0.374	1.124	0.1860	1.009	1	10749.7	77304.2	2.418	0.1706
	tipe D (e2)	1.44	1	1.1	1	0.343	1.224	0.2026	1.007	1	9931.5	77293.2	2.403	0.1855
	tipe D (e3)	1.44	1	1.1	1	0.332	1.266	0.2095	1.007	1	9385.73	77276.8	2.458	0.1918
	tipe Split-V (e1)	1.44	1	1.1	1	0.387	1.084	0.1794	1.009	1	11472.4	77257	2.348	0.1645
	tipe Split-V (e2)	1.44	1	1.1	1	0.354	1.187	0.1964	1.007	1	10970.2	77250.7	2.242	0.1798
	tipe Split-V (e3)	1.44	1	1.1	1	0.33	1.271	0.2103	1.005	1	11321.9	77241.3	2.029	0.1921
	tipe V (e1)	1.44	1	1.1	1	0.357	1.177	0.1948	1.008	1	10343.4	77120.5	2.395	0.1784
	tipe V (e2)	1.44	1	1.1	1	0.317	1.327	0.2196	1.006	1	9511.6	77111.8	2.309	0.2008
	tipe V (e3)	1.44	1	1.1	1	0.306	1.373	0.2272	1.005	1	9635.02	77099.3	2.203	0.2076

Dari data-data hasil analisis pushover tersebut dapat diperoleh tabel yang menunjukkan *seismic performance level* dari struktur sebagai berikut:

Tabel 28. Seismic performance level gedung 7 lantai

case: 1st mode											
Parameter kinerja	MRF	EBF									
		tipe D e1	tipe D e2	tipe D e3	Split-V e1	Split-V e2	Split-V e3	tipe V e1	tipe V e2	tipe V e3	
daktilitas bangunan ($\mu\Delta$)	5.3298	4.0544	6.2218	2.5826	4.1258	4.4105	2.9613	5.6586	7.1837	3.5747	
R aktual	8.5276	6.4870	9.9549	4.1322	6.6013	7.0568	4.7381	9.0538	11.4940	5.7195	
kekakuan bangunan	36555.5	124639.4	120665.6	113603.1	143340.4	131249.5	116021.2	116613.0	108345.4	97031.8	
kekuatan	8568.61	10544.49	9737.71	9145.05	11280.89	10775.59	11103.23	10145.33	9317.70	9421.78	
target perpindahan (δ_t) ATC-40	0.307	0.163	0.158	0.164	0.15	0.15	0.16	0.17	0.163	0.174	
target gaya geser dasar (V_t)	10511.77	19142.62	16340.11	15962.59	20014.08	17124.74	16473.12	17703.89	14766.02	14614.07	
level performance komponen	IO	LS	LS	CP	LS	LS	LS	IO	LS	LS	
hinge number	107	56	78	14	20	20	56	220	60	36	

case: uniform											
Parameter kinerja	MRF	EBF									
		tipe D e1	tipe D e2	tipe D e3	Split-V e1	Split-V e2	Split-V e3	tipe V e1	tipe V e2	tipe V e3	
daktilitas bangunan ($\mu\Delta$)	4.6379	3.7631	6.4148	2.5831	4.0163	4.2846	2.9005	6.2383	9.9924	3.5767	
R aktual	7.4207	6.0209	10.2637	4.1329	6.4261	6.8554	4.6408	9.9813	15.9879	5.7228	
kekakuan bangunan	47413.5	165380.4	159670.4	149931.8	186847.0	170609.9	150157.8	156008.7	143897.1	127447.3	
kekuatan	10397.78	10749.73	9931.50	9385.73	11472.40	10970.21	11321.90	10343.38	9511.60	9635.02	
target perpindahan (δ_t) ATC-40	0.274	0.144	0.14	0.145	0.136	0.135	0.144	0.145	0.145	0.154	
target gaya geser dasar (V_t)	12414.67	22262.14	18908.58	18413.71	23255.81	19534.62	18727.20	20488.04	16961.42	16586.35	
level performance komponen	IO	LS	LS	D	LS	LS	LS	LS	LS	LS	
hinge number	42	40	60	2	20	68	8	40	40	52	

Kurva kapasitas dan tabel pembentukan sendi plastis masing-masing model EBF 7 lantai dapat dilihat pada lampiran 4.04.

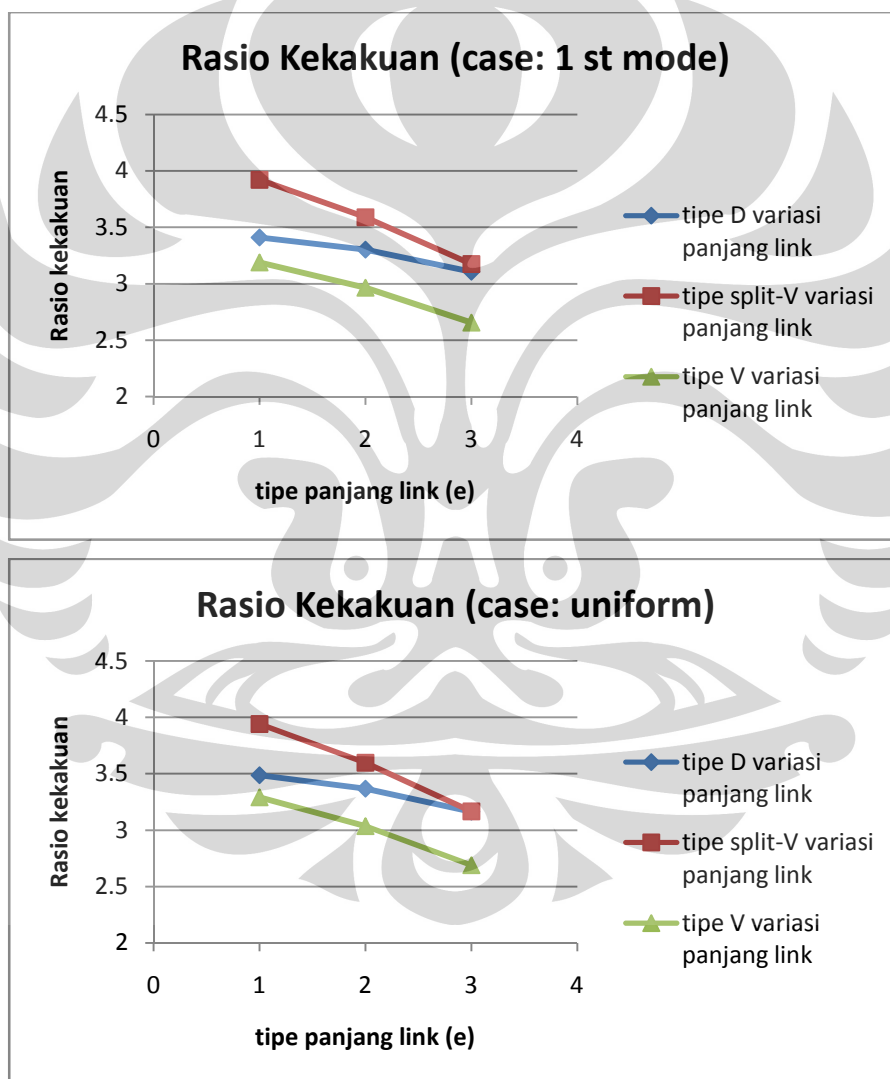
IV.2.3 Analisis Perbandingan Struktur MRF Vs EBF

Parameter perbandingan yang digunakan antara lain: rasio kekakuan, rasio daktilitas, rasio kekuatan, periode getar, *interstory drift*, *link plastic hinge deformation*, *internal forces in link elements*, *axial force in braces*, dan *level performance*.

Kekakuan dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Kekakuan}(K) = \frac{V_{leleh}}{\Delta_{leleh}}$$

Untuk menunjukkan peningkatan kekakuan pada portal berpengaku eksentrik 7 lantai, digunakan rasio kekakuan seperti pada grafik berikut:

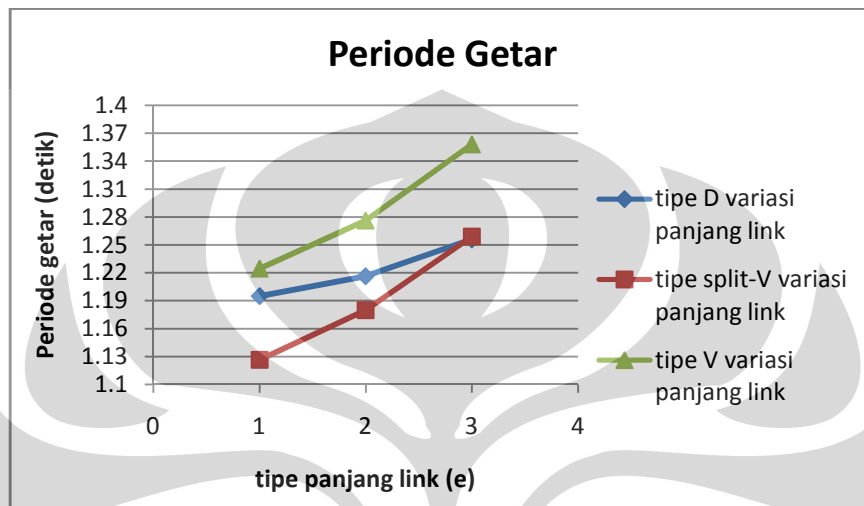


Gambar 45. Grafik rasio kekakuan pada gedung EBF 7 lantai

Grafik di atas menunjukkan bahwa semua model EBF 7 lantai juga memiliki kekakuan yang lebih besar dibanding struktur MRF, dimana untuk variasi panjang link, terjadi penurunan kekakuan seiring dengan meningkatnya panjang link, sementara berdasarkan

variasi tipe bracing, EBF dengan konfigurasi Split-V memiliki kekakuan yang paling tinggi.

Peningkatan kekakuan bangunan di atas berbanding terbalik dengan periode getar bangunan yang mengalami penurunan. Periode getar alami EBF jauh menurun dibandingkan periode MRF, yaitu 2,245 detik, seperti ditunjukkan oleh gambar di bawah ini:

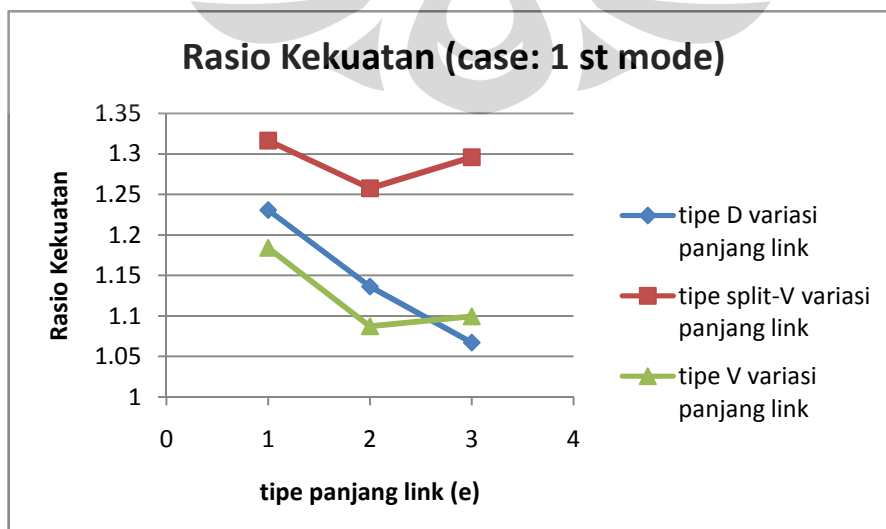


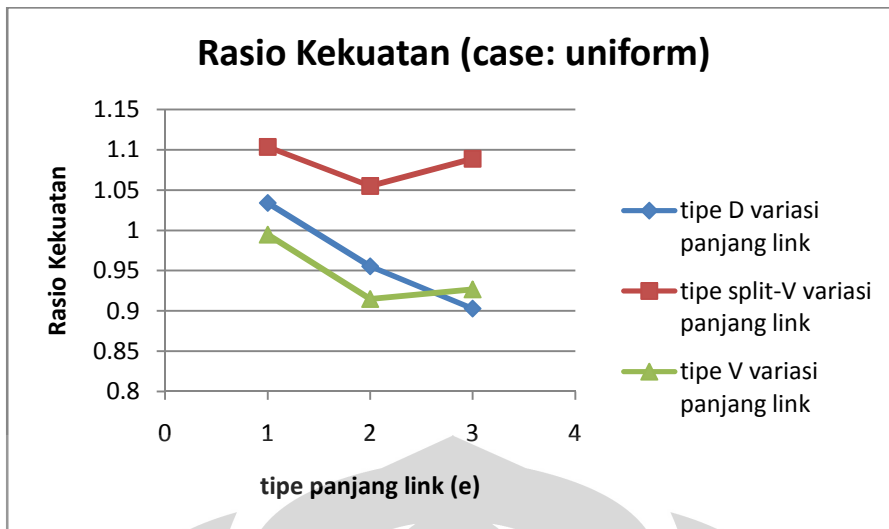
Gambar 46. Grafik periode getar alami gedung EBF 7 lantai

Kekuatan struktur dalam menahan beban gempa dinyatakan dalam besarnya gaya geser dasar yang diterima ketika kelelahan pertama terjadi:

$$Kekakuan\ struktur = V_{leleh}$$

Sama halnya dengan EBF 5 lantai, dari grafik terlihat bahwa untuk semua tipe terjadi penurunan kekuatan pada model panjang link $e_2 = 0,9m$. Ketika panjang link mencapai $e_3 = 1,2m$ (kategori link menengah), terjadi peningkatan kekuatan pada EBF tipe Split-V dan V, namun menurun pada tipe D.



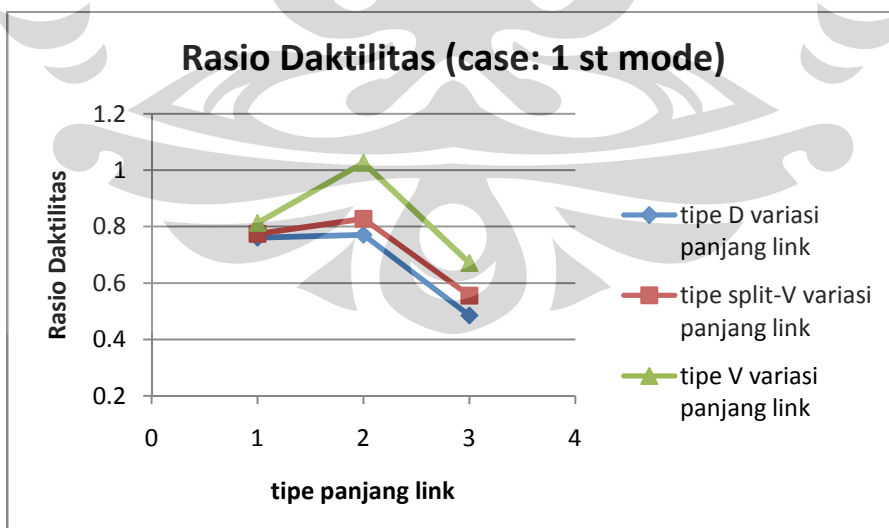


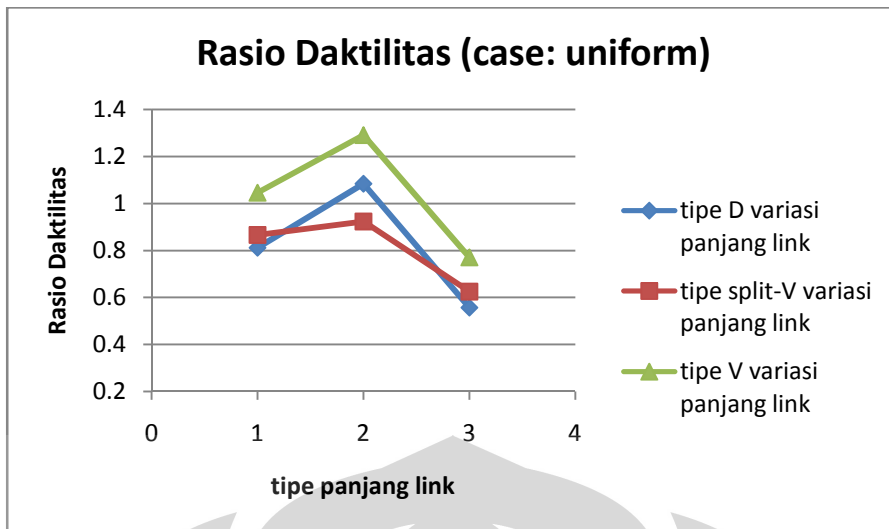
Gambar 47. Grafik rasio kekuatan pada gedung EBF 7 lantai

Daktilitas struktur diperoleh dari persamaan:

$$Daktilitas(\mu) = \frac{\Delta_{ultimit}}{\Delta_{leleh}}$$

Perilaku daktilitas model EBF 7 lantai sama dengan EBF 5 lantai, dimana terjadi peningkatan daktilitas untuk panjang link $e_2 = 0,9m$, namun justru menurun ketika panjang link $e_3 = 1,2m$ (link menengah). Grafik di bawah ini menunjukkan perbedaan rasio daktilitas untuk masing-masing konfigurasi bracing, dimana konfigurasi bracing tipe V memberikan rasio daktilitas yang paling tinggi.



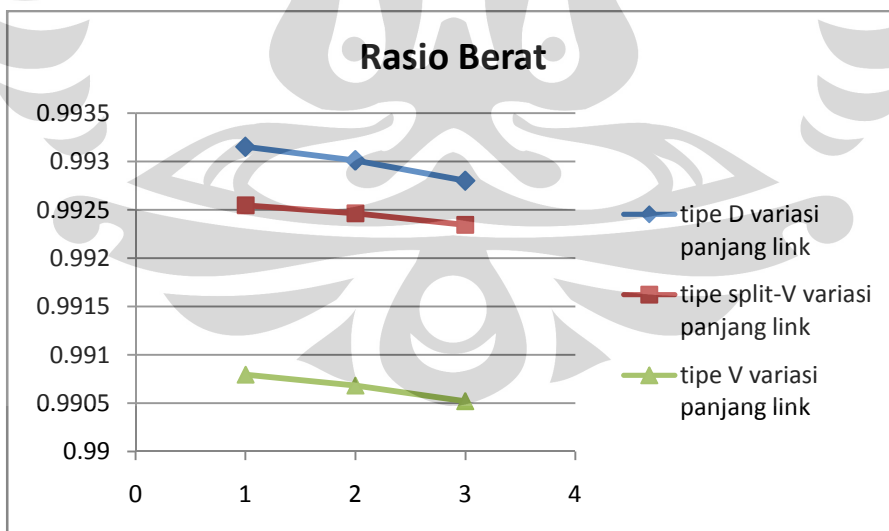


Gambar 48. Grafik rasio daktilitas pada gedung EBF 7 lantai

Perbandingan berat dari masing-masing model struktur MRF dan EBF ketinggian 7 lantai diperlihatkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 29. Berat model struktur 7 lantai

Berat (kN)				average MRF-EBF		
Model Struktur	panjang link			kN	kg	
	e1	e2	e3			
EBF	tipe D	77304.16	77293.17	77276.79	545.6812	55625
	tipe Split-V	77257.03	77250.68	77241.33	587.3741	59875.03
	tipe V	77120.55	77111.81	77099.31	726.4969	74056.77
MRF	77837.05					



Gambar 49. Grafik rasio berat material terpakai gedung EBF 7 lantai

Tabel dan grafik di atas menunjukkan bahwa semua model EBF 7 lantai dalam analisis ini memiliki berat yang lebih kecil dibanding model MRF.

Untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan material baja terhadap kekuatan struktur bangunan digunakan parameter *Strength-to-Weight ratio*, seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 30. *Strength-to-Weight ratio* model struktur 7 lantai

Strength/Weight Ratio				
Model Struktur		panjang link		
		e1	e2	e3
EBF	tipe D	0.136403	0.125984	0.118341
	tipe Split-V	0.146018	0.139489	0.143747
	tipe V	0.131552	0.120834	0.122203
MRF		0.110083988		

Berdasarkan tabel di atas, secara umum model struktur EBF 7 lantai memiliki *Strength-to-Weight ratio* yang lebih tinggi dibanding struktur MRF. Berdasarkan konfigurasi bracing, EBF tipe Split-V memiliki *Strength-to-Weight ratio* yang paling tinggi.

Evaluasi Kinerja

Hasil studi kinerja selengkapnya untuk masing – masing model struktur ditampilkan dalam tabel berikut ini:

Tabel 31. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 7 Lantai

Model Struktur	Target Perpindahan (m)			Nilai Batas SNI 1726 0.02H (m)
	Spektrum Kapasitas ATC-40	Koef. Perpindahan FEMA 356	Koef. Perpindahan FEMA 440	
MRF	0.3070 (63%)	0.3838 (78%)	0.3491 (71%)	0.49 (100%)
EBF	tipe D (e1)	0.1630 (33%)	0.2060 (42%)	
	tipe D (e2)	0.1580 (32%)	0.2231 (46%)	
	tipe D (e2)	0.1640 (33%)	0.2297 (47%)	
	tipe Split-V (e1)	0.1520 (31%)	0.1969 (40%)	
	tipe Split-V (e2)	0.1530 (31%)	0.2138 (44%)	
	tipe Split-V (e3)	0.1610 (33%)	0.2284 (47%)	
	tipe V (e1)	0.1660 (34%)	0.2155 (44%)	
	tipe V (e2)	0.1630 (33%)	0.2390 (49%)	
tipe V (e3)	0.1740 (36%)	0.2484 (51%)	0.2268 (46%)	

Dari hasil evaluasi kinerja, dapat dilihat bahwa :

1. Kinerja batas ultimit menurut SNI 1726-2002 adalah sebesar 0,49 meter untuk semua tipe gedung dan masih lebih besar daripada target peralihan yang dihitung menurut FEMA 356, FEMA 440, dan ATC-40.
2. Evaluasi kinerja menurut ATC-40 menghasilkan titik kinerja yang paling kecil (paling konservatif), sementara titik kinerja yang paling besar (menentukan) didapat berdasarkan metode FEMA 356.

3. Peningkatan panjang link menyebabkan meningkatnya target peralihan yang dialami struktur.

Dalam hal *performance level* elemen struktur, model EBF tipe V panjang link e1 memiliki *performance level* yang paling baik di antara tipe EBF lainnya, yaitu IO (*Immediate Occupancy*) dengan jumlah sendi plastis 220. Kinerja ini sedikit menurun jika dibandingkan dengan *performance level* model MRF , yaitu IO (107 hinge). Secara umum, peningkatan dalam variasi panjang link (e) mengakibatkan penurunan *performance level* elemen struktur, seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 32. Distribusi Sendi Plastis Gedung 7 Lantai

Model Struktur	Disp. (m)	Base Force (kN)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL	<i>performance level</i> elemen struktur
MRF	0.355	11944.4658	999	107	0	0	0	0	0	0	1106	IO
EBF	tipe D (e1)	0.2243	25415.9961	1466	114	56	0	0	0	0	1636	LS
	tipe D (e2)	0.216	20848.4238	1476	82	78	0	0	0	0	1636	LS
	tipe D (e3)	0.2063	19059.377	1522	66	34	14	0	0	0	1636	CP
	tipe Split-V (e1)	0.2055	26143.168	1592	136	20	0	0	0	0	1748	LS
	tipe Split-V (e2)	0.1638	18056.8945	1628	100	20	0	0	0	0	1748	LS
	tipe Split-V (e3)	0.2197	20045.8848	1577	115	56	0	0	0	0	1748	LS
	tipe V (e1)	0.1745	18515.9785	1976	220	0	0	0	0	0	2196	IO
	tipe V (e2)	0.2235	18396.1191	1974	162	60	0	0	0	0	2196	LS
	tipe V (e3)	0.2233	17394.8496	1990	170	36	0	0	0	0	2196	LS

Kinerja struktur secara global ditentukan berdasarkan dokumen FEMA-273 dan SNI 2002. Parameter yang digunakan adalah nilai batas peralihan atap dan *drift*, seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 33. Global performance level gedung 7 lantai

case: 1st mode						
Model Struktur	Peralihan Atap (meter)	Nilai Batas 0.02H (m)	Drift %	Nilai Batas	Tingkat Kinerja Global	
MRF	0.307	0.49	1.2531	2.50%	<i>Damage Control</i>	
EBF	tipe D (e1)		0.163	0.6653	1.50%	<i>Damage Control</i>
	tipe D (e2)		0.158	0.6449		<i>Damage Control</i>
	tipe D (e3)		0.164	0.6694		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e1)		0.152	0.6204		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e2)		0.153	0.6245		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e3)		0.161	0.6571		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e1)		0.166	0.6776		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e2)		0.163	0.6653		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e3)		0.174	0.7102		<i>Damage Control</i>

case: uniform

Model Struktur	Peralihan Atap (meter)	Nilai Batas 0.02H (m)	Drift %	Nilai Batas	Tingkat Kinerja Global	
MRF	0.274	0.49	1.1184	2.50%	<i>Damage Control</i>	
EBF	tipe D (e1)		0.144	0.5878	1.50%	<i>Damage Control</i>
	tipe D (e2)		0.14	0.5714		<i>Damage Control</i>
	tipe D (e3)		0.145	0.5918		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e1)		0.136	0.5551		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e2)		0.135	0.5510		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e3)		0.144	0.5878		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e1)		0.145	0.5918		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e2)		0.145	0.5918		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e3)		0.154	0.6286		<i>Damage Control</i>

Berdasarkan tabel di atas, tingkat kinerja struktur global untuk semua tipe bangunan masuk dalam kategori *Damage Control/SP-2*. Hal ini menunjukkan bahwa target fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran pada prediksi awal yaitu *Life Safety/SP-3* terpenuhi.

Dari evaluasi *performance level* elemen struktur dan global, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dilihat dari *performance level* pada tingkat elemen struktur, struktur EBF menunjukkan kinerja yang lebih rendah dibanding struktur MRF, dimana model EBF tipe V panjang link $e1 = 0,7$ m memiliki kinerja paling baik diantara tipe EBF lainnya.
2. Meskipun *performance level* elemen struktur model EBF lebih rendah dari model MRF, kinerja struktur global EBF ternyata lebih baik dibanding model MRF. Hal ini disebabkan karena sendi plastis yang terbentuk pada model EBF terisolir pada elemen sekunder yang memang dikhususkan untuk mengalami aksi inelastis terbesar, yaitu balok link. Kerusakan yang terbatas pada balok link ini dapat menjaga integritas frame disekitarnya tanpa mengalami penurunan kekakuan dan kekuatan yang signifikan. Dari tabel 4.9 terlihat model EBF tipe split-V memiliki kinerja struktur global paling baik diantara model struktur lainnya.

Data-data mengenai pembentukan dan distribusi sendi plastis untuk model struktur EBF 7 lantai dapat dilihat pada lampiran 4.04.

IV.3 MODEL STRUKTUR GEDUNG 9 LANTAI

IV.3.1 Analisis Beban Gempa

A. Model Moment Resisting Frame (MRF)

Dengan melakukan analisis modal struktur gedung MRF 9 lantai dengan ETABS v9.2, diperoleh karakteristik dinamik bangunan sebagai berikut:

Tabel 34. Periode getar alami bangunan MRF 9 lantai

Mode	Period	UX	UY	UZ
1	2,852734	79,936	0	0
2	2,723829	0	80,0547	0
3	2,246111	0	0	0

Dari data-data tersebut, maka perhitungan beban gempa secara dinamik respon spektrum dapat dilakukan:

Evaluasi gempa arah x:

Tx	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _x	0.8*V _x	V _x	
2.85273	1.53	0.27451	8.5	100254	3237.72	2590.172	1566.07	1.65393139

Evaluasi gempa arah y:

T _y	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _y	0.8*V _y	V _y	
2.72383	1.53	0.27451	8.5	100254	3237.72	2590.172	1625.84	1.593128679

Tabel 35. Perhitungan beban gempa statik ekuivalen gedung 9 lantai MRF

Story	Elevasi hi (m)	Diaphragm	Mass/Floor ton	Cumulative Mass ton	Weigh/Floor Wi (kN)	Wixhi	Fix kN	Fiy kN
9	31.5	D1	1009.8224	1009.8224	9906.358	312050.269	588.9092	588.9092
8	28	D1	1115.4377	2125.2601	10942.444	306388.427	578.2240	578.2240
7	24.5	D1	1122.954	3248.2141	11016.179	269896.379	509.3553	509.3553
6	21	D1	1128.2053	4376.4195	11067.694	232421.574	438.6319	438.6319
5	17.5	D1	1140.6023	5517.0218	11189.309	195812.900	369.5431	369.5431
4	14	D1	1147.6084	6664.6301	11258.038	157612.538	297.4504	297.4504
3	10.5	D1	1156.9235	7821.5537	11349.420	119168.905	224.8986	224.8986
2	7	D1	1162.3729	8983.9265	11402.878	79820.147	150.6386	150.6386
1	3.5	D1	1235.5989	10219.5255	12121.225	42424.288	80.0642	80.0642
					100253.544	1715595.427	3237.7154	3237.7154

Dengan melakukan analisis respon dinamik menggunakan spektrum yang telah dikoreksi diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 36. Pengecekan rasio gaya geser dasar dinamik - statik

Gaya geser dasar	Statik	Dinamik	Rasio dinamik/statik
V _x	3237.715	2590.28	0.80003
V _y	3237.715	2591.589	0.80044

ok
ok

Dari tabel 36 di atas dapat disimpulkan bahwa gaya geser dinamik memenuhi persyaratan, sehingga beban gempa dinamik dapat digunakan dalam analisis struktur.

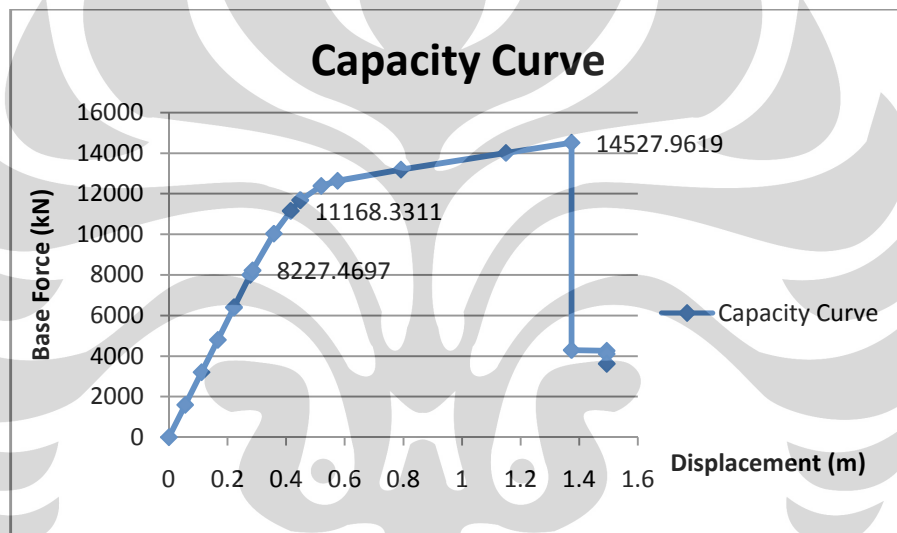
B. Model Eccentrically Braced Frames (EBF)

Analisis gempa dinamik respon spektrum untuk model struktur EBF 9 lantai dapat dilihat pada lampiran 4.05.

IV.3.2 Analisis Push Over Pada Elemen Struktur

A. Model Moment Resisting Frames (MRF)

Dengan melakukan analisis push-over diperoleh grafik yang menunjukkan kapasitas/kinerja struktur gedung serta tabel yang menunjukkan distribusi pembentukan sendi plastis pada komponen struktur, seperti ditunjukkan berikut ini:



Gambar 50. Grafik kurva kapasitas gedung MRF 9 lantai

Tabel 37. Pembentukan sendi plastis pada gedung MRF 9 lantai

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X											
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
	m	kN									
0	0	0	1422	0	0	0	0	0	0	0	1422
1	0.0556	1600.8054	1422	0	0	0	0	0	0	0	1422
2	0.1111	3201.6108	1422	0	0	0	0	0	0	0	1422
3	0.1667	4802.4165	1422	0	0	0	0	0	0	0	1422
4	0.2222	6403.2217	1422	0	0	0	0	0	0	0	1422
5	0.2778	8004.0273	1422	0	0	0	0	0	0	0	1422
6	0.2855	8227.4697	1411	11	0	0	0	0	0	0	1422
7	0.3583	10037.54	1361	61	0	0	0	0	0	0	1422
8	0.4156	11168.3311	1292	130	0	0	0	0	0	0	1422
9	0.4482	11692.0645	1248	174	0	0	0	0	0	0	1422
10	0.5197	12396.0205	1173	249	0	0	0	0	0	0	1422
11	0.5752	12646.6348	1138	263	21	0	0	0	0	0	1422
12	0.7919	13197.5391	1105	110	207	0	0	0	0	0	1422
13	1.1501	14023.5313	1097	63	262	0	0	0	0	0	1422
14	1.3737	14527.9619	1079	68	154	109	0	12	0	0	1422
15	1.3737	4299.8794	1049	75	173	75	0	0	0	50	1422
16	1.4939	4263.5776	1049	68	170	82	0	3	0	50	1422
17	1.4939	4101.2065	1049	68	160	87	0	5	3	50	1422
18	1.494	3622.2649	1049	68	160	78	0	2	15	50	1422

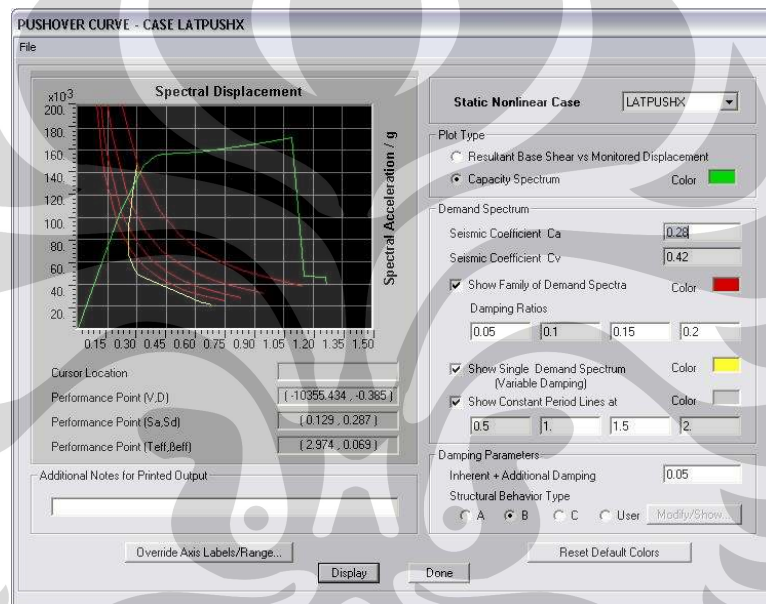
Ket:
 Kondisi leleh
 Kondisi kinerja (pendekatan)
 Kondisi ultimit

Berdasarkan tabel 37 di atas, kondisi leleh terjadi pada *step 6* dengan displacement yang terjadi sebesar **0,2855 m** dan gaya geser dasar sebesar **8227,4697 kN**, sementara kondisi ultimit terjadi pada *step 14* dengan displacement sebesar **1,3737 m** dan gaya geser dasar sebesar **14527,962 kN**.

Target perpindahan gedung MRF 9 lantai untuk masing-masing metode ditunjukkan berikut ini:

Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Dari kurva Respon Spektrum Rencana SNI 1726-2002 untuk wilayah 4 dengan kondisi tanah sedang, dapat diperoleh nilai $C_a = 0.28$ dan $C_v = 0.42$ yang diperlukan sebagai input data untuk menghasilkan spektrum kapasitas sebagai berikut:



Gambar 51. Spektrum kapasitas gedung MRF 9 lantai

Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356) dan Metode Koefisien Perpindahan yang Diperbaiki (FEMA 440)

Target perpindahan pada titik kontrol δ_i , ditentukan dari Pers. 9, adapun parameternya adalah:

case: 1st Mode

Model Struktur	Parameter						δ_i (m)	FEMA 440		V_y (kN)	W (kN)	R	δ_i (m)
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		FEMA 356	C_1				
MRF	1.48	1	1.1	1	0.1412	2.974	0.5058	1.0005	1	8227.47	100253.5	1.549	0.4601

case: Uniform

Model Struktur	Parameter						δ_i (m)	FEMA 440		V_y (kN)	W (kN)	R	δ_i (m)
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		FEMA 356	C_1				
MRF	1.4	1	1.1	1	0.157	2.675	0.4304	1.0005	1	9537.82	100253.5	1.485	0.3915

Maka, target perpindahan berdasarkan metode FEMA 356, adalah: $\delta_i = 0.5058m$

target perpindahan berdasarkan metode FEMA 440, adalah: $\delta_i = 0.4601m$

Dari data-data hasil analisis pushover tersebut dapat diperoleh tabel yang menunjukkan *seismic performance level* dari struktur sebagai berikut:

Tabel 38. *Performance level* elemen struktur pada gedung MRF 9 lantai

Parameter kinerja		
daktilitas bangunan (μ_{Δ})	4.81155867	
R aktual	7.69849387	
kekakuan bangunan	28817.7573	kN/m
kekuatan	8227.4697	kN
target perpindahan (δ_i)	0.385	m
target gaya geser dasar (V_i)	10355.434	kN
level performance elemen	IO	
Total hinge	130	

B. Model Struktur Eccentrically Braced Frames (EBF)

Target perpindahan untuk masing-masing model EBF dengan ketinggian 9 lantai dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 39. Target perpindahan gedung 9 lantai sesuai FEMA 356 dan FEMA 440

case: 1st Mode														
Model Struktur	Parameter						δ_i (m) FEMA 356	FEMA 440		Vy (kN)	W (kN)	R	δ_i (m) FEMA 440	
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		C_1	C_2					
MRF	1.48	1	1.1	1	0.1412	2.974	0.5058	1	1	8227.47	100253.5	1.549	0.4601	
EBF	tipe D (e1)	1.48	1	1.1	1	0.2581	1.627	0.2767	1.004	1.001	10526.6	99944.16	2.206	0.2526
	tipe D (e2)	1.48	1	1.1	1	0.2407	1.745	0.2968	1.003	1.001	9608.62	99929.04	2.253	0.2708
	tipe D (e2)	1.48	1	1.1	1	0.232	1.810	0.3078	1.004	1.001	8315.61	99906.5	2.509	0.2811
	tipe Split-V (e1)	1.48	1	1.1	1	0.2682	1.566	0.2663	1.004	1.001	11074.8	99825.2	2.176	0.2432
	tipe Split-V (e2)	1.48	1	1.1	1	0.2468	1.702	0.2895	1.003	1.001	10504.5	99817.23	2.11	0.2641
	tipe Split-V (e3)	1.48	1	1.1	1	0.2323	1.808	0.3075	1.002	1	10972.9	99805.49	1.902	0.2802
	tipe V (e1)	1.48	1	1.1	1	0.2439	1.722	0.2929	1.003	1.001	9965.4	99641.57	2.195	0.2672
	tipe V (e2)	1.48	1	1.1	1	0.2218	1.894	0.3221	1.003	1	9147.55	99630.96	2.174	0.2937
	tipe V (e3)	1.48	1	1.1	1	0.2134	1.968	0.3347	1.002	1	9254.42	99615.76	2.067	0.3050
case: Uniform														
Model Struktur	Parameter						δ_i (m) FEMA 356	FEMA 440		Vy (kN)	W (kN)	R	δ_i (m) FEMA 440	
	C_0	C_1	C_2	C_3	S_a	T_e		C_1	C_2					
MRF	1.4	1	1.1	1	0.157	2.675	0.4304	1.001	1	9537.82	100253.5	1.485	0.3915	
EBF	tipe D (e1)	1.4	1	1.1	1	0.2905	1.446	0.2326	1.005	1.001	10946.2	99944.16	2.387	0.2128
	tipe D (e2)	1.4	1	1.1	1	0.2689	1.562	0.2513	1.004	1.001	10094.4	99929.04	2.396	0.2297
	tipe D (e3)	1.4	1	1.1	1	0.2585	1.625	0.2614	1.004	1.001	9449.43	99906.5	2.459	0.2389
	tipe Split-V (e1)	1.4	1	1.1	1	0.2975	1.412	0.2272	1.005	1.001	11379.3	99825.2	2.348	0.2078
	tipe Split-V (e2)	1.4	1	1.1	1	0.272	1.544	0.2484	1.004	1.001	10872.4	99817.23	2.248	0.2269
	tipe Split-V (e3)	1.4	1	1.1	1	0.2547	1.649	0.2653	1.003	1	11210.6	99805.49	2.041	0.2420
	tipe V (e1)	1.4	1	1.1	1	0.274	1.533	0.2466	1.005	1.001	10163	99641.57	2.418	0.2255
	tipe V (e2)	1.4	1	1.1	1	0.2458	1.709	0.2750	1.004	1.001	9339.91	99630.96	2.359	0.2511
	tipe V (e3)	1.4	1	1.1	1	0.2353	1.785	0.2872	1.003	1.001	9466.01	99615.76	2.229	0.2620

Dari data-data hasil analisis pushover tersebut dapat diperoleh tabel yang menunjukkan *seismic performance level* dari struktur sebagai berikut:

Tabel 40. Seismic performance level gedung 9 lantai

case: 1st mode

Parameter kinerja	MRF	EBF								
		tipe D e1	tipe D e2	tipe D e3	Split-V e1	Split-V e2	Split-V e3	tipe V e1	tipe V e2	tipe V e3
daktilitas bangunan ($\mu\Delta$)	4.8116	3.2723	4.9710	2.4573	4.0117	4.1718	2.8708	4.9107	6.4113	3.4192
R aktual	7.6985	5.2357	7.9537	3.9317	6.4187	6.6749	4.5933	7.8571	10.2581	5.4708
kekakuan bangunan	28817.76	89588.26	86955.84	82496.15	99414.79	92550.77	83380.41	80887.99	76166.12	69529.86
kekuatan	8227.47	10526.62	9608.62	8315.61	11074.81	10504.51	10972.86	9965.40	9147.55	9254.42
target perpindahan (δt) ATC-40	0.385	0.217	0.209	0.22	0.21	0.203	0.214	0.226	0.22	0.24
target gaya geser dasar (V_t)	10355.43	18460.97	15869.23	15595.68	19160.88	16466.81	15929.75	17030.11	14404.39	14459.33
level performance komponen	IO	LS	LS	D	IO	IO	IO	IO	LS	LS
hinge number	130	70	98	2	156	140	156	248	60	44

case: uniform

Parameter kinerja	MRF	EBF								
		tipe D e1	tipe D e2	tipe D e3	Split-V e1	Split-V e2	Split-V e3	tipe V e1	tipe V e2	tipe V e3
daktilitas bangunan ($\mu\Delta$)	4.2772	3.2612	5.0529	2.4645	4.9640	4.0934	2.8065	5.8917	9.0278	3.4704
R aktual	6.8435	5.2179	8.0847	3.9431	7.9424	6.5494	4.4904	9.4267	14.4444	5.5526
kekakuan bangunan	37713.81	122715.75	118757.12	111960.10	134032.13	123831.15	110667.04	111192.95	103776.80	93537.66
kekuatan	9537.82	10946.25	10094.36	9449.43	11379.33	10872.38	11210.57	10163.04	9339.91	9466.01
target perpindahan (δt) ATC-40	0.341	0.189	0.183	0.189	0.18	0.18	0.189	0.195	0.195	0.212
target gaya geser dasar (V_t)	12203.74	21823.27	18612.11	18161.73	22399.95	19266.23	18339.00	19995.97	16680.70	16599.77
level performance komponen	IO	CP	LS	D	LS	LS	CP	LS	LS	LS
hinge number	95	8	76	4	28	20	4	48	80	60

Untuk kurva kapasitas dan tabel pembentukan sendi plastis masing-masing model EBF 9 lantai dapat dilihat pada lampiran 4.05.

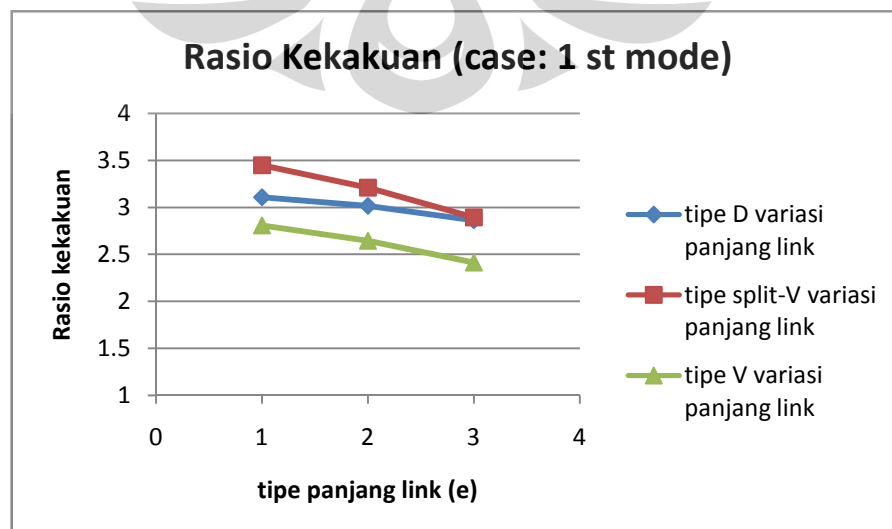
IV.3.3 Analisis Perbandingan Struktur MRF Vs EBF

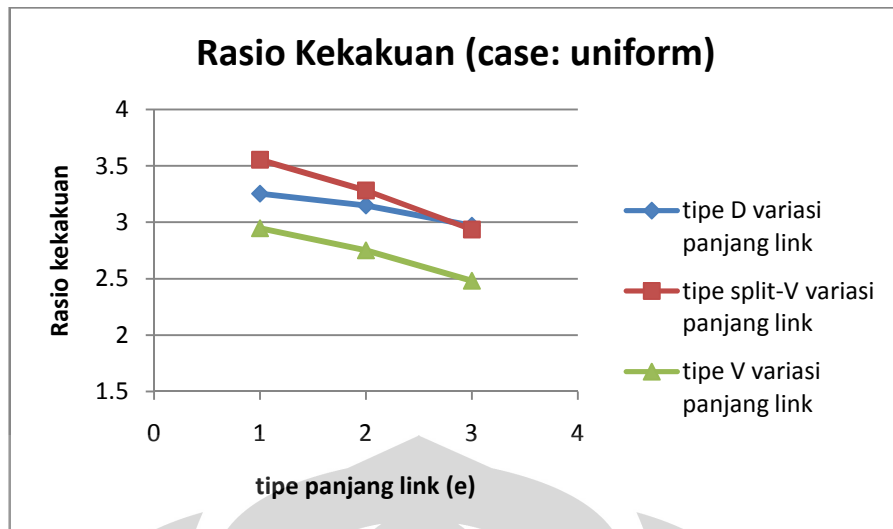
Parameter perbandingan yang digunakan antara lain: rasio kekakuan, rasio daktilitas, rasio kekuatan, periode getar, *interstory drift*, *link plastic hinge deformation*, *internal forces in link elements*, *axial force in braces*, dan *level performance*.

Kekakuan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Kekakuan(K) = \frac{V_{leleh}}{\Delta_{leleh}}$$

Peningkatan kekakuan pada portal berpengaku eksentrik 9 lantai ditunjukkan grafik berikut:

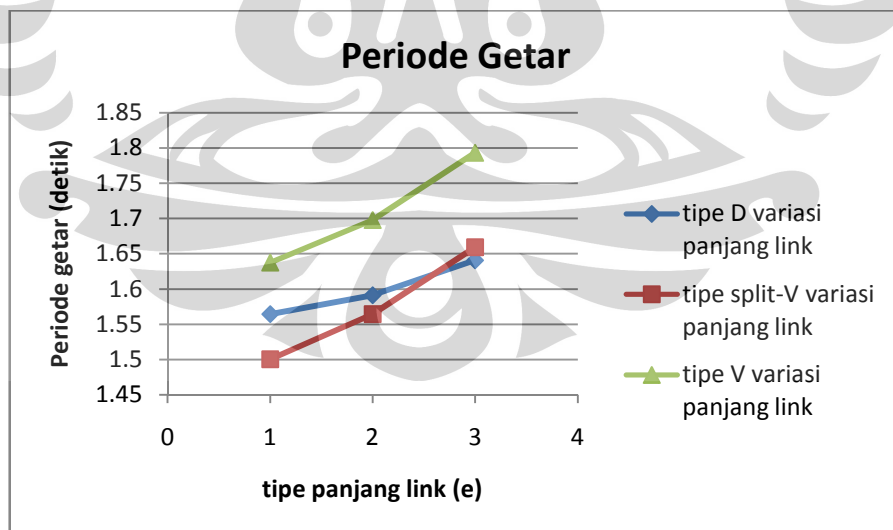




Gambar 52. Grafik rasio kekakuan pada gedung EBF 9 lantai

Sama halnya dengan model 5 dan 7 lantai, struktur EBF memiliki kekakuan yang lebih besar dibanding struktur MRF, dimana untuk variasi panjang link, terjadi penurunan kekakuan seiring dengan meningkatnya panjang link, sementara berdasarkan variasi tipe bracing, EBF dengan konfigurasi Split-V memiliki kekakuan yang paling tinggi.

Peningkatan kekakuan bangunan di atas berbanding terbalik dengan periode getar bangunan yang mengalami penurunan. Periode getar alami EBF jauh menurun dibandingkan periode MRF, yaitu 2,853 detik, seperti ditunjukkan oleh gambar di bawah ini:

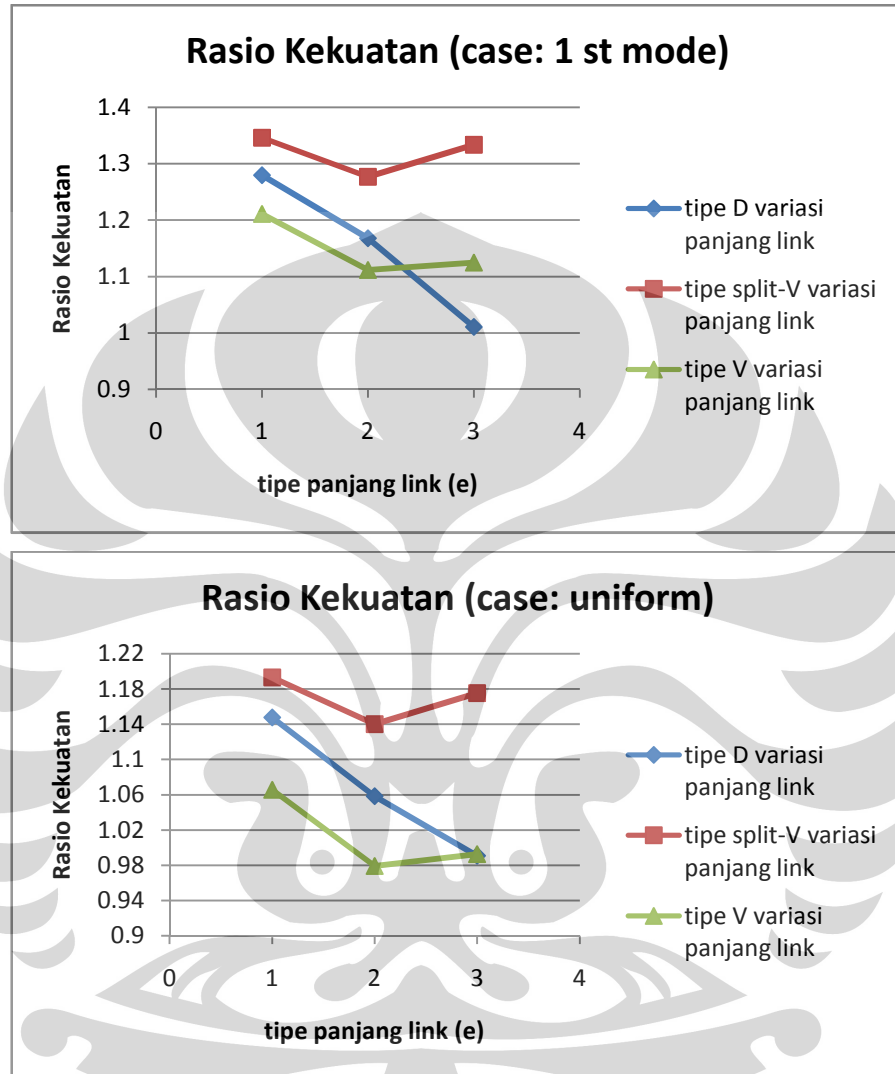


Gambar 53. Grafik periode getar alami gedung EBF 9 lantai

Kekuatan struktur dalam menahan beban gempa dinyatakan dalam besarnya gaya geser dasar yang diterima ketika kelelahan pertama terjadi:

$$\text{Kekuatan struktur} = V_{leleh}$$

Dari grafik terlihat bahwa untuk semua tipe terjadi penurunan kekuatan pada model panjang link $e_2 = 0,9\text{m}$. Hal berbeda ditunjukkan untuk panjang link $e_3 = 1,2\text{m}$ (kategori link menengah), dimana terjadi peningkatan kekuatan pada EBF tipe Split-V dan V, namun menurun pada tipe D.

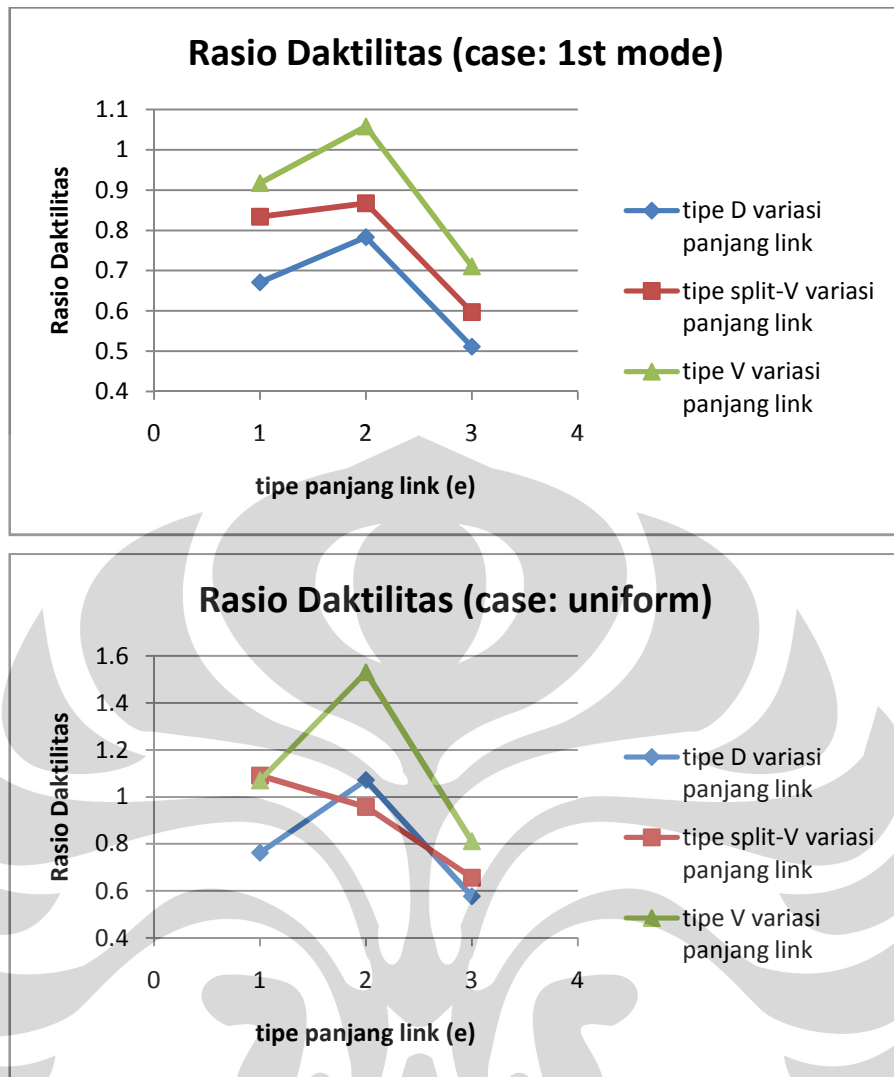


Gambar 54. Grafik rasio kekuatan pada gedung EBF 9 lantai

Daktilitas struktur diperoleh dari persamaan:

$$Daktilitas(\mu) = \frac{\Delta_{ultimit}}{\Delta_{leleh}}$$

Daktilitas pada EBF 9 lantai menunjukkan perilaku yang sama dengan EBF 5 dan 7 lantai. Berdasarkan variasi panjang link, terjadi peningkatan daktilitas untuk panjang link $e_2 = 0,9\text{m}$, namun justru menurun ketika panjang link $e_3 = 1,2\text{m}$ (link menengah). Grafik di bawah ini menunjukkan konfigurasi bracing tipe V memberikan rasio daktilitas yang paling tinggi.

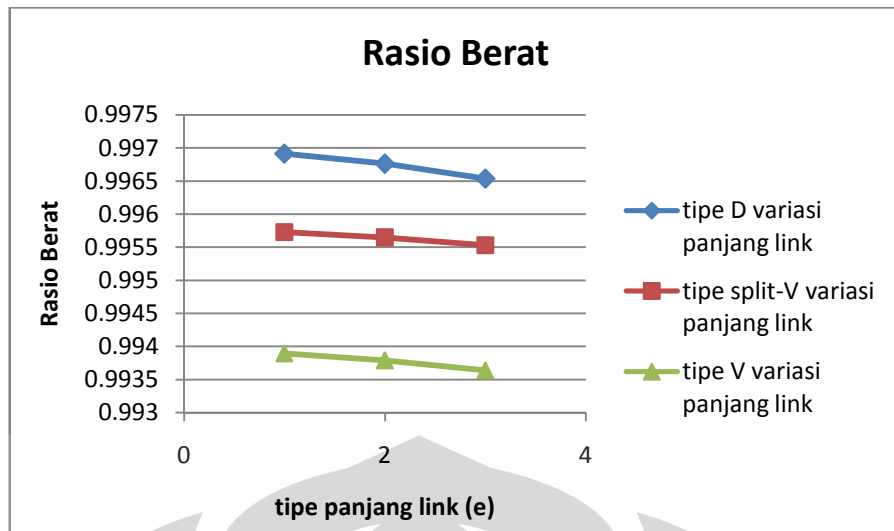


Gambar 55. Grafik rasio daktilitas pada gedung EBF 9 lantai

Perbandingan berat dari masing-masing model struktur 9 lantai diperlihatkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 41. Berat model struktur 9 lantai

Model Struktur		Berat (kN)			average MRF-EBF	
		panjang link			kN	kg
		e1	e2	e3		
EBF	tipe D	99944.16	99929.04	99906.5	326.9784	33331.13
	tipe Split-V	99825.2	99817.23	99805.49	437.5705	44604.53
	tipe V	99641.57	99630.96	99615.76	624.1129	63620.07
MRF		100253.55				



Gambar 56. Grafik rasio berat material terpakai gedung EBF 9 lantai

Tabel dan grafik di atas menunjukkan bahwa semua model EBF dalam analisis ini memiliki berat yang lebih kecil dibanding model MRF, dengan perbedaan berat sekitar 0,5%.

Untuk mengetahui tingkat efisiensi penggunaan material baja tersebut terhadap kekuatan struktur bangunan digunakan parameter *Strength-to-Weight ratio*, seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 42. *Strength-to-Weight ratio* model struktur 9 lantai

Strength/Weight Ratio				
Model Struktur		panjang link		
		e1	e2	e3
EBF	tipe D	0.105325	0.096154	0.083234
	tipe Split-V	0.110942	0.105237	0.109942
	tipe V	0.100012	0.091814	0.092901
MRF		0.082066621		

Berdasarkan tabel di atas, secara umum model struktur EBF memiliki *Strength-to-Weight ratio* yang lebih tinggi dibanding struktur MRF, dengan peningkatan sekitar 25%.

Evaluasi Kinerja

Hasil studi kinerja selengkapnya untuk masing – masing model struktur ditampilkan dalam tabel berikut ini:

Tabel 43. Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 9 Lantai

Model Struktur	Target Perpindahan (m)			Nilai Batas SNI 1726 0.02H (m)
	Spektrum Kapasitas ATC-40	Koef. Perpindahan FEMA 356	Koef. Perpindahan FEMA 440	
MRF	0.3850 (61%)	0.5058 (80%)	0.4601 (73%)	0.63 (100%)
EBF	tipe D (e1)	0.2170 (34%)	0.2767 (44%)	
	tipe D (e2)	0.2090 (33%)	0.2968 (47%)	
	tipe D (e3)	0.2180 (35%)	0.3078 (49%)	
	tipe Split-V (e1)	0.2060 (33%)	0.2663 (42%)	
	tipe Split-V (e2)	0.2030 (32%)	0.2895 (46%)	
	tipe Split-V (e3)	0.2140 (34%)	0.3075 (49%)	
	tipe V (e1)	0.2260 (36%)	0.2929 (46%)	
	tipe V (e2)	0.2200 (35%)	0.3221 (51%)	
	tipe V (e3)	0.2440 (39%)	0.3347 (53%)	

Dari hasil evaluasi kinerja, dapat dilihat bahwa :

1. Kinerja batas ultimit menurut SNI 1726-2002 adalah sebesar 0,63 meter untuk semua tipe gedung dan masih lebih besar daripada target peralihan yang dihitung menurut FEMA 356, FEMA 440, dan ATC-40.
2. Evaluasi kinerja menurut ATC-40 menghasilkan titik kinerja yang paling kecil (paling konservatif), sementara titik kinerja yang paling besar (menentukan) didapat berdasarkan metode FEMA 356.
3. Peningkatan panjang link menyebabkan meningkatnya target peralihan yang dialami struktur.

Dalam hal *performance level* elemen struktur, model EBF tipe Split-V e1, e2, e3, dan tipe V e1 memiliki *performance level* yang paling baik di antara tipe EBF lainnya, yaitu IO (*Immediate Occupancy*) dengan jumlah sendi plastis masing-masing 156,140, 156, dan 248. Kinerja ini sedikit menurun jika dibandingkan dengan *performance level* model MRF, yaitu IO (130 hinge). Secara umum, peningkatan dalam variasi panjang link (e) mengakibatkan penurunan *performance level* elemen struktur, seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 44. Distribusi Sendi Plastis Gedung 9 Lantai

Model Struktur	Disp. (m)	Base Force (kN)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL	<i>performance level</i> elemen struktur
MRF	0.4156	11168.3311	1292	130	0	0	0	0	0	0	1422	IO
EBF	tipe D (e1)	0.2947	24296.1582	1912	130	70	0	0	0	0	2112	LS
	tipe D (e2)	0.2614	18964.8105	1926	88	98	0	0	0	0	2112	LS
	tipe D (e3)	0.2477	17285.5078	1986	88	22	14	0	2	0	2112	D
	tipe Split-V (e1)	0.2583	23509.9141	2100	156	0	0	0	0	0	2256	IO
	tipe Split-V (e2)	0.2035	16475.3613	2116	140	0	0	0	0	0	2256	IO
	tipe Split-V (e3)	0.214	15912.3525	2100	156	0	0	0	0	0	2256	IO
	tipe V (e1)	0.235	17660.2695	2584	248	0	0	0	0	0	2832	IO
	tipe V (e2)	0.2839	17351.1211	2562	210	60	0	0	0	0	2832	LS
	tipe V (e3)	0.2888	16711.291	2583	205	44	0	0	0	0	2832	LS

Kinerja struktur secara global ditentukan berdasarkan dokumen FEMA-273 dan SNI 2002. Parameter yang digunakan adalah nilai batas peralihan atap dan *drift*, seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 45. Global performance level gedung 9 lantai

case: 1st mode						
Model Struktur	Peralihan Atap (meter)	Nilai Batas 0.02H (m)	Drift %	Nilai Batas	Tingkat Kinerja	
MRF	0.385	0.63	1.2222	2.50%	<i>Damage Control</i>	
EBF	tipe D (e1)		0.217	0.6889	1.50%	<i>Damage Control</i>
	tipe D (e2)		0.209	0.6635		<i>Damage Control</i>
	tipe D (e3)		0.218	0.6921		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e1)		0.206	0.6540		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e2)		0.203	0.6444		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e3)		0.214	0.6794		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e1)		0.226	0.7175		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e2)		0.22	0.6984		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e3)		0.244	0.7746		<i>Damage Control</i>
case: uniform						
Model Struktur	Peralihan Atap (meter)	Nilai Batas 0.02H (m)	Drift %	Nilai Batas	Tingkat Kinerja	
MRF	0.341	0.63	1.0825	2.50%	<i>Damage Control</i>	
EBF	tipe D (e1)		0.189	0.6000	1.50%	<i>Damage Control</i>
	tipe D (e2)		0.183	0.5810		<i>Damage Control</i>
	tipe D (e3)		0.189	0.6000		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e1)		0.18	0.5714		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e2)		0.18	0.5714		<i>Damage Control</i>
	tipe Split-V (e3)		0.189	0.6000		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e1)		0.195	0.6190		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e2)		0.195	0.6190		<i>Damage Control</i>
	tipe V (e3)		0.212	0.6730		<i>Damage Control</i>

Berdasarkan tabel di atas, tingkat kinerja struktur global untuk semua tipe bangunan 79 lantai masuk dalam kategori *Damage Control/SP-2*. Hal ini menunjukkan bahwa target fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran pada prediksi awal yaitu *Life Safety/SP-3* terpenuhi.

Dari evaluasi *performance level* elemen struktur dan global, dapat disimpulkan bahwa:

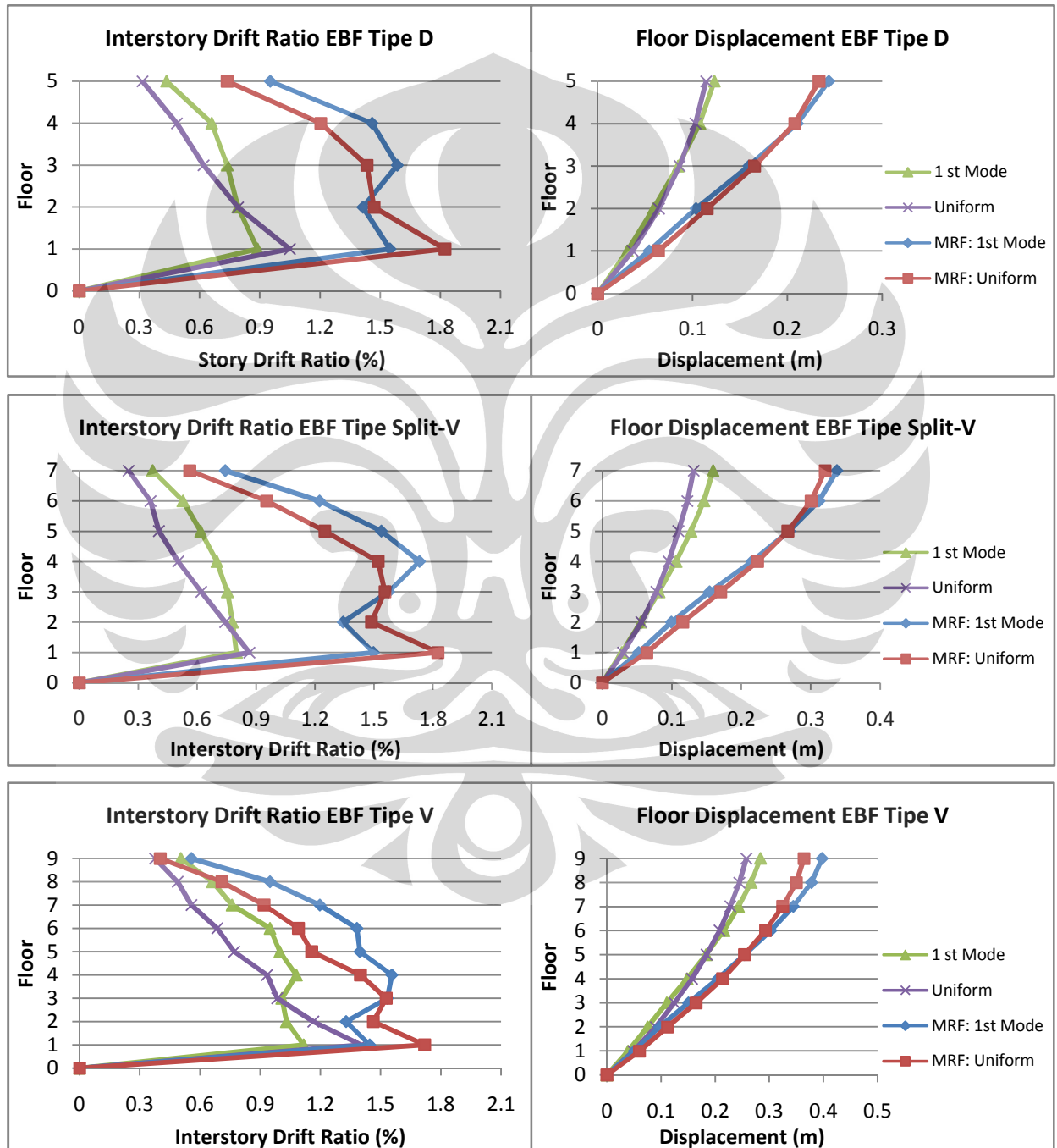
1. Dilihat dari *performance level* pada tingkat elemen struktur, struktur EBF menunjukkan kinerja yang lebih rendah dibanding struktur MRF, dimana model EBF tipe split-V dan tipe V e1 memiliki kinerja paling baik diantara tipe EBF lainnya.
2. Meskipun *performance level* elemen struktur model EBF lebih rendah dari model MRF, kinerja struktur global EBF ternyata lebih baik dibanding model MRF.

Data-data mengenai pembentukan dan distribusi sendi plastis untuk model struktur EBF 9 lantai dapat dilihat pada lampiran 4.05.

IV.4 PENGARUH POLA BEBAN LATERAL TERHADAP SEISMIC PERFORMANCE STRUKTUR

IV.4.1 Pengaruh Pola Beban Lateral Terhadap *Interstory Drift* dan *Floor Displacement* Struktur

Untuk melihat pengaruh pola beban lateral terhadap *interstory drift ratio* dan *floor displacement* pada masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:

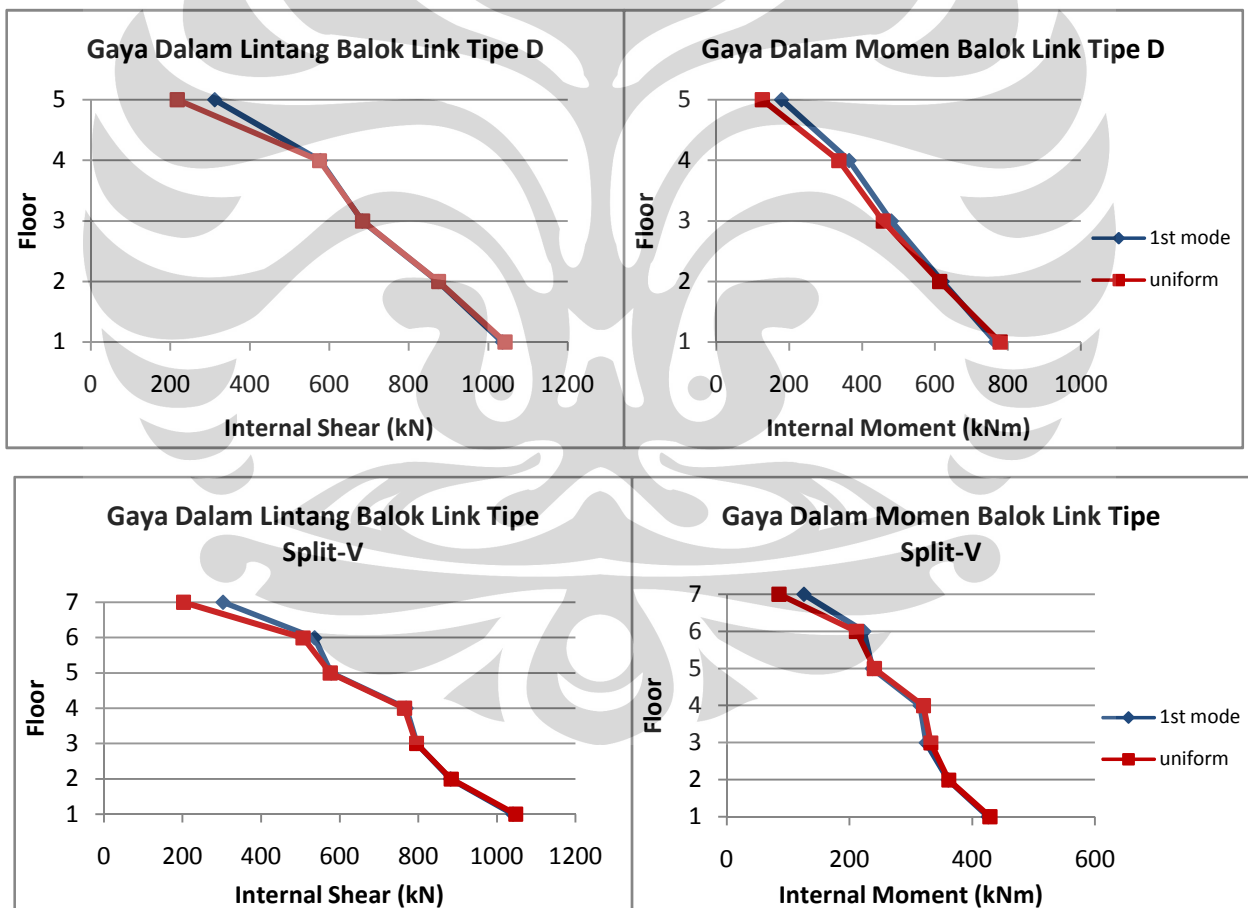


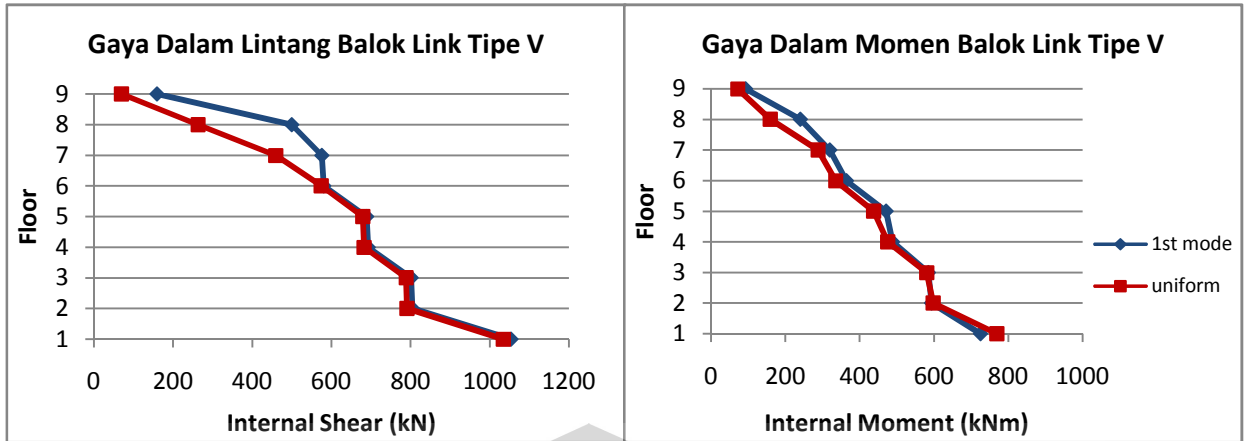
Gambar 57. Grafik interstory drift ratio dan floor displacement struktur EBF dan MRF 5, 7, dan 9 lantai ($e = 0,9m$)

Berdasarkan grafik di atas, pola beban memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap interstory drift dan displacement yang dihasilkan. Penggunaan pola beban seragam cenderung menghasilkan *interstory drift* dan *displacement* yang lebih besar pada lantai-lantai bawah namun lebih kecil pada lantai-lantai atas dibandingkan dengan pola beban mode pertama. Hal yang sama berlaku untuk semua tipe EBF dan MRF. Dari grafik di atas juga terlihat bahwa struktur EBF memiliki *interstory drift* dan *floor displacement* yang jauh lebih kecil dibanding struktur MRF.

IV.4.2 Pengaruh Pola Beban Lateral Terhadap Gaya Dalam Balok Link

Untuk melihat pengaruh pola beban lateral terhadap gaya dalam momen dan lintang pada balok link untuk masing – masing tipe struktur EBF pada kondisi kinerja, dapat dilihat grafik berikut ini:



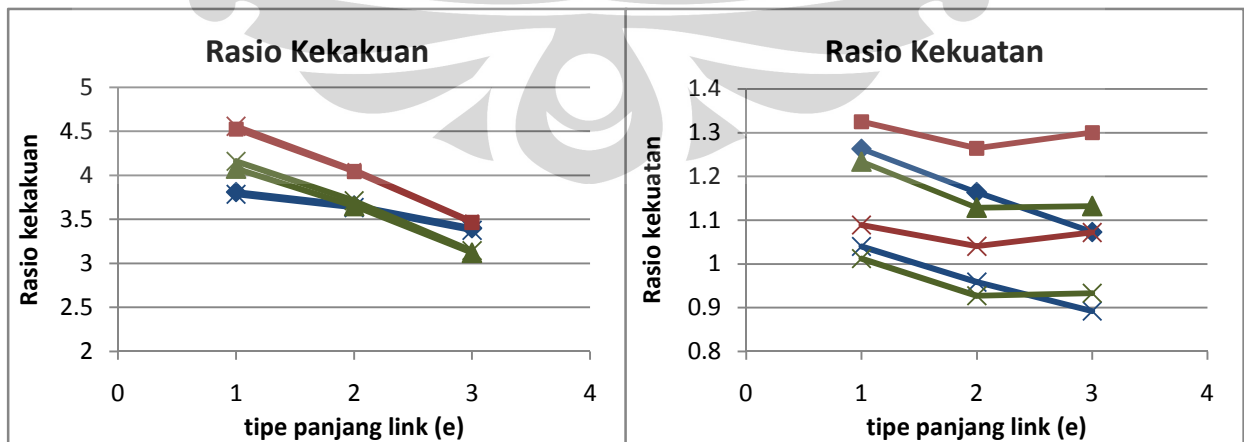


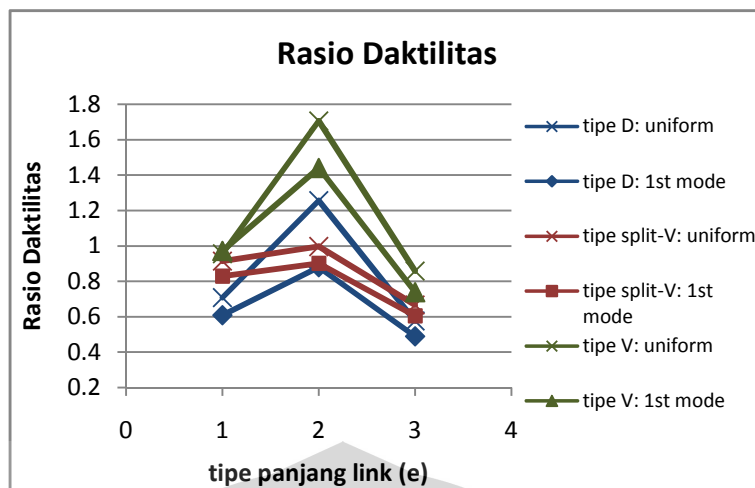
Gambar 58. Grafik gaya dalam lintang dan momen balok link struktur EBF 5, 7, dan 9 lantai ($e = 0,9m$)

Sama halnya pada *interstory drift* dan *displacement*, pengaruh pola beban seragam terhadap gaya dalam balok link cenderung menghasilkan gaya dalam yang lebih besar pada lantai-lantai bawah namun lebih kecil pada lantai-lantai atas dibandingkan dengan pola beban mode pertama. Namun, perbedaan yang dihasilkan tidak terlalu signifikan. Perbedaan yang cukup signifikan hanya terjadi pada lantai-lantai atas, sementara pada lantai-lantai bawah hampir tidak ada perbedaan gaya dalam link akibat pengaruh pola beban lateral.

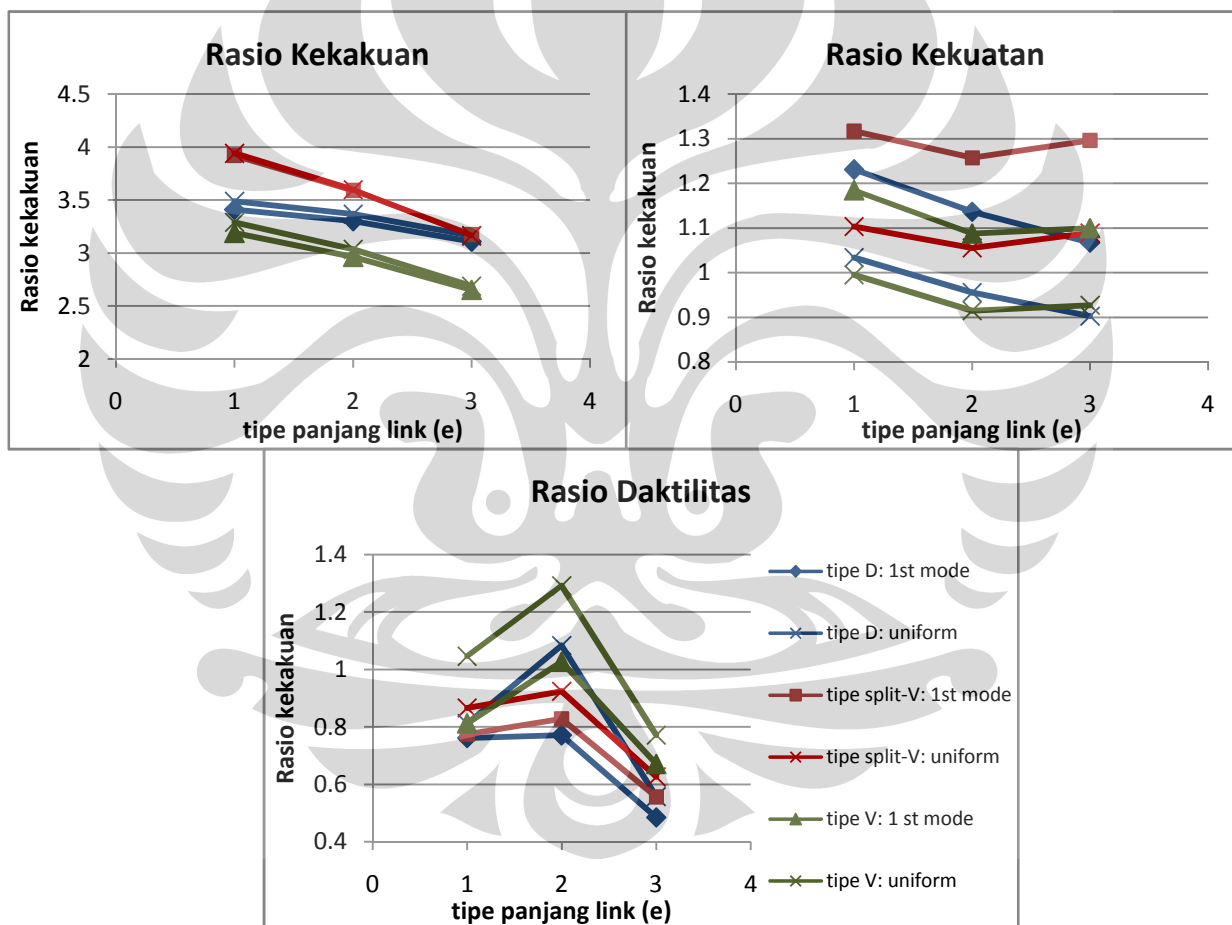
IV.4.3 Pengaruh Pola Beban Lateral Terhadap Daktilitas, Kekakuan, dan Kekuatan Struktur

Untuk melihat pengaruh pola beban lateral terhadap daktilitas, kekakuan, dan kekuatan struktur untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:

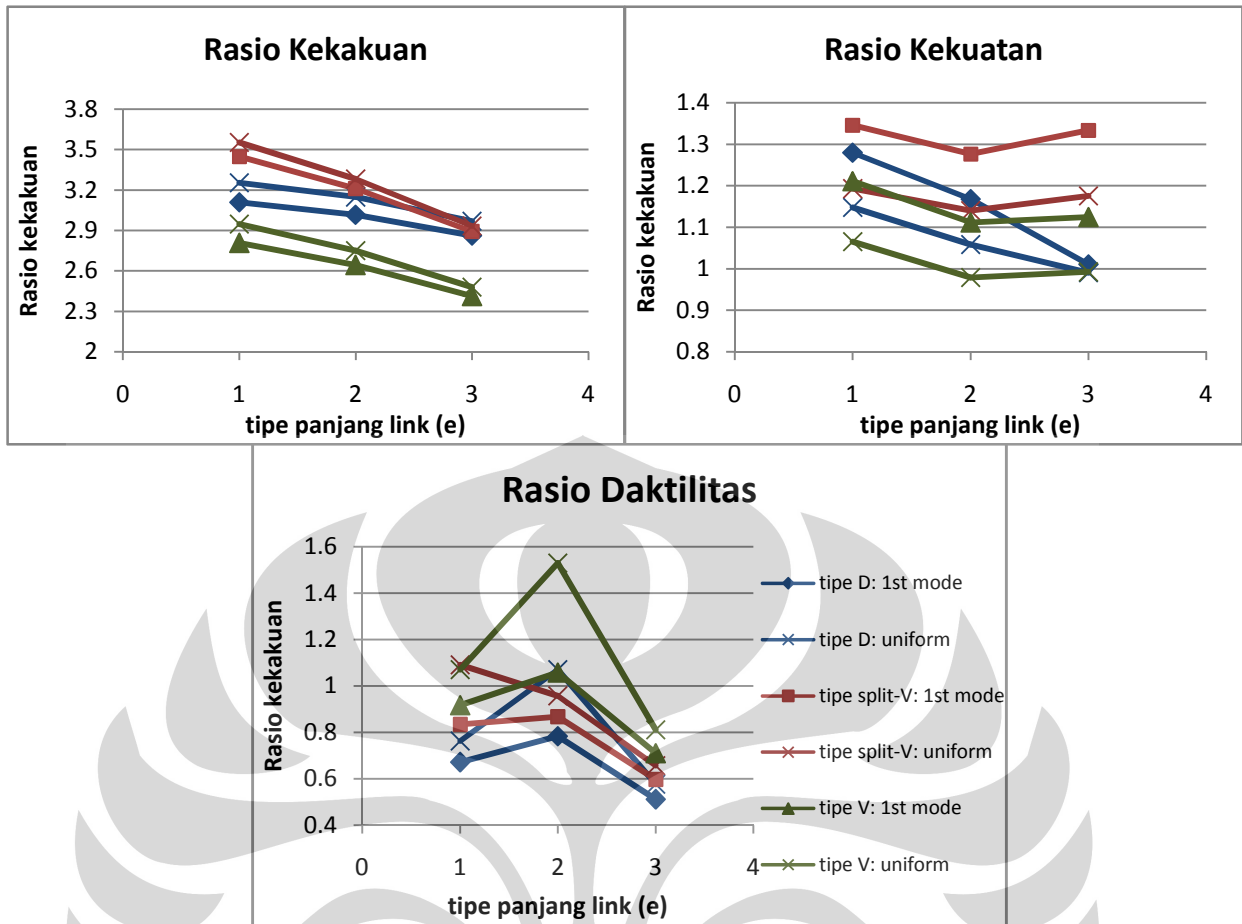




Gambar 59. Grafik rasio kekakuan, kekuatan, dan daktilitas gedung 5 lantai



Gambar 60. Grafik rasio kekakuan, kekuatan, dan daktilitas gedung 7 lantai

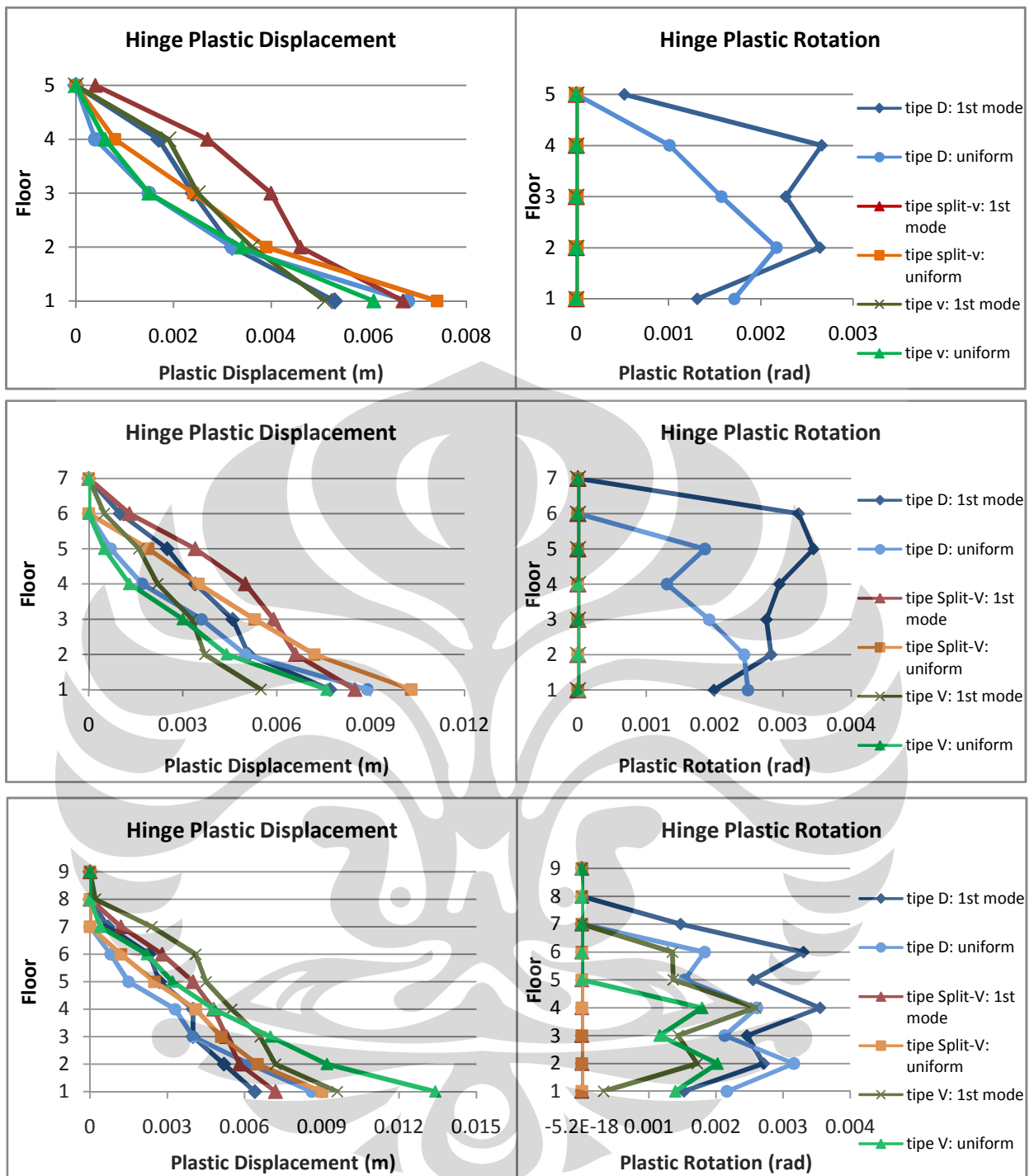


Gambar 61. Grafik rasio kekakuan, kekuatan, dan daktilitas gedung 9 lantai

Berdasarkan grafik di atas, nilai rasio kekakuan akibat pola beban seragam sedikit meningkat dibanding rasio kekakuan akibat pola beban mode 1, dan nilainya hampir tidak berbeda untuk model 5 lantai. Sementara itu, penggunaan pola beban seragam cenderung menghasilkan rasio kekuatan yang lebih rendah dan rasio daktilitas yang lebih tinggi dibanding akibat pola beban mode pertama.

IV.4.4 Pengaruh Pola Beban Lateral Terhadap Deformasi Plastik Balok Link

Untuk melihat pengaruh pola beban lateral terhadap deformasi plastik balok link untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:



Gambar 62. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF 5, 7, dan 9 lantai ($e = 0,9m$)

Sama halnya pada *story drift* dan *displacement*, pengaruh pola beban seragam terhadap deformasi plastis balok link cenderung menghasilkan displacement dan rotasi plastis yang lebih besar pada lantai bawah namun lebih kecil pada lantai-lantai atas dibandingkan dengan pola beban mode pertama. Dari grafik di atas terlihat bahwa pola beban lateral memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap peralihan dan rotasi plastis balok link.

IV.4.5 Pengaruh Pola Beban Lateral Terhadap Tingkat Kinerja Struktur

Untuk melihat pengaruh pola beban lateral terhadap tingkat kinerja struktur untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat tabel berikut ini:

Tabel 46. Target perpindahan dan level kinerja gedung 5 lantai

case: 1st Mode										
Model Struktur	δ_y (meter)	V_y (kN)	δ_t (m) ATC-40	V_t (kN) ATC-40	δt (m) FEMA 356	δt (m) FEMA 440	δ_u (meter)	V_u (kN)	performance level elemen struktur	
MRF	0.175	8551.58	0.228	10623.97	0.276	0.251	0.913	17032.93	IO	
EBF	tipe D (e1)	0.058	10802.63	0.115	19698.64	0.144	0.133	0.185	30178.81	LS
	tipe D (e2)	0.056	9946.61	0.111	16451.15	0.157	0.144	0.257	31361.47	LS
	tipe D (e3)	0.056	9173.30	0.119	16145.49	0.162	0.149	0.142	18597.46	CP
	tipe Split-V (e1)	0.051	11335.54	0.108	20380.78	0.135	0.124	0.220	36856.59	IO
	tipe Split-V (e2)	0.054	10815.95	0.112	17475.70	0.148	0.136	0.256	31501.86	LS
	tipe Split-V (e3)	0.065	11122.69	0.12	16226.58	0.160	0.147	0.207	23759.33	LS
	tipe V (e1)	0.053	10552.51	0.109	18744.71	0.142	0.131	0.331	41329.16	IO
	tipe V (e2)	0.054	9646.89	0.114	15111.35	0.162	0.149	0.525	32972.27	LS
tipe V (e3)	0.063	9678.61	0.126	14931.82	0.170	0.156	0.245	23677.55	LS	

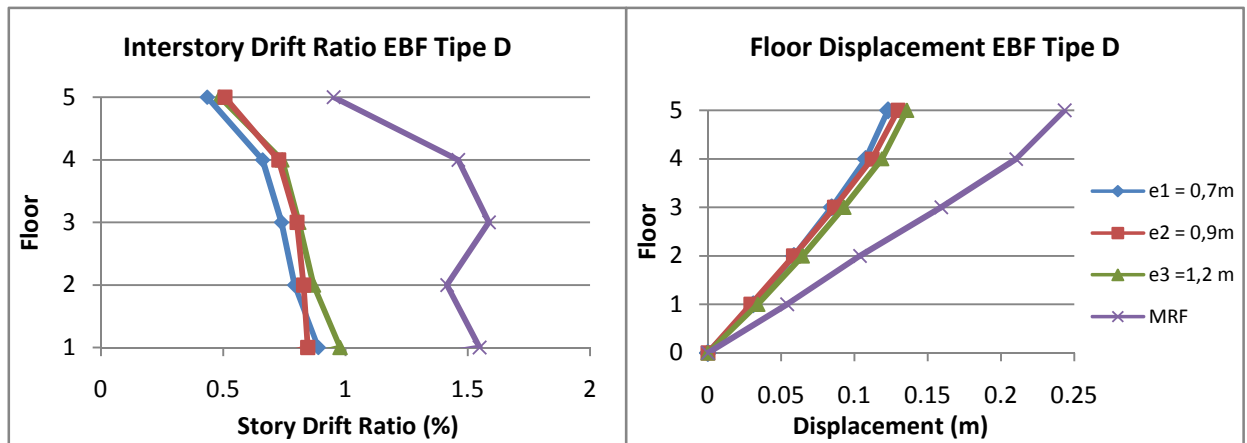
case: Uniform										
Model Struktur	δ_y (meter)	V_y (kN)	δ_t (m) ATC-40	V_t (kN) ATC-40	δt (m) FEMA 356	δt (m) FEMA 440	δ_u (meter)	V_u (kN)	performance level elemen struktur	
MRF	0.173	10579.13	0.206	12224.13	0.252	0.230	0.7984	19599.82	IO	
EBF	tipe D (e1)	0.047	11002.97	0.103	22247.36	0.133	0.123	0.1542	31853.46	LS
	tipe D (e2)	0.045	10137.71	0.1	18669.09	0.146	0.134	0.2626	38703.03	LS
	tipe D (e3)	0.045	9438.16	0.107	18220.92	0.151	0.139	0.1208	20169.54	D
	tipe Split-V (e1)	0.042	11518.43	0.097	22832.43	0.125	0.116	0.1756	38000.50	LS
	tipe Split-V (e2)	0.044	11004.46	0.101	19428.48	0.139	0.127	0.2046	32784.80	LS
	tipe Split-V (e3)	0.053	11338.53	0.108	17962.16	0.149	0.137	0.1646	24760.46	LS
	tipe V (e1)	0.042	10709.08	0.097	21173.34	0.132	0.122	0.2854	46726.99	LS
	tipe V (e2)	0.043	9809.99	0.098	16774.66	0.152	0.140	0.455	44239.83	LS
tipe V (e3)	0.051	9871.20	0.114	16597.73	0.158	0.145	0.2033	25209.41	LS	

Berdasarkan grafik di atas, pola beban seragam cenderung menghasilkan target perpindahan yang lebih rendah dan gaya geser dasar yang lebih tinggi dibanding akibat pola beban sesuai mode pertama. Hal ini mengakibatkan terjadinya kecenderungan penurunan tingkat kinerja elemen struktur pada penggunaan pola beban merata. Kedua pola beban lateral tersebut menghasilkan target perpindahan dengan perbedaan rata-rata 10.5% (spektrum kapasitas) dan 7% (koefisien perpindahan).

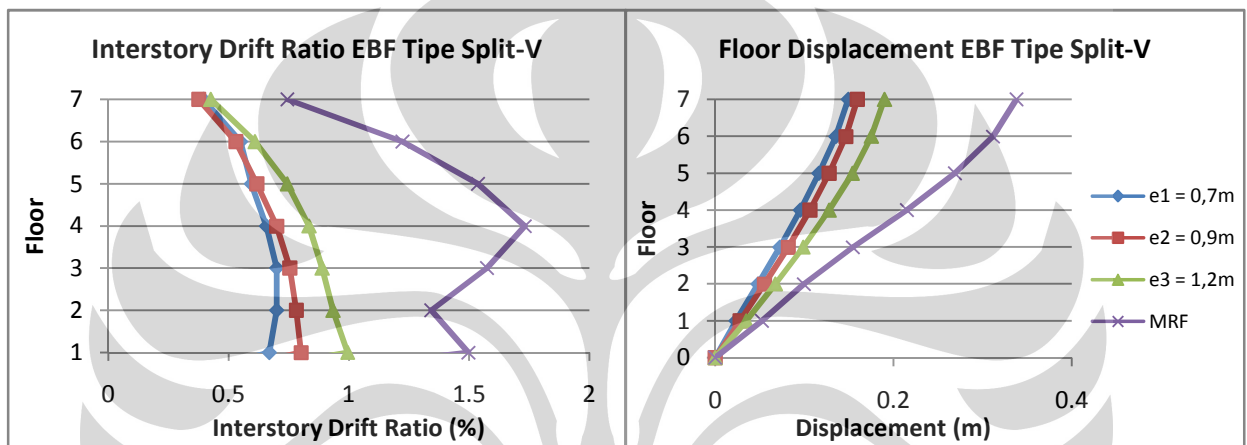
IV.5 PENGARUH PANJANG LINK (e) TERHADAP SEISMIC PERFORMANCE STRUKTUR

IV.5.1 Pengaruh Panjang Link (e) Terhadap *Interstory Drift* dan *Floor Displacement* Struktur

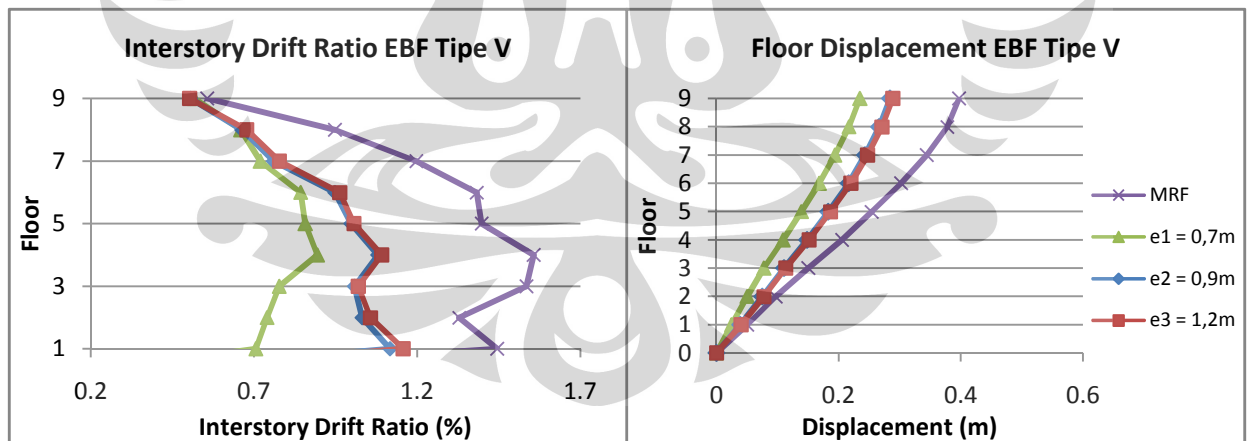
Untuk melihat pengaruh panjang link terhadap *interstory drift ratio* dan *floor displacement* pada masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:



Gambar 63. Grafik story drift ratio dan displacement struktur EBF tipe D (case: 1st mode)



Gambar 64. Grafik story drift ratio dan displacement EBF tipe Split-V (case: 1st mode)

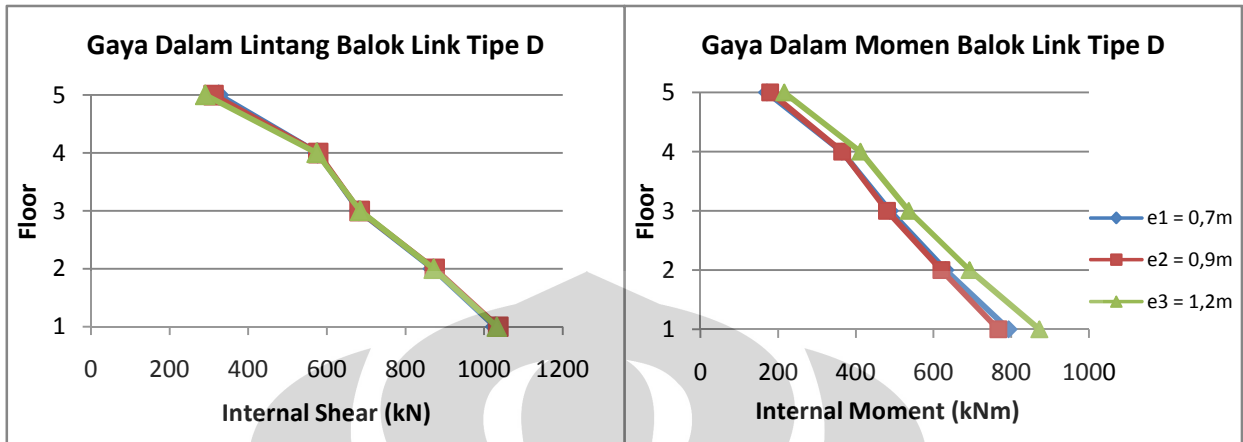


Gambar 65. Grafik interstory drift ratio dan displacement struktur EBF tipe V (case: 1st mode)

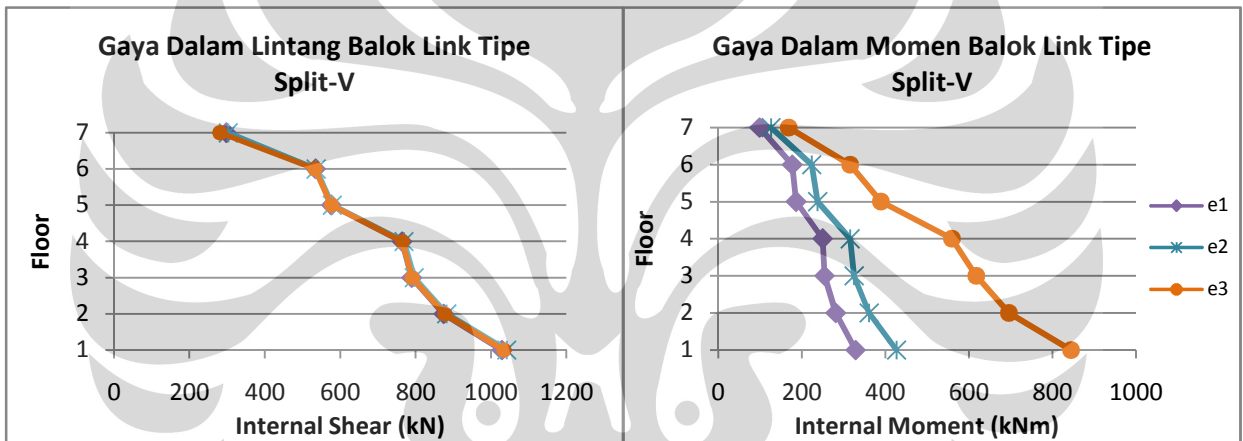
Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin besar panjang link maka *interstory drift* dan *displacement* yang dihasilkan cenderung akan semakin besar. Hal ini berlaku untuk semua tipe konfigurasi EBF.

IV.5.2 Pengaruh Panjang Link (e) Terhadap Gaya Dalam Balok Link

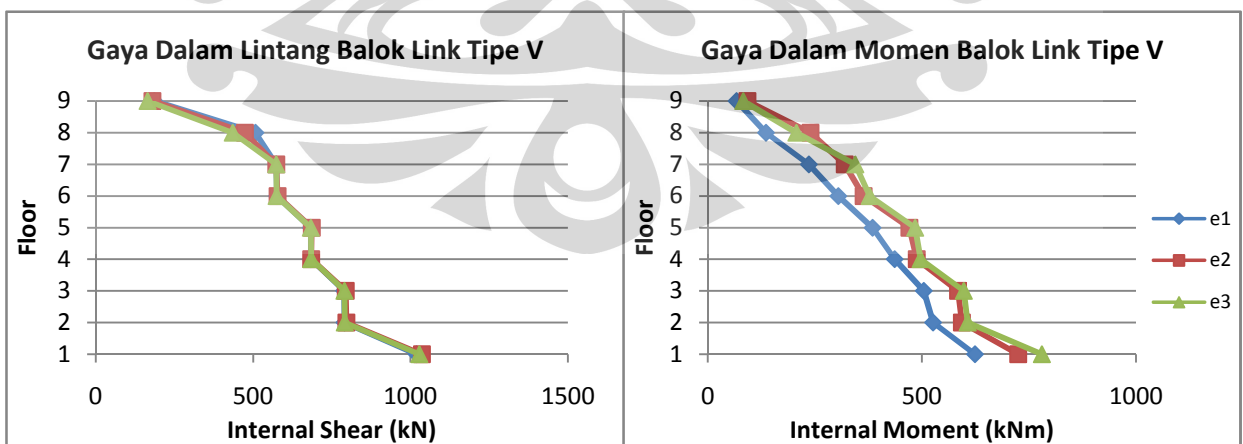
Untuk melihat pengaruh panjang link terhadap gaya dalam momen dan lintang pada balok link untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:



Gambar 66. Grafik gaya dalam lintang dan momen struktur EBF tipe D (case: 1st mode)



Gambar 67. Grafik gaya dalam lintang dan momen EBF tipe Split-V (case: 1st mode)



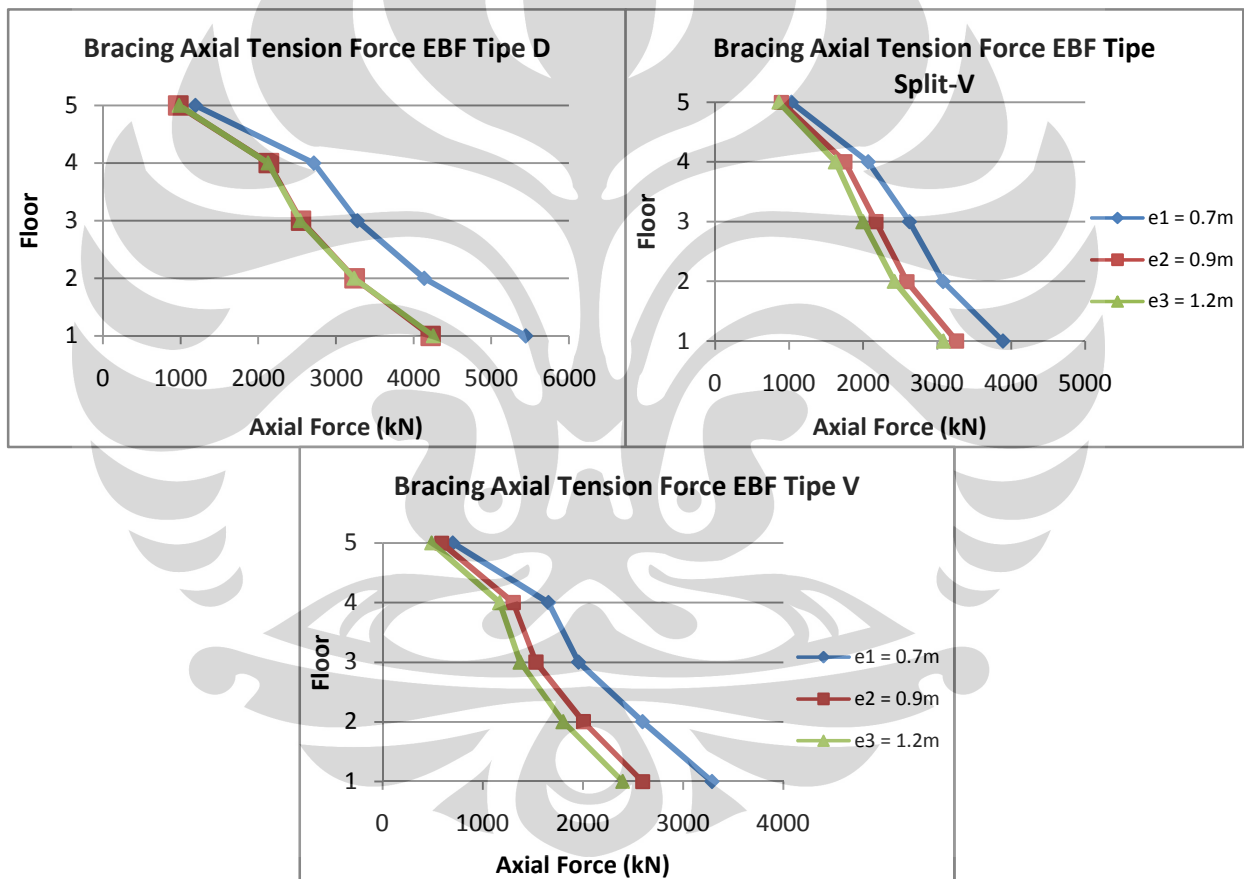
Gambar 68. Grafik gaya dalam lintang dan momen struktur EBF tipe V (case: 1st mode)

Berdasarkan grafik di atas, gaya geser balok link hampir tidak memiliki perubahan untuk tiap-tiap panjang link. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan panjang link tidak

terlalu mempengaruhi gaya geser balok link, namun cukup berpengaruh pada gaya dalam momen, dimana semakin besar panjang link maka gaya dalam momen cenderung semakin besar. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa semakin panjang link maka semakin dominan gaya dalam momen yang bekerja, yang menyebabkan moda keruntuhan lentur pada link panjang. EBF tipe Split-V menunjukkan peningkatan yang paling signifikan pada gaya dalam momen akibat variasi panjang link.

IV.5.3 Pengaruh Panjang Link (e) Terhadap Gaya Dalam Aksial Bracing

Untuk melihat pengaruh panjang link terhadap gaya dalam aksial pada bracing untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:

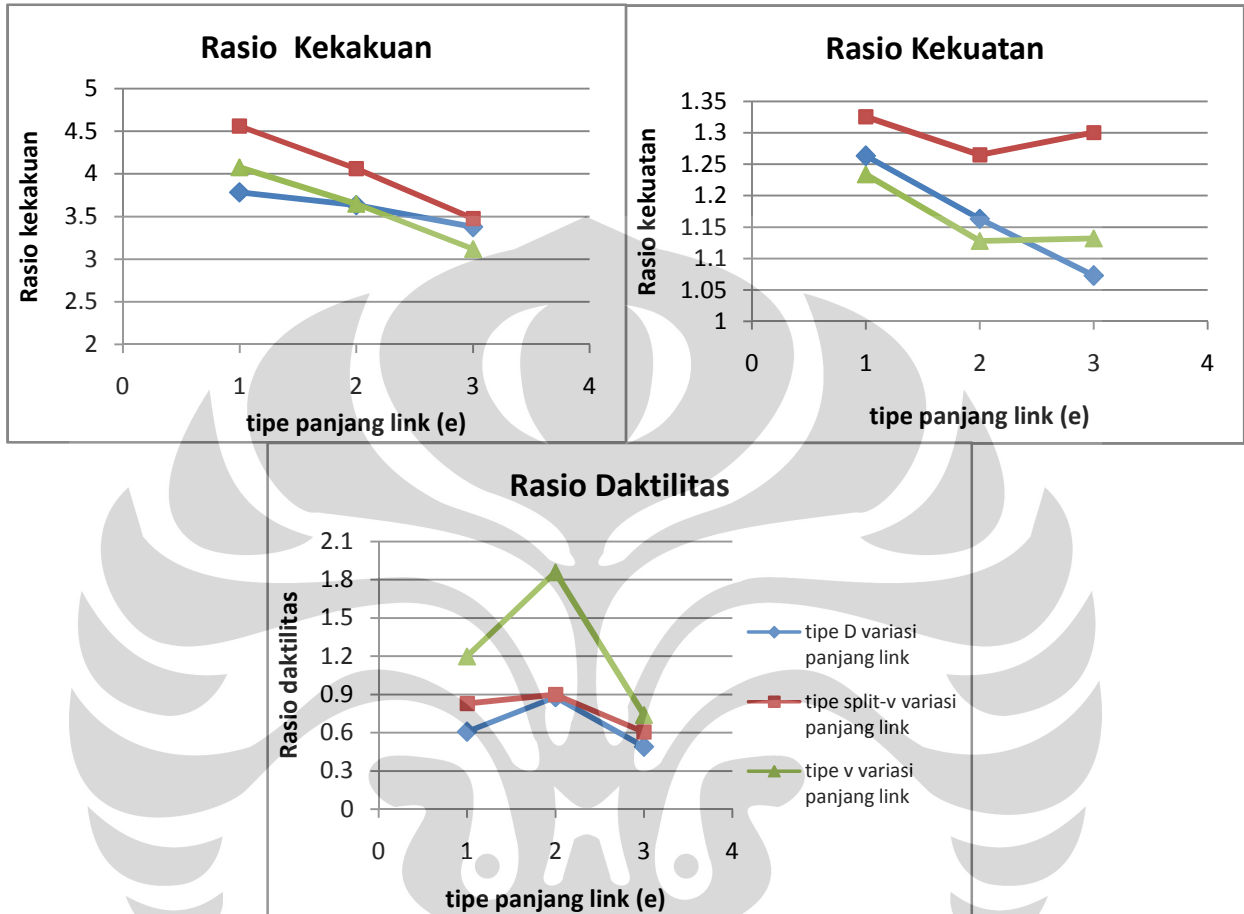


Gambar 69. Grafik gaya dalam aksial bracing struktur EBF (case: 1st mode)

Berdasarkan grafik di atas, peningkatan panjang link mengakibatkan menurunnya gaya dalam aksial pada bracing. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar panjang link maka semakin kecil kontribusi bracing dalam menahan gaya lateral yang bekerja. Kondisi ini ditunjukkan dengan menurunnya kekakuan struktur dan moda kegagalan lentur pada balok link, yang kemudian mengarah kepada perilaku struktur MRF.

IV.5.4 Pengaruh Panjang Link (e) Terhadap Daktilitas, Kekakuan, dan Kekuatan Struktur

Untuk melihat pengaruh panjang link terhadap rasio daktilitas, kekakuan, dan kekuatan struktur untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:

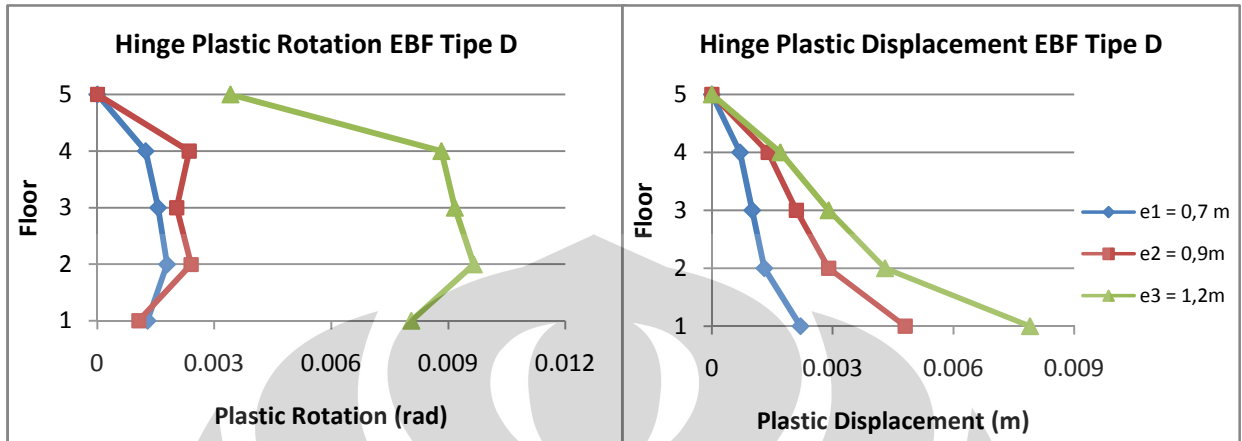


Gambar 70. Grafik rasio kekakuan, kekuatan, dan daktilitas gedung 5 lantai (case: 1st mode)

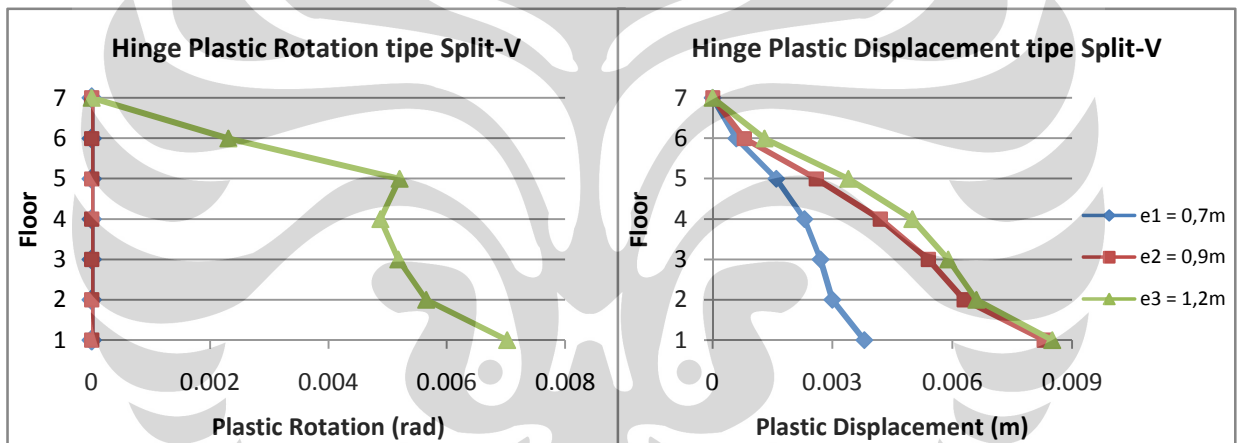
Untuk semua tipe EBF, penambahan panjang link menghasilkan penurunan kekakuan struktur. Variasi panjang link memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kekuatan untuk masing-masing tipe EBF. Untuk EBF tipe D, semakin meningkat panjang link maka kekuatan struktur semakin menurun, sementara pada EBF tipe Split-V dan V, kekuatan struktur mengalami peningkatan ketika panjang link (e) = 1,2m, yang merupakan kategori link menengah. Daktilitas meningkat ketika panjang link bertambah dari (e1) = 0,7m menjadi (e2) = 0,9m, namun justru menurun ketika panjang link mencapai (e3) = 1,2m, yang merupakan kategori link menengah.

IV.5.5 Pengaruh Panjang Link (e) Terhadap Deformasi Plastis Balok Link

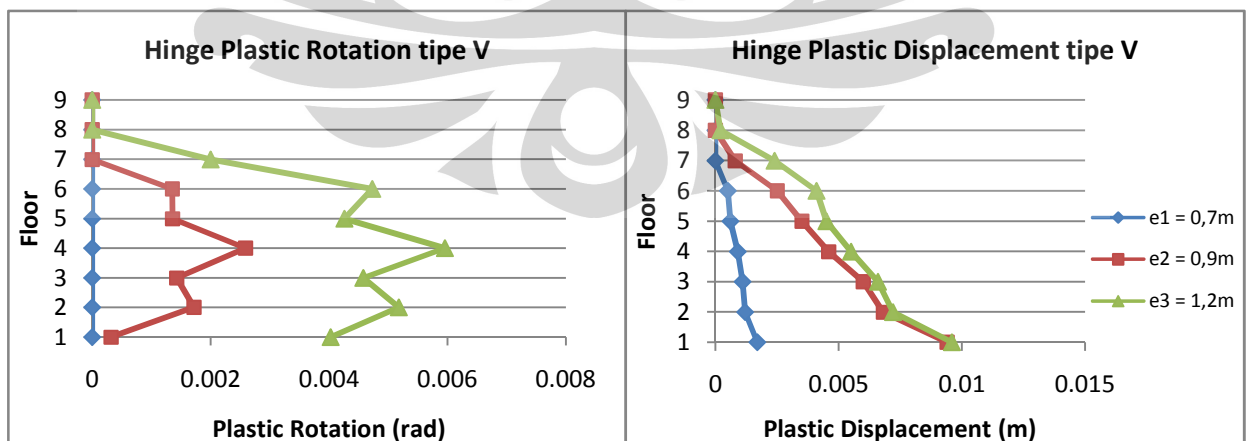
Untuk melihat pengaruh panjang link terhadap deformasi plastis balok link untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:



Gambar 71. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF Tipe D (case: 1st mode)



Gambar 72. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF Tipe Split-V (case: 1st mode)



Gambar 73. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF Tipe V (case: 1st mode)

Berdasarkan grafik di atas, peningkatan panjang link memberikan pengaruh terhadap meningkatnya deformasi plastis balok link, seiring dengan peningkatan gaya dalam

balok link. Grafik EBF tipe Split-V menunjukkan bahwa untuk panjang link yang masuk kategori pendek (e_1 dan e_2), tidak terjadi rotasi plastis pada balok link, yang memungkinkan terjadinya moda keruntuhan geser pada balok link.

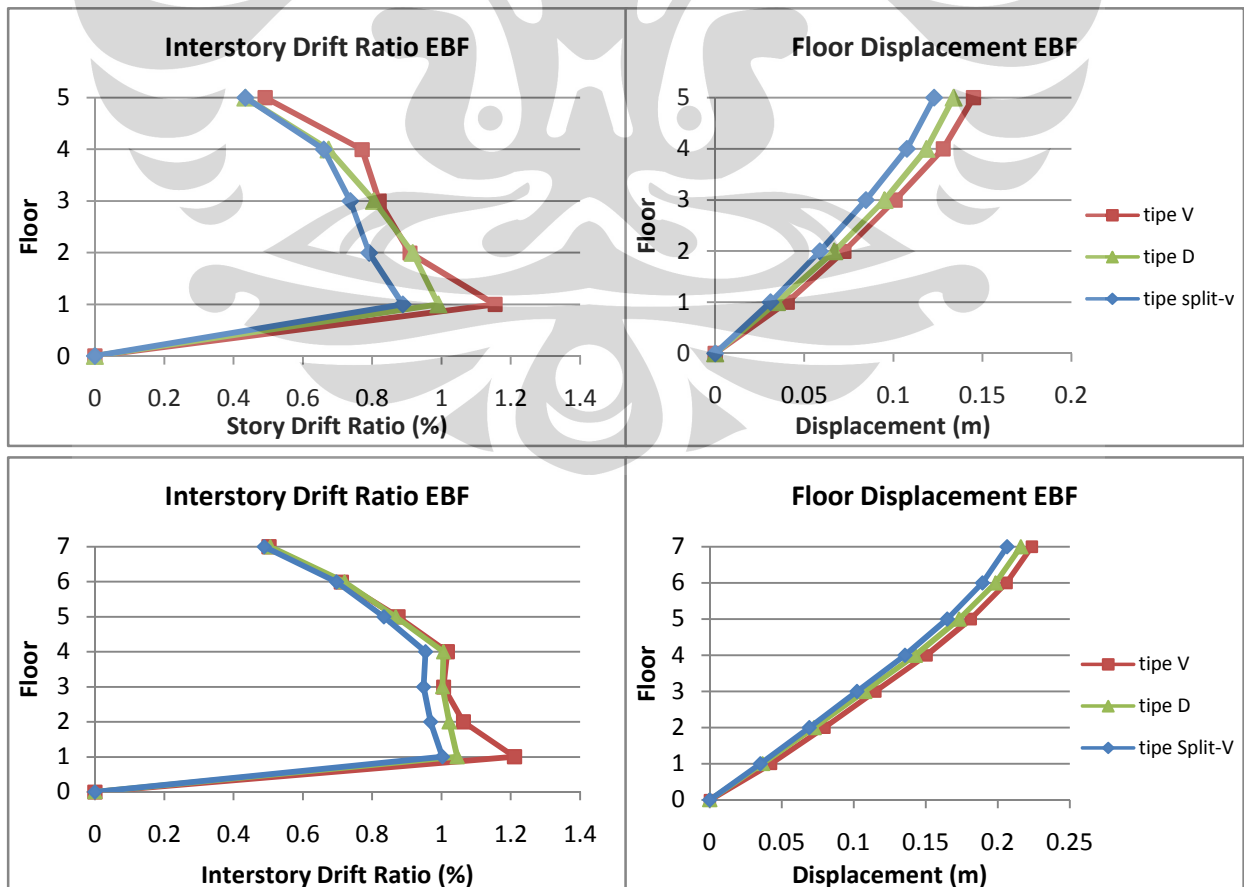
IV.6.5 Pengaruh Panjang Link Terhadap Lokasi Pembentukan Sendi Plastis

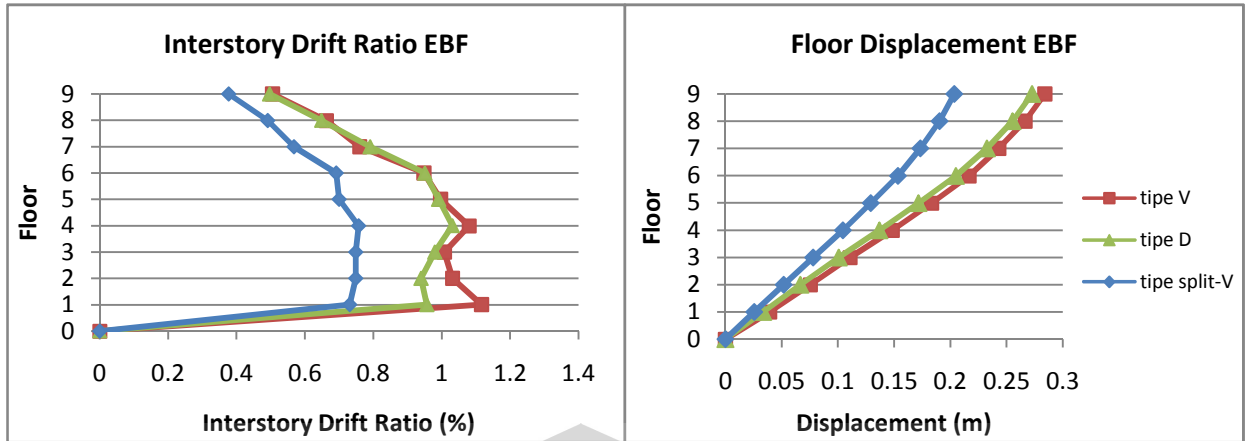
Berdasarkan gambar *deformed shape* kondisi ultimit struktur pada lampiran 4.10 hingga 4.12, dapat diketahui bahwa ketika panjang link sama dengan e_1 dan e_2 (kategori link pendek), terjadi deformasi plastis pada bagian ujung-ujung kolom. Sementara ketika panjang link meningkat mencapai e_3 (kategori link menengah), terlihat bahwa distribusi sendi plastis cenderung hanya terfokus pada bagian balok.

IV.6 PENGARUH KONFIGURASI / TIPE BRACING TERHADAP SEISMIC PERFORMANCE STRUKTUR

IV.6.1 Pengaruh Konfigurasi Bracing Terhadap *InterStory Drift* dan *Floor Displacement* Struktur

Pengaruh konfigurasi bracing terhadap *interstory drift ratio* dan *floor displacement* struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:



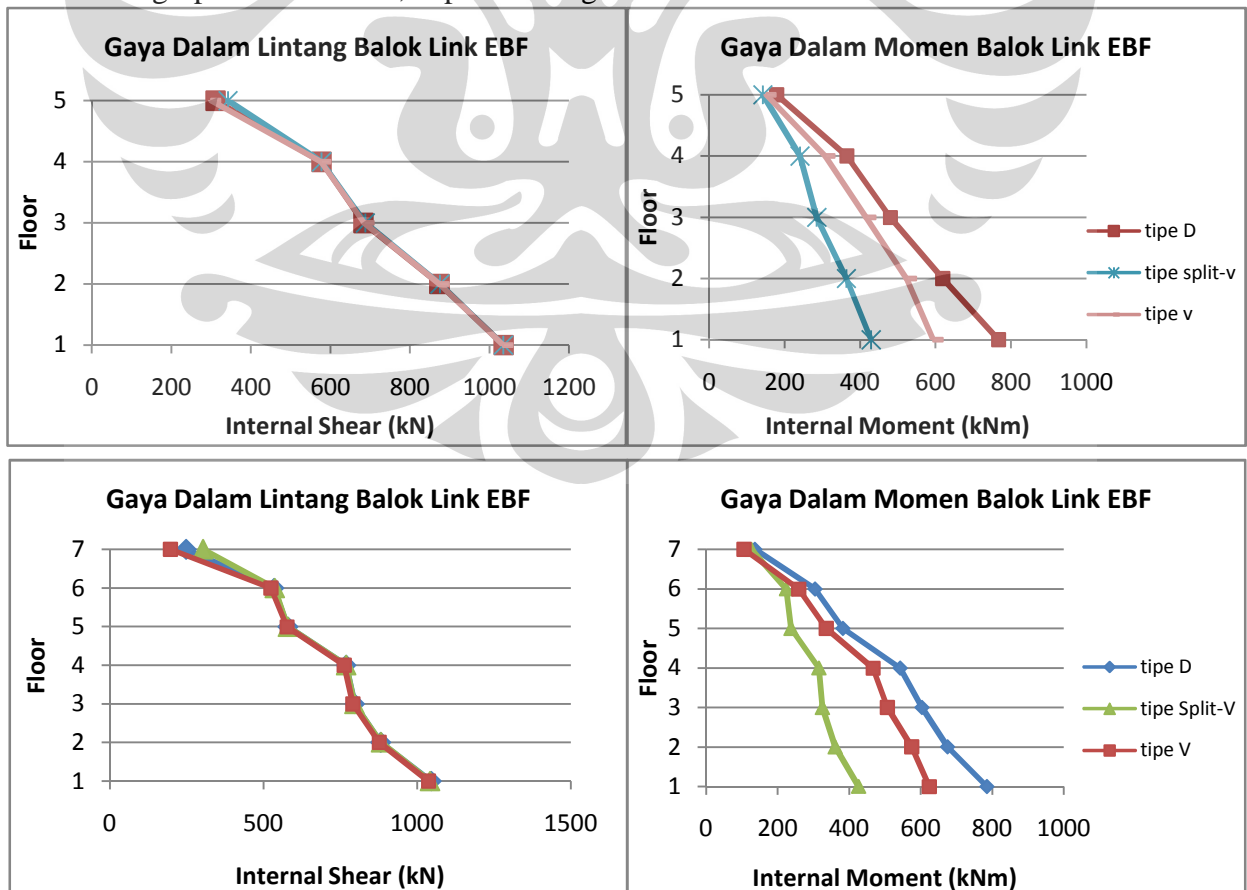


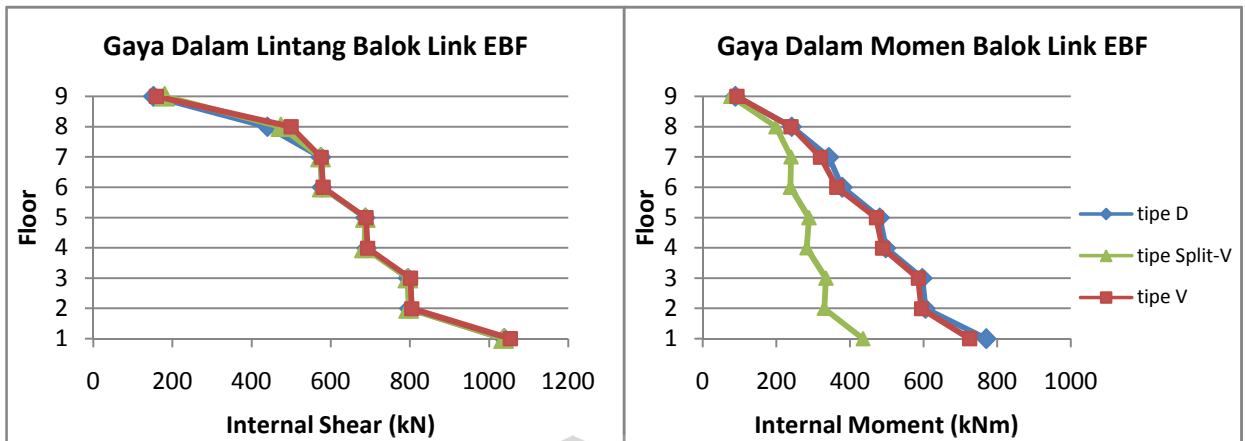
Gambar 74. Grafik *story drift ratio* dan *floor displacement* gedung MRF dan EBF variasi konfigurasi bracing (case: 1st mode, $e = 0,9m$)

Berdasarkan grafik di atas, tipe EBF yang memiliki *interstory drift* dan *displacement* terbesar akibat pembebanan gempa rencana adalah, berturut-turut, tipe Split-V, tipe D dan tipe V. Namun, secara umum EBF memiliki *story drift* dan *displacement* yang lebih kecil dibandingkan struktur MRF.

IV.6.2 Pengaruh Konfigurasi Bracing Terhadap Gaya Dalam Balok Link

Untuk melihat perbedaan gaya dalam momen dan lintang pada balok link untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:



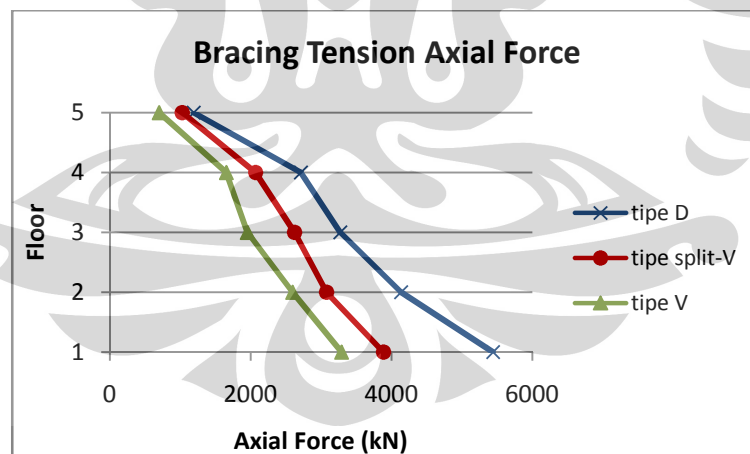


Gambar 75. Grafik gaya dalam lintang dan momen balok link struktur EBF (case:1st mode)

Berdasarkan grafik di atas, gaya geser balok link hampir tidak memiliki perbedaan untuk masing-masing konfigurasi bracing, sementara untuk gaya dalam momen, balok link tipe Split-V mengalami momen paling kecil dibanding tipe V dan D. Hal ini menunjukkan bahwa untuk link kategori pendek, balok link EBF tipe Split-V merupakan tipe yang paling didominasi gaya geser.

IV.6.3 Pengaruh Konfigurasi Bracing Terhadap Gaya Dalam Aksial Bracing

Untuk melihat pengaruh konfigurasi bracing terhadap gaya dalam aksial bracing untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:

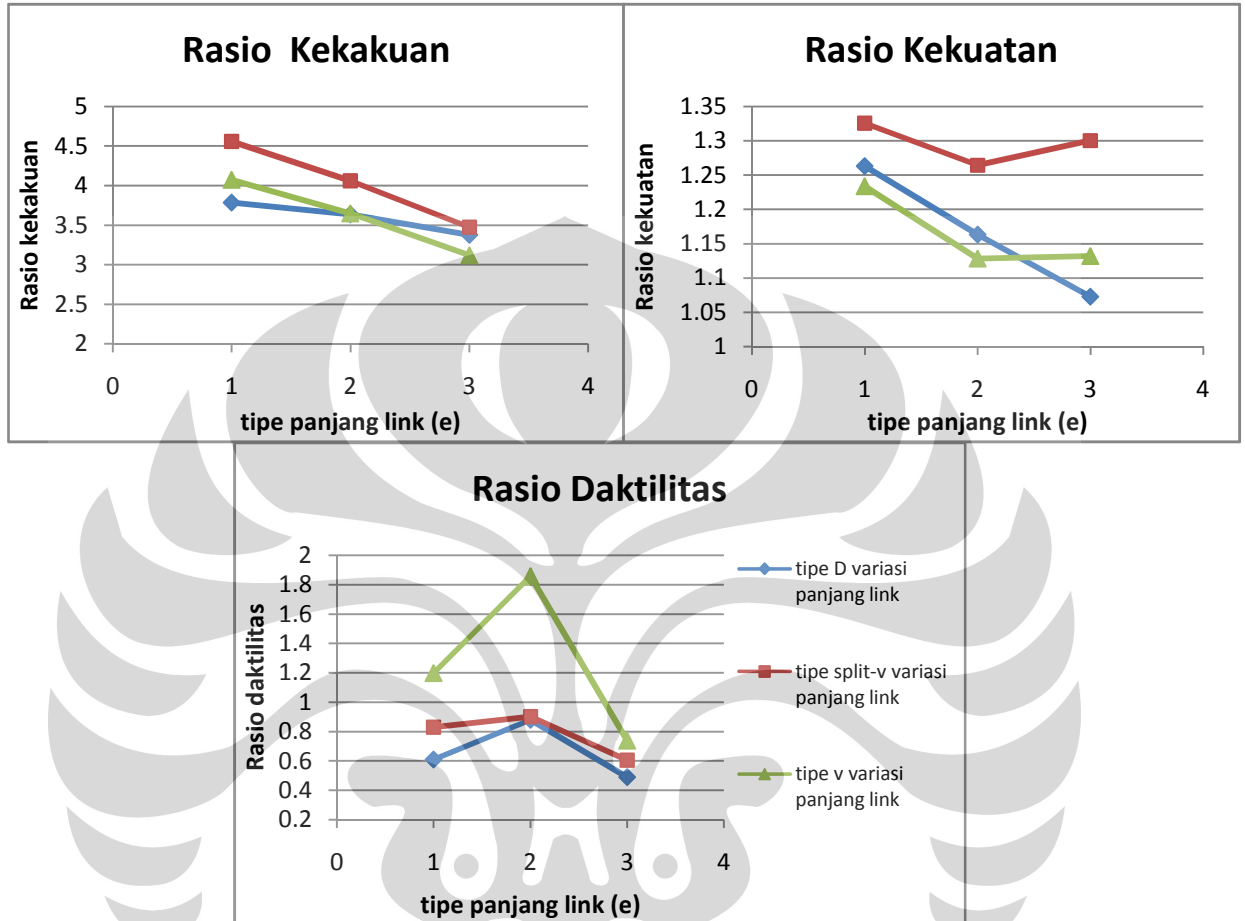


Gambar 76. Grafik gaya dalam aksial pada bracing struktur EBF (case: 1st mode, e=0,7m)

Berdasarkan grafik di atas, EBF tipe D mengalami gaya dalam aksial yang paling besar diantara tipe EBF lainnya. Hal ini dimungkinkan karena bracing tipe D memiliki sudut inklinasi paling kecil dibanding tipe lainnya.

IV.6.4 Pengaruh Konfigurasi Bracing Terhadap Daktilitas, Kekakuan, dan Kekuatan Struktur

Untuk melihat pengaruh konfigurasi bracing terhadap rasio daktilitas, kekakuan, dan kekuatan struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:

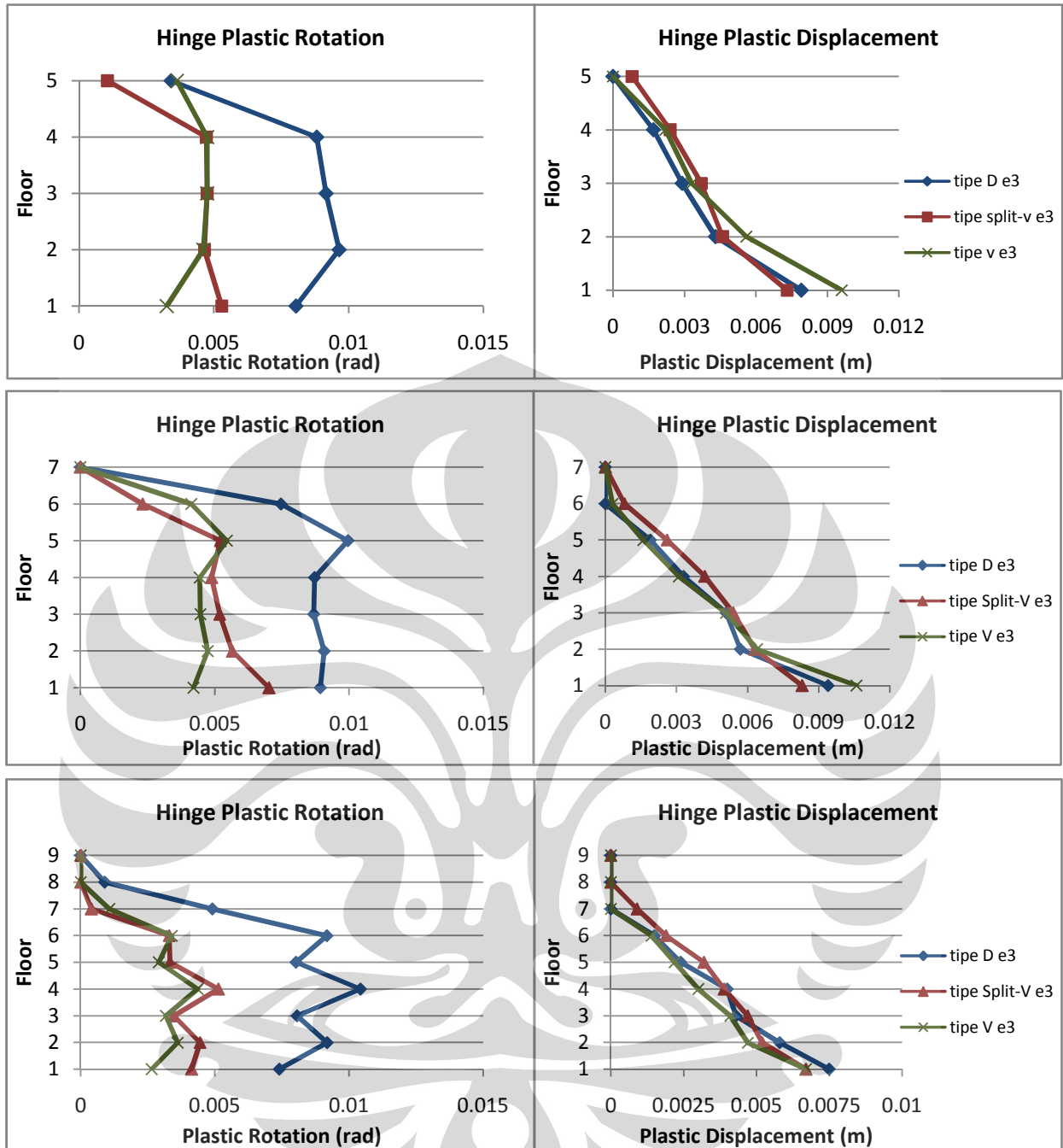


Gambar 77. Grafik rasio kekakuan, kekuatan dan daktilitas gedung 5 lantai (case: 1st mode)

Grafik di atas menunjukkan bahwa EBF tipe Split-V memiliki kekakuan dan kekuatan yang paling tinggi diantara tipe lainnya, sementara daktilitas tertinggi dimiliki oleh EBF tipe V.

IV.6.5 Pengaruh Konfigurasi Bracing Terhadap Deformasi Plastis Balok Link

Untuk melihat pengaruh konfigurasi bracing terhadap deformasi plastis balok link struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:



Gambar 78. Grafik peralihan dan rotasi plastis balok link EBF ($e=1,2m$)

Dari grafik di atas terlihat bahwa EBF tipe D mengalami deformasi plastis yang lebih besar dibanding tipe Split-V dan tipe V. Besarnya deformasi plastis ini terkait dengan *performance level* elemen struktur, dimana semakin besar deformasi plastis yang terjadi maka akan terjadi penurunan *performance level* elemen struktur.

IV.6.5 Pengaruh Konfigurasi Bracing Terhadap Lokasi Pembentukan Sendi Plastis

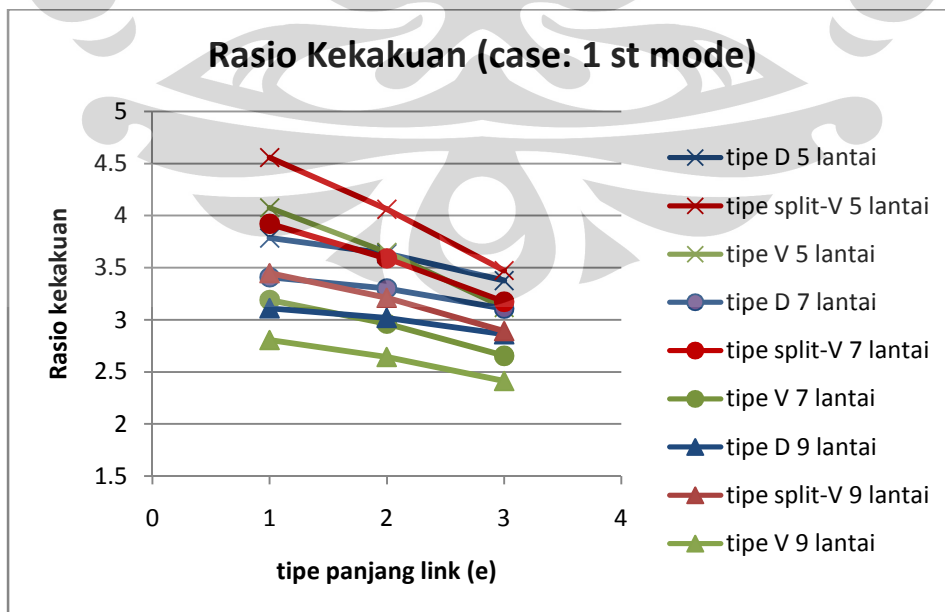
Berdasarkan gambar *deformed shape* kondisi kinerja struktur pada lampiran 4.07 hingga 4.09, dapat diketahui bahwa untuk struktur EBF, peristiwa pelelehan terjadi pertama kali pada bagian balok link. Hal ini sesuai dengan konsep desain EBF yang memfokuskan deformasi plastis pada bagian link. Sementara pada model MRF, pelelehan terjadi pada ujung-ujung balok, sesuai dengan prinsip *strong column weak beam*.

Jika melihat distribusi sendi plastis hingga kondisi ultimit, terlihat bahwa berdasarkan konfigurasi bracing, kondisi ultimit EBF tipe D dan tipe V dinyatakan ketika terjadi pelelehan pada ujung-ujung kolom, sementara untuk EBF tipe split-V terlihat bahwa deformasi plastis terfokus hanya terjadi pada balok, sehingga kondisi ultimit dinyatakan ketika terjadi collapse pada balok.

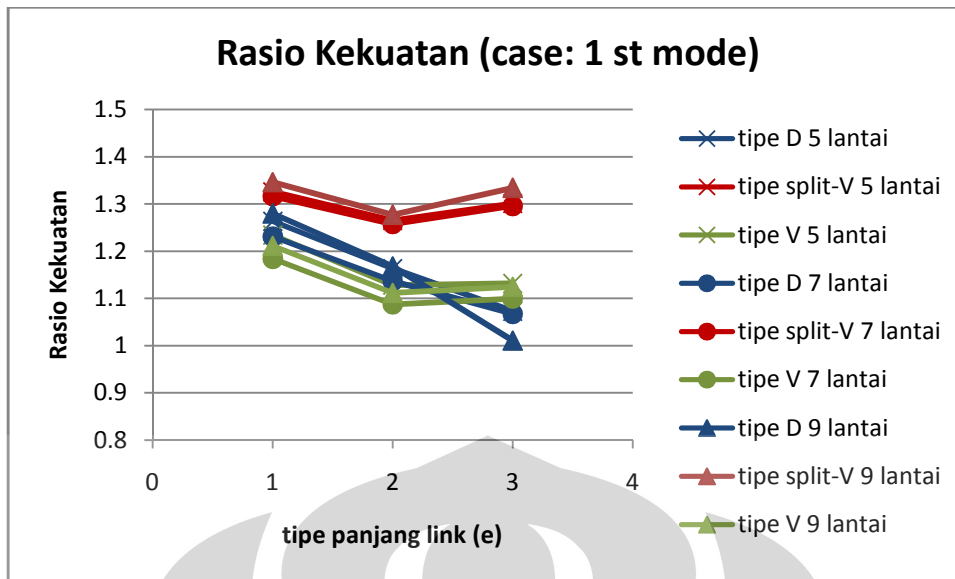
IV.7 PENGARUH JUMLAH LANTAI TERHADAP SEISMIC PERFORMANCE LEVEL STRUKTUR

IV.7.1 Pengaruh Jumlah Lantai Terhadap Daktilitas, Kekakuan, dan Kekuatan Struktur

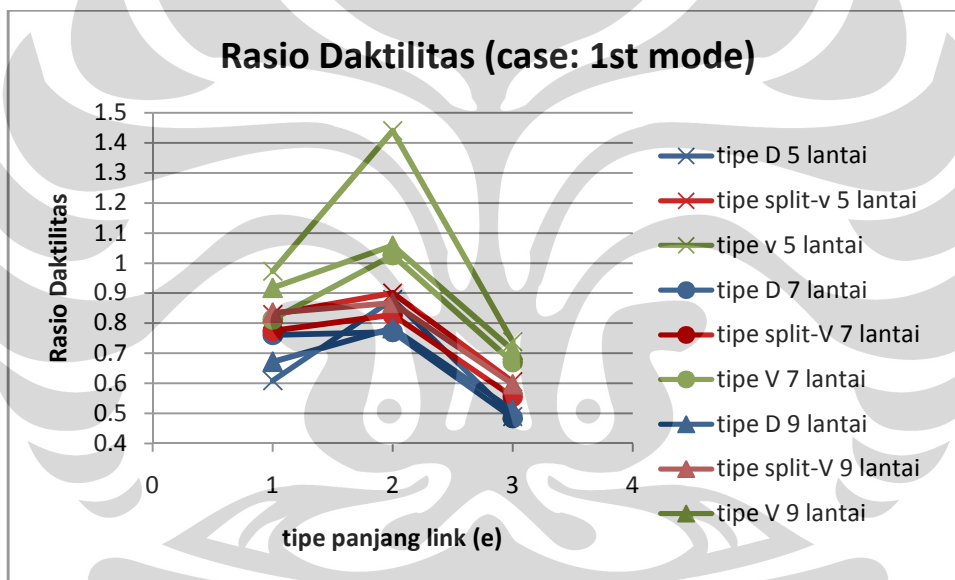
Untuk melihat pengaruh jumlah lantai terhadap daktilitas, kekakuan, dan kekuatan struktur untuk masing – masing tipe struktur EBF, dapat dilihat grafik berikut ini:



Gambar 79. Grafik rasio kekakuan gedung 5 lantai (case: 1st mode)



Gambar 80. Grafik rasio kekuatan gedung 5 lantai (case: 1st mode)

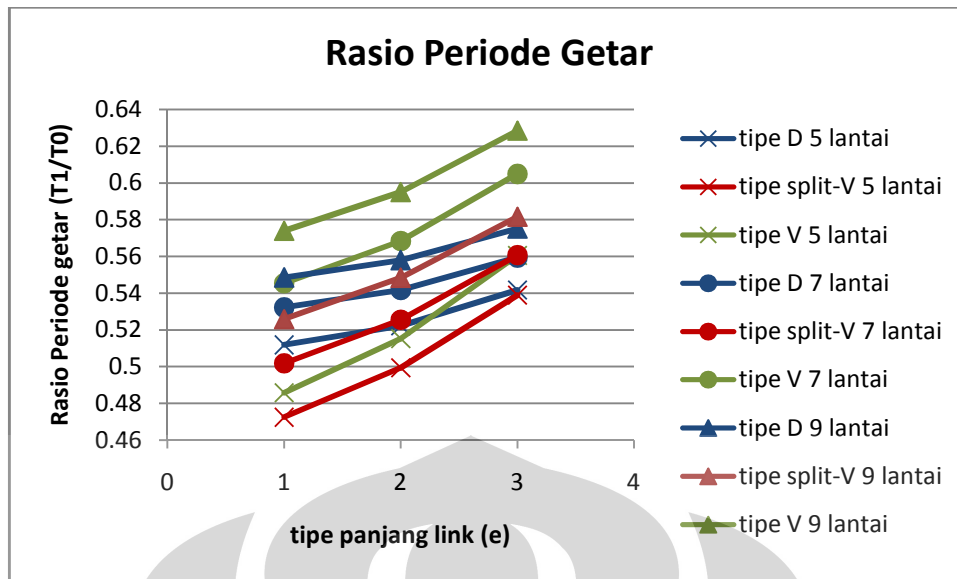


Gambar 81. Grafik rasio daktilitas gedung 5 lantai (case: 1st mode)

Berdasarkan grafik di atas, rasio kekakuan menurun seiring bertambahnya jumlah lantai, sementara rasio kekuatan untuk masing-masing jumlah lantai memiliki nilai yang hampir sama. Untuk rasio daktilitas, perbedaan mencolok ditunjukkan oleh EBF tipe V e2, sementara model tipe lainnya memiliki rasio daktilitas yang tidak terlalu berbeda untuk masing-masing ketinggian.

IV.7.3 Pengaruh Jumlah Lantai Terhadap Rasio Periode Getar Struktur

Pengaruh jumlah lantai terhadap peningkatan rasio periode getar ditunjukkan oleh grafik berikut:



Gambar 82. Grafik rasio periode getar (ket: T1 : periode getar EBF, T0: periode getar MRF)

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa rasio periode getar meningkat seiring bertambahnya jumlah lantai. Dalam hal peningkatan rasio periode getar akibat variasi panjang link, gedung 5, 7, dan 9 lantai menghasilkan peningkatan rasio periode getar yang sama.

IV.7.3 Pengaruh Jumlah Lantai Terhadap Tingkat Kinerja Struktur

Untuk melihat perbedaan performance level bangunan masing-masing ketinggian, dapat dilihat pada grafik berikut:

Tabel 47. performance level struktur 5,7 dan 9 lantai (case: 1st mode)

Model Struktur	performance level elemen	Drift %	Model Struktur	performance level elemen	Drift %	Model Struktur	performance level elemen	Drift %	
5 lantai			7 lantai			9 lantai			
MRF	IO	1.303	MRF	IO	1.253	MRF	IO	1.222	
EBF	tipe D (e1)	LS	0.657	tipe D (e1)	LS	0.665	tipe D (e1)	LS	0.689
	tipe D (e2)	LS	0.634	tipe D (e2)	LS	0.645	tipe D (e2)	LS	0.663
	tipe D (e3)	CP	0.680	tipe D (e3)	CP	0.669	tipe D (e3)	D	0.692
	tipe Split-V (e1)	IO	0.617	tipe Split-V (e1)	LS	0.620	tipe Split-V (e1)	IO	0.654
	tipe Split-V (e2)	LS	0.640	tipe Split-V (e2)	LS	0.624	tipe Split-V (e2)	IO	0.644
	tipe Split-V (e3)	LS	0.686	tipe Split-V (e3)	LS	0.657	tipe Split-V (e3)	IO	0.679
	tipe V (e1)	IO	0.623	tipe V (e1)	IO	0.678	tipe V (e1)	IO	0.717
	tipe V (e2)	LS	0.651	tipe V (e2)	LS	0.665	tipe V (e2)	LS	0.698
	tipe V (e3)	LS	0.720	tipe V (e3)	LS	0.710	tipe V (e3)	LS	0.775

Dari tabel di atas, untuk ketiga tipe ketinggian gedung, dapat dilihat bahwa konfigurasi bracing tipe Split-V memberikan performa elemen struktur yang lebih baik dibanding tipe EBF lainnya, serta menunjukkan performa global yang paling baik dari semua model struktur. Berdasarkan tabel tersebut juga terlihat bahwa untuk semua ketinggian, terjadi penurunan performa elemen struktur seiring peningkatan panjang link.

BAB V

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan hasil penelitian ini adalah:

- Model struktur EBF menghasilkan *interstory drift* dan *displacement* yang jauh menurun dibanding model MRF. Hal ini dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan struktural yang besar.
- Dalam hal kekakuan struktur, EBF konfigurasi bracing tipe Split-V memberikan kekakuan yang lebih baik dibandingkan model struktur MRF dan tipe EBF lainnya.
- Dalam hal kekuatan, EBF tipe Split-V memberikan kekuatan yang lebih optimal dibandingkan model struktur MRF dan tipe EBF lainnya.
- Dalam hal periode getar, model struktur EBF memiliki periode getar yang jauh lebih kecil dibanding model MRF, dimana EBF tipe Split-V merupakan model struktur yang memberikan penurunan periode getar yang paling signifikan dibandingkan model EBF lainnya.
- Dalam hal daktilitas, EBF tipe V menghasilkan daktilitas bangunan yang lebih optimal dibanding tipe EBF lainnya. Kecuali pada tipe V e2, model struktur EBF memiliki daktilitas yang lebih rendah dibanding struktur MRF.
- Dalam hal performa struktur, yakni performance level pada tingkat komponen struktur, struktur EBF menunjukkan kinerja yang lebih rendah dibanding struktur MRF, dimana model EBF tipe split-V e1 memiliki kinerja paling baik diantara tipe EBF lainnya.
- Meskipun performance level komponen struktur model EBF lebih rendah dari model MRF, kinerja struktur global EBF ternyata lebih baik dibanding model MRF. Hal ini disebabkan karena sendi plastis yang terbentuk pada model EBF terisolir pada elemen sekunder yang memang dikhususkan untuk mengalami aksi inelastis terbesar, yaitu balok link. Kerusakan segmental yang terbatas pada balok link ini dapat menjaga integritas frame disekitarnya tanpa mengalami penurunan kekakuan dan kekuatan yang signifikan. Kinerja struktur global, berupa *displacement* dan *drift*, paling baik ditunjukkan oleh model struktur EBF tipe Split-V.

- Dari karakteristik yang telah diketahui dapat disimpulkan bahwa EBF tipe Split-V memberikan kinerja yang paling baik diantara tipe EBF lainnya.
- Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Koefisien Perpindahan FEMA 356 menghasilkan nilai target perpindahan (δ_t) yang menentukan, sementara metode Spektrum Kapasitas menghasilkan nilai δ_t yang terkecil (konservatif).
- Dalam hal variasi panjang link, penambahan panjang link menghasilkan peningkatan interstory drift dan floor displacement, peningkatan gaya dalam momen balok link, penurunan gaya dalam aksial bracing, peningkatan peralihan plastis dan rotasi plastis balok link, serta penurunan kekakuan.
- Dalam hal konfigurasi bracing, pengaruhnya ditunjukkan berikut ini:
 - interstory drift dan floor displacement: tipe V > D > Split-V
 - gaya dalam momen balok link: tipe D > V > Split-V
 - gaya dalam aksial bracing: tipe D > Split-V > V
 - deformasi plastis balok link: tipe D > Split-V dan V
- Pola beban lateral yang digunakan memberikan efek yang signifikan terhadap nilai berbagai parameter kinerja yang dihasilkan. Pola beban seragam cenderung menghasilkan nilai kekuatan yang lebih besar, daktilitas yang lebih kecil, dan target perpindahan yang lebih kecil.
- Jumlah banyaknya lantai, baik pada tipe D, Split-V, maupun V memberikan hasil yang sama dalam rasio kekuatan dan peningkatan rasio periode getar model struktur. Parameter *seismic performance level* yang dipengaruhi oleh jumlah lantai terdapat pada rasio kekakuan, daktilitas dan performa komponen struktur.
- Kesimpulan akhir yang dapat diperoleh dari tulisan ini adalah bahwa perencanaan berbasis kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana suatu gempa akan mempengaruhi struktur. Dengan demikian sejak awal pemilik bangunan, perencana maupun pemakai mendapat informasi bagaimana bangunan tersebut berperilaku bila ada gempa.

SARAN

- Analisis statik nonlinier memerlukan berbagai variasi pola beban lateral untuk mendapatkan hasil analisis yang paling menentukan dan mendekati kondisi real
- Dapat dilakukan studi lanjutan dengan menggunakan analisis dinamik riwayat waktu nonlinier untuk melihat ketelitian analisis statik nonlinier ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASCE, “FEMA 356 - Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings”, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., 2000
2. ATC-33 Project, “FEMA 273 - NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings” , *Building Seismic Safety Council*, Washington, D.C., 1997
3. ATC-33 Project, “FEMA 274 – NEHRP Commentary On The Guidelines For The Seismic Rehabilitation Of Buildings” , *Building Seismic Safety Council*, Washington, D.C., 1997
4. ATC-55 Project, “FEMA 440 - Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures”, *Federal Emergency Management Agency*, Washington, D.C., 2004
5. Farzad Naeim, Hussain Bhatia, and Roy M. Lobo, “Performance Based Seismic Engineering” in *The Seismic Design Handbook, 2nd, Farzad Naeim (ed.)* , 2000
6. Mufti, F., “*Pengaruh Voute pada Performance Level Struktur Beton Bertulang*”, Skripsi, Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Depok, 2008.
7. SNI 03-1726, (2002), *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Gedung, SNI 03-1726*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung, Indonesia.
8. SNI 03-1729, (2002), *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, SNI 03-1729*, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, Bandung, Indonesia

LAMPIRAN 4.01 Pengecekan Eksentrisitas dan Drift Gedung 5 Lantai

I. Eksentrisitas

Persamaan yang digunakan:

- Untuk $0 \leq e \leq 0,3b$:

$$e_d = 1,5e + 0,05b$$

atau

$$e_d = e - 0,05b$$

dipilih diantara keduanya yang pengaruhnya paling menentukan untuk unsur atau subsistem struktur gedung yang ditinjau, dengan b adalah ukuran horizontal terbesar denah struktur gedung tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa.

- Untuk $0 > 0,3b$:

$$e_d = 1,33e + 0,1b$$

atau

$$e_d = 1,17e - 0,1b$$

Berikut adalah hasil pengecekan eksentrisitas bangunan gedung:

Story	Diaphragm	MassX	MassY	XCM	YCM	CumMassX	CumMassY	XCCM	YCCM	XCR	YCR
STORY5	D1	1012.886	1012.886	20	16	1012.8863	1012.8863	20	16	20	16
STORY4	D1	1118.52	1118.52	20	16	2131.4065	2131.4065	20	16	20	16
STORY3	D1	1133.672	1133.672	20	16	3265.0787	3265.0787	20	16	20	16
STORY2	D1	1148.958	1148.958	20	16	4414.0371	4414.0371	20	16	20	16
STORY1	D1	1226.371	1226.371	20	16	5640.4077	5640.4077	20	16	20	16

ex	b	edx	x	ratio ex	ey	b	edy	y	ratio ey
0	32	1.6	41.6	5.00%	0	40	2	18	5.00%
0	32	1.6	41.6	5.00%	0	40	2	18	5.00%
0	32	1.6	41.6	5.00%	0	40	2	18	5.00%
0	32	1.6	41.6	5.00%	0	40	2	18	5.00%
0	32	1.6	41.6	5.00%	0	40	2	18	5.00%

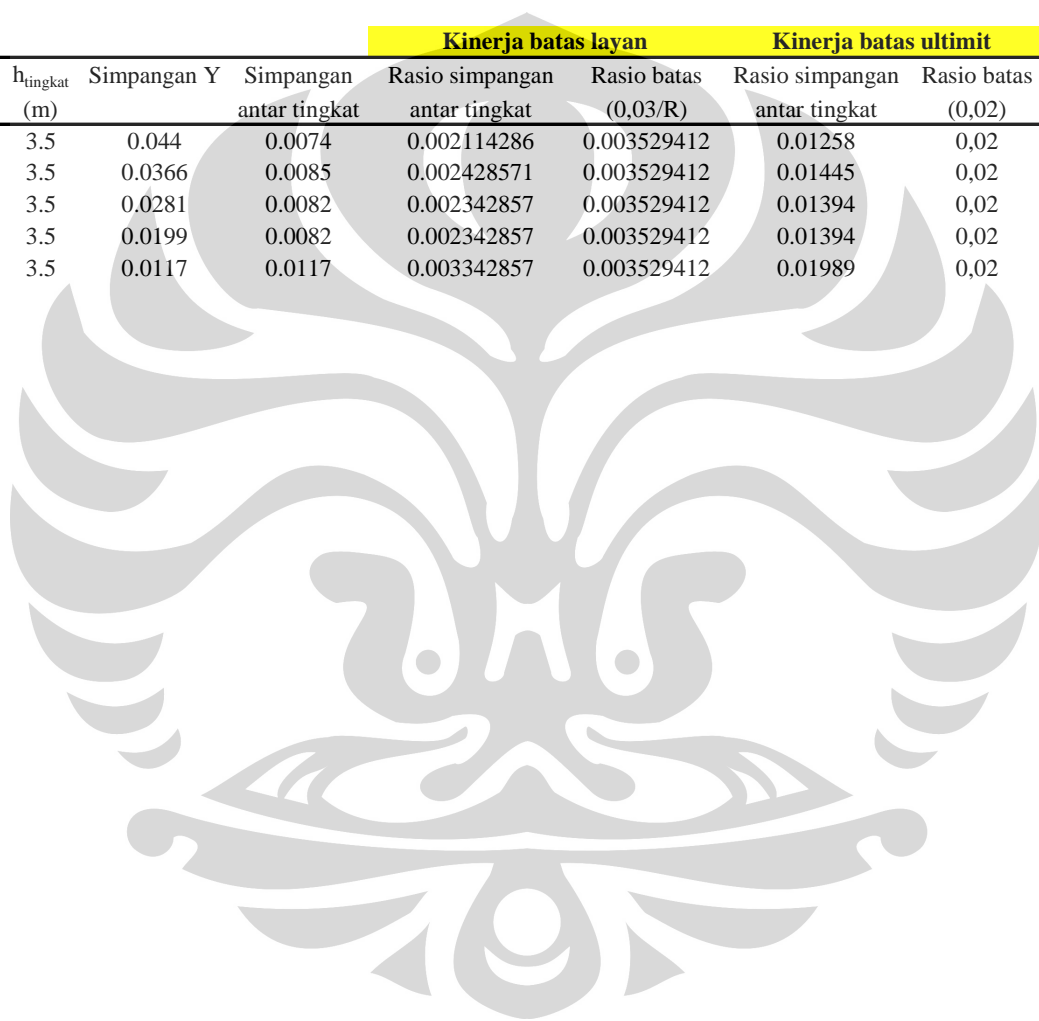
II. Drift

Simpangan (drift) antar tingkat dari suatu bangunan harus memenuhi persyaratan kinerja layan dan kinerja ultimit yang terdapat dalam Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung SNI 2002. Persyaratan kinerja batas layan struktur gedung tidak

boleh melampaui $0,03/R$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan. Sementara persyaratan kinerja batas ultimit tidak boleh melampaui $0,02$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan.

Level	h_{tingkat} (m)	Kinerja batas layan			Kinerja batas ultimit			Keterangan
		Simpangan X	Simpangan antar tingkat	Rasio simpangan antar tingkat	Rasio batas (0,03/R)	Rasio simpangan antar tingkat	Rasio batas (0,02)	
5	3.5	0.0481	0.007	0.002	0.003529412	0.0119	0,02	ok
4	3.5	0.0411	0.0097	0.002771429	0.003529412	0.01649	0,02	ok
3	3.5	0.0314	0.0101	0.002885714	0.003529412	0.01717	0,02	ok
2	3.5	0.0213	0.0097	0.002771429	0.003529412	0.01649	0,02	ok
1	3.5	0.0116	0.0116	0.003314286	0.003529412	0.01972	0,02	ok

Level	h_{tingkat} (m)	Kinerja batas layan			Kinerja batas ultimit			Keterangan
		Simpangan Y	Simpangan antar tingkat	Rasio simpangan antar tingkat	Rasio batas (0,03/R)	Rasio simpangan antar tingkat	Rasio batas (0,02)	
5	3.5	0.044	0.0074	0.002114286	0.003529412	0.01258	0,02	ok
4	3.5	0.0366	0.0085	0.002428571	0.003529412	0.01445	0,02	ok
3	3.5	0.0281	0.0082	0.002342857	0.003529412	0.01394	0,02	ok
2	3.5	0.0199	0.0082	0.002342857	0.003529412	0.01394	0,02	ok
1	3.5	0.0117	0.0117	0.003342857	0.003529412	0.01989	0,02	ok



LAMPIRAN 4.02 Analisis Dinamik Gedung EBF

4.02.1 EBF 5 Lantai

EBF tipe D e1

					statik		dinamik	faktor koreksi
T_x	T_{1maks}	C_1	R	W_t	V_x	$0.8*V_x$	V_x	spek. respon
0.8553	0.85	0.49412	7	54745.9	3864.42	3091.533	3288.29	$V_{x\ din} > 0.8*V_{x\ stat}$
					statik		dinamik	faktor koreksi
T_y	T_{1maks}	C_1	R	W_t	V_y	$0.8*V_y$	V_y	spek. respon
0.88171	0.85	0.49412	7	54745.9	3864.42	3091.533	3174.22	$V_{y\ din} > 0.8*V_{y\ stat}$

EBF tipe Split-V e1

					statik		dinamik	faktor koreksi
T_x	T_{1maks}	C_1	R	W_t	V_x	$0.8*V_x$	V_x	spek. respon
0.78946	0.85	0.53201	7	54752.6	4161.27	3329.02	3565.06	$V_{x\ din} > 0.8*V_{x\ stat}$
					statik		dinamik	faktor koreksi
T_y	T_{1maks}	C_1	R	W_t	V_y	$0.8*V_y$	V_y	spek. respon
0.80052	0.85	0.52466	7	54752.6	4103.79	3283.03	3478.27	$V_{y\ din} > 0.8*V_{y\ stat}$

EBF tipe V e1

					statik		dinamik	faktor koreksi
T_x	T_{1maks}	C_1	R	W_t	V_x	$0.8*V_x$	V_x	spek. respon
0.81188	0.85	0.51732	7	54696.1	4042.19	3233.751	3403.31	$V_{x\ din} > 0.8*V_{x\ stat}$
					statik		dinamik	faktor koreksi
T_y	T_{1maks}	C_1	R	W_t	V_y	$0.8*V_y$	V_y	spek. respon
0.84298	0.85	0.49824	7	54696.1	3893.07	3114.46	3272.01	$V_{y\ din} > 0.8*V_{y\ stat}$

4.02.2 EBF 7 Lantai

EBF tipe D e2

					statik		dinamik	faktor koreksi
T_x	T_{1maks}	C_1	R	W_t	V_x	$0.8*V_x$	V_x	spek. respon
1.21622	1.19	0.35294	7	77293.2	3897.13	3117.708	3216.88	$V_{x\ din} > 0.8*V_{x\ stat}$
					statik		dinamik	faktor koreksi
T_y	T_{1maks}	C_1	R	W_t	V_y	$0.8*V_y$	V_y	spek. respon
1.24271	1.19	0.35294	7	77293.2	3897.13	3117.708	3147.41	$V_{y\ din} > 0.8*V_{y\ stat}$

EBF tipe Split-V e2

Tx	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _x	0.8*V _x	V _x	
1.17991	1.19	0.35596	7	77250.7	3928.31	3142.646	3342.86	V _{x din} > 0.8*V _{x stat}
T _y	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _y	0.8*V _y	V _y	
1.1966	1.19	0.35294	7	77250.7	3894.99	3115.994	3276.57	V _{y din} > 0.8*V _{y stat}

EBF tipe V e2

Tx	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _x	0.8*V _x	V _x	
1.27617	1.19	0.35294	7	77111.8	3887.99	3110.393	3093.71	1.005392405
T _y	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _y	0.8*V _y	V _y	
1.30156	1.19	0.35294	7	77111.8	3887.99	3110.393	3032.38	1.025726504

4.02.3 EBF 9 Lantai

EBF tipe D e3

Tx	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _x	0.8*V _x	V _x	
1.64076	1.53	0.27451	7	99906.5	3917.9	3134.322	3215.67	V _{x din} > 0.8*V _{x stat}
T _y	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _y	0.8*V _y	V _y	
1.6767	1.53	0.27451	7	99906.5	3917.9	3134.322	3173.06	V _{y din} > 0.8*V _{y stat}

EBF tipe Split-V e3

Tx	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _x	0.8*V _x	V _x	
1.65935	1.53	0.27451	7	99805.5	3913.94	3131.153	3182.31	V _{x din} > 0.8*V _{x stat}
T _y	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _y	0.8*V _y	V _y	
1.6941	1.53	0.27451	7	99805.5	3913.94	3131.153	3113.97	1.005517918

EBF tipe V e3

Tx	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _x	0.8*V _x	V _x	
1.79308	1.53	0.27451	7	99615.8	3906.5	3125.2	2968.04	1.052950893
T _y	T _{Imaks}	C ₁	R	W _t	statik		dinamik	faktor koreksi spek. respon
					V _y	0.8*V _y	V _y	
1.82434	1.53	0.27451	7	99615.8	3906.5	3125.2	2919.29	1.0705344

LAMPIRAN 4.03 Tabel PushOver untuk Model Struktur Eccentrically Braced Frames (EBF) 5 Lantai

A. EBF TIPE D ; Panjang Link (e) = 0,7 m

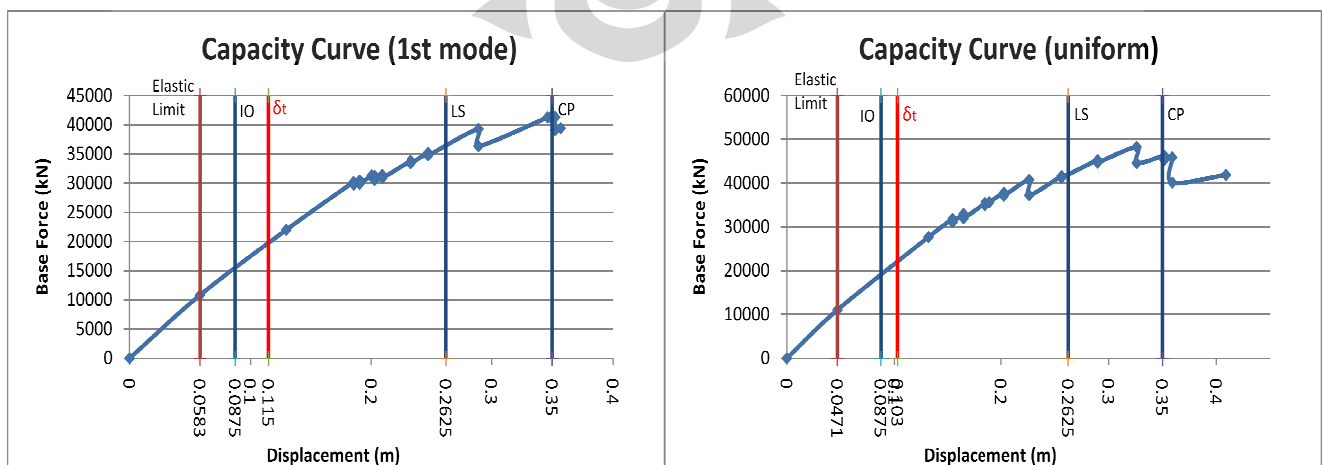
Ket: ■ Kondisi leleh
■ Kondisi kinerja (pendekatan)
■ Kondisi ultimit

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1160	0	0	0	0	0	0	0	1160
1	0.0583	10802.625	1150	10	0	0	0	0	0	0	1160
2	0.1297	21973.9297	1048	86	26	0	0	0	0	0	1160
3	0.1854	30178.8145	1018	66	64	8	0	4	0	0	1160
4	0.1855	29754.541	1015	69	60	12	0	0	0	4	1160
5	0.1905	30506.8965	1010	74	56	12	0	4	0	4	1160
6	0.1905	29892.416	1002	82	56	12	0	0	0	8	1160
7	0.2004	31307.5625	985	97	54	8	0	8	0	8	1160
8	0.2028	31290.957	976	100	56	12	0	4	0	12	1160
9	0.2028	30526.1973	972	102	58	12	0	0	0	16	1160
... sebagian sengaja dihapus ...											
18	0.3461	41285.75	878	164	76	10	0	0	0	32	1160
19	0.3499	41562.0977	877	165	76	6	0	4	0	32	1160
20	0.3499	41010.9883	873	167	78	6	0	0	0	36	1160
21	0.3524	41296.3867	873	167	78	5	0	1	0	36	1160
22	0.3522	39069.7578	873	163	80	6	0	0	0	38	1160
23	0.3569	39431.3984	872	163	81	5	0	1	0	38	1160

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1160	0	0	0	0	0	0	0	1160
1	0.0471	11002.9697	1150	10	0	0	0	0	0	0	1160
2	0.1318	27706.9746	1052	68	40	0	0	0	0	0	1160
3	0.1542	31853.457	1050	66	36	4	0	4	0	0	1160
4	0.1542	31066.2598	1048	68	36	4	0	0	0	4	1160
5	0.1644	32957.3047	1040	50	58	4	0	4	0	4	1160
6	0.1644	31975.5547	1038	50	60	4	0	0	0	8	1160
7	0.1851	35512.7266	1023	65	60	0	0	4	0	8	1160
8	0.1851	34943.3203	1021	67	56	4	0	0	0	12	1160
9	0.1892	35665.1289	1015	73	56	4	0	0	0	12	1160
... sebagian sengaja dihapus ...											
19	0.326	44585.5039	908	142	74	6	0	0	0	30	1160
20	0.3517	46303.6133	899	142	81	6	0	2	0	30	1160
21	0.3517	45264.0391	893	146	83	6	0	0	0	32	1160
22	0.359	45851.9453	891	148	83	4	0	2	0	32	1160
23	0.3592	40148.6445	889	144	87	4	0	0	0	36	1160
24	0.409	41880.5	877	154	89	2	0	2	0	36	1160



Ket: — Target perpindahan (FEMA 356)
— Level kinerja berdasarkan FEMA 273

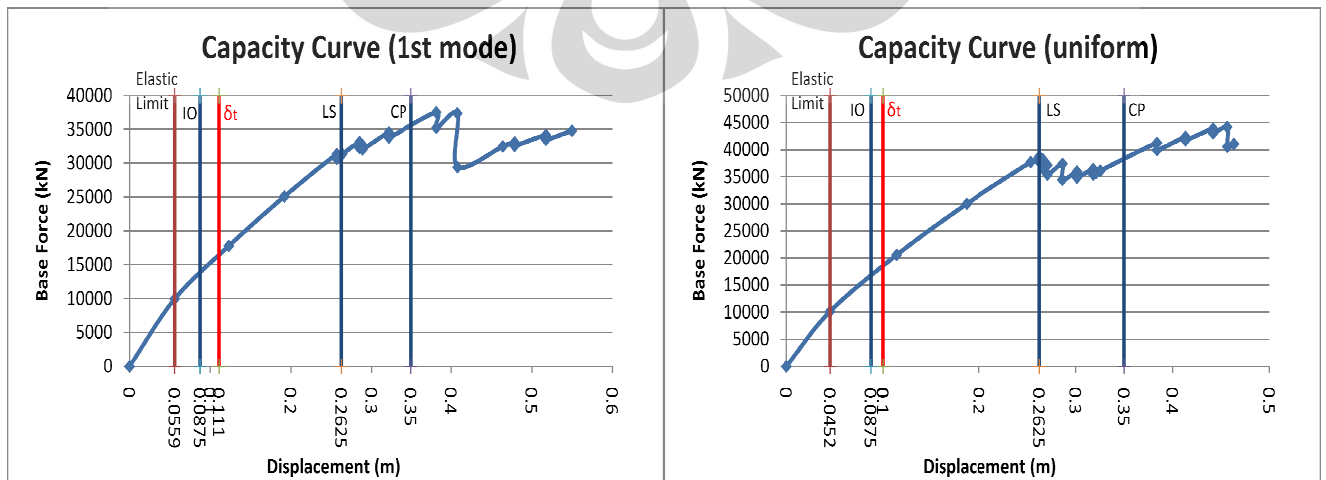
B. EBF TIPE D ; Panjang Link (e) = 0,9 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1160	0	0	0	0	0	0	0	1160
1	0.0559	9946.6133	1150	10	0	0	0	0	0	0	1160
2	0.1229	17770.2617	1056	78	26	0	0	0	0	0	1160
3	0.1921	25100.6465	1008	42	110	0	0	0	0	0	1160
4	0.257	31361.4707	956	92	102	8	0	2	0	0	1160
5	0.257	30675.7656	952	96	102	8	0	0	0	2	1160
6	0.2637	31369.2578	945	101	102	10	0	0	0	2	1160
7	0.2852	33108.1289	945	101	96	14	0	2	0	2	1160
8	0.2852	32246.9453	943	101	98	14	0	0	0	4	1160
9	0.2889	32656.9688	943	101	98	12	0	2	0	4	1160
10	0.2889	32049.6133	937	107	98	12	0	0	0	6	1160
... sebagian sengaja dihapus ...											
16	0.4078	29425.916	870	114	140	16	0	0	0	20	1160
17	0.4641	32505.8594	858	110	154	18	0	0	0	20	1160
18	0.4788	33103.6367	852	111	157	18	0	2	0	20	1160
19	0.4788	32585.791	843	118	159	18	0	0	0	22	1160
20	0.5176	34198.918	824	121	173	18	0	2	0	22	1160
21	0.5176	33490.7969	824	121	173	18	0	0	0	24	1160
22	0.5498	34800.8086	819	118	181	16	0	2	0	24	1160

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1160	0	0	0	0	0	0	0	1160
1	0.0452	10137.7148	1150	10	0	0	0	0	0	0	1160
2	0.1141	20566.4004	1060	76	24	0	0	0	0	0	1160
3	0.1868	30023.1426	1029	47	84	0	0	0	0	0	1160
4	0.2536	37760.5977	972	78	98	12	0	0	0	0	1160
5	0.2626	38703.0273	960	88	96	14	0	2	0	0	1160
6	0.2626	37729.0234	953	93	98	14	0	0	0	2	1160
7	0.264	37935.7109	953	93	98	14	0	0	0	2	1160
8	0.2661	38215.9883	951	93	100	12	0	2	0	2	1160
9	0.2661	36519.6758	947	95	102	12	0	0	0	4	1160
10	0.2708	37132.1563	947	95	102	10	0	2	0	4	1160
... sebagian sengaja dihapus ...											
24	0.4134	42379.1875	892	95	147	8	0	2	0	16	1160
25	0.4134	41727.7656	888	97	149	8	0	0	0	18	1160
26	0.442	43918.3789	886	92	152	10	0	2	0	18	1160
27	0.442	43039.6523	884	89	157	10	0	0	0	20	1160
28	0.4565	44192.4922	884	79	167	8	0	2	0	20	1160
29	0.4566	40582.0625	882	79	167	10	0	0	0	22	1160
30	0.4634	41050.832	882	79	167	8	0	2	0	22	1160



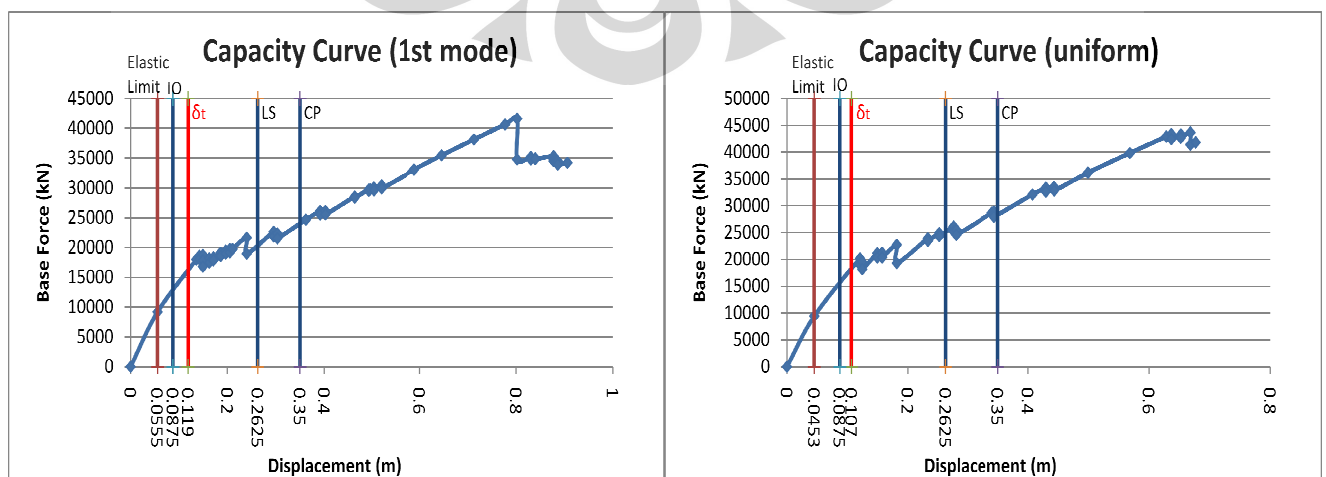
C. EBF TIPE D ; Panjang Link (e) = 1,2 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1160	0	0	0	0	0	0	0	1160
1	0.0555	9173.3037	1158	2	0	0	0	0	0	0	1160
2	0.1358	17983.5293	1076	60	14	10	0	0	0	0	1160
3	0.142	18597.4629	1076	54	18	10	0	2	0	0	1160
4	0.142	18014.4238	1074	56	18	10	0	0	0	2	1160
5	0.1492	18791.7227	1074	56	16	10	0	2	0	2	1160
6	0.1492	17866.0762	1072	56	18	8	0	2	0	4	1160
7	0.1492	16783.1016	1070	56	20	8	0	0	0	6	1160
8	0.1623	18155.3633	1064	62	20	6	0	2	0	6	1160
9	0.1623	17469.5176	1060	64	22	6	0	0	0	8	1160
10	0.1711	18322.3496	1049	73	24	4	0	2	0	8	1160
... sebagian sengaja dihapus ...											
50	0.8775	34780.8516	664	222	198	26	0	2	0	48	1160
51	0.8775	34504.6211	664	222	196	28	0	0	2	48	1160
52	0.8819	34576.6133	664	219	199	28	0	0	0	50	1160
53	0.8819	34431.6367	664	219	197	30	0	0	0	50	1160
54	0.8863	34500.6641	664	217	199	28	0	2	0	50	1160
55	0.8863	33902.3672	662	219	194	33	0	0	0	52	1160
56	0.9059	34208.6641	662	217	187	38	0	4	0	52	1160

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1160	0	0	0	0	0	0	0	1160
1	0.0453	9438.1572	1158	2	0	0	0	0	0	0	1160
2	0.1208	20169.5391	1086	46	22	4	0	2	0	0	1160
3	0.1208	19005.6211	1084	46	24	4	0	0	0	2	1160
4	0.1245	19546.3809	1080	50	24	2	0	2	0	2	1160
5	0.1245	18167.1602	1078	50	26	2	0	0	0	4	1160
6	0.1497	21145.6094	1053	69	30	2	0	2	0	4	1160
7	0.1497	20365.6211	1051	71	30	2	0	0	0	6	1160
8	0.1574	21240.2422	1051	71	30	0	0	2	0	6	1160
9	0.1574	20359.4316	1049	71	32	0	0	0	0	8	1160
10	0.1816	22718.7148	1033	85	28	4	0	2	0	8	1160
... sebagian sengaja dihapus ...											
32	0.6368	43340.1953	804	189	133	4	0	2	0	28	1160
33	0.6368	42442.6992	804	186	132	8	0	0	0	30	1160
34	0.6527	43326.9414	800	180	142	6	0	2	0	30	1160
35	0.6525	42679.1289	797	182	143	6	0	0	0	32	1160
36	0.6683	43635.3164	797	180	145	4	0	2	0	32	1160
37	0.6683	41392.043	789	186	143	8	0	0	0	34	1160
38	0.6769	41832.0273	789	186	143	6	0	2	0	34	1160



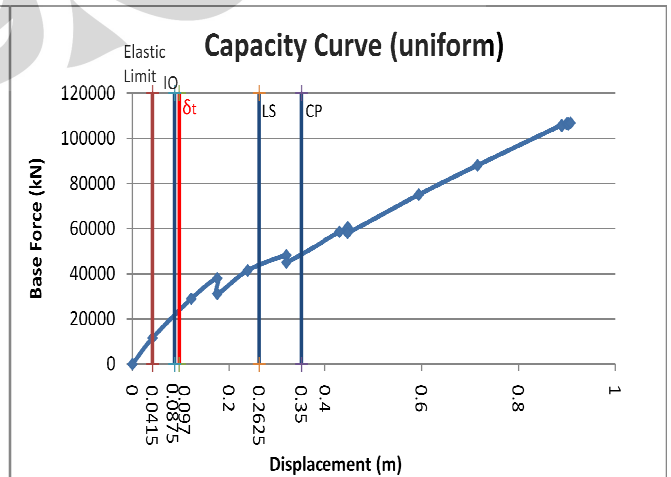
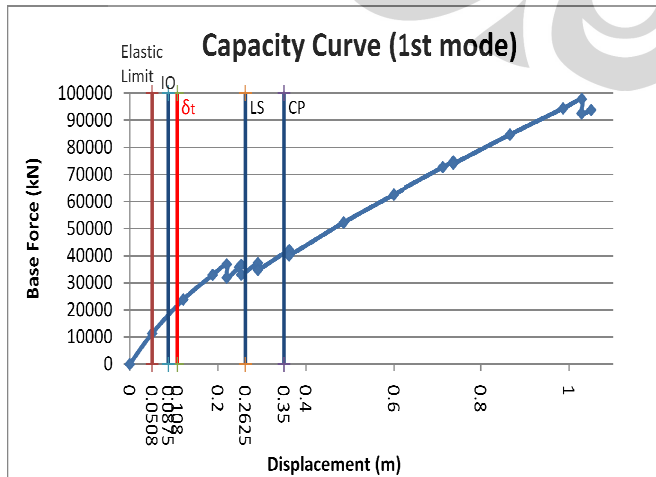
D. EBF TIPE SPLIT-V ; Panjang Link (e) = 0,7 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1240	0	0	0	0	0	0	0	1240
1	0.0508	11335.5371	1220	20	0	0	0	0	0	0	1240
2	0.1214	23866.8809	1136	104	0	0	0	0	0	0	1240
3	0.1883	32973.2969	1084	84	72	0	0	0	0	0	1240
4	0.2201	36856.5898	1054	94	80	8	0	4	0	0	1240
5	0.2201	31931.4844	1052	116	60	4	0	0	0	8	1240
6	0.2477	35764.1875	1050	98	76	8	0	0	0	8	1240
7	0.2528	36594.6953	1018	130	76	4	0	4	0	8	1240
8	0.2529	33003.9844	1018	130	76	0	0	0	0	16	1240
9	0.2907	37370.5898	1014	134	68	4	0	4	0	16	1240
10	0.2907	34801.9883	995	153	68	0	0	0	0	24	1240
... sebagian sengaja dihapus ...											
16	0.7379	74792.1328	890	87	223	2	0	6	0	32	1240
17	0.7379	74043.4219	869	106	225	0	0	0	0	40	1240
18	0.8664	84782.5469	823	127	241	9	0	0	0	40	1240
19	0.9868	94479.4531	799	120	246	35	0	0	0	40	1240
20	1.0289	97857.3047	786	99	250	63	0	2	0	40	1240
21	1.0287	92592.3672	772	98	254	67	0	0	5	44	1240
22	1.0502	93887.3984	765	102	255	68	0	1	5	44	1240

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1240	0	0	0	0	0	0	0	1240
1	0.0415	11518.4326	1220	20	0	0	0	0	0	0	1240
2	0.1218	28969.3418	1148	64	28	0	0	0	0	0	1240
3	0.1756	38000.5	1089	87	56	4	0	4	0	0	1240
4	0.1756	31185.8613	1083	93	56	0	0	0	0	8	1240
5	0.2383	41454.457	1049	127	48	4	0	4	0	8	1240
6	0.3185	48142.3594	1037	86	93	2	0	6	0	16	1240
7	0.3185	45067.8789	1003	120	93	0	0	0	0	24	1240
8	0.4303	58697.7461	973	114	121	8	0	0	0	24	1240
9	0.4474	60667.4336	973	92	143	4	0	4	0	24	1240
10	0.4473	58186.8516	971	94	143	0	0	0	0	32	1240
... sebagian sengaja dihapus ...											
14	0.8893	105567.7891	854	83	221	48	0	0	2	32	1240
15	0.8996	106697.9766	852	85	221	46	0	2	2	32	1240
16	0.8997	106406.3438	848	89	221	46	0	0	4	32	1240
17	0.9026	106743.4375	848	89	221	44	0	2	4	32	1240
18	0.9027	106464.4219	848	89	219	45	0	1	2	36	1240
19	0.9027	106312.125	848	89	217	47	0	0	3	36	1240
20	0.9076	106840.8125	848	87	219	47	0	0	1	38	1240



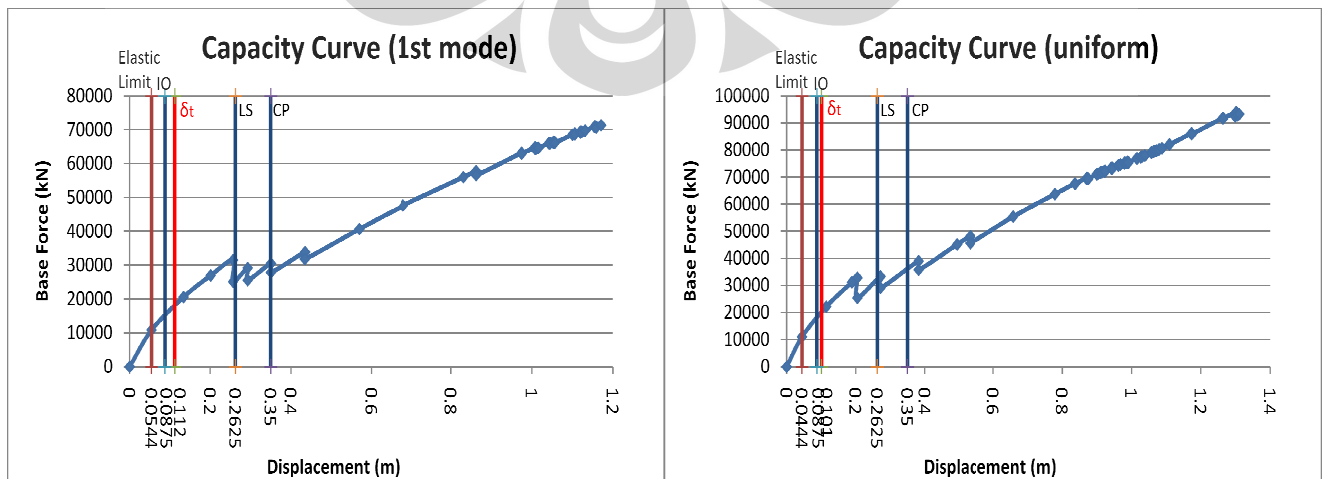
E. EBF TIPE SPLIT-V ; Panjang Link (e) = 0,9 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1240	0	0	0	0	0	0	0	1240
1	0.0544	10815.9512	1220	20	0	0	0	0	0	0	1240
2	0.1338	20581.7148	1136	64	40	0	0	0	0	0	1240
3	0.2008	26972.5859	1064	84	92	0	0	0	0	0	1240
4	0.2561	31501.8633	1039	89	96	12	0	4	0	0	1240
5	0.2561	25121.1484	1025	103	96	8	0	0	0	8	1240
6	0.2926	29174.8828	1022	104	98	4	0	4	0	8	1240
7	0.2926	25528.209	1020	103	101	0	0	0	0	16	1240
8	0.3505	30466.8809	997	106	113	4	0	4	0	16	1240
9	0.3505	27790.2793	993	110	113	0	0	0	0	24	1240
10	0.4348	33842.8984	985	95	128	4	0	4	0	24	1240
... sebagian sengaja dihapus ...											
46	1.1311	69688.9453	784	89	242	62	0	0	0	63	1240
47	1.1556	71025.2109	782	84	249	60	0	2	0	63	1240
48	1.1551	70761.4766	782	79	254	60	0	0	0	65	1240
49	1.1587	70976.0234	782	77	256	56	0	4	0	65	1240
50	1.1588	70715.5156	782	75	258	54	0	1	5	65	1240
51	1.1588	70664.2266	782	75	258	54	0	0	6	65	1240
52	1.1709	71356.1016	778	79	258	47	0	7	6	65	1240

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1240	0	0	0	0	0	0	0	1240
1	0.0444	11004.4648	1220	20	0	0	0	0	0	0	1240
2	0.1146	22204	1156	64	20	0	0	0	0	0	1240
3	0.1888	31149.4902	1081	83	68	8	0	0	0	0	1240
4	0.2046	32784.8047	1068	88	76	4	0	4	0	0	1240
5	0.2046	25389.0879	1066	90	76	0	0	0	0	8	1240
6	0.2717	33322.3438	1037	112	75	4	0	4	0	8	1240
7	0.2717	29132.9688	1035	111	78	0	0	0	0	16	1240
8	0.3819	38986.5977	989	97	130	0	0	8	0	16	1240
9	0.3819	35798.1016	973	110	133	0	0	0	0	24	1240
10	0.4933	45142.0039	953	110	145	8	0	0	0	24	1240
... sebagian sengaja dihapus ...											
78	1.2642	91898.25	790	73	228	67	0	4	0	78	1240
79	1.2643	91582.25	788	75	228	67	0	0	0	82	1240
80	1.302	94088.4922	779	82	226	67	0	4	0	82	1240
81	1.2997	92405.7578	756	105	226	61	0	0	2	90	1240
82	1.3062	92959.4063	756	105	226	60	0	1	2	90	1240
83	1.3055	92829.7188	756	105	226	60	0	0	3	90	1240
84	1.3111	93302.8516	756	105	226	59	0	1	3	90	1240



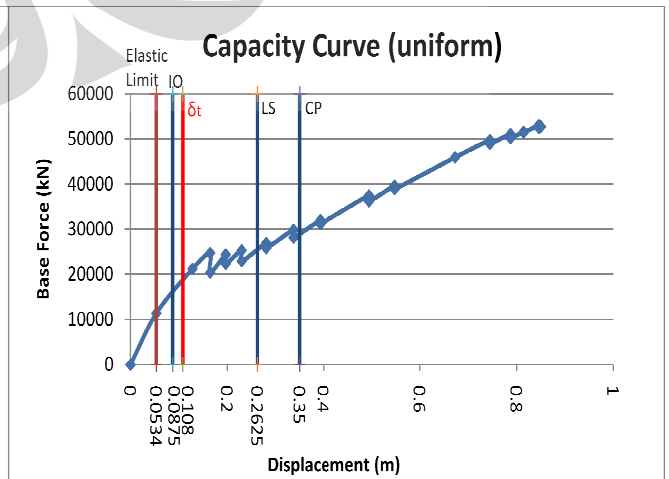
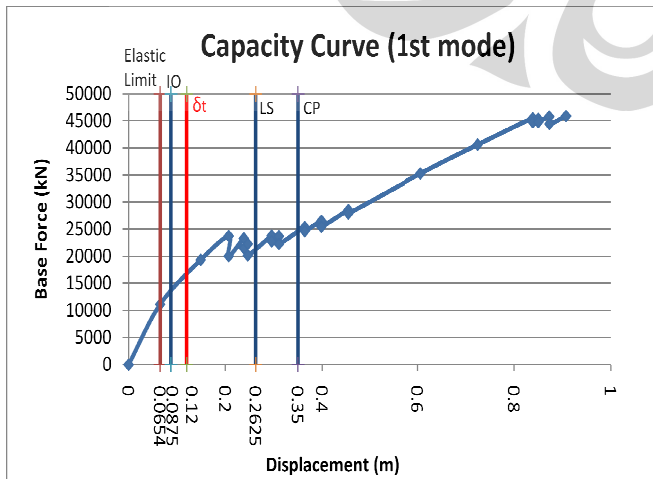
F. EBF TIPE SPLIT-V ; Panjang Link (e) = 1,2 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1240	0	0	0	0	0	0	0	1240
1	0.0654	11122.6914	1224	16	0	0	0	0	0	0	1240
2	0.1487	19334.1973	1112	96	32	0	0	0	0	0	1240
3	0.2068	23759.3301	1064	116	52	4	0	4	0	0	1240
4	0.2068	20056.0801	1054	126	48	4	0	0	0	8	1240
5	0.238	23290.8926	1052	116	56	4	0	4	0	8	1240
6	0.238	21513.7793	1052	116	56	4	0	0	0	12	1240
7	0.2461	22286.8672	1040	128	52	4	0	4	0	12	1240
8	0.2461	20159.3691	1031	137	48	4	0	0	0	20	1240
9	0.2957	23778.2168	1021	140	51	4	0	4	0	20	1240
10	0.2957	22748.5469	1019	142	51	4	0	0	0	24	1240
... sebagian sengaja dihapus ...											
21	0.8385	45533.9219	859	112	180	37	0	4	0	48	1240
22	0.8386	44786.5	847	124	178	39	0	0	0	52	1240
23	0.85	45345.6602	839	132	176	39	0	2	0	52	1240
24	0.8501	44800.1055	839	132	176	37	0	0	0	56	1240
25	0.8727	45808.8984	839	126	172	43	0	4	0	56	1240
26	0.8728	44447.2031	821	140	164	43	0	0	0	72	1240
27	0.9074	45893.6719	819	133	177	37	0	2	0	72	1240

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1240	0	0	0	0	0	0	0	1240
1	0.0534	11338.5283	1224	16	0	0	0	0	0	0	1240
2	0.128	21222.0762	1136	76	28	0	0	0	0	0	1240
3	0.1646	24760.4629	1109	83	40	4	0	4	0	0	1240
4	0.1646	20420.7031	1101	91	36	4	0	0	0	8	1240
5	0.197	24394.8184	1097	95	36	0	0	4	0	8	1240
6	0.197	22310.0664	1093	99	36	0	0	0	0	12	1240
7	0.2297	25321.875	1076	104	36	8	0	4	0	12	1240
8	0.2297	22912.2441	1057	123	36	4	0	0	0	20	1240
9	0.2806	26999.4629	1051	102	63	0	0	4	0	20	1240
10	0.2806	25798.709	1047	104	65	0	0	0	0	24	1240
... sebagian sengaja dihapus ...											
22	0.7873	51092.0078	851	126	180	27	0	4	0	52	1240
23	0.7874	50176.6211	851	122	184	27	0	0	0	56	1240
24	0.8145	51634.4766	851	122	181	28	0	2	0	56	1240
25	0.8145	51404.3164	851	122	181	28	0	0	2	56	1240
26	0.8463	53100.0586	851	109	182	34	0	6	2	56	1240
27	0.8463	52424.2227	850	110	182	34	0	0	6	58	1240
28	0.8505	52714.3438	850	110	182	33	0	1	4	60	1240



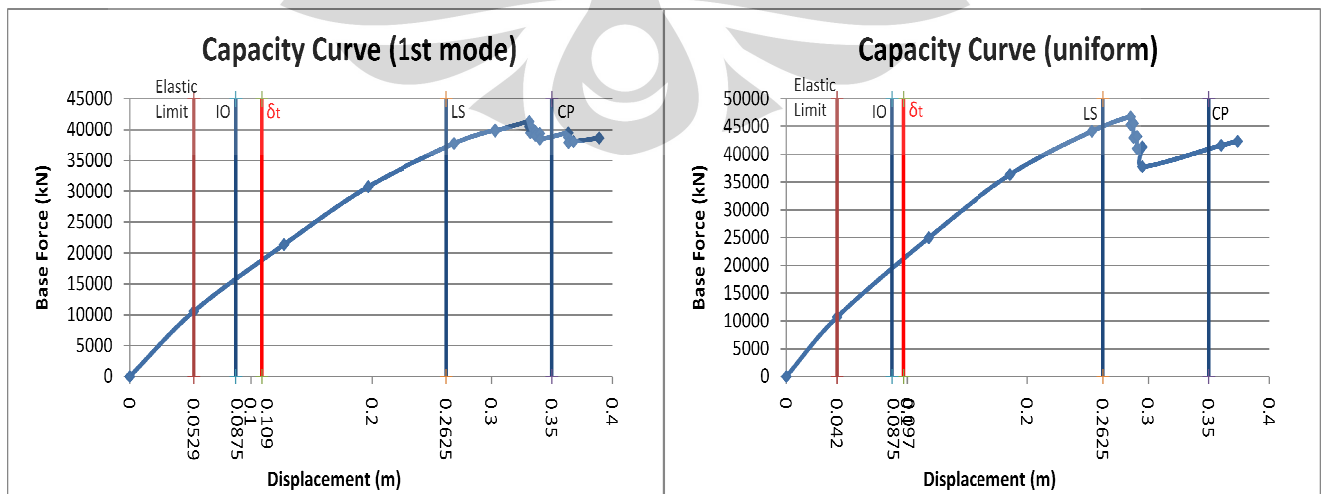
G. EBF TIPE V ; Panjang Link (e) = 0,7 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1560	0	0	0	0	0	0	0	1560
1	0.0529	10552.5088	1540	20	0	0	0	0	0	0	1560
2	0.1273	21373.4023	1388	172	0	0	0	0	0	0	1560
3	0.1967	30732.2012	1282	158	120	0	0	0	0	0	1560
4	0.269	37755.4805	1197	155	208	0	0	0	0	0	1560
5	0.3031	39963.2773	1183	129	244	4	0	0	0	0	1560
6	0.3031	39774.1445	1183	129	244	4	0	0	0	0	1560
7	0.3312	41329.1602	1150	152	236	20	0	2	0	0	1560
8	0.3312	40481.8203	1150	152	234	22	0	0	2	0	1560
9	0.3322	40555.9453	1150	152	234	22	0	0	0	2	1560
10	0.3322	39477.668	1150	150	236	22	0	0	0	2	1560
11	0.3361	39716.3242	1146	154	234	22	0	2	0	2	1560
12	0.3361	39076.3516	1146	154	234	22	0	0	2	2	1560
13	0.34	39356.4727	1146	154	234	22	0	0	0	4	1560
14	0.34	38460.457	1144	156	234	22	0	0	0	4	1560
15	0.3635	39456.9336	1122	178	232	23	0	1	0	4	1560
16	0.3635	38751.2383	1119	181	231	23	0	1	0	5	1560
17	0.3636	37877.3867	1118	182	230	24	0	0	0	6	1560
18	0.3679	38078.6523	1118	182	230	24	0	0	0	6	1560
19	0.3891	38627.8516	1093	204	229	27	0	1	0	6	1560

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1560	0	0	0	0	0	0	0	1560
1	0.042	10709.0781	1540	20	0	0	0	0	0	0	1560
2	0.1179	24971.4023	1392	128	40	0	0	0	0	0	1560
3	0.1858	36392.3633	1325	123	112	0	0	0	0	0	1560
4	0.2535	44135.1758	1254	146	160	0	0	0	0	0	1560
5	0.2854	46726.9922	1224	144	180	8	0	4	0	0	1560
6	0.2855	45308.5039	1224	144	180	8	0	0	0	4	1560
7	0.2878	45548.8125	1224	144	180	6	0	2	0	4	1560
8	0.2878	42981.6641	1222	146	178	8	0	0	0	6	1560
9	0.2908	43222.4141	1222	146	178	6	0	2	0	6	1560
10	0.2908	40994.3984	1220	148	178	6	0	0	0	8	1560
11	0.2951	41295.1484	1216	152	178	2	0	4	0	8	1560
12	0.2951	37781.5703	1214	154	172	4	0	0	0	16	1560
13	0.3602	41616.3945	1196	157	187	4	0	0	0	16	1560
14	0.3738	42329.3359	1196	157	187	2	0	2	0	16	1560



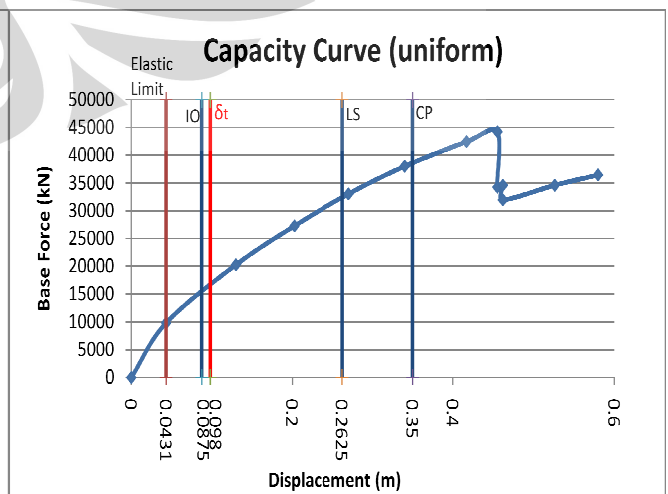
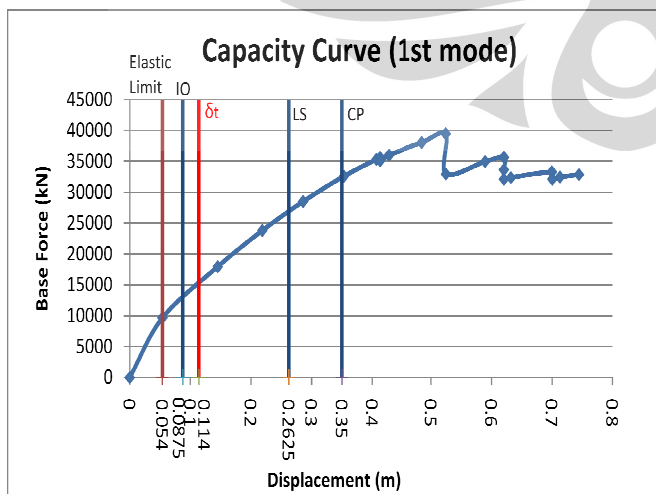
H. EBF TIPE V ; Panjang Link (e) = 0,9 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1560	0	0	0	0	0	0	0	1560
1	0.054	9646.8877	1540	20	0	0	0	0	0	0	1560
2	0.1451	17947.2402	1380	120	60	0	0	0	0	0	1560
3	0.2186	23798.209	1310	110	140	0	0	0	0	0	1560
4	0.286	28512.9531	1248	144	168	0	0	0	0	0	1560
5	0.3535	32605.9844	1186	191	183	0	0	0	0	0	1560
6	0.4068	35316.6094	1144	209	207	0	0	0	0	0	1560
7	0.4132	35620.2266	1136	217	207	0	0	0	0	0	1560
8	0.4132	35110.5703	1136	213	211	0	0	0	0	0	1560
9	0.4281	36015.7852	1116	228	216	0	0	0	0	0	1560
10	0.4843	38060.5938	1070	230	256	4	0	0	0	0	1560
11	0.5244	39444.0898	1051	196	299	14	0	0	0	0	1560
12	0.5245	32972.2734	1047	200	299	10	0	0	0	4	1560
13	0.5894	34955.6211	1040	176	326	14	0	0	0	4	1560
14	0.6206	35688.5039	1034	170	338	12	0	2	0	4	1560
15	0.6207	33676.0664	1034	168	340	10	0	2	0	6	1560
16	0.6207	32095.1074	1034	166	342	10	0	0	0	8	1560
17	0.6321	32393.8301	1034	165	341	12	0	0	0	8	1560
18	0.6999	33288.5859	987	192	357	14	0	2	0	8	1560
19	0.7004	32093.7266	983	194	355	16	0	0	0	12	1560
20	0.7132	32451.6504	981	195	356	16	0	0	0	12	1560
21	0.7447	32884.0742	973	200	359	14	0	2	0	12	1560

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1560	0	0	0	0	0	0	0	1560
1	0.0431	9809.9873	1540	20	0	0	0	0	0	0	1560
2	0.1299	20253.6387	1400	120	40	0	0	0	0	0	1560
3	0.2025	27276.5137	1377	83	100	0	0	0	0	0	1560
4	0.2705	33028.2578	1301	139	120	0	0	0	0	0	1560
5	0.3402	38006.6016	1224	171	165	0	0	0	0	0	1560
6	0.4169	42453.1406	1161	156	239	4	0	0	0	0	1560
7	0.455	44239.832	1153	144	243	18	0	2	0	0	1560
8	0.455	34262.6992	1142	155	239	16	0	0	0	8	1560
9	0.462	34623.2734	1141	156	239	14	0	2	0	8	1560
10	0.462	31968.0664	1141	156	239	12	0	0	0	12	1560
11	0.5263	34594.9102	1131	149	252	16	0	0	0	12	1560
12	0.5796	36466.8711	1095	164	273	14	0	2	0	12	1560



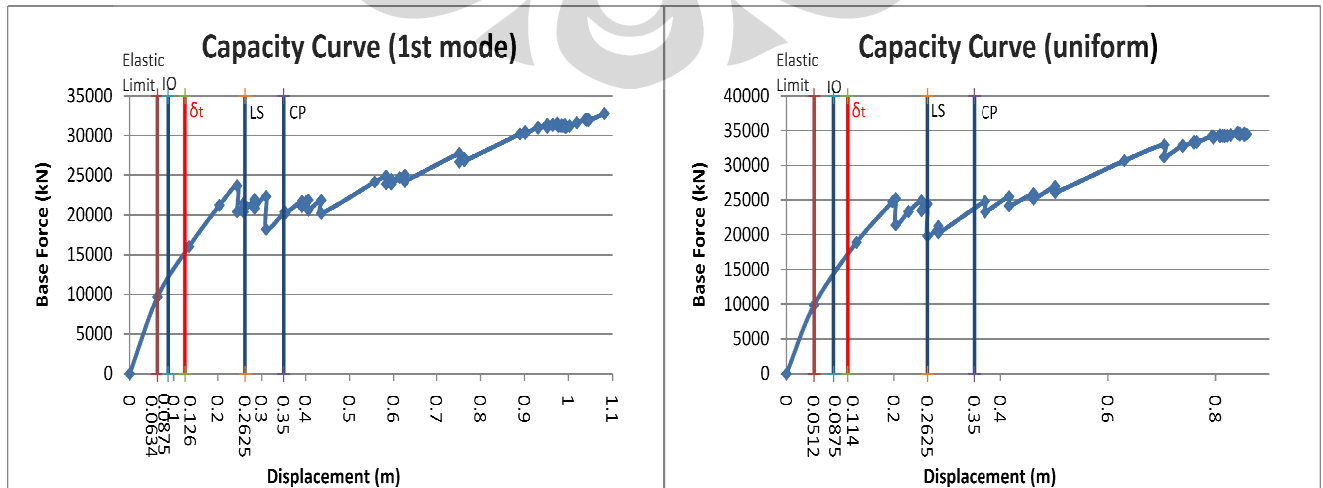
I. EBF TIPE V ; Panjang Link (e) = 1,2 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1560	0	0	0	0	0	0	0	1560
1	0.0634	9678.6064	1548	12	0	0	0	0	0	0	1560
2	0.1349	16008.832	1396	140	24	0	0	0	0	0	1560
3	0.2043	21210.7422	1371	121	68	0	0	0	0	0	1560
4	0.2447	23677.5527	1284	180	80	12	0	4	0	0	1560
5	0.2447	20420.1895	1282	174	88	8	0	0	0	8	1560
6	0.259	21471.1055	1270	186	88	4	0	4	0	8	1560
7	0.259	20385.6563	1264	188	92	4	0	0	0	12	1560
8	0.2842	21971.0234	1253	199	76	18	0	2	0	12	1560
9	0.2843	20833.4023	1249	199	80	16	0	0	0	16	1560
10	0.3103	22340.1406	1243	198	87	10	0	6	0	16	1560
... sebagian sengaja dihapus ...											
63	1.0388	31987.748	959	257	208	51	0	0	7	78	1560
64	1.0413	32059.666	959	257	208	51	0	0	6	79	1560
65	1.0413	31966.5156	959	256	209	51	0	0	5	80	1560
66	1.0453	32083.3828	959	254	211	51	0	0	3	82	1560
67	1.0453	31994.9727	959	254	211	51	0	0	0	85	1560
68	1.0453	31884.4531	959	253	212	51	0	0	0	85	1560
69	1.0819	32791.5859	949	259	208	48	0	11	0	85	1560

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1560	0	0	0	0	0	0	0	1560
1	0.0512	9871.1992	1540	20	0	0	0	0	0	0	1560
2	0.1302	18911.582	1424	112	24	0	0	0	0	0	1560
3	0.1972	24741.7715	1343	157	52	8	0	0	0	0	1560
4	0.2033	25209.4121	1339	157	56	4	0	4	0	0	1560
5	0.2034	21432.0371	1335	153	64	0	0	0	0	8	1560
6	0.227	23329.5957	1314	162	76	0	0	0	0	8	1560
7	0.2514	24907.2754	1295	177	64	12	0	4	0	8	1560
8	0.2514	23480.4238	1295	173	68	12	0	0	0	12	1560
9	0.2623	24455.8848	1295	158	83	4	0	8	0	12	1560
10	0.2623	19804.1094	1295	151	90	4	0	0	0	20	1560
... sebagian sengaja dihapus ...											
48	0.8435	34452.9531	1054	205	199	38	0	0	7	57	1560
49	0.8459	34553.75	1054	204	200	36	0	2	7	57	1560
50	0.8452	34357.6445	1054	204	200	36	0	0	9	57	1560
51	0.8531	34670.875	1054	202	198	37	0	3	9	57	1560
52	0.8531	34385.3906	1054	202	198	37	0	0	10	59	1560
53	0.8531	34291.3203	1054	202	198	37	0	0	10	59	1560
54	0.8581	34499.7539	1054	202	198	33	0	4	10	59	1560



LAMPIRAN 4.04 Tabel PushOver untuk Model Struktur Eccentrically Braced Frames (EBF) 7 Lantai

A. EBF TIPE D ; Panjang Link (e) = 0,7 m

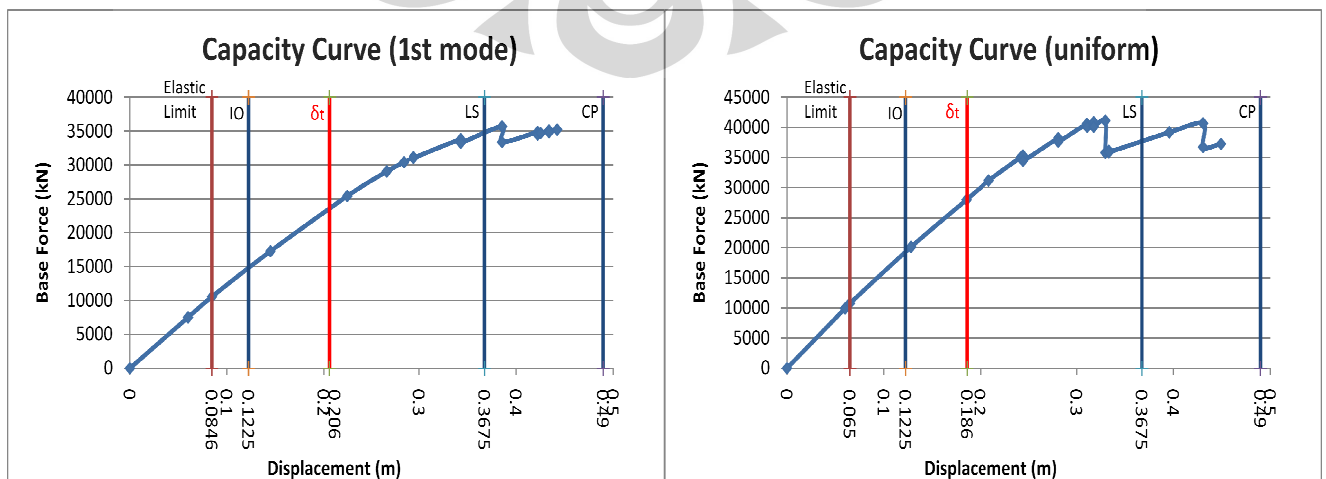
Ket: █ Kondisi leleh
█ Kondisi kinerja (pendekatan)
█ Kondisi ultimit

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
1	0.06	7481.9937	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
2	0.0846	10544.4941	1626	10	0	0	0	0	0	0	1636
3	0.145	17271.4648	1516	120	0	0	0	0	0	0	1636
4	0.2243	25415.9961	1466	114	56	0	0	0	0	0	1636
5	0.265	29060.502	1418	114	100	4	0	0	0	0	1636
6	0.2828	30412.5215	1384	146	98	8	0	0	0	0	1636
7	0.2941	31164.4824	1370	156	94	16	0	0	0	0	1636
8	0.2941	31061.7324	1370	156	94	16	0	0	0	0	1636
9	0.343	33834.2148	1337	167	112	16	0	4	0	0	1636
10	0.343	33281.4492	1335	167	114	16	0	0	0	4	1636
... sebagian sengaja dihapus ...											
14	0.4223	34535.543	1265	219	114	24	0	0	0	14	1636
15	0.4253	34736.457	1265	217	116	24	0	0	0	14	1636
16	0.4339	35101.4063	1260	222	114	24	0	2	0	14	1636
17	0.4339	34865.0938	1260	222	114	24	0	0	2	14	1636
18	0.4424	35222.6836	1254	228	114	21	0	3	2	14	1636

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
1	0.06	9925.2969	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
2	0.065	10749.7266	1626	10	0	0	0	0	0	0	1636
3	0.1281	20123.7363	1548	88	0	0	0	0	0	0	1636
4	0.1853	27987.4219	1502	94	40	0	0	0	0	0	1636
5	0.2092	31170.4766	1489	85	58	4	0	0	0	0	1636
6	0.2428	35121.543	1424	140	60	12	0	0	0	0	1636
7	0.2446	35317.7461	1421	141	58	12	0	4	0	0	1636
8	0.2446	34465.6055	1419	141	60	12	0	0	0	4	1636
9	0.281	38218.5781	1395	139	82	12	0	4	0	4	1636
10	0.281	37631.6914	1391	141	84	12	0	0	0	8	1636
... sebagian sengaja dihapus ...											
18	0.3333	35898.8672	1347	171	88	8	0	0	0	22	1636
19	0.3958	39187.7539	1322	182	102	8	0	0	0	22	1636
20	0.4306	40708.1914	1292	207	101	12	0	2	0	22	1636
21	0.4307	36746.0234	1283	216	101	12	0	0	0	24	1636
22	0.4491	37256.2617	1277	215	108	10	0	2	0	24	1636



Ket: █ Target perpindahan (FEMA 356)
█ Level kinerja berdasarkan FEMA 273

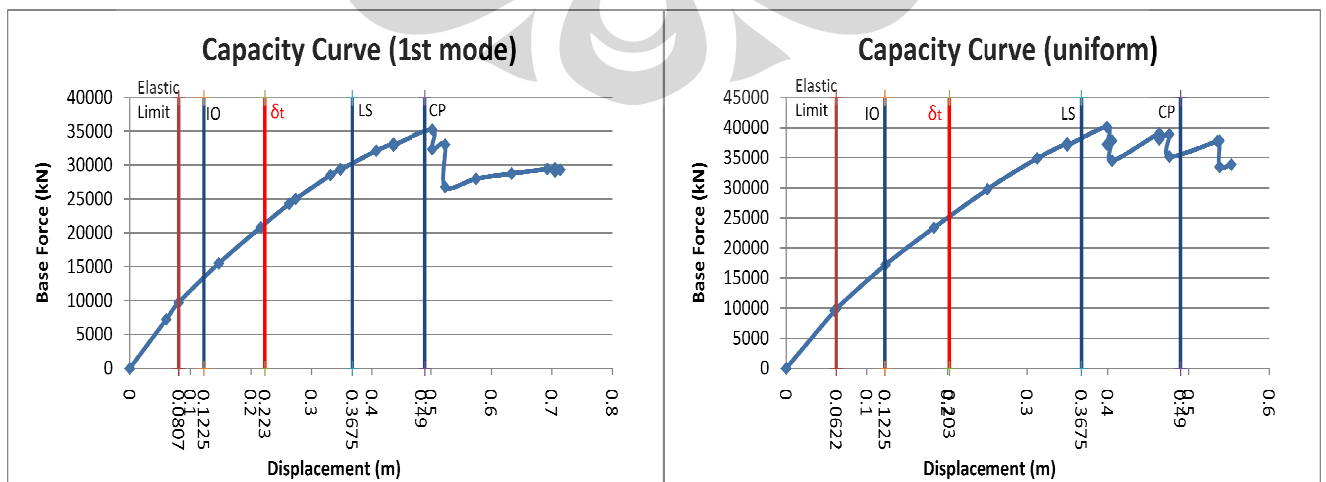
B. EBF TIPE D ; Panjang Link (e) = 0,9 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
1	0.06	7236.7241	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
2	0.0807	9737.7139	1626	10	0	0	0	0	0	0	1636
3	0.1471	15514.1133	1518	96	22	0	0	0	0	0	1636
4	0.216	20848.4238	1476	82	78	0	0	0	0	0	1636
5	0.2632	24310.6465	1417	107	112	0	0	0	0	0	1636
6	0.2736	25028.6602	1410	90	136	0	0	0	0	0	1636
7	0.3314	28547.2598	1366	130	138	2	0	0	0	0	1636
8	0.3477	29424.0352	1338	152	144	2	0	0	0	0	1636
9	0.3478	29368.4824	1338	152	144	2	0	0	0	0	1636
10	0.4068	32129.8652	1279	195	154	8	0	0	0	0	1636
11	0.4351	33190.8125	1252	218	158	8	0	0	0	0	1636
12	0.4351	32908.0469	1250	218	158	10	0	0	0	0	1636
13	0.4373	33053.9727	1249	219	158	10	0	0	0	0	1636
14	0.5021	35288.1172	1220	235	159	20	0	2	0	0	1636
15	0.5021	32370.0176	1216	239	159	18	0	0	0	4	1636
... sebagian sengaja dihapus ...											
22	0.7053	29096.1602	1141	206	261	16	0	0	0	12	1636
23	0.714	29316.0605	1141	206	261	16	0	0	0	12	1636

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
1	0.06	9582.9395	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
2	0.0622	9931.5	1626	10	0	0	0	0	0	0	1636
3	0.1232	17219.7813	1558	58	20	0	0	0	0	0	1636
4	0.1832	23371.6953	1510	66	60	0	0	0	0	0	1636
5	0.2507	29788.4648	1435	103	98	0	0	0	0	0	1636
6	0.3126	34875.9102	1402	116	114	4	0	0	0	0	1636
7	0.3497	37393.3242	1347	157	124	8	0	0	0	0	1636
8	0.3497	37036.3828	1347	157	124	8	0	0	0	0	1636
9	0.399	40141.4141	1326	162	136	10	0	2	0	0	1636
10	0.399	37227.5234	1324	150	144	14	0	0	0	4	1636
11	0.4053	37839.457	1322	146	150	12	0	2	0	4	1636
12	0.4053	34484.4688	1322	143	153	10	0	0	0	8	1636
... sebagian sengaja dihapus ...											
16	0.4762	35193.1875	1308	140	162	12	0	0	0	14	1636
17	0.5357	37729.4883	1278	144	184	16	0	0	0	14	1636
18	0.5384	37830.0391	1278	144	184	14	0	2	0	14	1636
19	0.5385	33465.1914	1273	147	184	16	0	0	0	16	1636
20	0.553	33855.3203	1267	150	187	14	0	2	0	16	1636



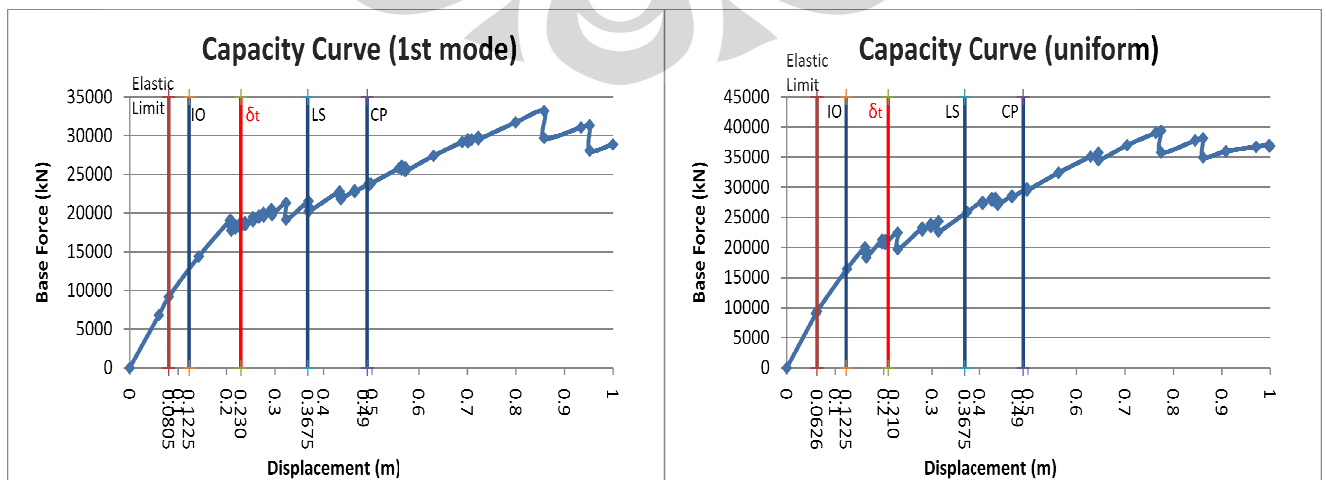
C. EBF TIPE D ; Panjang Link (e) = 1,2 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
1	0.06	6813.1191	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
2	0.0805	9145.0469	1634	2	0	0	0	0	0	0	1636
3	0.1428	14416.9551	1540	74	22	0	0	0	0	0	1636
4	0.2063	19059.377	1522	66	34	14	0	0	0	0	1636
4	0.2079	19172.2285	1522	66	34	12	0	2	0	0	1636
5	0.2079	18463.459	1516	70	36	12	0	0	0	2	1636
6	0.2095	18600.8477	1516	70	36	10	0	2	0	2	1636
7	0.2095	17740.3945	1511	73	38	10	0	0	0	4	1636
8	0.2183	18449.3691	1497	87	38	8	0	2	0	4	1636
9	0.2183	18016.1563	1493	91	38	8	0	0	0	6	1636
10	0.2272	18651.4883	1488	96	36	8	0	2	0	6	1636
... sebagian sengaja dihapus ...											
51	0.7992	31726.168	1156	227	207	2	0	0	0	44	1636
52	0.8581	33192.125	1139	232	215	4	0	2	0	44	1636
53	0.8581	29708.6309	1127	240	219	2	0	0	0	48	1636
54	0.934	31073.6484	1117	229	234	8	0	0	0	48	1636
55	0.9519	31330.1738	1117	218	245	6	0	2	0	48	1636
56	0.9519	28092.1406	1115	220	245	4	0	0	0	52	1636
57	0.9998	28888.3223	1109	226	229	20	0	0	0	52	1636

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
1	0.06	8989.5879	1636	0	0	0	0	0	0	0	1636
2	0.0626	9385.7305	1634	2	0	0	0	0	0	0	1636
3	0.1247	16455.1953	1570	50	16	0	0	0	0	0	1636
4	0.1617	20076.2832	1550	56	24	4	0	2	0	0	1636
5	0.1617	19169.8223	1544	60	26	4	0	0	0	2	1636
6	0.164	19425.5625	1544	54	32	2	0	2	0	2	1636
7	0.1641	18344.873	1540	58	32	2	0	0	0	4	1636
8	0.1969	21280.8594	1523	71	34	2	0	2	0	4	1636
9	0.1969	20684.252	1521	67	40	2	0	0	0	6	1636
10	0.2033	21242.0547	1521	65	40	2	0	2	0	6	1636
... sebagian sengaja dihapus ...											
42	0.8611	38150.4336	1183	202	192	16	0	1	0	42	1636
43	0.861	34976.0625	1181	204	182	23	0	0	0	46	1636
44	0.9085	35991.2227	1175	208	180	27	0	0	0	46	1636
45	0.9709	36731.5586	1166	205	183	36	0	0	0	46	1636
46	0.9973	37032.6445	1152	217	178	41	0	2	0	46	1636
47	0.9973	36817.3555	1150	219	178	41	0	0	2	46	1636
48	0.9996	36864.8477	1149	220	178	40	0	1	2	46	1636



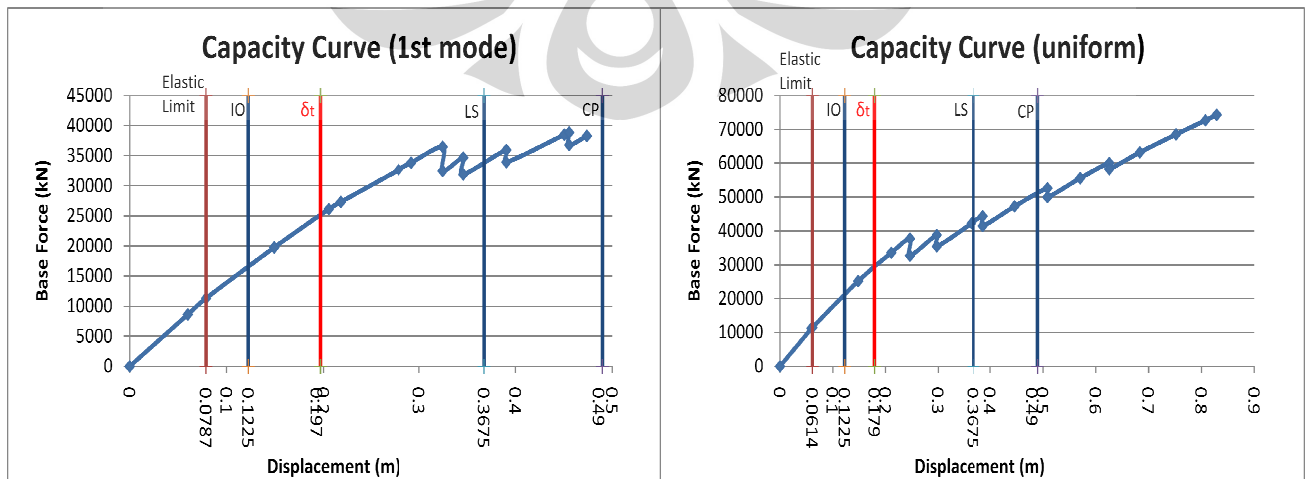
D. EBF TIPE SPLIT-V ; Panjang Link (e) = 0,7 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
1	0.06	8596.5967	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
2	0.0787	11280.8896	1728	20	0	0	0	0	0	0	1748
3	0.1492	19753.6973	1628	120	0	0	0	0	0	0	1748
4	0.2055	26143.168	1592	136	20	0	0	0	0	0	1748
5	0.2179	27315.5605	1586	142	20	0	0	0	0	0	1748
6	0.2784	32686.8477	1495	153	100	0	0	0	0	0	1748
7	0.2921	33817.3164	1489	159	100	0	0	0	0	0	1748
8	0.3247	36458.0234	1470	158	102	14	0	4	0	0	1748
9	0.3247	32448.6055	1466	162	102	10	0	0	0	8	1748
10	0.3459	34666.0313	1456	172	102	6	0	4	0	8	1748
11	0.3459	31899.2695	1447	181	102	2	0	0	0	16	1748
12	0.3905	35928.3477	1435	193	96	4	0	4	0	16	1748
13	0.3905	33918.4883	1428	200	96	0	0	0	0	24	1748
14	0.4505	38490.6289	1397	196	123	8	0	0	0	24	1748
15	0.4554	38831.5977	1391	202	123	6	0	2	0	24	1748
16	0.4554	36774.0938	1390	203	119	4	0	0	0	32	1748
17	0.4738	38284.418	1388	205	115	8	0	0	0	32	1748

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
1	0.06	11209.1396	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
2	0.0614	11472.4043	1728	20	0	0	0	0	0	0	1748
3	0.1483	25155.9668	1644	84	20	0	0	0	0	0	1748
4	0.2112	33566.5391	1581	111	56	0	0	0	0	0	1748
5	0.2466	37676.875	1548	136	56	4	0	4	0	0	1748
6	0.2466	32664.666	1544	140	56	0	0	0	0	8	1748
7	0.2972	38816.9648	1518	146	68	4	0	4	0	8	1748
8	0.2972	35426.5117	1514	150	68	0	0	0	0	16	1748
9	0.3638	42241.75	1488	149	87	8	0	0	0	16	1748
10	0.3862	44376.6055	1481	144	99	4	0	4	0	16	1748
... sebagian sengaja dihapus ...											
15	0.5706	55598.1992	1397	141	170	8	0	0	0	32	1748
16	0.6258	60105.4922	1372	127	209	4	0	4	0	32	1748
17	0.6258	58265.8711	1355	144	209	0	0	0	0	40	1748
18	0.6835	63215.2461	1343	152	213	0	0	0	0	40	1748
19	0.7519	68486.3672	1337	151	220	0	0	0	0	40	1748
20	0.8075	72696.7109	1315	144	249	0	0	0	0	40	1748
21	0.8288	74281.1484	1300	155	253	0	0	0	0	40	1748



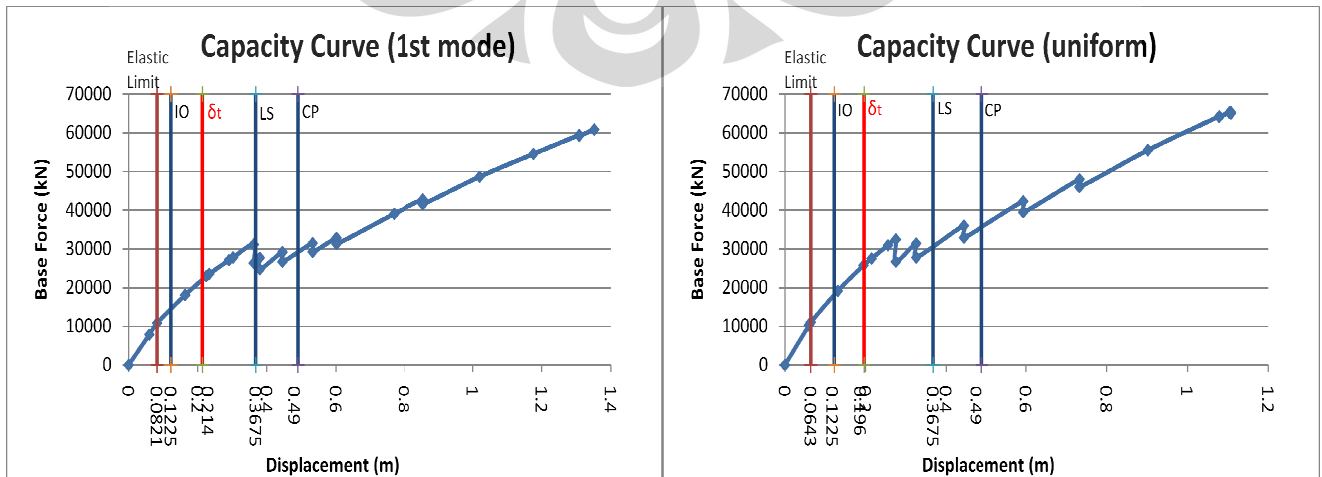
E. EBF TIPE SPLIT-V ; Panjang Link (e) = 0,9 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
1	0.06	7877.9224	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
2	0.0821	10775.5869	1728	20	0	0	0	0	0	0	1748
3	0.1638	18056.8945	1628	100	20	0	0	0	0	0	1748
4	0.2244	22944.6719	1580	88	80	0	0	0	0	0	1748
5	0.2332	23548.2617	1563	105	80	0	0	0	0	0	1748
6	0.2901	27076.9297	1490	138	120	0	0	0	0	0	1748
7	0.302	27769.3516	1479	149	120	0	0	0	0	0	1748
8	0.3621	31138.8691	1456	144	132	12	0	4	0	0	1748
9	0.3621	26356.2754	1441	159	132	8	0	0	0	8	1748
... sebagian sengaja dihapus ...											
18	0.7687	39046.3555	1321	112	267	8	0	0	0	40	1748
19	0.8556	42796.7227	1298	131	271	6	0	2	0	40	1748
20	0.8555	41536.9688	1281	145	274	0	0	0	0	48	1748
21	1.0203	48685.5234	1257	124	319	0	0	0	0	48	1748
22	1.1758	54563.3594	1232	124	311	33	0	0	0	48	1748
23	1.3083	59429.957	1223	113	286	76	0	2	0	48	1748
24	1.3084	59214.6836	1223	113	286	76	0	0	2	48	1748
25	1.3519	60824.5508	1221	95	292	87	0	3	0	50	1748

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
1	0.06	10240.1523	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
2	0.0643	10970.2139	1728	20	0	0	0	0	0	0	1748
3	0.1313	19162.1074	1648	80	20	0	0	0	0	0	1748
4	0.1951	25721.1445	1615	65	68	0	0	0	0	0	1748
5	0.215	27521.9805	1596	84	68	0	0	0	0	0	1748
6	0.2557	30903.5898	1548	104	88	8	0	0	0	0	1748
7	0.2755	32417.75	1523	121	96	4	0	4	0	0	1748
8	0.2755	26710.6816	1508	136	96	0	0	0	0	8	1748
9	0.326	31417.4199	1506	128	98	4	0	4	0	8	1748
... sebagian sengaja dihapus ...											
16	0.7327	45985.2422	1337	141	230	0	0	0	0	40	1748
17	0.9022	55476.3242	1323	120	256	9	0	0	0	40	1748
18	1.0789	64242.9531	1292	107	251	56	0	2	0	40	1748
19	1.0787	64034.2383	1292	107	251	56	0	0	2	40	1748
20	1.1041	65306.9141	1290	102	245	67	0	2	2	40	1748
21	1.1041	65176.9336	1288	104	245	67	0	0	4	40	1748
22	1.1077	65385.1953	1288	104	245	63	0	4	4	40	1748
23	1.1078	65021.3633	1288	104	245	62	0	1	8	40	1748



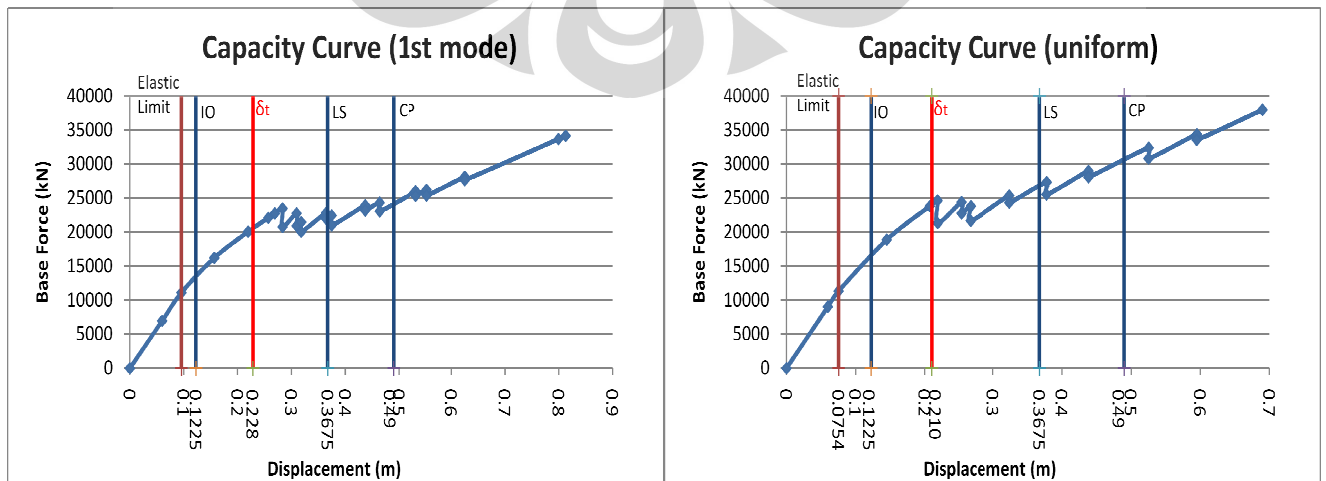
F. EBF TIPE SPLIT-V ; Panjang Link (e) = 1,2 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
1	0.06	6961.8589	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
2	0.0957	11103.2275	1732	16	0	0	0	0	0	0	1748
3	0.157	16208.8018	1624	124	0	0	0	0	0	0	1748
4	0.2197	20045.8848	1577	115	56	0	0	0	0	0	1748
5	0.2569	22106.5781	1527	149	68	4	0	0	0	0	1748
6	0.2692	22743.8223	1523	141	80	4	0	0	0	0	1748
7	0.2834	23457.2988	1515	145	76	8	0	4	0	0	1748
8	0.2834	20748.6133	1509	151	72	8	0	0	0	8	1748
9	0.3094	22767.877	1500	160	68	8	0	4	0	8	1748
10	0.3094	20917.0957	1486	174	64	8	0	0	0	16	1748
... sebagian sengaja dihapus ...											
22	0.5337	25323.0742	1399	156	137	8	0	0	0	48	1748
23	0.554	26203.9316	1397	148	143	8	0	4	0	48	1748
24	0.5541	25384.5977	1367	178	143	4	0	0	0	56	1748
25	0.6252	28114.0176	1327	200	161	0	0	4	0	56	1748
26	0.6252	27640.4043	1325	202	161	0	0	0	0	60	1748
27	0.7994	33682.6563	1305	176	199	8	0	0	0	60	1748
28	0.8131	34142.8594	1303	178	195	8	0	4	0	60	1748

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
1	0.06	9013.5107	1748	0	0	0	0	0	0	0	1748
2	0.0754	11321.8965	1732	16	0	0	0	0	0	0	1748
3	0.145	18868.3398	1660	80	8	0	0	0	0	0	1748
4	0.2074	23827.1953	1583	125	36	4	0	0	0	0	1748
5	0.2187	24619.4277	1572	132	36	4	0	4	0	0	1748
6	0.2188	21320.9219	1564	140	32	4	0	0	0	8	1748
7	0.2534	24416.6777	1551	137	44	4	0	4	0	8	1748
8	0.2534	22762.2656	1545	143	44	4	0	0	0	12	1748
9	0.267	23816.8145	1539	149	40	4	0	4	0	12	1748
10	0.2669	21652.3281	1533	155	36	4	0	0	0	20	1748
... sebagian sengaja dihapus ...											
15	0.4386	28991.6367	1467	126	119	0	0	4	0	32	1748
16	0.4385	28079.7461	1465	126	121	0	0	0	0	36	1748
17	0.5255	32371.9199	1416	155	129	8	0	4	0	36	1748
18	0.5254	30804.3105	1407	164	129	4	0	0	0	44	1748
19	0.5953	34392.3828	1403	132	165	0	0	4	0	44	1748
20	0.595	33547.8125	1399	136	165	0	0	0	0	48	1748
21	0.6899	37968.7383	1380	133	175	8	0	4	0	48	1748



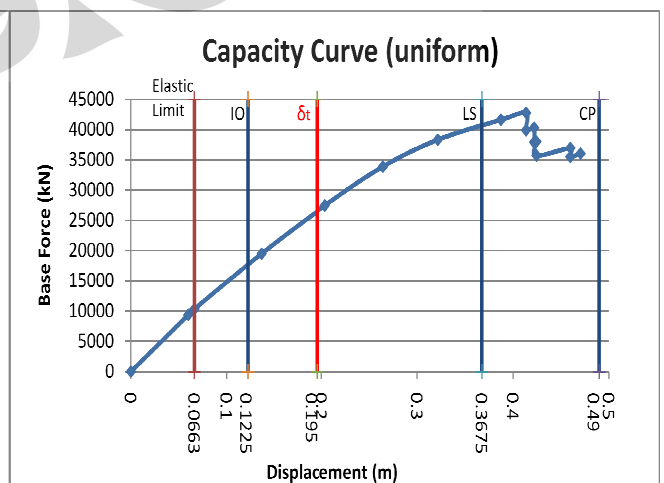
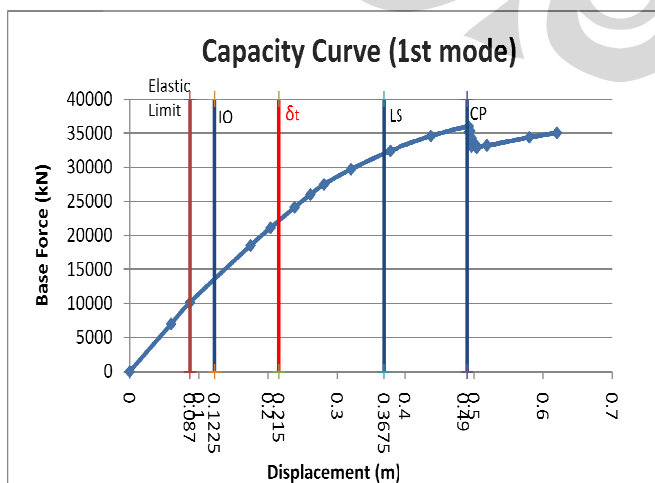
G. EBF TIPE V ; Panjang Link (e) = 0,7 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
1	0.06	6993.4697	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
2	0.087	10145.332	2176	20	0	0	0	0	0	0	2196
3	0.1745	18515.9785	1976	220	0	0	0	0	0	0	2196
4	0.2033	21098.584	1940	236	20	0	0	0	0	0	2196
5	0.2382	24126.3125	1892	264	40	0	0	0	0	0	2196
6	0.2611	26004.9746	1831	321	44	0	0	0	0	0	2196
7	0.2807	27502.7383	1798	302	96	0	0	0	0	0	2196
8	0.3196	29712.2734	1760	264	172	0	0	0	0	0	2196
9	0.3768	32426.123	1727	265	204	0	0	0	0	0	2196
10	0.4375	34605.0742	1672	266	258	0	0	0	0	0	2196
11	0.4923	36036.0313	1604	330	250	10	0	2	0	0	2196
12	0.4923	35214.9453	1602	330	252	8	0	0	4	0	2196
... sebagian sengaja dihapus ...											
15	0.5025	33317.0742	1599	331	253	5	0	1	2	5	2196
16	0.5025	33025.1289	1599	330	254	5	0	0	3	5	2196
17	0.504	33098.3555	1598	331	254	5	0	0	2	6	2196
18	0.504	32877.8711	1597	332	254	5	0	0	1	7	2196
19	0.5185	33271.1094	1594	327	262	5	0	0	0	8	2196
20	0.5185	33206.7773	1594	327	262	5	0	0	0	8	2196
21	0.5799	34425	1574	314	291	9	0	0	0	8	2196
22	0.6201	35084.8438	1568	287	323	7	0	3	0	8	2196

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
1	0.06	9359.3428	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
2	0.0663	10343.376	2176	20	0	0	0	0	0	0	2196
3	0.1366	19500.9219	2056	140	0	0	0	0	0	0	2196
4	0.2036	27442.7617	1956	200	40	0	0	0	0	0	2196
5	0.2642	33874.1914	1865	219	112	0	0	0	0	0	2196
6	0.3216	38329.2461	1786	238	172	0	0	0	0	0	2196
7	0.3873	41627.7188	1737	271	186	2	0	0	0	0	2196
8	0.4136	42769.9258	1696	304	188	6	0	2	0	0	2196
9	0.4136	39906.2227	1696	300	192	4	0	0	2	2	2196
10	0.4219	40294.8516	1696	300	188	6	0	2	2	2	2196
11	0.4219	37906.7773	1696	300	188	4	0	0	4	4	2196
12	0.4244	38028.4102	1694	302	188	0	0	4	4	4	2196
13	0.4244	35703.7227	1686	308	186	2	0	0	0	14	2196
14	0.4599	36944.3672	1679	307	190	2	0	4	0	14	2196
15	0.4599	35506.2891	1677	302	195	2	0	0	0	20	2196
16	0.4704	36048.9297	1677	302	195	0	0	2	0	20	2196



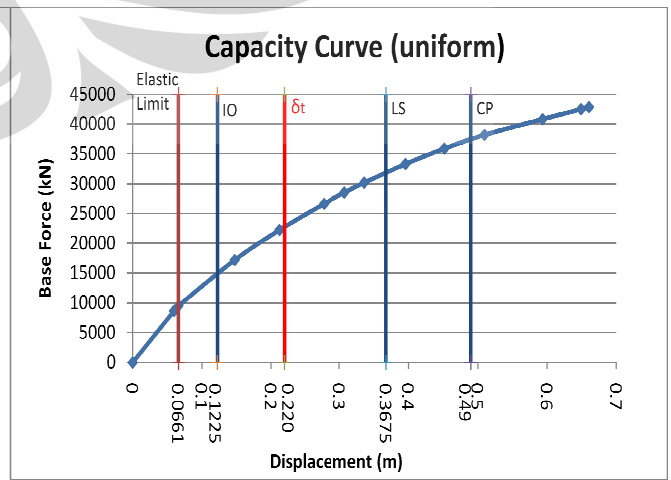
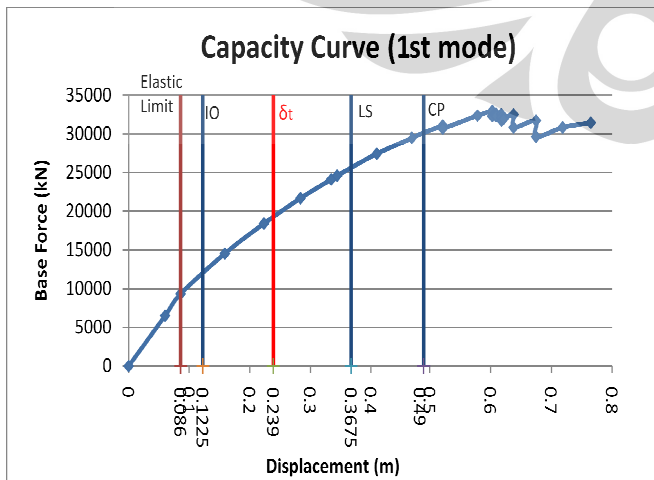
H. EBF TIPE V ; Panjang Link (e) = 0,9 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
1	0.06	6498.418	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
2	0.086	9317.7031	2176	20	0	0	0	0	0	0	2196
3	0.159	14550.1357	1996	200	0	0	0	0	0	0	2196
4	0.2235	18396.1191	1974	162	60	0	0	0	0	0	2196
5	0.284	21675.1602	1882	194	120	0	0	0	0	0	2196
6	0.3345	24134.0781	1838	198	160	0	0	0	0	0	2196
7	0.3443	24596.3535	1822	214	160	0	0	0	0	0	2196
8	0.41	27430.8906	1713	271	212	0	0	0	0	0	2196
9	0.4704	29485.6563	1668	304	224	0	0	0	0	0	2196
10	0.5213	31070.627	1644	281	271	0	0	0	0	0	2196
11	0.5214	30707.8047	1644	281	271	0	0	0	0	0	2196
12	0.5787	32387.918	1611	284	301	0	0	0	0	0	2196
13	0.6028	32940.2031	1605	278	313	0	0	0	0	0	2196
14	0.6028	32304.3867	1605	278	309	4	0	0	0	0	2196
15	0.6066	32533.5996	1605	278	309	4	0	0	0	0	2196
16	0.6089	32615.7871	1599	284	309	4	0	0	0	0	2196
17	0.6089	32292.7988	1599	280	313	4	0	0	0	0	2196
18	0.6178	32534.5938	1594	279	319	2	0	2	0	0	2196
... sebagian sengaja dihapus ...											
25	0.6747	29620.3848	1568	256	360	4	0	0	0	8	2196
26	0.7187	30822.4941	1568	250	364	6	0	0	0	8	2196
27	0.765	31441.4258	1559	241	380	6	0	2	0	8	2196

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
1	0.06	8634.6387	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
2	0.0661	9511.5957	2176	20	0	0	0	0	0	0	2196
3	0.1475	17206.7773	2056	100	40	0	0	0	0	0	2196
4	0.2123	22226.2285	1979	137	80	0	0	0	0	0	2196
5	0.2768	26625.5137	1929	147	120	0	0	0	0	0	2196
6	0.3074	28509.9883	1882	194	120	0	0	0	0	0	2196
7	0.336	30176.0449	1852	224	120	0	0	0	0	0	2196
8	0.3958	33284.2188	1778	243	175	0	0	0	0	0	2196
9	0.4518	35898.3555	1750	249	197	0	0	0	0	0	2196
10	0.5098	38208.5508	1706	257	233	0	0	0	0	0	2196
11	0.5936	40849.2109	1678	212	302	4	0	0	0	0	2196
12	0.6492	42509.3828	1650	188	342	16	0	0	0	0	2196
13	0.6605	42835.1992	1647	187	342	18	0	2	0	0	2196



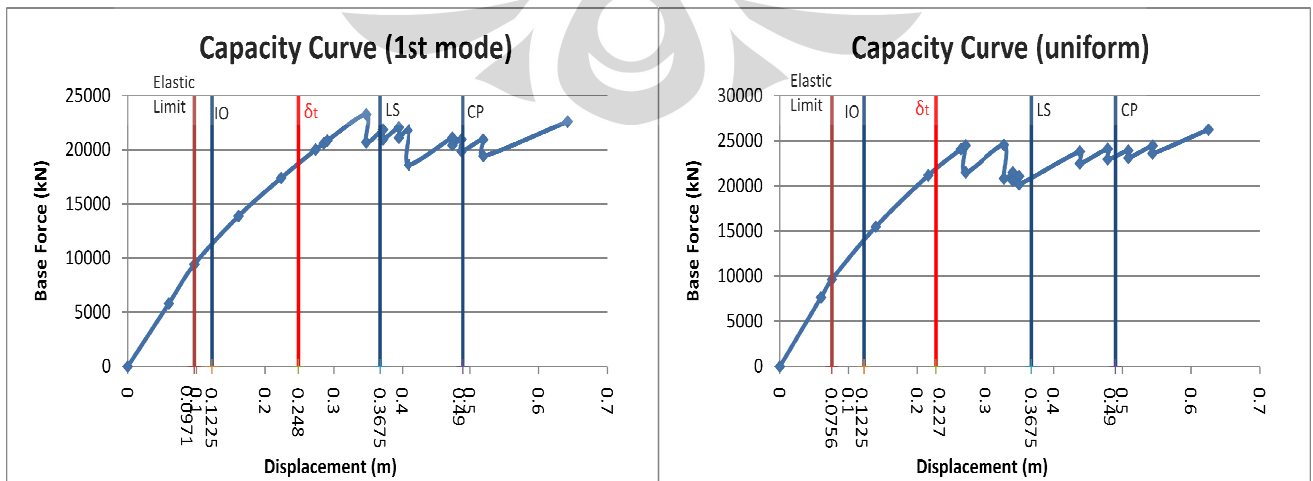
I. EBF TIPE V ; Panjang Link (e) = 1,2 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
1	0.06	5819.3096	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
2	0.0971	9421.7842	2184	12	0	0	0	0	0	0	2196
3	0.1613	13874.6846	2054	142	0	0	0	0	0	0	2196
4	0.2233	17394.8496	1990	170	36	0	0	0	0	0	2196
5	0.2734	20007.4453	1921	187	88	0	0	0	0	0	2196
6	0.2856	20604.791	1902	202	92	0	0	0	0	0	2196
7	0.2906	20842.5391	1897	207	92	0	0	0	0	0	2196
8	0.3471	23274.1523	1828	240	120	4	0	4	0	0	2196
9	0.3472	20693.5547	1807	253	128	0	0	0	0	8	2196
... sebagian sengaja dihapus ...											
15	0.4097	18606.7734	1762	265	141	4	0	0	0	24	2196
16	0.4749	21116.123	1746	260	154	8	0	4	0	24	2196
17	0.475	20434.8848	1736	263	161	8	0	0	0	28	2196
18	0.4881	20964.1621	1734	261	161	8	0	4	0	28	2196
19	0.4881	19862.7988	1734	254	168	8	0	0	0	32	2196
20	0.5196	20959.4727	1730	251	175	2	0	6	0	32	2196
21	0.5197	19430.1426	1719	258	179	0	0	0	0	40	2196
22	0.642	22602.7188	1683	262	199	8	0	4	0	40	2196

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
1	0.06	7648.2871	2196	0	0	0	0	0	0	0	2196
2	0.0756	9635.0195	2176	20	0	0	0	0	0	0	2196
3	0.1396	15492.8643	2080	110	6	0	0	0	0	0	2196
4	0.216	21167.9492	2008	136	52	0	0	0	0	0	2196
5	0.2636	24094.1289	1920	206	62	8	0	0	0	0	2196
6	0.2704	24486.6602	1911	207	70	6	0	2	0	0	2196
7	0.2704	21500.6445	1896	204	88	0	0	0	0	8	2196
8	0.3276	24559.4824	1857	227	88	14	0	2	0	8	2196
9	0.3276	20825.0488	1853	218	101	8	0	0	0	16	2196
... sebagian sengaja dihapus ...											
15	0.4382	22493.9414	1801	237	126	4	0	0	0	28	2196
16	0.4787	24095.1992	1797	218	145	4	0	4	0	28	2196
17	0.4787	22966.7773	1791	216	153	4	0	0	0	32	2196
18	0.5087	23942.0273	1779	224	157	0	0	4	0	32	2196
19	0.5087	23100.6016	1775	224	161	0	0	0	0	36	2196
20	0.5441	24460.6504	1775	210	171	2	0	2	0	36	2196
21	0.5439	23597.7324	1775	204	177	0	0	0	0	40	2196
22	0.6255	26266.4707	1741	213	194	8	0	0	0	40	2196



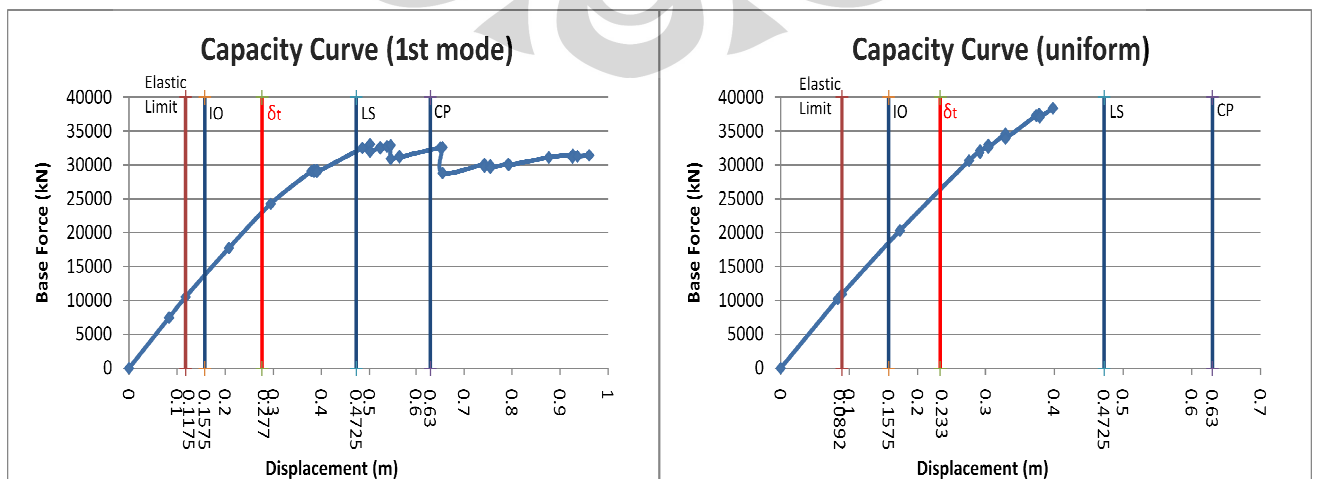
LAMPIRAN 4.05 Tabel PushOver untuk Model Struktur Eccentrically Braced Frames (EBF) 9 Lantai

A. EBF TIPE D ; Panjang Link (e) = 0,7 m

Ket: ■ Kondisi leleh
■ Kondisi kinerja (pendekatan)
■ Kondisi ultimit

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X											
Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
1	0.0833	7462.9863	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
2	0.1175	10526.6211	2092	20	0	0	0	0	0	0	2112
3	0.2077	17748.3496	1964	140	8	0	0	0	0	0	2112
4	0.2947	24296.1582	1912	130	70	0	0	0	0	0	2112
5	0.3793	29081.4805	1765	227	108	12	0	0	0	0	2112
6	0.3845	29279.584	1759	233	108	8	0	4	0	0	2112
7	0.3845	28997.3887	1755	237	108	8	0	0	0	4	2112
8	0.3907	29308.0273	1748	234	114	8	0	4	0	4	2112
9	0.3907	28989.9043	1746	236	110	12	0	0	0	8	2112
... sebagian sengaja dihapus ...											
29	0.7927	29985.8184	1525	334	197	26	0	0	0	30	2112
30	0.8764	31130.4531	1521	326	207	28	0	0	0	30	2112
31	0.9267	31505.5059	1511	305	236	28	0	2	0	30	2112
32	0.9258	31115.7578	1511	298	243	26	0	0	0	34	2112
33	0.9362	31279.4844	1511	297	244	26	0	0	0	34	2112
34	0.9608	31452.4609	1502	294	256	24	0	2	0	34	2112

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X											
Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
1	0.0833	10227.5391	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
2	0.0892	10946.2451	2102	10	0	0	0	0	0	0	2112
3	0.174	20316.5605	1992	116	4	0	0	0	0	0	2112
4	0.2746	30661.1816	1940	92	72	8	0	0	0	0	2112
5	0.2909	32150.8789	1914	118	64	12	0	4	0	0	2112
6	0.2909	31821.5801	1897	135	64	12	0	0	0	4	2112
7	0.304	33013.7109	1879	153	64	8	0	4	0	4	2112
8	0.304	32557.9473	1875	141	80	8	0	0	0	8	2112
9	0.3293	34611.5508	1853	151	84	12	0	4	0	8	2112
... sebagian sengaja dihapus ...											
12	0.374	37273.2188	1811	196	67	24	0	0	0	14	2112
13	0.3772	37518.3867	1808	199	67	22	0	2	0	14	2112
14	0.3772	37297.5508	1806	201	65	24	0	0	0	16	2112
15	0.379	37462.7188	1806	201	65	20	0	4	0	16	2112
16	0.379	37060.4805	1802	203	67	20	0	0	0	20	2112
17	0.3982	38402.1563	1798	198	76	19	0	1	0	20	2112



Ket: ■ Target perpindahan (FEMA 356)
■ Level kinerja berdasarkan FEMA 273

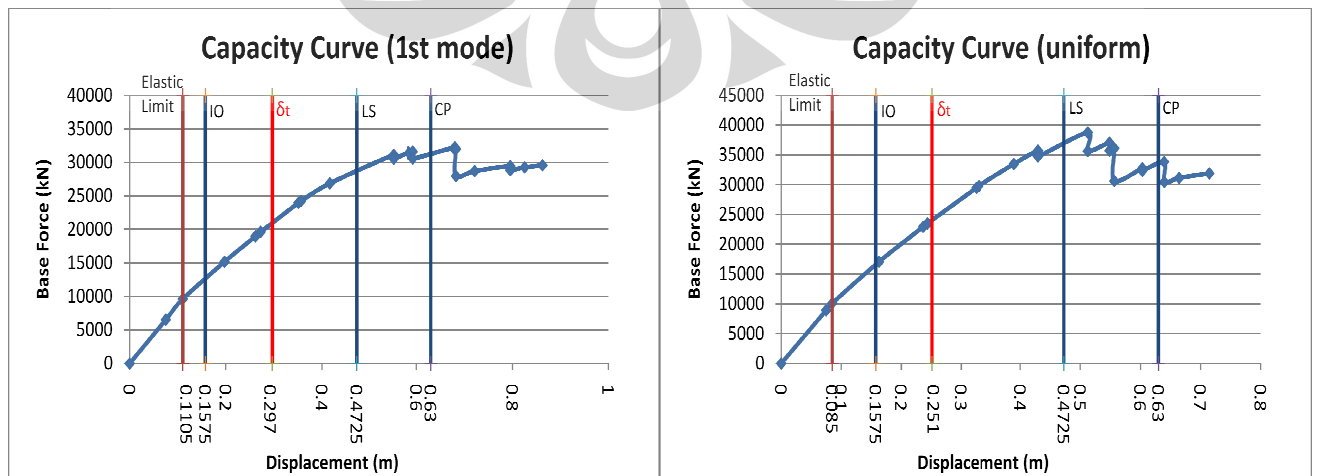
B. EBF TIPE D ; Panjang Link (e) = 0,9 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
1	0.075	6521.1963	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
2	0.1105	9608.6201	2092	20	0	0	0	0	0	0	2112
3	0.1974	15168.334	1970	116	26	0	0	0	0	0	2112
4	0.2614	18964.8105	1926	88	98	0	0	0	0	0	2112
5	0.2726	19619.2715	1924	88	100	0	0	0	0	0	2112
6	0.3513	23981.5859	1809	137	166	0	0	0	0	0	2112
7	0.3567	24252.8496	1801	143	168	0	0	0	0	0	2112
8	0.4164	26863.5098	1750	192	168	2	0	0	0	0	2112
9	0.5493	31127.3633	1637	271	192	10	0	2	0	0	2112
10	0.5493	30532.7637	1635	269	194	12	0	0	0	2	2112
... sebagian sengaja dihapus ...											
17	0.6824	31979.4961	1571	291	218	24	0	2	2	4	2112
18	0.6824	27944.9004	1567	277	236	22	0	0	0	10	2112
19	0.7216	28690.377	1565	266	249	22	0	0	0	10	2112
20	0.7956	29434.3047	1539	259	282	20	0	2	0	10	2112
21	0.7956	28836.6523	1525	257	288	26	0	0	2	14	2112
22	0.8255	29258.2168	1521	248	301	26	0	0	2	14	2112
23	0.8626	29577.7637	1513	238	319	24	0	2	2	14	2112

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
1	0.075	8908.8301	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
2	0.085	10094.3555	2092	20	0	0	0	0	0	0	2112
3	0.1631	17060.3457	2010	80	22	0	0	0	0	0	2112
4	0.2364	22896.707	1958	78	76	0	0	0	0	0	2112
5	0.2438	23480.1875	1957	77	78	0	0	0	0	0	2112
6	0.3254	29472.0195	1867	133	110	2	0	0	0	0	2112
7	0.3298	29776.7793	1861	139	110	2	0	0	0	0	2112
8	0.3893	33480.1641	1819	151	138	4	0	0	0	0	2112
9	0.4295	35718.0664	1786	168	146	10	0	2	0	0	2112
10	0.4295	34734.5039	1771	179	150	10	0	0	0	2	2112
... sebagian sengaja dihapus ...											
16	0.5566	30632.3633	1683	193	196	24	0	0	0	16	2112
17	0.6031	32770.3086	1683	185	202	24	0	2	0	16	2112
18	0.603	32330.6738	1683	182	205	24	0	0	0	18	2112
19	0.6393	33845.0352	1681	180	209	22	0	2	0	18	2112
20	0.6399	30447.2715	1677	184	207	24	0	0	0	20	2112
21	0.6645	31141.7637	1671	190	207	24	0	0	0	20	2112
22	0.7146	31896.625	1656	199	213	22	0	2	0	20	2112



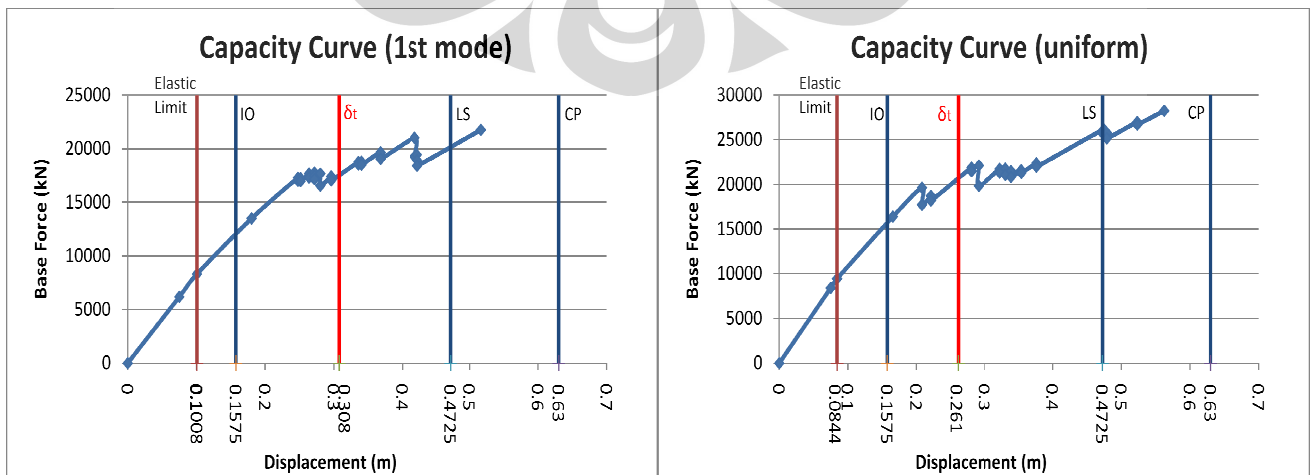
C. EBF TIPE D ; Panjang Link (e) = 1,2 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
1	0.075	6184.8511	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
2	0.1008	8315.6123	2110	2	0	0	0	0	0	0	2112
3	0.1804	13499.4619	1996	92	24	0	0	0	0	0	2112
4	0.2477	17285.5078	1986	88	22	14	0	2	0	0	2112
5	0.2477	17005.6875	1984	90	22	14	0	0	0	2	2112
6	0.2514	17252.625	1984	90	22	12	0	2	0	2	2112
7	0.2514	16953.9551	1982	92	22	12	0	0	0	4	2112
8	0.2638	17658.8066	1982	78	32	14	0	2	0	4	2112
9	0.2638	17306.4238	1980	80	32	14	0	0	0	6	2112
10	0.2718	17771.5664	1970	88	34	12	0	2	0	6	2112
... sebagian sengaja dihapus ...											
22	0.3681	19039.4375	1831	207	48	2	0	0	0	24	2112
23	0.4196	21015.4863	1795	237	46	8	0	2	0	24	2112
24	0.4196	19265.7695	1770	260	48	6	0	0	0	28	2112
25	0.4233	19436.9004	1768	262	48	4	0	2	0	28	2112
26	0.4234	18928.2383	1766	264	48	2	0	2	0	30	2112
27	0.4234	18405.3262	1766	264	48	2	0	0	0	32	2112
28	0.5167	21759.7539	1713	290	71	4	0	2	0	32	2112

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
1	0.075	8401.168	2112	0	0	0	0	0	0	0	2112
2	0.0844	9449.4326	2108	4	0	0	0	0	0	0	2112
3	0.1658	16405.3906	2026	64	22	0	0	0	0	0	2112
4	0.208	19621.6875	2008	64	32	4	0	4	0	0	2112
5	0.2081	17717.1113	1991	77	36	2	0	0	0	6	2112
6	0.2211	18708.3594	1985	75	44	0	0	2	0	6	2112
7	0.2211	18186.3457	1981	79	44	0	0	0	0	8	2112
8	0.2805	21886.6348	1924	126	44	8	0	2	0	8	2112
9	0.2805	21471.543	1922	128	44	8	0	0	0	10	2112
10	0.291	22128.9668	1920	130	42	8	0	2	0	10	2112
... sebagian sengaja dihapus ...											
22	0.4746	26153.5293	1792	217	71	6	0	2	0	24	2112
23	0.4745	25543.4961	1791	215	74	6	0	0	0	26	2112
24	0.479	25774.0801	1788	218	74	4	0	2	0	26	2112
25	0.479	25153.4473	1781	220	79	4	0	0	0	28	2112
26	0.5235	26983.8613	1771	206	101	4	0	2	0	28	2112
27	0.5235	26702.9785	1769	208	101	4	0	0	0	30	2112
28	0.5625	28251.1387	1757	208	111	4	0	2	0	30	2112



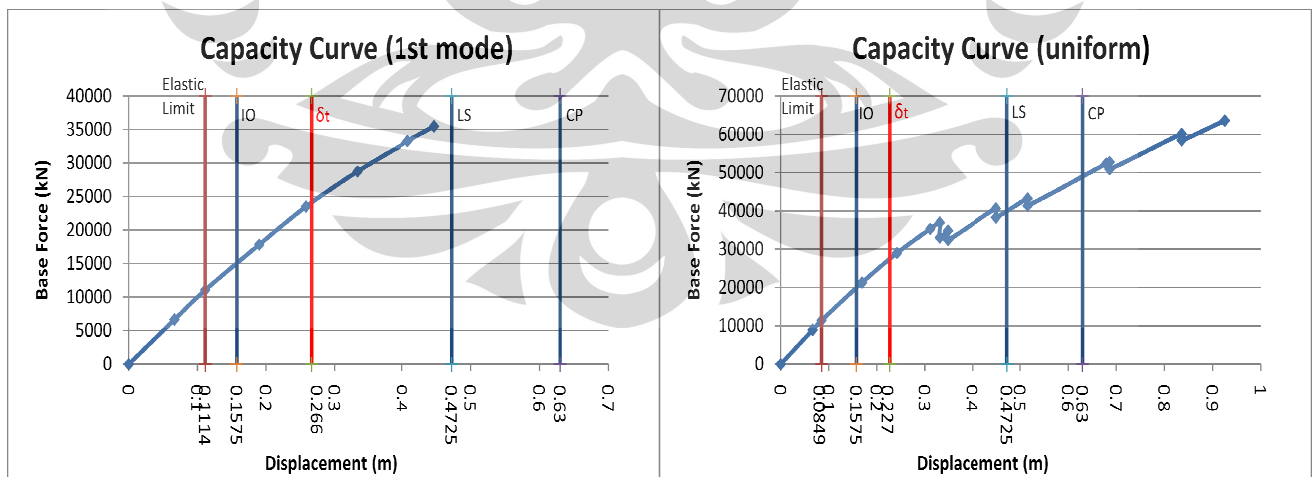
D. EBF TIPE SPLIT-V ; Panjang Link (e) = 0,7 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
1	0.0667	6630.2305	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
2	0.1114	11074.8076	2212	44	0	0	0	0	0	0	2256
3	0.19	17836.5996	2116	140	0	0	0	0	0	0	2256
4	0.2583	23509.9141	2100	156	0	0	0	0	0	0	2256
5	0.3332	28751.3496	1988	192	76	0	0	0	0	0	2256
6	0.4083	33287.5352	1900	228	116	12	0	0	0	0	2256
7	0.4469	35473.9844	1888	220	116	28	0	4	0	0	2256

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
1	0.0667	8930.4385	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
2	0.0849	11379.3281	2236	20	0	0	0	0	0	0	2256
3	0.1693	21244.0156	2136	120	0	0	0	0	0	0	2256
4	0.242	28997.041	2098	130	28	0	0	0	0	0	2256
5	0.3112	35287.3398	2019	165	64	8	0	0	0	0	2256
6	0.3311	36946.75	2007	157	76	12	0	4	0	0	2256
7	0.3311	33071.2422	1994	170	76	8	0	0	0	8	2256
8	0.3486	34815.5469	1991	173	76	4	0	4	0	8	2256
9	0.3486	32411.3496	1986	178	76	0	0	0	0	16	2256
10	0.4497	40613.9688	1938	183	111	4	0	4	0	16	2256
11	0.4497	38292.1484	1934	187	111	0	0	0	0	24	2256
12	0.5158	43265.457	1918	175	131	4	0	4	0	24	2256
13	0.5158	41392.875	1915	178	131	0	0	0	0	32	2256
14	0.6793	52329.8086	1811	205	200	8	0	0	0	32	2256
15	0.6862	52751.6797	1808	208	200	4	0	4	0	32	2256
16	0.6862	50883.8789	1806	210	200	0	0	0	0	40	2256
17	0.8357	60074.8594	1763	172	273	6	0	2	0	40	2256
18	0.8357	58428.7109	1759	172	277	0	0	0	0	48	2256
19	0.9256	63567.8438	1727	171	310	0	0	0	0	48	2256



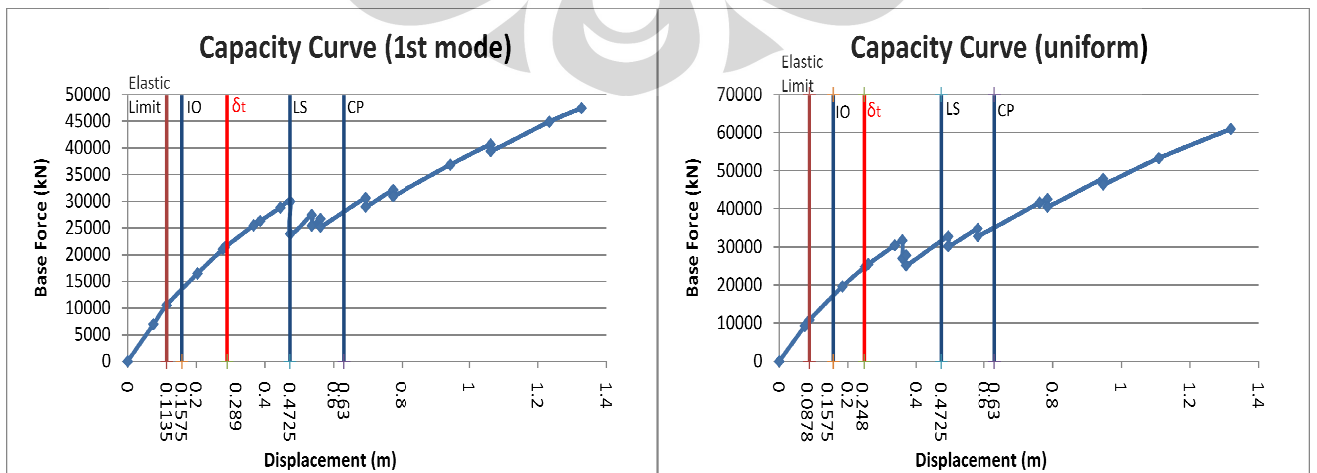
E. EBF TIPE SPLIT-V ; Panjang Link (e) = 0,9 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
1	0.075	6939.3101	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
2	0.1135	10504.5127	2216	40	0	0	0	0	0	0	2256
3	0.2035	16475.3613	2116	140	0	0	0	0	0	0	2256
4	0.2777	21073.875	2082	94	80	0	0	0	0	0	2256
5	0.283	21381.4453	2080	96	80	0	0	0	0	0	2256
6	0.3666	25449.4883	1958	150	148	0	0	0	0	0	2256
7	0.3861	26310.1348	1933	175	148	0	0	0	0	0	2256
8	0.4451	28794.4844	1894	194	144	24	0	0	0	0	2256
9	0.4735	29948.3965	1872	216	136	28	0	4	0	0	2256
10	0.4735	23878.3789	1860	212	152	16	0	0	0	16	2256
... sebagian sengaja dihapus ...											
17	0.7738	32090.4766	1803	146	259	4	0	4	0	40	2256
18	0.7738	30920.8574	1801	146	261	0	0	0	0	48	2256
19	0.9448	36855.8477	1732	143	333	0	0	0	0	48	2256
20	1.0627	40615.4023	1687	158	355	4	0	4	0	48	2256
21	1.0627	39424.3164	1683	147	370	0	0	0	0	56	2256
22	1.2336	44924.8828	1653	164	383	0	0	0	0	56	2256
23	1.3274	47483.0625	1624	152	424	0	0	0	0	56	2256

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
1	0.075	9285.1836	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
2	0.0878	10872.375	2236	20	0	0	0	0	0	0	2256
3	0.1842	19607.2559	2136	100	20	0	0	0	0	0	2256
4	0.2504	24821.582	2097	91	68	0	0	0	0	0	2256
5	0.26	25508.4492	2085	95	76	0	0	0	0	0	2256
6	0.3372	30428.4375	2009	135	104	8	0	0	0	0	2256
7	0.3594	31738.3555	1984	140	116	12	0	4	0	0	2256
8	0.3594	27046.3809	1978	146	116	8	0	0	0	8	2256
9	0.37	27861.4941	1978	146	116	4	0	4	0	8	2256
10	0.37	25199.7832	1976	142	122	0	0	0	0	16	2256
... sebagian sengaja dihapus ...											
15	0.7624	41592.4883	1823	154	239	8	0	0	0	32	2256
16	0.7849	42596.0078	1797	171	248	4	0	4	0	32	2256
17	0.785	40586.0195	1793	158	265	0	0	0	0	40	2256
18	0.9471	47923.7344	1769	170	269	6	0	2	0	40	2256
19	0.9472	46427.1914	1769	157	282	0	0	0	0	48	2256
20	1.1095	53278.3477	1735	122	332	19	0	0	0	48	2256
21	1.3188	60982.8633	1691	134	312	69	0	2	0	48	2256



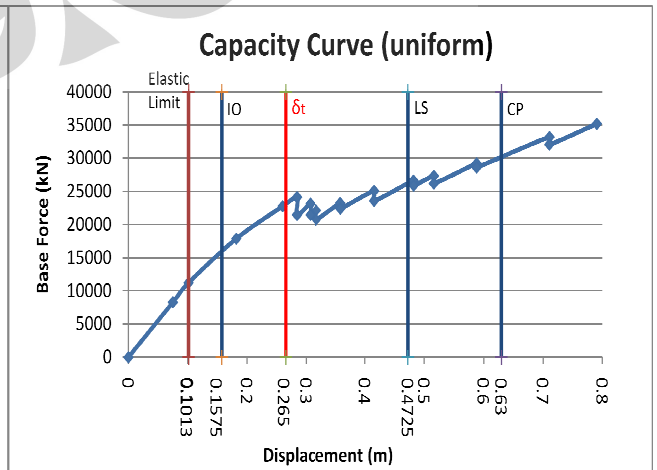
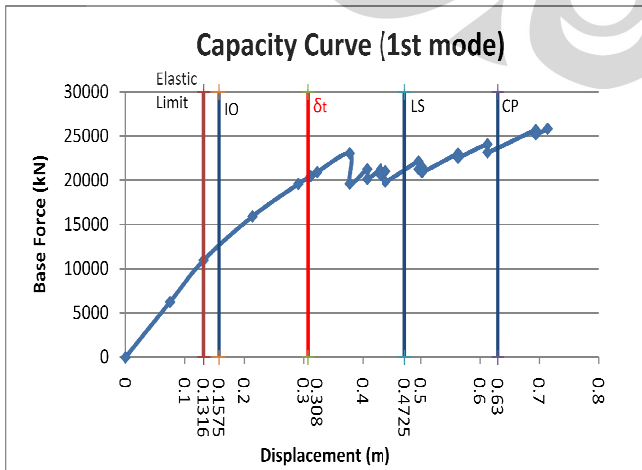
F. EBF TIPE SPLIT-V ; Panjang Link (e) = 1,2 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
1	0.075	6251.75	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
2	0.1316	10972.8613	2224	32	0	0	0	0	0	0	2256
3	0.214	15912.3525	2100	156	0	0	0	0	0	0	2256
4	0.2912	19582.8848	2046	138	72	0	0	0	0	0	2256
5	0.3117	20467.3516	2007	165	84	0	0	0	0	0	2256
6	0.323	20929.0254	2001	171	84	0	0	0	0	0	2256
7	0.3778	23057.8633	1951	197	88	16	0	4	0	0	2256
8	0.3778	19633.3477	1927	221	76	16	0	0	0	16	2256
9	0.4073	21273.3047	1920	228	76	12	0	4	0	16	2256
10	0.4073	20142.9844	1920	228	76	12	0	0	0	20	2256
... sebagian sengaja dihapus ...											
19	0.5631	23022.6445	1874	228	102	4	0	4	0	44	2256
20	0.5631	22547.0879	1872	227	105	4	0	0	0	48	2256
21	0.6125	24075.7871	1838	235	127	4	0	4	0	48	2256
22	0.6125	23170.3281	1827	246	123	4	0	0	0	56	2256
23	0.6941	25685.3965	1786	256	148	6	0	4	0	56	2256
24	0.6941	25206.4336	1775	266	147	8	0	0	0	60	2256
25	0.7139	25854.1914	1774	259	153	6	0	4	0	60	2256

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
1	0.075	8296.3115	2256	0	0	0	0	0	0	0	2256
2	0.1013	11210.5713	2240	16	0	0	0	0	0	0	2256
3	0.1817	17880.7715	2140	112	4	0	0	0	0	0	2256
4	0.2598	22775.6563	2054	142	56	4	0	0	0	0	2256
5	0.2843	24117.6211	2044	148	52	8	0	4	0	0	2256
6	0.2843	21448.5723	2038	146	56	8	0	0	0	8	2256
7	0.3069	23152.6309	2026	158	48	12	0	4	0	8	2256
8	0.3069	21480.1289	2017	167	48	8	0	0	0	16	2256
9	0.3174	22121.7031	2015	169	48	4	0	4	0	16	2256
10	0.3174	20749.9863	2015	169	48	4	0	0	0	20	2256
... sebagian sengaja dihapus ...											
17	0.5164	27353.168	1909	188	111	8	0	4	0	36	2256
18	0.5163	26203.7949	1901	196	111	4	0	0	0	44	2256
19	0.5885	29225.9961	1893	181	134	0	0	4	0	44	2256
20	0.5885	28628.6367	1889	182	137	0	0	0	0	48	2256
21	0.7112	33215.5547	1844	195	157	8	0	4	0	48	2256
22	0.7108	32069.7324	1833	206	157	4	0	0	0	56	2256
23	0.7907	35189.0391	1825	200	171	0	0	4	0	56	2256



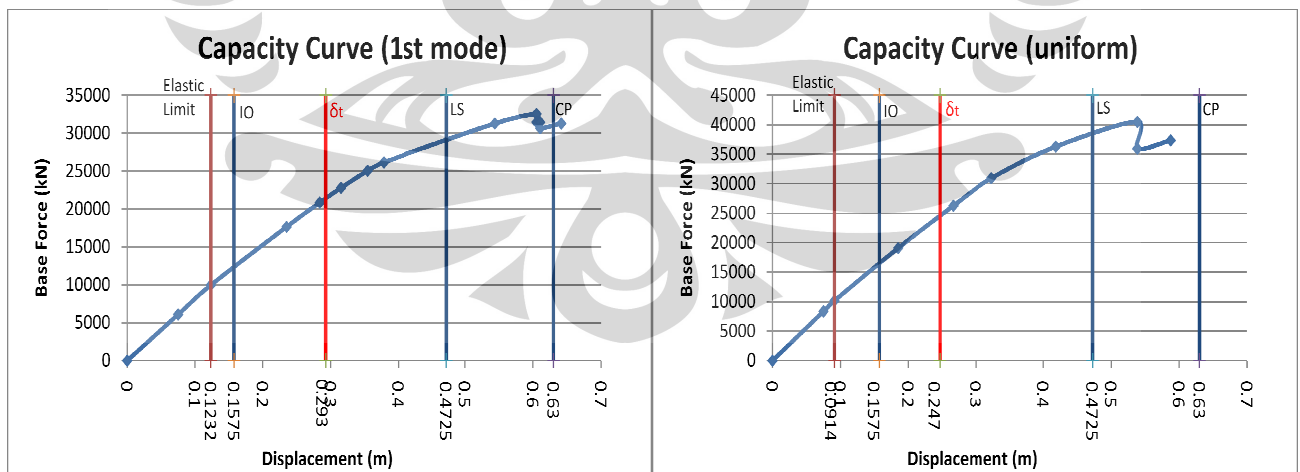
G. EBF TIPE V ; Panjang Link (e) = 0,7 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
1	0.075	6068.7231	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
2	0.1232	9965.4004	2812	20	0	0	0	0	0	0	2832
3	0.235	17660.2695	2584	248	0	0	0	0	0	0	2832
4	0.284	20835.4355	2492	320	20	0	0	0	0	0	2832
5	0.3153	22777.4434	2467	317	48	0	0	0	0	0	2832
6	0.3546	25044.1504	2371	393	68	0	0	0	0	0	2832
7	0.3785	26139.8027	2323	369	140	0	0	0	0	0	2832
8	0.5438	31292.5371	2178	388	264	2	0	0	0	0	2832
9	0.605	32537.3516	2115	423	282	10	0	2	0	0	2832
10	0.605	31446.0098	2111	425	284	8	0	0	2	2	2832
11	0.6074	31508.834	2111	425	284	6	0	2	2	2	2832
12	0.6074	31364.2539	2111	425	284	6	0	0	4	2	2832
13	0.6104	31442.0703	2111	423	286	4	0	2	4	2	2832
14	0.6104	30652.0469	2107	427	286	4	0	0	2	6	2832
15	0.6415	31277.0215	2085	443	292	2	0	2	2	6	2832

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
1	0.075	8339.2451	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
2	0.0914	10163.0352	2812	20	0	0	0	0	0	0	2832
3	0.1849	19102.0605	2652	180	0	0	0	0	0	0	2832
4	0.2664	26275.375	2542	242	48	0	0	0	0	0	2832
5	0.3234	30920.4707	2451	257	124	0	0	0	0	0	2832
6	0.4185	36312.1758	2343	293	196	0	0	0	0	0	2832
7	0.5385	40494.9414	2220	380	214	14	0	4	0	0	2832
8	0.5385	35964.5391	2220	376	218	10	0	0	2	6	2832
9	0.5878	37362.3242	2185	399	222	14	0	4	2	6	2832



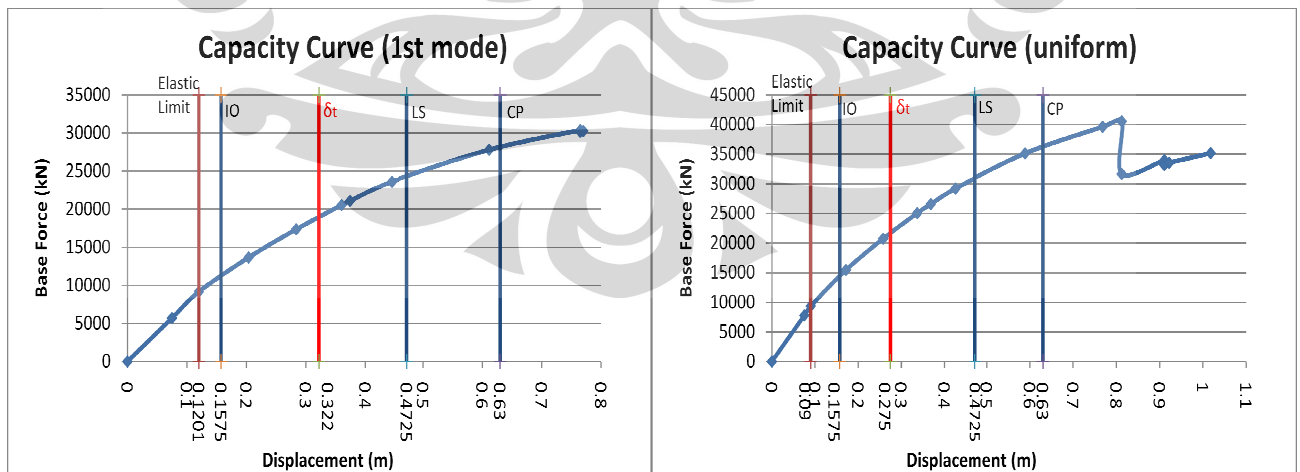
H. EBF TIPE V ; Panjang Link (e) = 0,9 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
1	0.075	5714.4502	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
2	0.1201	9147.5508	2812	20	0	0	0	0	0	0	2832
3	0.2039	13657.3271	2592	240	0	0	0	0	0	0	2832
4	0.2839	17351.1211	2562	210	60	0	0	0	0	0	2832
5	0.3601	20537.7461	2450	222	160	0	0	0	0	0	2832
6	0.3745	21085.8965	2423	245	164	0	0	0	0	0	2832
7	0.4448	23567.9043	2326	294	212	0	0	0	0	0	2832
8	0.6114	27768.7012	2154	381	297	0	0	0	0	0	2832
9	0.765	30337.7227	2088	338	392	14	0	0	0	0	2832
10	0.7649	30140.2051	2088	336	392	16	0	0	0	0	2832
11	0.77	30254.1895	2084	338	394	16	0	0	0	0	2832

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
1	0.075	7787.4048	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
2	0.09	9339.9121	2812	20	0	0	0	0	0	0	2832
3	0.172	15422.834	2672	152	8	0	0	0	0	0	2832
4	0.2579	20724.0176	2593	159	80	0	0	0	0	0	2832
5	0.337	25007.8047	2501	211	120	0	0	0	0	0	2832
6	0.3685	26562.9668	2450	242	140	0	0	0	0	0	2832
7	0.4259	29170.4863	2390	274	168	0	0	0	0	0	2832
8	0.5891	35125.2031	2263	273	296	0	0	0	0	0	2832
9	0.7683	39591.6914	2182	224	414	12	0	0	0	0	2832
10	0.8125	40516.1289	2152	231	429	16	0	4	0	0	2832
11	0.8125	31619.3047	2140	222	450	12	0	0	0	8	2832
12	0.9111	33984.2148	2114	222	470	16	0	2	0	8	2832
13	0.9111	33138.2734	2114	222	470	14	0	0	0	12	2832
14	0.9222	33536.8633	2114	222	470	14	0	0	0	12	2832
15	1.0181	35138.4609	2080	226	496	16	0	2	0	12	2832



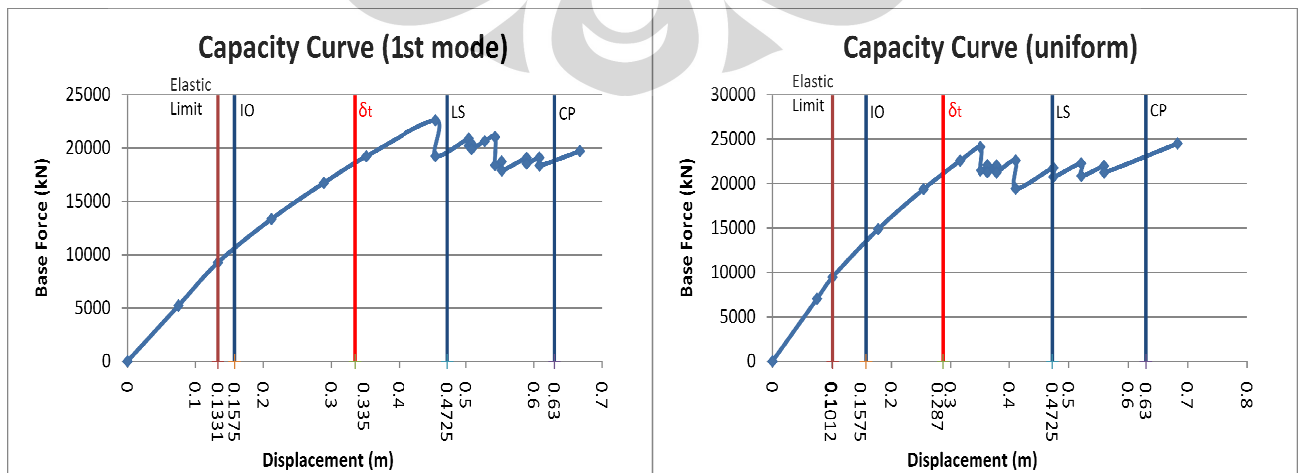
I. EBF TIPE V ; Panjang Link (e) = 1,2 m

TABLE: Pushover Curve - Case LATPUSH-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
1	0.075	5213.3828	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
2	0.1331	9254.4238	2812	20	0	0	0	0	0	0	2832
3	0.2118	13332.9238	2644	188	0	0	0	0	0	0	2832
4	0.2888	16711.291	2583	205	44	0	0	0	0	0	2832
5	0.3514	19201.9141	2484	252	96	0	0	0	0	0	2832
6	0.4551	22594.5723	2339	345	124	20	0	4	0	0	2832
7	0.4551	19232.4688	2318	350	140	8	0	0	0	16	2832
8	0.5042	20870.5977	2302	347	149	14	0	4	0	16	2832
9	0.5042	20203.0977	2302	343	153	14	0	0	0	20	2832
10	0.5085	20381.3984	2302	343	151	12	0	4	0	20	2832
... sebagian sengaja dihapus ...											
15	0.5526	18726.0391	2263	353	172	8	0	4	0	32	2832
16	0.5527	17893.5625	2263	344	181	8	0	0	0	36	2832
17	0.5892	19059.7715	2259	332	197	6	0	2	0	36	2832
18	0.5892	18534.2813	2259	328	199	6	0	0	0	40	2832
19	0.6079	19082.9355	2255	328	203	4	0	2	0	40	2832
20	0.6081	18345.0371	2255	326	205	2	0	0	0	44	2832
21	0.6676	19699.1797	2245	332	203	6	0	2	0	44	2832

TABLE: Pushover Curve - Case PUSHUNIFORM-X

Step	Displacement m	Base Force kN	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0	0	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
1	0.075	7018.2744	2832	0	0	0	0	0	0	0	2832
2	0.1012	9466.0107	2812	20	0	0	0	0	0	0	2832
3	0.1778	14865.4746	2700	132	0	0	0	0	0	0	2832
4	0.254	19350.9238	2633	139	60	0	0	0	0	0	2832
5	0.3158	22545.9395	2523	229	80	0	0	0	0	0	2832
6	0.3512	24115.5781	2482	250	88	8	0	4	0	0	2832
7	0.3512	21479.6445	2474	250	96	4	0	0	0	8	2832
8	0.363	22049.0469	2470	254	92	4	0	4	0	8	2832
9	0.363	21255.0156	2466	254	96	4	0	0	0	12	2832
10	0.3786	22013.127	2466	249	97	4	0	4	0	12	2832
... sebagian sengaja dihapus ...											
14	0.4744	21770.7617	2415	239	146	4	0	4	0	24	2832
15	0.4744	20720.5605	2415	239	146	4	0	0	0	28	2832
16	0.5211	22272.7949	2413	231	152	0	0	8	0	28	2832
17	0.5212	20838.4629	2409	210	177	0	0	0	0	36	2832
18	0.5595	21953.2207	2403	214	175	2	0	2	0	36	2832
19	0.5596	21230.1094	2401	210	181	0	0	0	0	40	2832
20	0.6831	24499.2617	2331	253	196	8	0	4	0	40	2832



LAMPIRAN 4.06 Pengecekan Panjang Link

Klasifikasi panjang link (e) untuk profil W berdasarkan AISC 2005 Seismic Provision dinyatakan sebagai berikut:

- Link pendek (*Shear yielding link*):

$$e \leq 1.6 \frac{M_p}{V_p} \quad \gamma_p = 0,08 \text{ radian}$$

- Link panjang (*Flexural yielding link*):

$$e \geq 2.6 \frac{M_p}{V_p} \quad \gamma_p = 0,02 \text{ radian}$$

- Link menengah (*kombinasi Shear dan Flexural yielding*):

$$1.6 \frac{M_p}{V_p} < e < 2.6 \frac{M_p}{V_p} \quad \gamma_p = \text{interpolasi antara } 0,08 \text{ dan } 0,02 \text{ radian}$$

Hasil pengecekan panjang link model struktur untuk tiap ketinggian ditunjukkan oleh tabel berikut:

4.06.1 Gedung EBF 5 Lantai

Section Properties Balok Link

Profil	d(in)	tf (in)	tw (in)	Z _x (in ³)	Z _y	F _y (ksi)	A	bf	I _x	bf/(2*tf)	h/tw
W18X65	18.4	0.75	0.45	133	22.5	50	19.1	7.590	1070	5.06	35.7
W16X57	16.4	0.715	0.43	105	18.9	50	16.8	7.12	758	4.98	33.0
W16X45	16.1	0.565	0.345	82.3	14.5	50	13.3	7.04	586	6.23	41.1
W16X36	15.9	0.43	0.295	64	10.8	50	10.6	6.99	448	8.12	48.1
W12X26	12.2	0.38	0.23	37.2	8.17	50	7.65	6.49	204	8.54	47.2

Kategori Panjang Link

Kategori Panjang Link				upper limit link pendek	lower limit link panjang	Compactness				Klasifikasi
M _p	V _p	M _p /V _p (in)	M _p /V _p (m)	1.6xM _p /V _p	2.6xM _p /V _p	Flange		Web		
						λ	λ _p	λ	λ _p	
6650	228.15	29.1475	0.7403	1.1623	1.9249	5.06	9.152	35.7	90.553	Compact
5250	193.11	27.1862	0.6905	1.1048	1.7954	4.98	9.152	33	90.553	Compact
4115	154.94	26.5588	0.6746	1.0793	1.7539	6.23	9.152	41.1	90.553	Compact
3200	133.1	24.0414	0.6107	0.9770	1.5877	8.12	9.152	48.1	90.553	Compact
1860	78.936	23.5634	0.5985	0.9576	1.5561	8.54	9.152	47.2	90.553	Compact
limit e				0.9576	1.9249					

4.06.2 Gedung EBF 7 Lantai

Section Properties Balok Link

Profil	d(in)	tf (in)	tw (in)	Zx(in ³)	Zy	Fy(ksi)	A	bf	Ix	bf/(2*tf)	h/tw
W18X65	18.4	0.75	0.45	133	22.5	50	19.1	7.590	1070	5.06	35.7
W18X55	18.1	0.63	0.39	112	18.5	50	16.2	7.53	890	5.98	41.1
W18X50	18	0.57	0.355	101	16.6	50	14.7	7.50	800	6.57	45.2
W16X50	16.3	0.63	0.38	92	16.3	50	14.7	7.07	659	5.61	37.4
W16X36	15.9	0.43	0.295	64	10.8	50	10.6	6.99	448	8.12	48.1
W16X31	15.9	0.44	0.275	54	7.03	50	9.13	5.53	375	6.28	51.6
W12X26	12.2	0.38	0.23	37.2	8.17	50	7.65	6.49	204	8.54	47.2

Kategori Panjang Link

Kategori Panjang Link				upper limit link pendek	lower limit link panjang	Compactness				Klasifikasi
Mp	Vp	Mp/Vp (in)	Mp/Vp (m)	1.6xMp/Vp	2.6xMp/Vp	Flange		Web		
						λ	λ_p	λ	λ_p	
6650	228.15	29.1475	0.7403	1.1623	1.9249	5.06	9.152	35.7	90.553	Compact
5600	197.03	28.4224	0.7219	1.1551	1.8770	5.98	9.152	41.1	90.553	Compact
5050	179.56	28.1245	0.7144	1.1430	1.8573	6.57	9.152	45.2	90.553	Compact
4600	171.46	26.8290	0.6815	1.0903	1.7718	5.61	9.152	37.4	90.553	Compact
3200	133.1	24.0414	0.6107	0.9770	1.5877	8.12	9.152	48.1	90.553	Compact
2700	123.92	21.7891	0.5534	0.9021	1.4390	6.28	9.152	51.6	90.553	Compact
1860	78.936	23.5634	0.5985	0.9576	1.5561	8.54	9.152	47.2	90.553	Compact
limit e				0.9021	1.9249					

4.06.3 Gedung EBF 9 Lantai

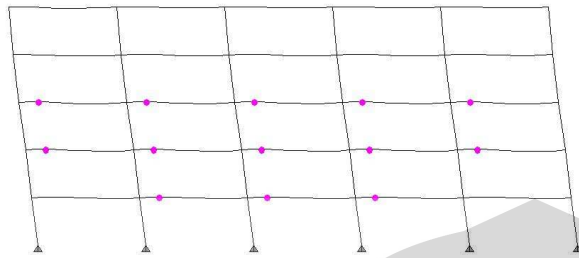
Section Properties Balok Link

Profil	d(in)	tf (in)	tw (in)	Zx(in ³)	Zy	Fy(ksi)	A	bf	Ix	bf/(2*tf)	h/tw
W18X65	18.4	0.75	0.45	133	22.5	50	19.1	7.590	1070	5.06	35.7
W18X50	18	0.57	0.355	101	16.6	50	14.7	7.50	800	6.57	45.2
W16X45	16.1	0.565	0.345	82.3	14.5	50	13.3	7.04	586	6.23	41.1
W16X36	15.9	0.43	0.295	64	10.8	50	10.6	6.99	448	8.12	48.1
W16X31	15.9	0.44	0.275	54	7.03	50	9.13	5.53	375	6.28	51.6
W12X26	12.2	0.38	0.23	37.2	8.17	50	7.65	6.49	204	8.54	47.2

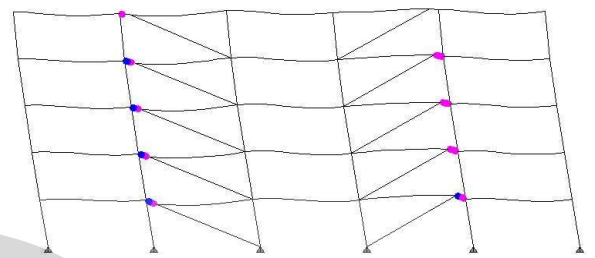
Kategori Panjang Link

Kategori Panjang Link				upper limit link pendek	lower limit link panjang	Compactness				Klasifikasi
Mp	Vp	Mp/Vp (in)	Mp/Vp (m)	1.6xMp/Vp	2.6xMp/Vp	Flange		Web		
						λ	λ_p	λ	λ_p	
6650	228.15	29.1475	0.7403	1.1846	1.9249	5.06	9.152	35.7	90.553	Compact
5050	179.56	28.1245	0.7144	1.1430	1.8573	6.57	9.152	45.2	90.553	Compact
4115	154.94	26.5588	0.6746	1.0793	1.7539	6.23	9.152	41.1	90.553	Compact
3200	133.1	24.0414	0.6107	0.9770	1.5877	8.12	9.152	48.1	90.553	Compact
2700	123.92	21.7891	0.5534	0.9021	1.4390	6.28	9.152	51.6	90.553	Compact
1860	78.936	23.5634	0.5985	0.9576	1.5561	8.54	9.152	47.2	90.553	Compact
limit e				0.9021	1.9249					

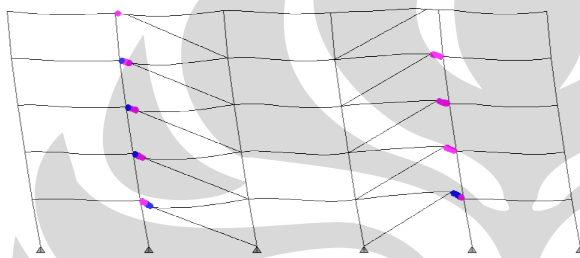
**LAMPIRAN 4.07 LOKASI PEMBENTUKAN SENDI PLASTIS
STRUKTUR GEDUNG 5 LANTAI (KONDISI TITIK KINERJA)**



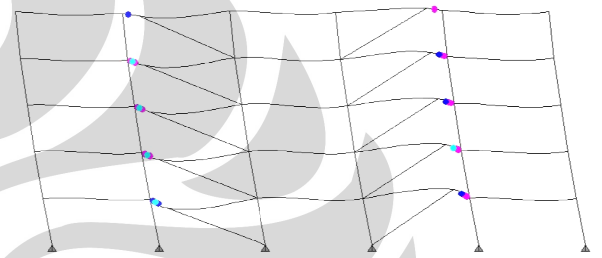
MRF



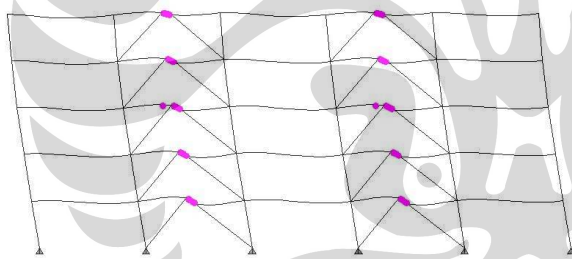
TIPE D e1



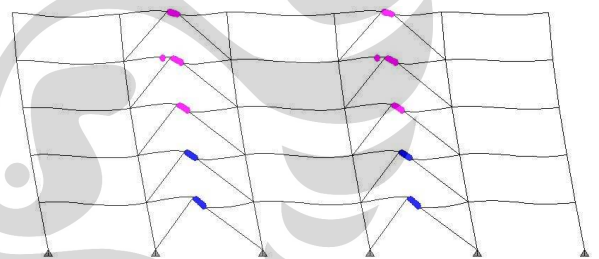
TIPE D e2



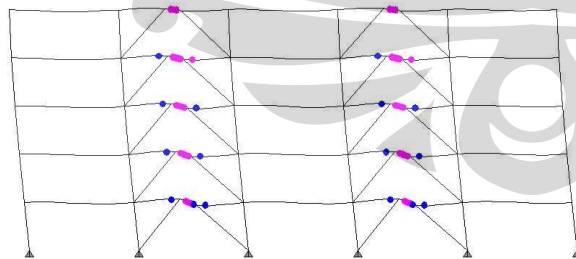
TIPE D e3



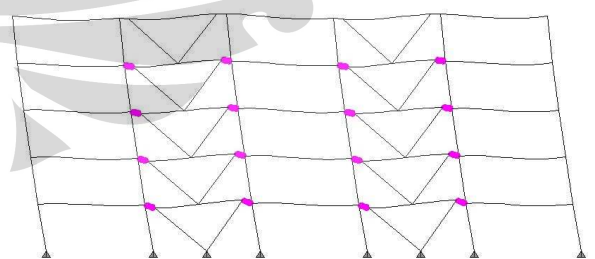
TIPE SPLIT-V e1



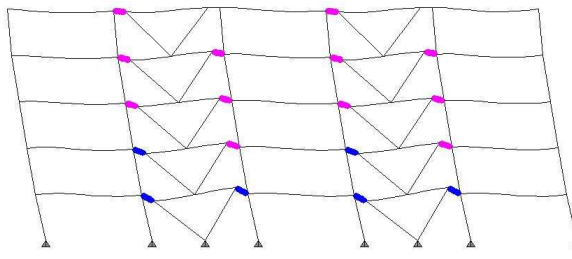
TIPE SPLIT-V e2



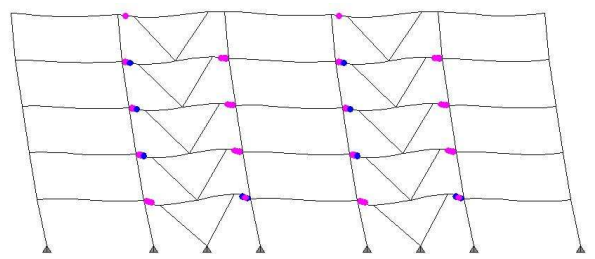
TIPE SPLIT-V e3



TIPE V e1

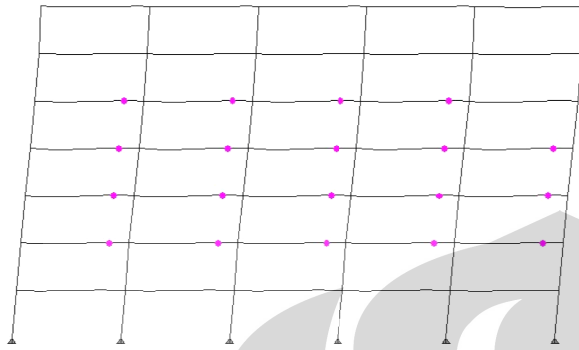


TIPE V e2

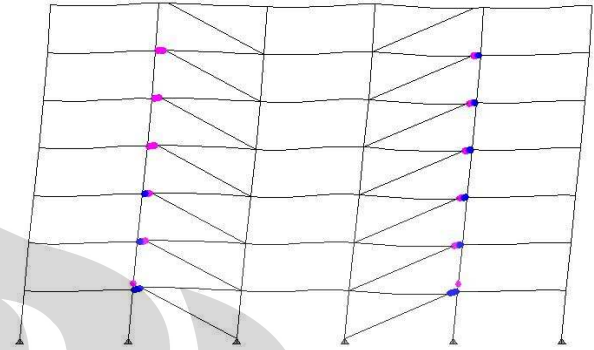


TIPE V e3

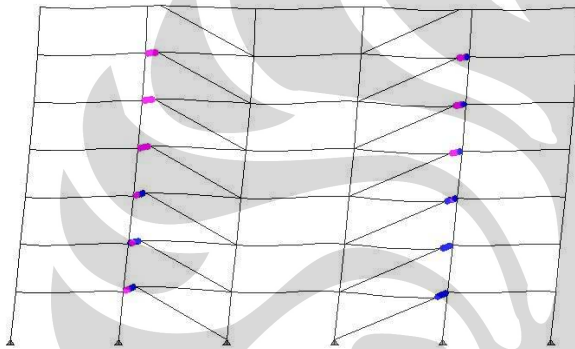
LAMPIRAN 4.08 LOKASI PEMBENTUKAN SENDI PLASTIS STRUKTUR GEDUNG 7 LANTAI (KONDISI TITIK KINERJA)



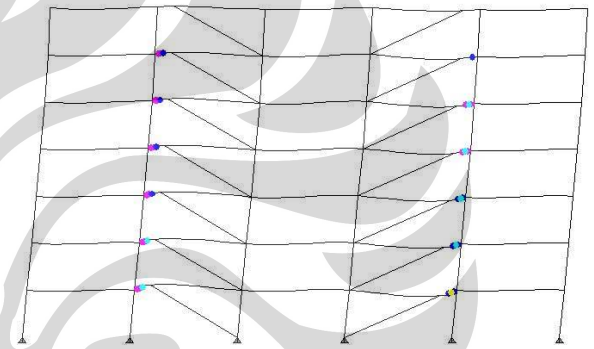
MRF



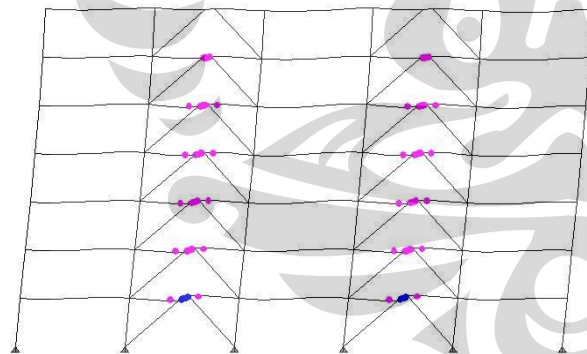
TIPE D e1



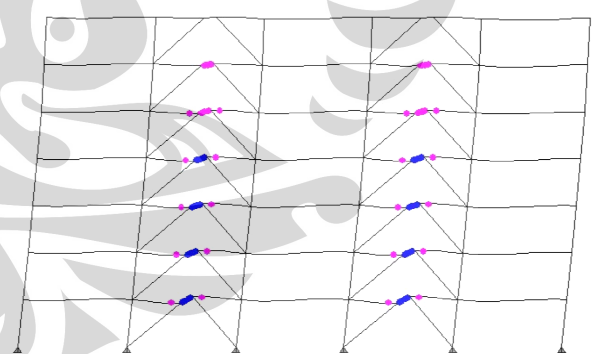
TIPE D e2



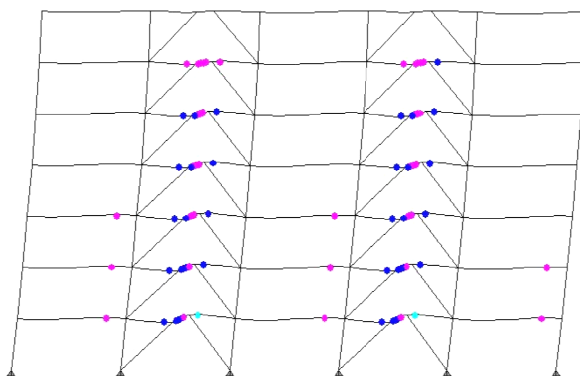
TIPE D e3



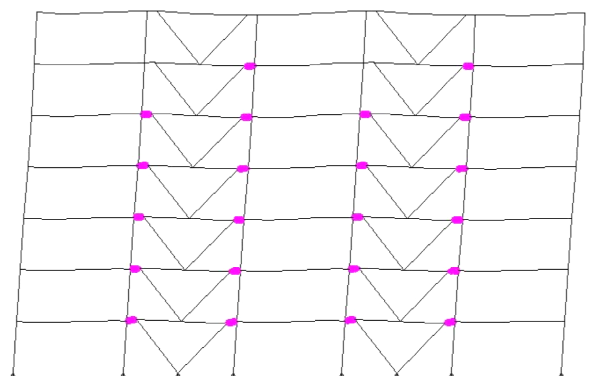
TIPE SPLIT-V e1



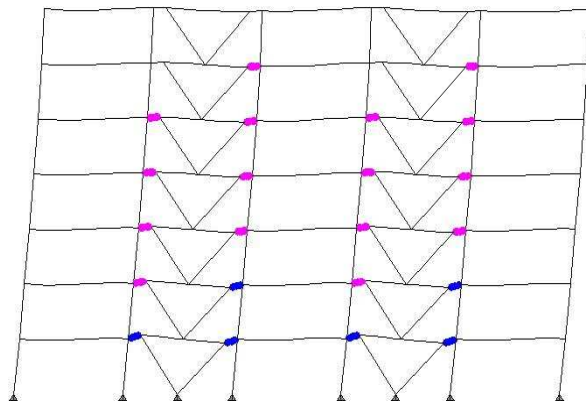
TIPE SPLIT-V e2



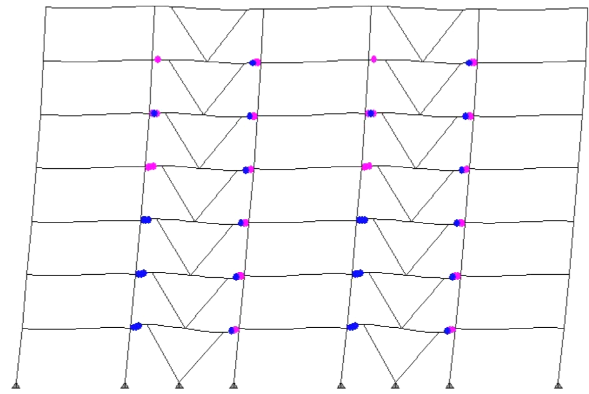
TIPE SPLIT-V e3



TIPE V e1

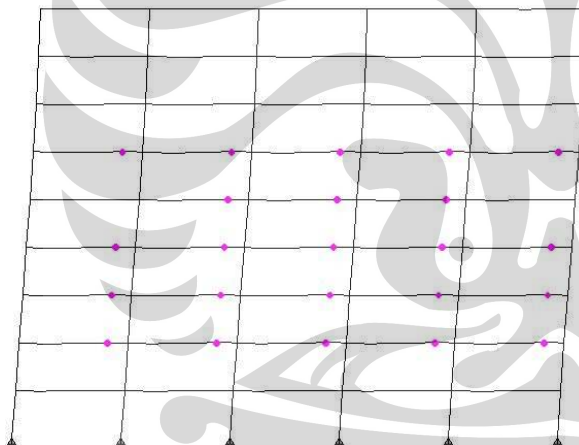


TIPE V e2

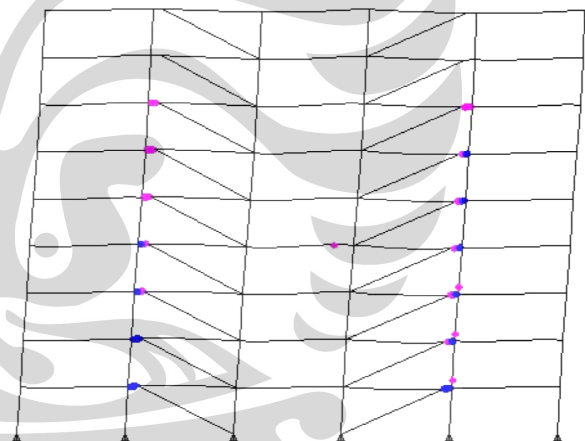


TIPE V e3

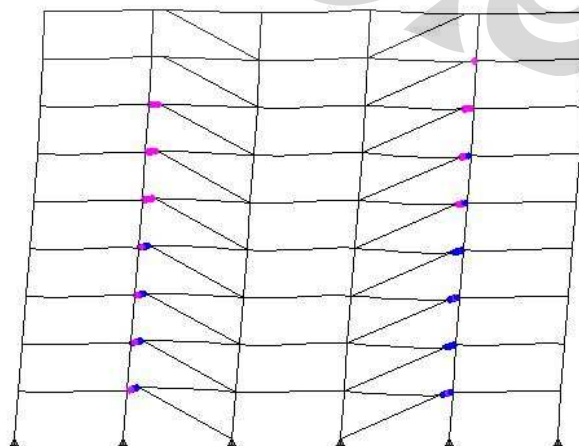
LAMPIRAN 4.09 LOKASI PEMBENTUKAN SENDI PLASTIS STRUKTUR GEDUNG 9 LANTAI (KONDISI TITIK KINERJA)



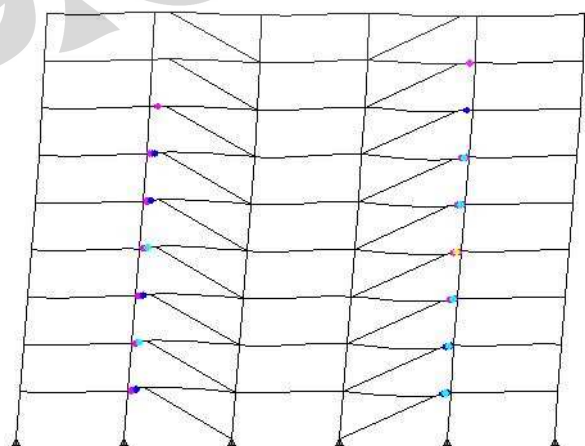
MRF



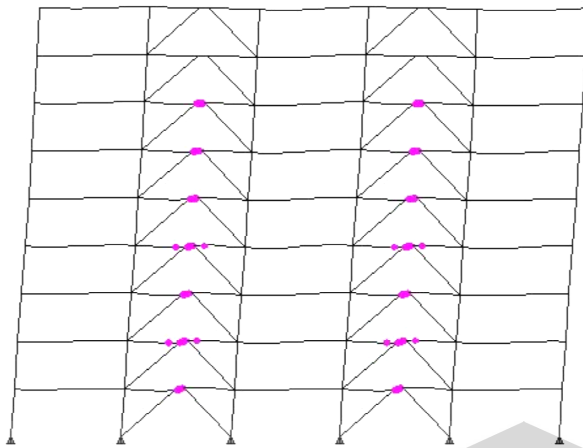
TIPE D e1



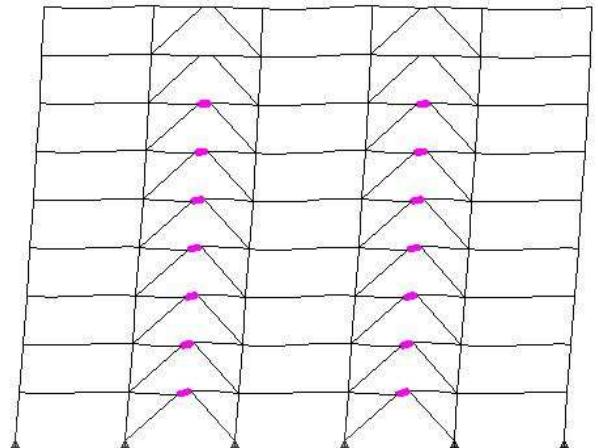
TIPE D e2



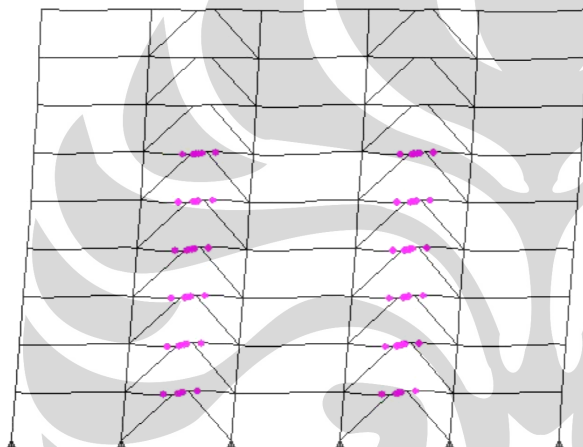
TIPE D e3



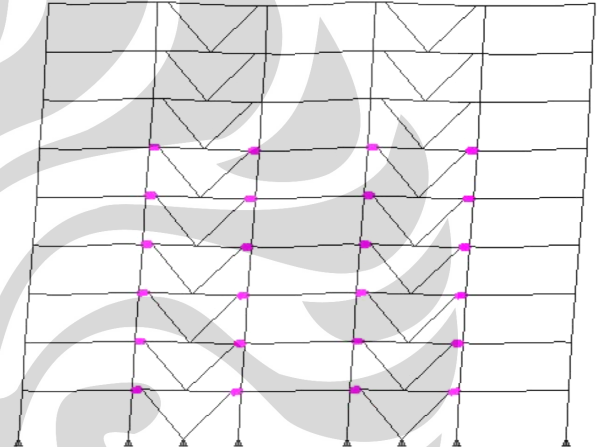
TIPE SPLIT-V e1



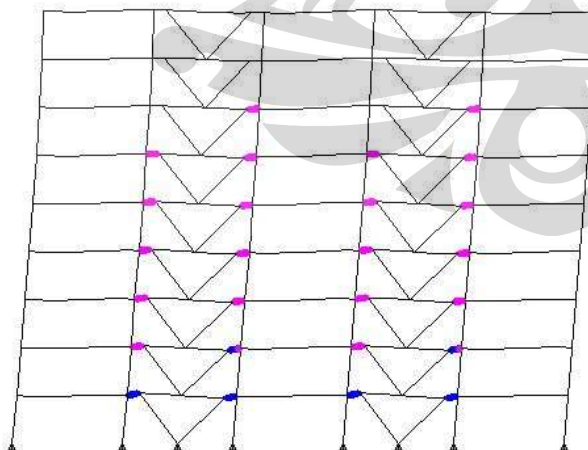
TIPE SPLIT-V e2



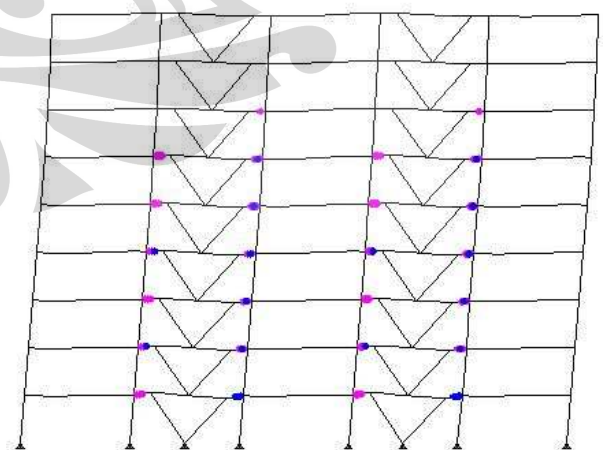
TIPE SPLIT-V e3



TIPE V e1

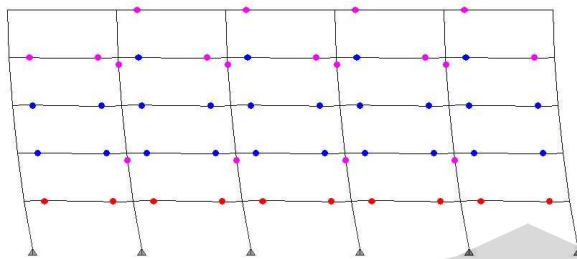


TIPE V e2

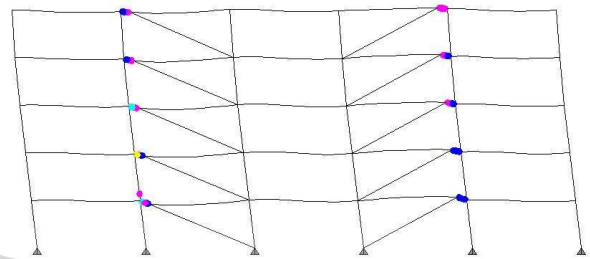


TIPE V e3

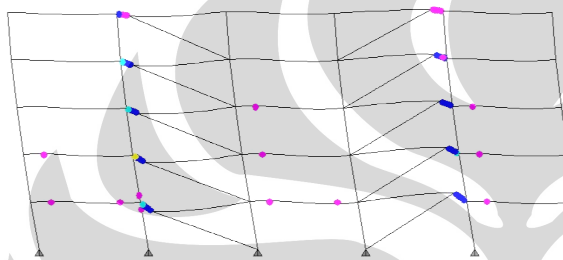
LAMPIRAN 4.10 LOKASI PEMBENTUKAN SENDI PLASTIS
STRUKTUR GEDUNG 5 LANTAI (KONDISI ULTIMIT)



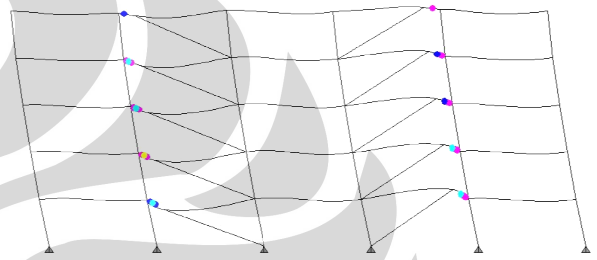
MRF



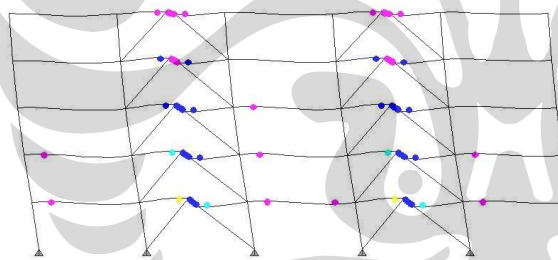
TIPE D e1



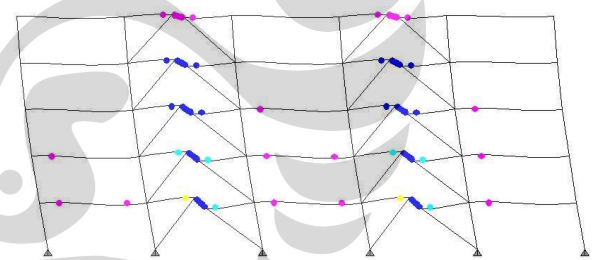
TIPE D e2



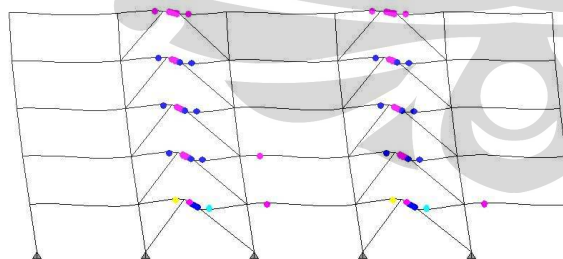
TIPE D e3



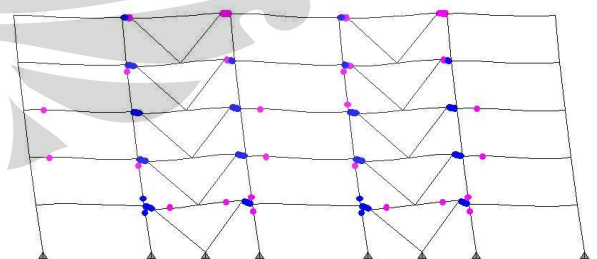
TIPE SPLIT-V e1



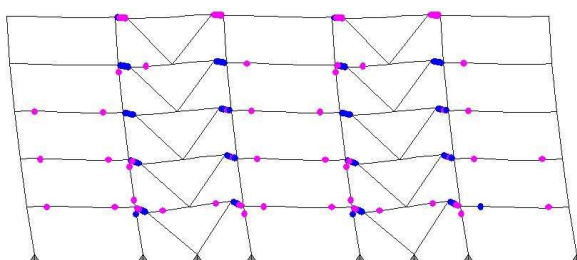
TIPE SPLIT-V e2



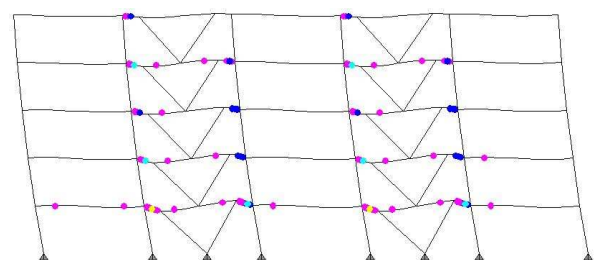
TIPE SPLIT-V e3



TIPE V e1

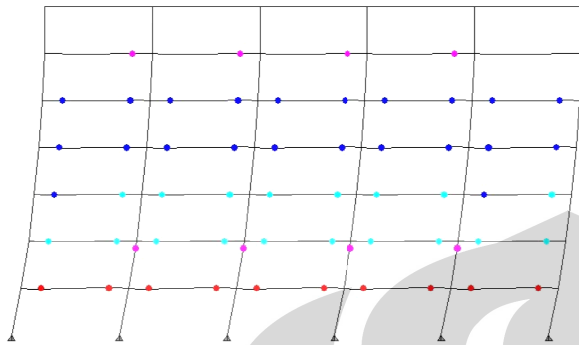


TIPE V e2

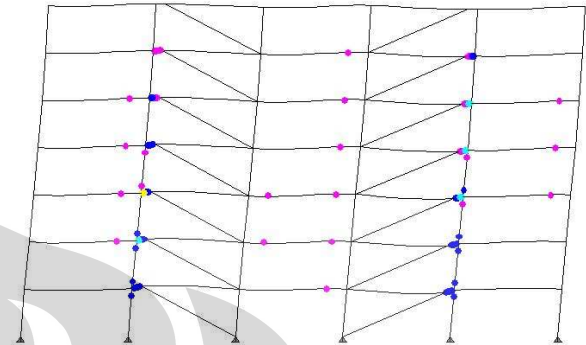


TIPE V e3

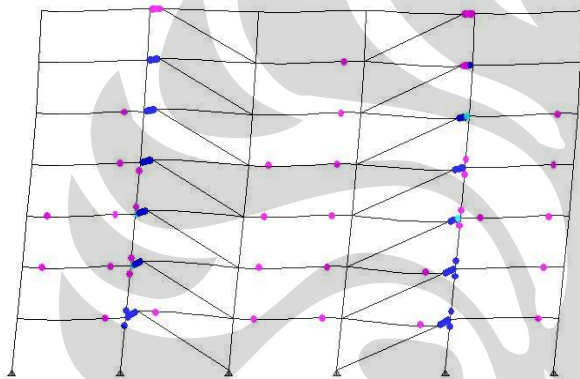
**LAMPIRAN 4.11 LOKASI PEMBENTUKAN SENDI PLASTIS
STRUKTUR GEDUNG 7 LANTAI (KONDISI ULTIMIT)**



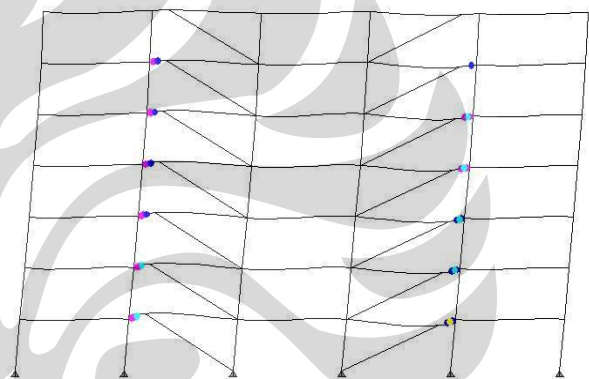
MRF



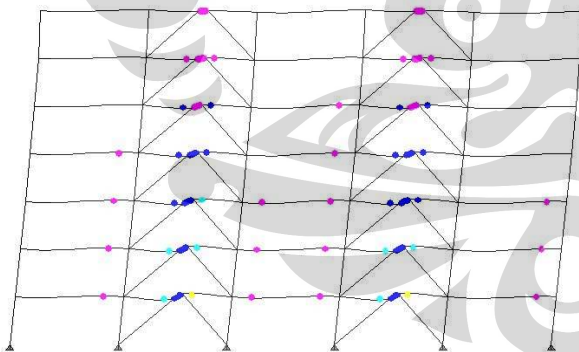
TIPE D e1



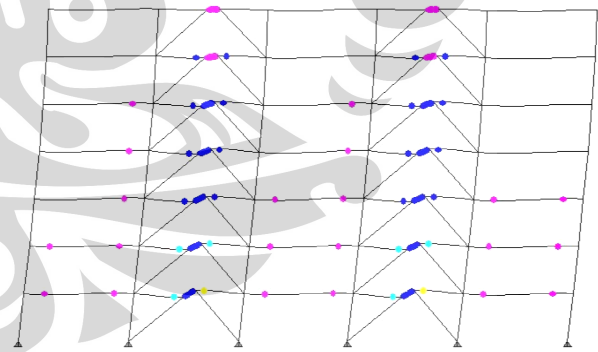
TIPE D e2



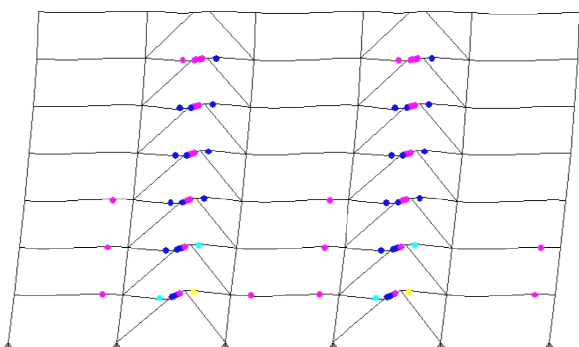
TIPE D e3



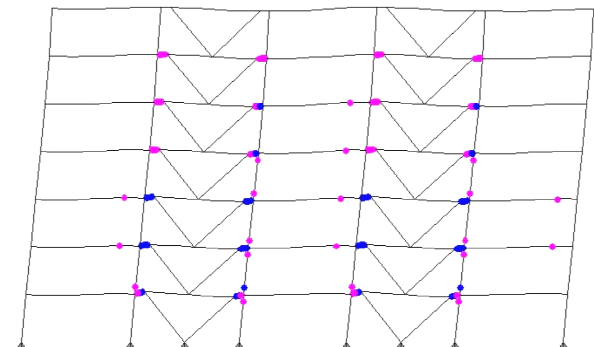
TIPE SPLIT-V e1



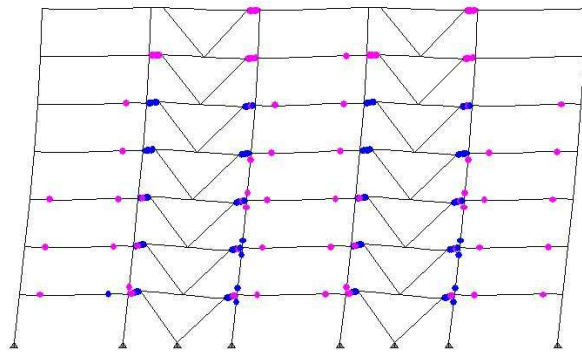
TIPE SPLIT-V e2



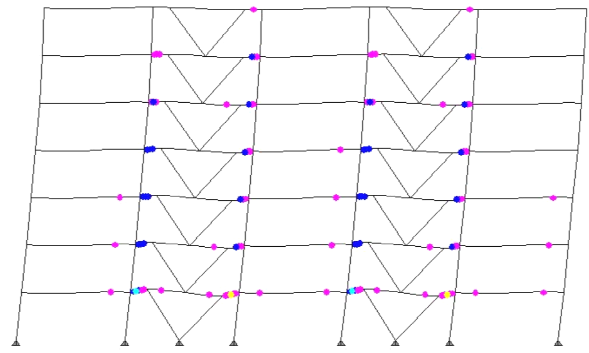
TIPE SPLIT-V e3



TIPE V e1

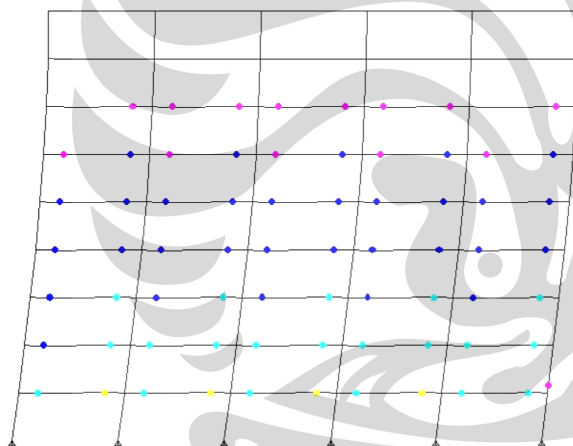


TIPE V e2

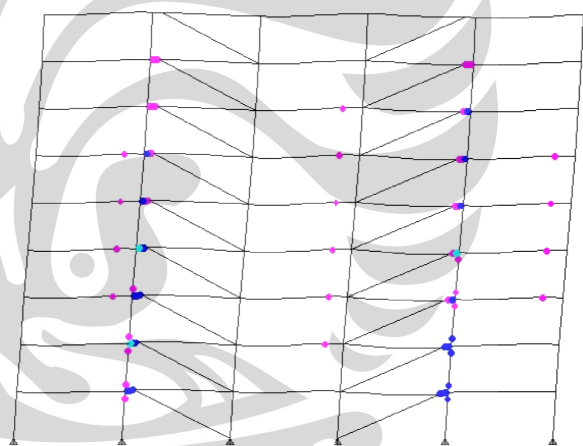


TIPE V e3

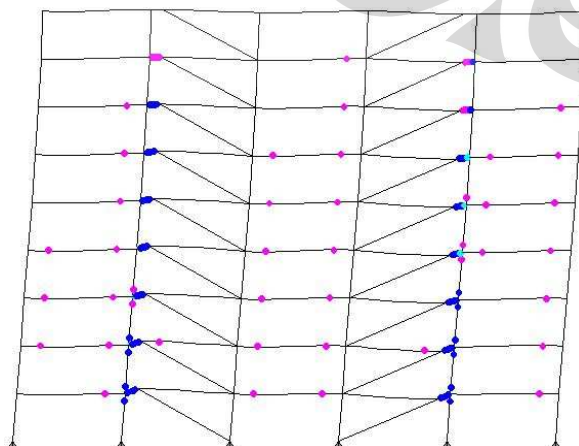
**LAMPIRAN 4.12 LOKASI PEMBENTUKAN SENDI PLASTIS
STRUKTUR GEDUNG 9 LANTAI (KONDISI ULTIMIT)**



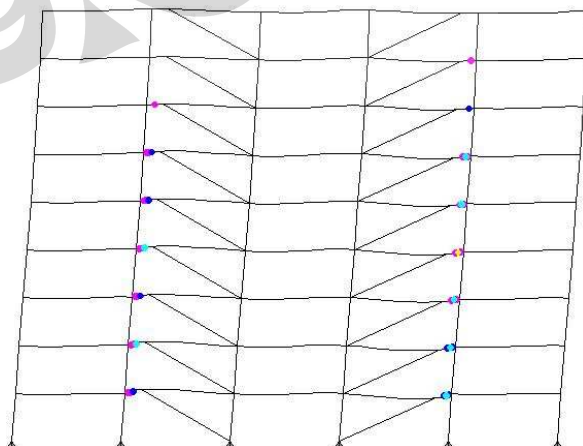
MRF



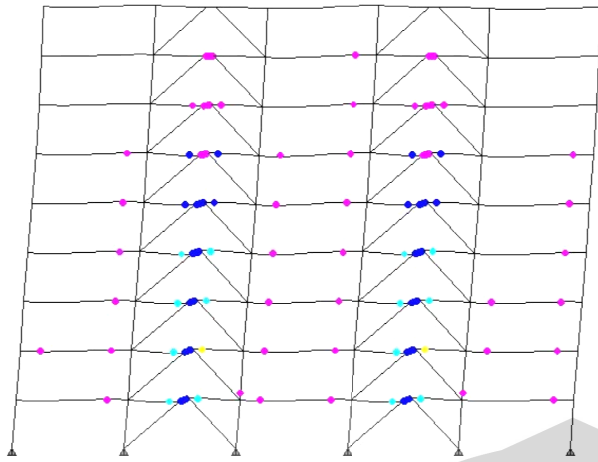
TIPE D e1



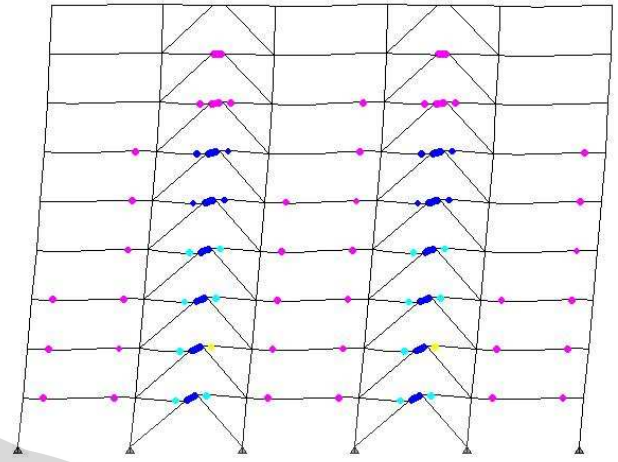
TIPE D e2



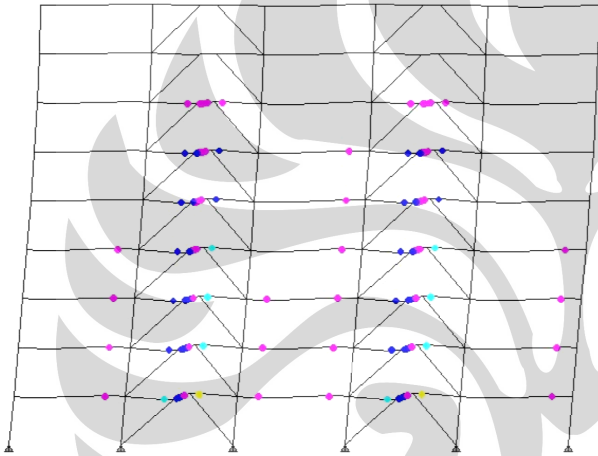
TIPE D e3



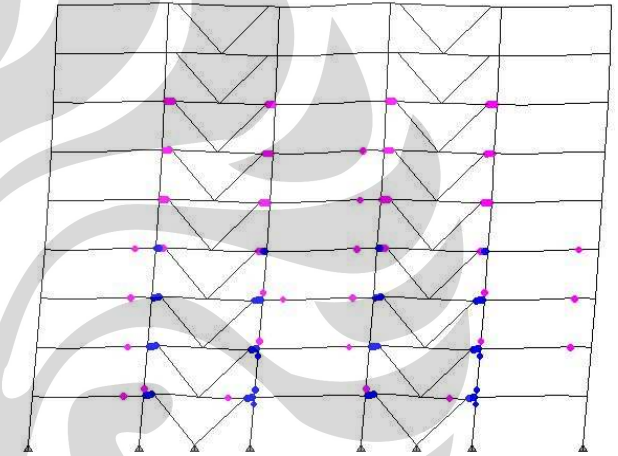
TIPE SPLIT-V e1



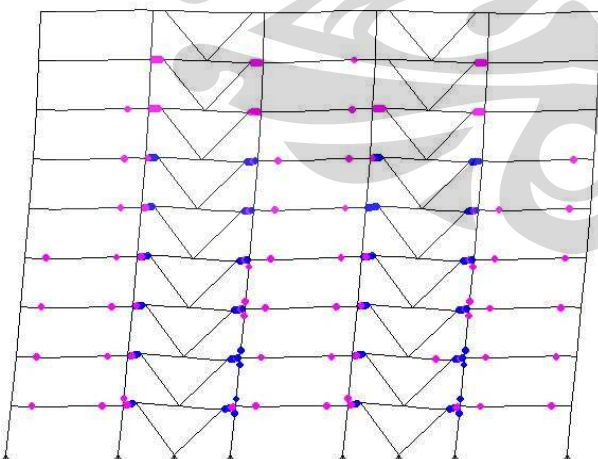
TIPE SPLIT-V e2



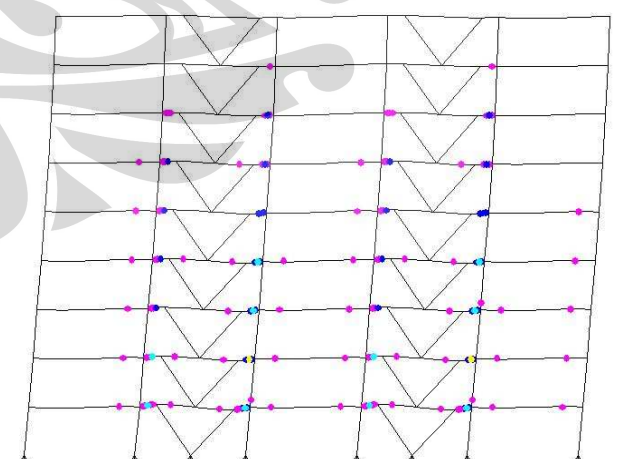
TIPE SPLIT-V e3



TIPE V e1

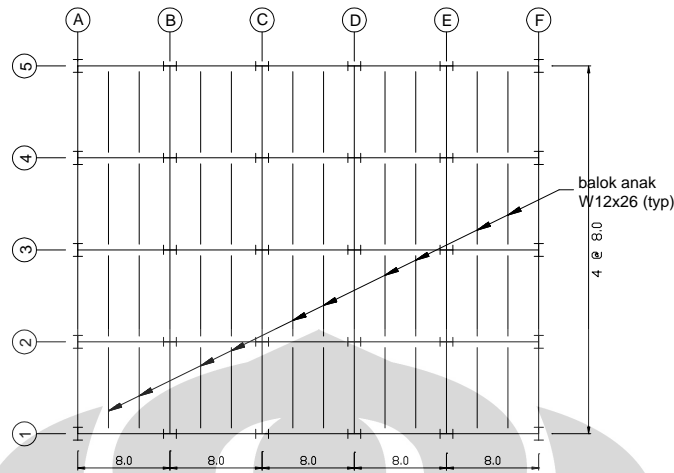


TIPE V e2



TIPE V e3

LAMPIRAN 4.13 PROFIL TERPAKAI MODEL STRUKTUR MRF



A. MRF 5 LANTAI

Story	Beams				Columns			
	Edge Frames		Interior Frames		Elev 1 & 5		Elev 2 - 4	
	Elev 1 & 5	Elev A & F	Elev 2 - 4	Elev B - E	Pinggir	Tengah	Pinggir	Tengah
5	W14X26	W18X40	W18X35	W18X50	W14X82	W14X68	W14X99	W14X74
4	W16X31	W21X57	W18X50	W21X55	W14X82	W14X82	W14X99	W14X120
3	W16X31	W21X62	W18X50	W21X55	W14X145	W14X120	W14X176	W14X211
2	W16X50	W21X62	W18X50	W21X55	W14X145	W14X120	W14X176	W14X211
1	W24X84	W27X146	W24X94	W24X117	W14X283	W14X283	W14X283	W14X283

B. MRF 7 LANTAI

Story	Beams				Columns			
	Edge Frames		Interior Frames		Elev 1 & 5		Elev 2 - 4	
	Elev 1 & 5	Elev A & F	Elev 2 - 4	Elev B - E	Pinggir	Tengah	Pinggir	Tengah
7	W14X26	W18X35	W18X35	W18X50	W14X68	W14X68	W14X90	W14X68
6	W16X31	W18X50	W18X50	W18X60	W14X68	W14X74	W14X90	W14X99
5	W16X31	W18X65	W18X50	W18X60	W14X109	W14X109	W14X132	W14X159
4	W16X31	W18X65	W18X50	W18X60	W14X109	W14X109	W14X132	W14X159
3	W21X48	W21X73	W21X50	W21X62	W14X176	W14X145	W14X211	W14X211
2	W21X48	W21X73	W21X50	W21X62	W14X176	W14X145	W14X211	W14X211
1	W24X94	W27X146	W24X103	W24X117	W14X311	W14X283	W14X311	W14X283

C. MRF 9 LANTAI

Story	Beams				Columns			
	Edge Frames		Interior Frames		Elev 1 & 5		Elev 2 - 4	
	Elev 1 & 5	Elev A & F	Elev 2 - 4	Elev B - E	Pinggir	Tengah	Pinggir	Tengah
9	W14X26	W14X26	W18X35	W18X50	W14X74	W14X68	W14X99	W14X68
8	W16X26	W18X55	W18X50	W18X60	W14X74	W14X68	W14X99	W14X82
7	W16X26	W18X65	W18X50	W18X60	W14X99	W14X99	W14X109	W14X132
6	W16X26	W18X65	W18X50	W18X60	W14X99	W14X99	W14X109	W14X132
5	W21X44	W21X68	W21X50	W21X62	W14X132	W14X132	W14X145	W14X193
4	W21X44	W21X68	W21X50	W21X62	W14X132	W14X132	W14X145	W14X193
3	W21X50	W21X83	W21X50	W21X62	W14X176	W14X145	W14X193	W14X233
2	W21X50	W21X83	W21X50	W21X62	W14X176	W14X145	W14X193	W14X233
1	W24X94	W27X161	W24X94	W24X103	W14X283	W14X311	W14X311	W14X342

LAMPIRAN 4.14 KUTIPAN DATA DARI FEMA 356

Table 3-1 Values for Effective Mass Factor C_m ¹

No. of Stories	Concrete Moment Frame	Concrete Shear Wall	Concrete Pier-Spandrel	Steel Moment Frame	Steel Concentric Braced Frame	Steel Eccentric Braced Frame	Other
1-2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
3 or more	0.9	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

1. C_m shall be taken as 1.0 if the fundamental period, T_1 , is greater than 1.0 second

Table 3-2 Values for Modification Factor C_0 ¹

Number of Stories	Shear Buildings ²		Other Buildings
	Triangular Load Pattern (1.1, 1.2, 1.3)	Uniform Load Pattern (2.1)	Any Load Pattern
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10+	1.3	1.2	1.5

1. Linear interpolation should be used to calculate intermediate values

2. Buildings in which, for all stories, interstory drift decreases with increasing height.

Table 3-3 Values for Modification Factor C_2

Structural Performance Level	$T \leq 0.1$ second ²		$T > T_g$ second ³	
	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ²	Framing Type 1 ¹	Framing Type 2 ²
Immediate Occupancy	1.0	1.0	1.0	1.0
Life Safety	1.3	1.0	1.1	1.0
Collapse Prevention	1.5	1.0	1.2	1.0

1. Structures in which more than 30% of the story shear at any level is resisted by any combination of the following components, elements or frames; ordinary moment-resisting, concentrically-braced frames, frames with partially-restrained connections, tension-only braces, unreinforced masonry walls, shear-critical piers and spandrels of reinforced concrete or masonry.

2. All frames not assigned to Framing Type 1.

3. Linear interpolation shall be used for intermediate values of T