

**ANALISIS SISTEM PERKUATAN BRESING BAJA MENGGUNAKAN
METODE *DIRECT DISPLACEMENT BASED DESIGN* (DDBD) PADA
GEDUNG RUMAH SAKIT BHAYANGKARA NGANJUK**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**EGI PRADANA
NIM. 175060100111031**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2021**

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS SISTEM PERKUATAN BRESING BAJA
MENGGUNAKAN METODE *DIRECT DISPLACEMENT BASED*
***DESIGN* (DDBD) PADA GEDUNG RUMAH SAKIT BHAYANGKARA**
NGANJUK
SKRIPSI
TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



EGI PRADANA
NIM. 175060100111031

Skrripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 31 Desember 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
NIP. 19740619 200012 1 002

Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc
NIP. 201102 841203 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1



Dr. Eng. I. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002



HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI

Judul Skripsi :

**ANALISIS PERKUATAN BRESING BAJA MENGGUNAKAN METODE
 DIRECT DISPLACEMENT BASED DESIGN (DDBD) PADA GEDUNG
 RUMAH SAKIT BHAYANGKARA NGANJUK**

Nama Mahasiswa : Egi Pradana
 NIM : 175060100111031
 Program Studi : Teknik Sipil
 Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
 Dosen Penguji II : Dr. Eng Desy Setyowulan, ST., M.Sc
 Dosen Penguji III : Dr. Eng. Lilya Susanti., ST., MT

Tanggal Ujian : 29 Desember 2021

SK Penguji : 2975/UN10.F07/KP/2021



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran sebagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiaris, saya bersedia skripsi ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 30 Desember
2021 Mahasiswa,



Egi Pradana

NIM.175060100111031

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat-Nya sehingga skripsi yang berjudul “**Analisis Sistem Perkuatan Bresing Baja Menggunakan Metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) Pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk**” dapat diselesaikan dengan lancar dan tepat pada waktu yang ditargetkan.

Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penyelesaian skripsi ini berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Liyanto Pitono, Ibu Juwariyah, Adik Raka Al-Habsy, dan segenap keluarga yang selalu mendo'akan dan memberi motivasi tanpa henti.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
3. Ibu Dr. Eng. Eva Arifi ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng(Prac), selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing 1.
6. Ibu Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc, selaku Dosen Pembimbing 2 serta Dosen Penasihat Akademik.
7. Ibu Dr. Eng. Lilya Susanti ST., MT., selaku Ketua Majelis.
8. Bapak Dr. Ir. Wisnumurti, MT., selaku KKJF Struktur.
9. M. Fajar Prayoga selaku rekan sesama tugas akhir yang telah berjuang Bersama.
10. Keluarga Besar Mahasiswa Sipil FT-UB dan seluruh mahasiswa Angkatan 2017 Jurusan Teknik Sipil yang telah membantu dan memberikan semangat serta doa dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Semua pihak yang telah membantu memberikan dukungan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Malang, 10 Desember 2021



Penulis

DAFTAR ISI

RINGKASAN.....	XII
SUMMARY.....	XIV
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Hipotesis.....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	4
2.1 Umum.....	4
2.2 Gempa Bumi.....	4
2.2.1 Skala Klasifikasi Gempa.....	5
2.3 Pengertian Bangunan Tahan Gempa.....	7
2.4 Perilaku Struktur.....	9
2.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM).....	9
2.4.2 Kriteria Desain.....	10
2.5 Perkuatan Struktur.....	13
2.6 Analisa Dinamis Struktur.....	14
2.6.1 Single Degree of Freedom (SDOF).....	14
2.5.2 Periode Getar Alami.....	15
2.7 Kinerja Struktur.....	17
2.7.1 Kinerja struktur Metode ATC-40.....	17
2.7.2 Titik Kinerja Struktur Metode ATC-40.....	20
2.7.3 Batasan Deformasi.....	22
2.8 Pengaku Struktur Diagonal (Braced Frame).....	23
2.9 Performance Based Seismic Design (PBSD).....	24
2.9.1 Performance Levels.....	25
2.10 Direct Displacement Based Design (DDBD).....	26
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Data Umum Gedung.....	28
3.2 Preliminary Design.....	28
3.2.1 Denah Struktural.....	29



3.2.2 Denah Kolom	34
3.2.3 Denah Balok.....	41
3.3 Pemodelan Pada ETABS 2018	47
3.3.1 Pemodelan Pelat lantai	48
3.3.2 Pemodelan Balok.....	49
3.3.3 Pemodelan Kolom	49
3.4 Pembebanan Gedung dan Respon Gempa	50
3.4.1 Beban Mati	51
3.4.2 Beban Hidup.....	51
3.4.3 Kombinasi Pembebanan	51
3.5 Respon Gempa Elastis	52
3.5.1 Data Umum Struktur	52
3.5.2 Parameter Respon Spektrum Untuk Gempa Maksimum	54
3.5.3 Respon Spektrum Desain	56
3.6 Konfigurasi Bresing Baja.....	58
3.7 Langkah–Langkah Menghitung Gaya Geser Dasar Metode DDBD	61
3.7.1 Desain Perpindahan Tingkat	61
3.7.2 Desain Perpindahan SDOF.....	61
3.7.3 Massa Efektif.....	62
3.7.4 Tinggi Efektif	62
3.7.5 Desain Daktilitas Perpindahan (Displacement Ductility)	62
3.7.6 Redaman Viscous Ekuivalen.....	63
3.7.7 Periode Efektif.....	63
3.7.8 Kekakuan Efektif.....	65
3.7.9 Gaya Geser Dasar	65
3.8 Diagram Alir Penelitian	66
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	67
4.1 Perhitungan Berat Bangunan	67
4.2 Berat Seismik Efektif	72
4.3 Desain Gaya Geser Dasar Dengan Metode DDBD	73
4.3.1 Desain Gaya Geser Dasar Dengan Metode DDBD	73
4.3.2 Desain Perpindahan SDOF.....	74
4.2.3 Tinggi Efektif	74
4.2.4 Massa Efektif.....	74
4.3.5 Redaman Efektif Ekuivalen	75



4.3.6 Periode Efektif.....	78
4.3.7 Kekakuan Efektif.....	82
4.3.8 Gaya Geser Dasar.....	83
4.4 Pembebanan Struktur.....	84
4.4.1 Pembebanan Berat Mati Struktur.....	84
4.4.2 Pembebanan Mati Tambahan.....	85
4.4.3 Pembebanan Berat Hidup.....	86
4.4.4 Pembebanan Gempa Statik.....	86
4.5 Hasil Analisis Struktur (Original Design).....	87
4.5.1 Kurva Kapasitas Arah X-X.....	87
4.5.2 Kurva Kapasitas Arah Y-Y.....	89
4.5.3 Perbandingan Drift dan Displacement.....	91
4.6 Pemodelan Struktur Bresing Baja.....	95
4.7 Hasil Analisis Struktur Perkuatan Bresing Baja.....	99
4.7.1 Tipe 1.....	99
4.7.1.1 Kurva Kapasitas Arah X-X.....	99
4.7.1.2 Kurva Kapasitas Arah Y-Y.....	101
4.7.1.3 Perbandingan Drift dan Displacement.....	104
4.7.2 Tipe 2.....	108
4.7.2.1 Kurva Kapasitas Arah X-X.....	108
4.7.2.2 Kurva Kapasitas Arah Y-Y.....	110
4.7.2.3 Perbandingan Drift dan Displacement.....	113
4.7.3 Tipe 3.....	117
4.7.3.1 Kurva Kapasitas Arah X-X.....	117
4.7.3.2 Kurva Kapasitas Arah Y-Y.....	119
4.7.3.3 Perbandingan Drift dan Displacement.....	121
BAB V PENUTUP.....	126
DAFTAR PUSTAKA.....	128
LAMPIRAN.....	130



Daftar Tabel

Tabel 2.1 Deskripsi Skala Richter	5
Tabel 2.2 Deskripsi Skala Mercalli	6
Tabel 2.3 Kondisi Bangunan Pasca Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996)	19
Tabel 2.4 Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996)	22
Tabel 3.1 Spesifikasi Material	28
Tabel 3.2 Dimensi Kolom	40
Tabel 3.3 Dimensi Elemen Struktur	47
Tabel 3.4 Beban Mati dan Beban Mati Tambahan	51
Tabel 3.5 Beban Hidup	51
Tabel 3.6 Kombinasi Pembebanan	52
Tabel 3.7 Kategori Resiko Bangunan	53
Tabel 3.8 Faktor keutamaan Gempa	53
Tabel 3.9 Faktor R, Cd, dan Ω untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	54
Tabel 3.10 Koefisien Situs Fa	55
Tabel 3.11 Koefisien Situs Fv	55
Tabel 3.12 Koefisien Situs Fv (Gedung)	57
Tabel 4.1 Beban Mati Lantai 2	67
Tabel 4.2 Beban Hidup Lantai 2	68
Tabel 4.3 Beban Mati Lantai 3	69
Tabel 4.4 Beban Hidup Lantai 3	69
Tabel 4.5 Beban Mati Lantai 4 & 5	70
Tabel 4.6 Beban Hidup Lantai 4 & 5	70
Tabel 4.7 Beban Mati Lantai 6	71
Tabel 4.8 Beban Hidup Lantai 6	71
Tabel 4.10 Beban Mati Atap	72
Tabel 4.10 berat seismik efektif dan kombinasi L	72
Tabel 4.10 Perhitungan profil perpindahan rencana	74
Tabel 4.12 Perhitungan drift leleh arah x-x (melintang)	76
Tabel 4.13 Perhitungan drift leleh arah y-y (memanjang)	77



Tabel 4.14 Perhitungan Spectra Displacement dengan redaman efektif arah x-x (melintang)	79
Tabel 4.15 Perhitungan Spectra Displacement dengan redaman efektif arah y-y (memanjang)	81
Tabel 4.16 Perhitungan distribusi gaya geser per lantai arah x-x (melintang)	84
Tabel 4.17 Perhitungan distribusi gaya geser per lantai arah y-y (memanjang)	84
Tabel 4.18 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah x-x (melintang)	87
Tabel 4.19 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah y-y (memanjang)	90
Tabel 4.20 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah X-X (melintang)	91
Tabel 4.21 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah Y	93
Tabel 4.22 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah x-x (melintang)	99
Tabel 4.24 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah X-X (melintang)	104
Tabel 4.25 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah Y	106
Tabel 4.26 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah x-x (melintang)	108
Tabel 4.27 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah y-y (memanjang)	110
Tabel 4.28 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah X-X (melintang)	113
Tabel 4.29 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah Y	115
Tabel 4.30 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah x-x (melintang)	117
Tabel 4.31 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah y-y (memanjang)	119
Tabel 4.32 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah X-X (melintang)	121
Tabel 4.33 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah Y	123



Daftar Gambar

Gambar 2.1 Level Kerusakan Bangunan pada Gempa Kecil 8

Gambar 2.2 Level Kerusakan Bangunan pada Gempa Sedang 8

Gambar 2.3 Level Kerusakan Bangunan pada Gempa Kuat 9

Gambar 2.4 Hubungan Kekuatan dengan Daktilitas 11

Gambar 2.5 Simpangan Antar Tingkat dan *Drift Index* 12

Gambar 2.6 Hysterical Loops Portal Terbuka 12

Gambar 2.7 Gambar Letak Sendi Plastis 13

Gambar 2.8 Perbandingan Keefektifan Perkuatan Struktur 14

Gambar 2.9 Model Struktur dengan Derajat Kebebasan SDOF dan MDOF 14

Gambar 2.10 Model Matematis pada Sistem SDOF 15

Gambar 2.11 Mode Shape Pertama, Kedua dan Ketiga 16

Gambar 2.12 Kurva Kapasitas Tingkat Kinerja Struktur 17

Gambar 2.13 Mekanisme Respon Lateral Struktur dengan Pushover Analysis 18

Gambar 2.14 (a) Kurva Kapasitas (b) Spektrum Kapasitas 21

Gambar 2.15 Concentrically Based Frame 23

Gambar 2.16 Eccentrically Braced Frame (EBF) 24

Gambar 2.17 Performance Levels dari PBSB 24

Gambar 2.18 Earthquake Performance level 26

Gambar 2.19 Konsep Direct Displacement Based Design 27

Gambar 3.1 Denah Lantai 1 29

Gambar 3.2 Denah Lantai 2 30

Gambar 3.3 Denah Lantai 3 31

Gambar 3.4 Denah Lantai 4-5 32

Gambar 3.5 Denah Lantai 6 33

Gambar 3.6 Denah kolom lantai 1 34

Gambar 3.7 Denah kolom lantai 2 35

Gambar 3.8 Denah kolom lantai 3 36

Gambar 3.9 Denah kolom lantai 4 37

Gambar 3.10 Denah kolom lantai 5 38

Gambar 3.11 Denah kolom lantai 6 39

Gambar 3.12 Denah balok lantai 1 41



Gambar 3.13 Denah balok lantai 2	42
Gambar 3.14 Denah Balok lantai 3	43
Gambar 3.15 Denah balok lantai 4	44
Gambar 3.16 Denah balok lantai 5	45
Gambar 3.17 Denah balok lantai 6	46
Gambar 3.18 Pemodelan Gedung pada ETABS 18	48
Gambar 3.19 Mendifine pelat pada program ETABS	48
Gambar 3.20 Mendifine balok pada program ETABS	49
Gambar 3.21 Mendifine kolom pada program ETABS	50
Gambar 3.22 Hasil Data untuk lokasi Gedung Rumah Sakit Bhayangkara	54
Gambar 3.23 Kurva Respon Spektrum Desain Elastik (redaman 5%)	57
Gambar 3.24 Tipe 1 Perletakan Bresing Baja	58
Gambar 3.25 Tipe 2 Perletakan Bresing Baja	59
Gambar 3.26 Tipe 3 Perletakan Bresing Baja	60
Gambar 3.27 Respon Spektrum Desain dan Spektrum Perpindahan	64
Gambar 4.1 Elemen balok yang ditinjau pada perhitungan drift leleh arah x-x (melintang)	75
Gambar 4.2 Elemen balok yang ditinjau pada perhitungan drift leleh arah y-y (memanjang)	76
Gambar 4.3 Spectra Displacement (S_D) pada Redaman 13,00 %	80
Gambar 4.4 Spectra Displacement (S_D) pada Redaman 10,50 %	82
Gambar 4.5 Input load pattern pada ETABS	85
Gambar 4.6 Pengaplikasian Beban Gempa pada Pusat Massa Lantai 5	86
Gambar 4.7 Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 3</i> Arah x-x (melintang)	88
Gambar 4.8 Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 3</i> Arah x-x (melintang)	88
Gambar 4.9 Kurva Kapasitas Arah x-x (melintang)	89
Gambar 4.10 Kurva Kapasitas Arah y-y (memanjang)	90
Gambar 4.11 Grafik Story Displacement Maksimum Arah x-x (melintang)	92
Gambar 4.14 Grafik <i>Story Displacement</i> Maksimum Arah y-y (memanjang)	94



Gambar 4.15	Grafik Perpindahan Displacement Arah y-y (memanjang)	94
Gambar 4.16	Grafik Story Drift Arah y-y (memanjang)	95
Gambar 4.17	Pemodelan Struktur Bresing Baja Tipe 1	96
Gambar 4.18	Pemodelan Struktur Bresing Baja Tipe 2	97
Gambar 4.19	Pemodelan Struktur Bresing Baja Tipe 3	98
Gambar 4.20	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 2</i> Arah x-x (melintang)	100
Gambar 4.22	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 2</i> Arah y-y (memanjang)	102
Gambar 4.23	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 5</i> Arah y-y (memanjang)	102
Gambar 4.24	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 6</i> Arah y-y (memanjang)	103
Gambar 4.25	Kurva Kapasitas Arah y-y (memanjang)	103
Gambar 4.26	Grafik <i>Story Displacement</i> Maksimum Arah x-x (melintang)	104
Gambar 4.27	Kurva <i>Displacement</i> Arah x-x (melintang)	105
Gambar 4.27	Kurva <i>Story Drift</i> Arah x-x (melintang)	105
Gambar 4.28	Grafik <i>Story Displacement</i> Maksimum Arah y-y (memanjang)	106
Gambar 4.29	Grafik Perpindahan Displacement Arah y-y (memanjang)	107
Gambar 4.30	Grafik Story Drift Arah y-y (memanjang)	107
Gambar 4.31	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 2</i> Arah x-x (melintang)	109
Gambar 4.33	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 7</i> Arah y-y (memanjang)	111
Gambar 4.34	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 10</i> Arah y-y (memanjang)	111
Gambar 4.35	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 17</i> Arah x-x (memanjang)	112
Gambar 4.36	Kurva Kapasitas Arah y-y (memanjang)	112
Gambar 4.38	Kurva <i>Displacement</i> Arah x-x (melintang)	114
Gambar 4.39	Kurva <i>Story Drift</i> Arah x-x (melintang)	114
Gambar 4.40	Grafik <i>Story Displacement</i> Maksimum Arah y-y (memanjang)	115



Gambar 4.41	Grafik Perpindahan Displacement Arah y-y (memanjang)	116
Gambar 4.42	Grafik Story Drift Arah y-y (memanjang)	116
Gambar 4.43	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 2</i> Arah x-x (melintang) 118	
Gambar 4.44	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 4</i> Arah x-x (melintang) 118	
Gambar 4.46	Sendi Plastis yang Terbentuk pada <i>Pushover Step 2</i> Arah y-y (memanjang) 120	
Gambar 4.47	Kurva Kapasitas Arah y-y (memanjang)	120
Gambar 4.48	Grafik <i>Story Displacement</i> Maksimum Arah x-x (melintang)	121
Gambar 4.49	Kurva <i>Displacement</i> Arah x-x (melintang)	122
Gambar 4.50	Kurva <i>Story Drift</i> Arah x-x (melintang)	122
Gambar 4.51	Grafik <i>Story Displacement</i> Maksimum Arah y-y (memanjang)	123
Gambar 4.52	Grafik Perpindahan Displacement Arah y-y (memanjang)	124
Gambar 4.53	Grafik Story Drift Arah y-y (memanjang)	124



Lampiran

Lampiran 1 Hasil Analisis Gedung *Original Design* 130

Lampiran 2 Hasil Analisis Penambahan Perkuatan Bresing Baja Gedung Tipe 1 131

Lampiran 3 Hasil Analisis Penambahan Perkuatan Bresing Baja Gedung Tipe 2 132

Lampiran 4 Hasil Analisis Penambahan Perkuatan Bresing Baja Gedung Tipe 3 134



RINGKASAN

Egi Pradana, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2021, *Analisis Perkuatan Bresing Baja Menggunakan Metode Direct Displacement Based Design (DDBD) Pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk*, Dosen pembimbing : Ari Wibowo dan Desy Setyowulan.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi bencana alam gempa bumi yang tinggi. Hal ini disebabkan karena negara Indonesia berada di zona *ring of fire*. *Ring of fire* atau dalam bahasa Indonesia ialah Cincin Asia Pasifik merupakan wilayah yang dikelilingi oleh jalur gunung berapi aktif. Faktor lain yang menyebabkan potensi yang tinggi ini ialah karena negara Indonesia merupakan wilayah pertemuan dari 3 lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng pasifik. Akibatnya, aktivitas gempa di Indonesia sangat tinggi dan menimbulkan kerugian yang besar juga.

Untuk itu, diperlukan konsep perencanaan untuk merancang struktur bangunan tahan terhadap gempa yang tepat. Konsep perencanaan bangunan tahan gempa yang sekarang ini banyak digunakan yaitu *Performance Based Seismic Design* (PBSD) dengan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD). *Direct Displacement Based Design* (DDBD) lebih mengutamakan perpindahan atau *displacement* daripada kekuatan atau *strength*.

Pada analisis ini membahas terkait perencanaan sistem perkuatan bresing baja menggunakan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) yang merujuk pada SNI 1726:2019 yang membahas tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk gedung dan non gedung dan SNI 1727:2013 yang membahas pembebanan gedung. Dalam kajian ini menggunakan baja yang digunakan sebagai perkuatan bresing baja yaitu baja profil WF 400.300.10.16 dengan mutu BJ-41. Dimana terdapat 3 tipe perkuatan dengan lokasi perletakan yang berbeda-beda.

Kata Kunci: *Direct Displacement Based Design* (DDBD), Bresing Baja, *Displacement*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



SUMMARY

Egi Pradana, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya university, December 2021, Analysis of Steel Bracing Reinforcement Using Direct Displacement Based Design (DDBD) Method at the Bhayangkara Hospital Building Nganjuk, Supervisors : Ari Wibowo and Desy Setyowulan.

Indonesia is one of the countries with a high potential for earthquakes. This is because Indonesia is in the ring of fire zone. The Ring of Fire or in Indonesian is the Asia Pacific Ring, which is an area surrounded by active volcanoes. Another factor that causes this high potential is that Indonesia is a confluence area of 3 large plates, namely the Eurasian Plate, the Indo-Australian Plate and the Pacific Plate. As a result, earthquake activity in Indonesia is very high and causes great losses as well.

For this reason, a planning concept is needed to design an appropriate earthquake-resistant building structure. The concept of earthquake-resistant building planning that is currently widely used is Performance Based Seismic Design (PBSD) with the Direct Displacement Based Design (DDBD) method. Direct Displacement Based Design (DDBD) prioritizes displacement rather than strength.

This analysis discusses the planning of a steel braced reinforcement system using the Direct Displacement Based Design (DDBD) method which refers to SNI 1726:2019 which discusses the procedures for planning earthquake resistance for buildings and non-buildings and SNI 1727:2013 which discusses building loading. In this study, the steel used as steel brace reinforcement is steel profile WF 400.300.10.16 with BJ-41 quality. Where there are 3 types of reinforcement with different placement locations.

Keyword: *Direct Displacement Based Design (DDBD), Steel Braced, Displacement*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi bencana alam gempa bumi yang tinggi. Hal ini disebabkan karena negara Indonesia berada di zona *ring of fire*. *Ring of fire* atau dalam bahasa Indonesia ialah Cincin Asia Pasifik merupakan wilayah yang dikelilingi oleh jalur gunung berapi aktif. Faktor lain yang menyebabkan potensi yang tinggi ini ialah karena negara Indonesia merupakan wilayah pertemuan dari 3 lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng pasifik.

Pada tahun 2020, Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) mencatat sebanyak 8.264 kali aktivitas gempa yang terjadi di Indonesia. Terjadinya gempa menimbulkan kerugian yang besar baik dari segi harta dan jiwa, terlebih negara Indonesia memiliki populasi lebih dari 271 juta jiwa penduduk. Oleh karena itu, masyarakat harus memiliki kesiapan dalam penanganan pada saat gempa terjadi, misalnya yang terpenting adalah melindungi dirinya dari terjadinya keruntuhan puing-puing bangunan.

Untuk itu, diperlukan konsep perencanaan untuk merancang struktur bangunan tahan terhadap gempa yang tepat. Konsep perencanaan bangunan tahan gempa yang sekarang ini banyak digunakan yaitu *Performance Based Seismic Design* (PBSD) dengan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD). Metode tersebut adalah suatu pengembangan dari *Force Based Seismic Design* (FBSD) yang dinilai tidak efisien pada kondisi dilapangan karena keruntuhan struktur saat gempa adalah inelastik, dimana pada kondisi inelastik kekuatan/gaya kurang berpengaruh dibandingkan dengan perpindahan. Sementara *Direct Displacement Based Design* (DDBD) lebih mengutamakan perpindahan atau *displacement* daripada kekuatan atau *strength*.

Dalam penelitian ini, digunakan Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Kota Nganjuk sebagai objek penelitian. Gedung ini mempunyai 6 lantai yang akan dianalisis menggunakan program software ETABS v 18.1.1 (2018) dan diberikan optimasi *bracing* (pengaku) baja.



1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perkuatan bresing baja terhadap perpindahan (*displacement*) struktur bangunan dengan menggunakan metode DDBD ?
2. Bagaimana pengaruh perkuatan bresing baja terhadap tingkat kinerja struktur bangunan dengan menggunakan metode DDBD ?
3. Bagaimana pengaruh perkuatan bresing baja terhadap besarnya simpangan antar lantai (*drift*) struktur bangunan dengan menggunakan metode DDBD ?

1.3 Batasan Masalah

1. Model gedung yang digunakan ialah Gedung Rumah Sakit Bhayngkara Kota Nganjuk.
2. Data bangunan meliputi denah, detail penulangan, dimensi elemen struktural, dan mutu berdasarkan DED (*Detailed Engineering Design*).
3. Model struktur dianalisis menggunakan program ETABS V 18.1.1 tahun 2018.
4. Mutu beton yang digunakan yaitu K-300 atau 25 MPa.
5. Mutu baja tulangan yang digunakan yaitu 390 MPa untuk tulangan ulir dan 240 MPa untuk tulangan polos.
6. Perencanaan struktur tahan gempa mengacu pada SNI 1726-2019.
7. Kombinasi pembebanan menggunakan SNI 1727-2013.
8. Pembebanan struktur menggunakan acuan Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPPURG) 1987.
9. Desain gedung divariasikan dengan penambahan bresing baja tipe *X-shape* dengan profil WF 400.300.10.16 BJ-41.
10. Tidak memodelkan struktur atap, pondasi dan tangga.
11. Tidak memperhitungkan beban angin.
12. Tidak mengitung Rencana Anggaran Biaya (RAB).

1.4 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh perkuatan bresing baja terhadap perpindahan (*displacement*) struktur bangunan dengan menggunakan metode DDBD ?
2. Mengetahui pengaruh perkuatan bresing baja terhadap tingkat kinerja struktur bangunan dengan menggunakan metode DDBD ?

3. Mengetahui pengaruh perkuatan bresing baja terhadap besarnya simpangan antar lantai (*drift*) struktur bangunan dengan menggunakan metode DDBD ?

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penulisan skripsi ini adalah memberikan gambaran dan Langkah – Langkah yang digunakan untuk pengerjaan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD), karena metode ini hasilnya lebih mendekati kenyataan, sehingga nantinya akan sangat membantu dan berguna bagi orang – orang dalam merencanakan suatu bangunan tahan gempa menggunakan metode tersebut.

1.6 Hipotesis

1. Diprediksikan nilai perpindahan (*Displacement*) struktur bangunan akan mengalami penurunan setelah diberi perkuatan bresing baja dengan menggunakan metode DDBD.
2. Diprediksikan tingkat kinerja struktur bangunan akan mengalami kenaikan setelah diberi perkuatan bresing baja dengan menggunakan metode DDBD.
3. Diprediksikan simpangan antar lantai (*Drift*) akan mengalami penurunan setelah diberik perkuatan bresing baja dengan menggunakan metode DDBD

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Umum

Sebuah struktur bangunan didesain harus mampu menahan semua beban material serta beban bekerja lain tanpa kelebihan tegangan dan memiliki deformasi yang masih dalam batas yang diizinkan. Sehingga struktur bangunan tersebut dapat memenuhi kemampuan-layanan (*serviceability*). Jika hal tersebut dan kemampuan-layanan (*serviceability*) sudah terpenuhi maka menjadikan struktur bangunan tersebut layak untuk ditempati.

2.2 Gempa Bumi

Menurut Howel dan Mulyo (2004), mereka mendefinisikan pengertian gempa bumi sebagai suatu getaran yang terjadi dari kulit bumi yang memiliki sifat sementara (tidak abadi) yang kemudian getaran tersebut menyebar segala arah. Berdasarkan penyebabnya, diklasifikasikan menjadi lima jenis gempa bumi, yaitu :

1. Gempa Bumi Vulkanik

Gempa bumi vulkanik terjadi akibat aktivitas keluarnya magma panas ke permukaan tanah sebelum gunung api meletus. Jika intensitas keaktifan gunung api semakin tinggi maka akan menimbulkan suatu ledakan dan terjadi gempa bumi.

2. Gempa Bumi Tektonik

Gempa bumi tektonik terjadi akibat adanya aktivitas pergerakan lempeng tektonik sehingga menimbulkan gelombang seismik yang menyebar melalui kerak bumi yang dapat menimbulkan banyak kerusakan dan terjadi tsunami

3. Gempa Bumi Runtuhan

Gempa bumi Runtuhan terjadi akibat keruntuhan yang terjadi baik di atas maupun di bawah permukaan tanah. Dimana biasanya terjadi pada daerah pertambangan dan daerah kapur.

4. Gempa Bumi Buatan

Gempa bumi buatan terjadi akibat aktivitas manusia contohnya seperti peledakan bom, dinamit dan nuklir.

5. Gempa Bumi Tabrakan (Impact)

Gempa bumi tabrakan terjadi karena adanya tubrukan atau tabrakan meteor atau asteroid yang kemudian jatuh ke permukaan bumi.

2.2.1 Skala Klasifikasi Gempa

Terdapat dua skala untuk mengukur besaran gempa, yaitu :

1. Skala Richter

Skala ini pertama kali diperkenalkan oleh fisikawan dari Amerika Serikat bernama Charles F.Richter pada tahun 1935. Skala richter awalnya dikembangkan untuk gempa bumi di California selatan, Amerika Serikat. Skala ini digunakan untuk menyatakan magnitude gempa berdasarkan ketinggian (amplitude) dari garis terbesar pada seismogram. Skala ritcher tergolong skala logaritma. Untuk keterangan skala ritcher dengan efeknya dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2.1 Deskripsi Skala Richter

Skala Richter	Deskripsi	Efek	Frekuensi Gempa (perkiraan)
< 2.0	Mikro	Tidak terasa oleh manusia	Sekitar 8.000 per hari
2.0-2.9	Kecil	Secara umum tidak terasa, tapi tercatat	Sekitar 1.000 per hari
3.0-3.9	Kecil	Kadang terasa, tapi jarang menimbulkan kerusakan	49.000 per tahun (estimasi)
4.0-4.9	Ringan	Getaran terasa ditandai dengan bergeraknya perabotan dalam rumah permukaan air di daratan membentuk gelombang air	6.200 per tahun (estimasi)



5.0-5.9	Sedang	Dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan berkualitas jelek, sulit untuk berdiri tegak dan kaca pecah	800 per tahun
6.0-6.9	Kuat	Kerusakan pada radius 160 kilometer	120 per tahun
7.0-7.9	Major	Kerusakan lebih serius dengan radius lebih luas	18 per tahun
8.0-8.9	Besar	Kerusakan dengan radius ratusan kilometer	1 per tahun
9.0-9.9	Besar	Menghancurkan bangunan dengan radius ribuan kilometer	1 per 20 tahun
10 <	Besar	Belum pernah tercatat	Sangat jarang (tidak diketahui)

2. Skala Mercalli

Skala ini ditemukan pertama kali oleh ahli seismologi Amerika Serikat yaitu Harry Wood dan Frank Neumann tahun 1931. Skala ini menggambarkan efek gempa dari meningkatnya intensitas gempa dari kecil hingga kuat. Nilai intensitas Mercalli rendah menunjukkan efek kenyamanan sedangkan nilai kuat menggambarkan kerusakan. Deskripsi tingkatan intensitas Mercalli dapat dilihat pada table

Tabel 2.2 Deskripsi Skala Mercalli

Index	Deskripsi
1	Getaran yang umumnya tidak dapat dirasakan
2	Getaran dirasakan oleh beberapa orang, benda-benda ringan yang tergantung bergoyang
3	Getaran dapat dirasakan dalam rumah. Terasa seperti ada truk berlalu
4	Getaran dirasakan oleh orang banyak dalam rumah, jendela/pintu berderik dan dinding berbunyi



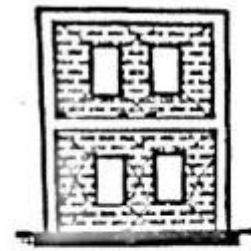
-
- 5 Getaran dirasakan hampir semua penduduk, orang akan terbangun, tiang-tiang dan barang besar tampak bergoyang
 - 6 Getaran dirasakan oleh semua penduduk. Semua terkejut dan lari keluar, kerusakan ringan
 - 7 Kerusakan ringan pada rumah-rumah dengan konstruksi yang baik. Sedangkan pada konstruksi kurang baik akan terjadi retak bahkan hancur
 - 8 Kerusakan ringan pada bangunan dengan konstruksi yang kuat. Cerobong asap pabrik hingga monument-monumen akan roboh
 - 9 Kerusakan pada bangunan yang kuat, rangka-rangka rumah menjadi tidak lurus, banyak retak. Rumah tampak agak berpindah dari pondasinya. Pipa-pipa dalam rumah akan putus
 - 10 Bangunan dari kayu yang kuat rusak, rangka rumah lepas dari pondasinya, tanah terbelah, rel melengkung, hingga tanah longsor
 - 11 Bangunan-bangunan hanya sedikit yang tetap berdiri. Jembatan rusak, pipa dalam tanah tidak dapat dipakai sama sekali, tanah terbelah
 - 12 Hancur total, gelombang tampak pada permukaan tanah. Pemandangan menjadi gelap. Benda-benda terlempar keudara
-

2.3 Pengertian Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang mampu bertahan dan tidak mengalami keruntuhan saat terjadi gempa. Bangunan tahan gempa tidak berarti boleh mengalami kerusakan sama sekali, melainkan boleh mengalami kerusakan asalkan masih memenuhi syarat yang berlaku. Filosofi bangunan tahan gempa menurut Widodo (2012) adalah sebagai berikut :

1. Gempa Kecil (*light* atau *minor earthquake*)

Pada gempa kecil, struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih diperbolehkan.



Gempa Minor



Gambar 2.1 Level Kerusakan Bangunan pada Gempa Kecil

2. Gempa Menengah (*moderate earthquake*)

Pada gempa menengah, struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tapi masih dapat diperbaiki. Elemen non struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti yang baru.



Gempa Sedang

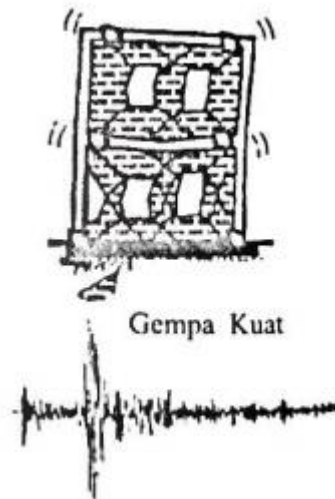


Gambar 2.2 Level Kerusakan Bangunan pada Gempa Sedang



3. Gempa Kuat (*strong earthquake*)

Pada gempa kuat, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.



Gambar 2.3 Level Kerusakan Bangunan pada Gempa Kuat

2.4 Perilaku Struktur

Struktur pada bangunan memegang peranan penting dalam distribusi beban. Distribusi beban pada struktur bangunan disalurkan melalui struktur atas (*superstructure*) menuju struktur bawah (*substructure*) sampai kepada lapisan tanah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa beban bekerja secara kumulatif dari atas ke bawah pada suatu struktur bangunan. Dengan demikian struktur suatu bangunan harus memperhitungkan dimensi pada setiap lantainya dan kemampuan suatu komponen dalam menerima beban lateral maupun beban vertikal.

2.4.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM)

Sistem rangka pemikul momen (SRPM) adalah bagian-bagian rangka ruang komponen struktur yang mampu menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial pada struktur. Ciri-ciri sistem rangka pemikul momen (SRPM) yaitu beban lateral gempa disalurkan melalui proses lenturnya kolom dan balok. Di Indonesia terdapat 3 pilihan dalam desain Gedung tahan gempa, antara lain :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)

Merupakan sistem rangka dengan deformasi inelastic dan tingkat daktilitas yang kecil namun mempunyai kekuatan yang besar. Sistem ini biasa digunakan untuk perhitungan struktur yang masuk zona gempa 1 dan 2 yaitu wilayah gempa kecil.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

Merupakan sistem rangka yang memiliki tingkat daktilitas terbatas. Sistem ini biasa digunakan untuk perhitungan struktur yang masuk zona gempa 3 dan 4 yaitu wilayah gempa sedang.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)

Merupakan sistem rangka yang memiliki tingkat daktilitas penuh. Daktilitas penuh erat kaitannya dengan simpangan atau perpindahan yang besar sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa struktur diizinkan mengalami kerusakan namun tidak sampai runtuh. Sistem ini biasa digunakan untuk perhitungan struktur yang masuk zona gempa 5 dan 6 yaitu wilayah gempa tinggi.

2.4.2 Kriteria Desain

Kriteria desain adalah suatu kriteria yang dipakai sebagai acuan untuk merancang maupun mendesain suatu struktur. Perencana harus bisa merencanakan suatu struktur yang mampu memikul beban rancang secara aman tanpa tegangan pada material dan mempunyai deformasi yang masih dalam daerah yang diizinkan. Beberapa kriteria desain yang diharapkan dimiliki suatu struktur, antara lain sebagai berikut :

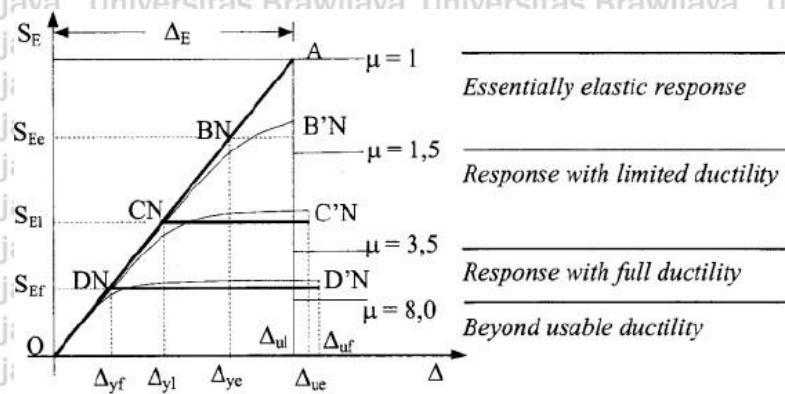
1. Kekuatan (*strength*)

Kekuatan merupakan suatu ketahanan dari komponen struktur dan bahan yang digunakan dalam memikul beban yang terjadi. Beban yang dimaksud yaitu dari komponen paling bawah (pondasi) sampai paling atas (atap).

2. Daktilitas (*ductility*)

Daktilitas merupakan kemampuan suatu struktur agar dapat tetap berdiri diambang kehancuran setelah diberikan beban gempa secara berulang kali dan bolak-balik. Semakin tinggi tingkat daktilitas maka akan semakin baik perilaku struktur untuk menahan beban gempa (Prawirodikromo : 2012). Daktilitas dibagi menjadi 3 tingkat yaitu daktilitas penuh (*full ductility*)

response), daktilitas terbatas (*limited ductility response*) dan elastis penuh (*essentially elastic response*).



Gambar 2.4 Hubungan Kekuatan dengan Daktilitas

Sumber : Paulay dan Priestley (1992)

3. Kekakuan (*stiffnes*)

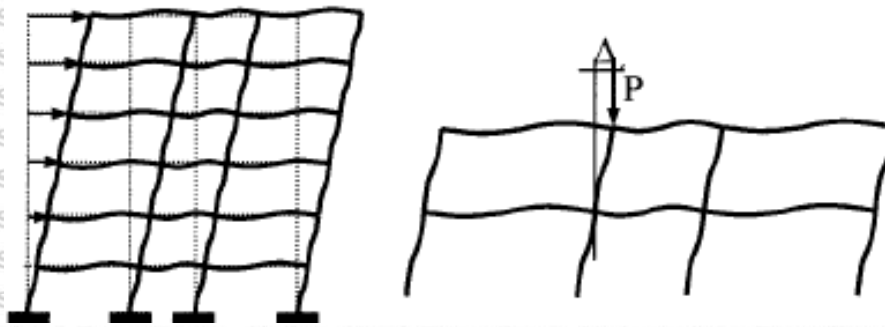
Kekakuan merupakan kemampuan struktur menahan deformasi (rotasi, defleksi dan translasi) akibat beban yang terjadi. Kekakuan ada kaitannya dengan sifat resonansi suatu struktur terhadap adanya beban dinamik atau getaran yang ada di sekitar bangunan. Struktur suatu bangunan harus cukup kaku untuk menghindari peristiwa resonansi. Resonansi sendiri ialah bergetarnya suatu benda karena memiliki frekuensi alami yang sama dengan sumber bunyi yang bergetar. Maka diperlukan perhitungan simpangan yang terjadi pada suatu Gedung (*drift ratio*). *Drift ratio* adalah rasio antara simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat seperti ditunjukkan pada persamaan dibawah ini. :

$$\text{Drift Ratio} = \frac{\Delta}{h} \dots\dots\dots (1-1)$$

Dimana :

- Δ = simpangan antar tingkat
- h = tinggi tingkat



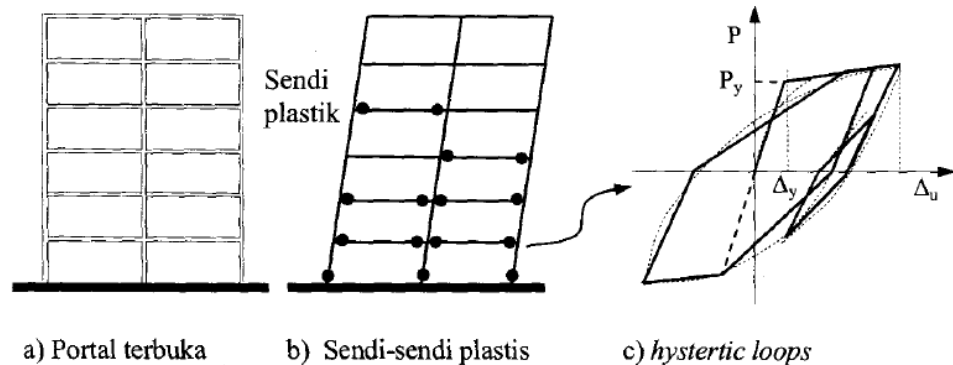


Gambar 2.5 Simpangan Antar Tingkat dan *Drift Index*

Sumber : Prawirodikromo, 2012

4. Stabilitas (*stability*)

Bangunan yang terkena beban dinamis akan mengalami getaran, tegangan materialnya akan mengalami peningkatan dan mengalami tegangan plastis. Pada saat mengalami plastis terjadi hubungan beban dengan simpangan (*load deformation*) yang berubah sepanjang waktu pembebanan yang disebut dengan *hysterical loops*. Suatu struktur disebut stabil apabila *hysterical loops* mampu bertahan pada simpangan inelastik tanpa terjadi penurunan kekuatan.



Gambar 2.6 Hysterical Loops Portal Terbuka

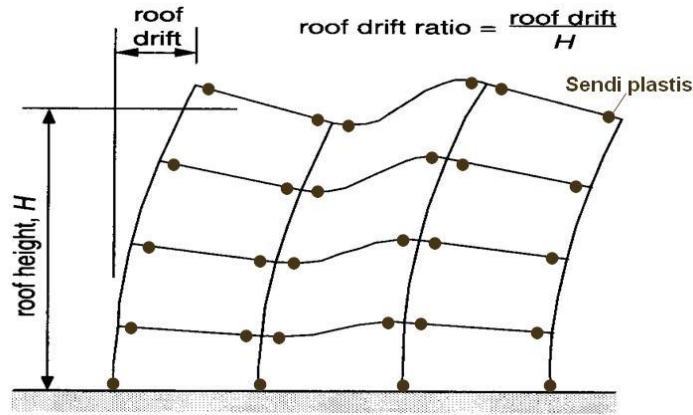
Sumber : Prawirodikromo, 2012

5. Sistem Pelepasan Energi (*energy dissipation system*)

Suatu bangunan diperbolehkan mengalami kerusakan saat terjadi gempa. Kerusakan akibat beban dinamis tidak boleh menjadikan komponen struktur getas tetapi harus tetap daktail. Hal ini mengacu pada prinsip *strong column weak beam* dimana berarti ada bagian yang tidak diperbolehkan runtuh pada daerah kolom. Kerusakan tersebut harus terjadi pada ujung-ujung balok



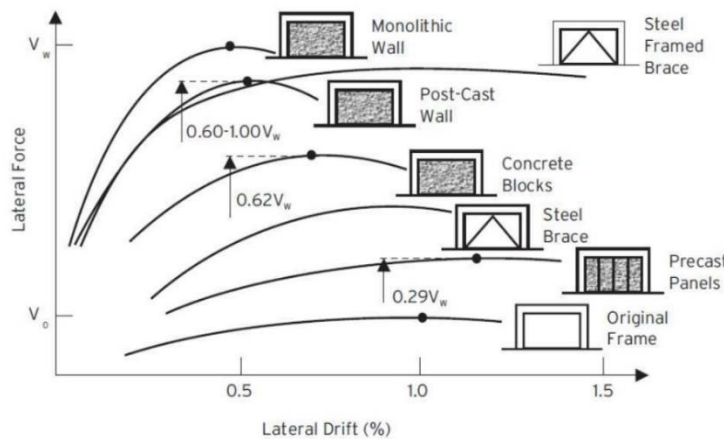
(sendi plastis). Sehingga apabila terjadi sebuah kerusakan sendi plastis bersifat duktail dan struktur tersebut dapat dikatakan terjadi pelepasan energi dengan baik.



Gambar 2.7 Gambar Letak Sendi Plastis
 Sumber : Resultanengineering.Wordpress.com

2.5 Perkuatan Struktur

Perkuatan struktur merupakan suatu Langkah untuk meningkatkan kapasitas suatu bangunan yang dianggap masih lemah karena tidak memenuhi aturan yang ditetapkan ataupun lemah akibat terjadinya gempa yang cukup besar. Metode yang banyak diterapkan untuk memperkuat struktur yang sudah berdiri antar lain, penambahan dinding geser (*shear wall*), perkuatan bresing (*bracing*), pemberian lapisan pelat baja, pengurangan berat komponen *non structural* dan pembesaran dimensi dengan *beam and column jacketing*. Penggunaan bresing (*bracing*) dinilai sangat efektif dan efisien dalam memperkuat struktur karena bresing dinilai mampu menahan gaya gempa lateral dengan baik dan penggunaannya pun hanya di beberapa sisi struktur, sehingga dianggap cukup ekonomis.

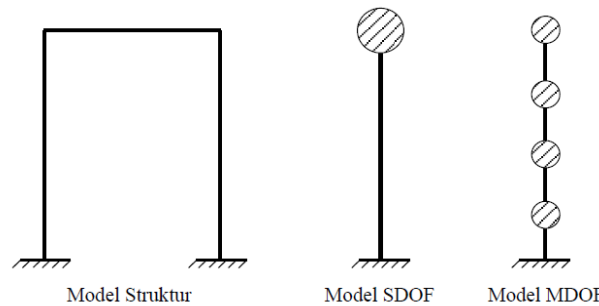


Gambar 2.8 Perbandingan Keefektifan Perkuatan Struktur
 Sumber : Sugano (1989) ; CEB (1997)

2.6. Analisa Dinamis Struktur

pada analisis dinamik struktur, gaya inersia timbul akibat massa bangunan mengalami percepatan. Analisis struktur tersebut akan sulit diselesaikan apabila memodelkan struktur sebagai sosok kontinyu (sebagai kontinum). Hal ini karena model struktur kontinyu memiliki jumlah derajat kebebasan tak hingga. Maka dalam pemodelan dinamiknya dilakukan diskretisasi struktur. Diskretisasi struktur sendiri ialah penyederhanaan struktur menjadi bagian-bagian struktur yang terpotong atau terpenggal tapi menerus.

setiap struktur memiliki *degree of freedom* atau derajat kebebasan. *Degree of freedom* tersebut menjelaskan bahwa system dapat mengalami perpindahan. Setiap jumlah derajat kebebasan struktur yang mengalami getaran dimodelkan sama dengan jumlah titik massa dan diperhitungkan mengalami perpindahan dan percepatan ke arah koordinat derajat bebas.



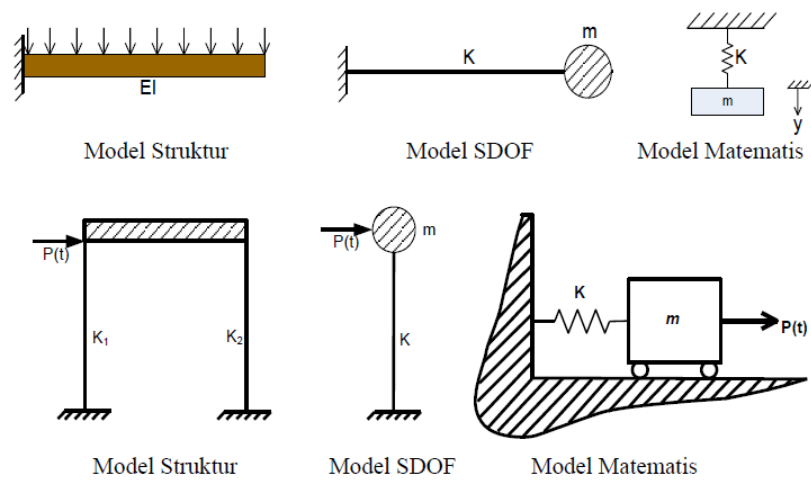
Gambar 2.9 Model Struktur dengan Derajat Kebebasan SDOF dan MDOF
 Sumber : Sugeng P.Budio, 2005

2.6.1 Single Degree of Freedom (SDOF)

Didalam struktur dinamis jumlah koordinat bebas dibutuhkan untuk mengidentifikasi posisi atau konfigurasi system tersebut atau biasa disebut derajat kebebasan *degree of freedom* (Mario Paz : 2004). Pada masalah dinamika, setiap titik atau massa sangat diperhitungkan meski hanya dapat berpindah tempat-tempat dalam satu arah saja yaitu arah horizontal. Dikarenakan perpindahan hanya terjadi dalam satu bidang atau dua dimensi, maka simpangan massa tersebut memiliki posisi koordinat yang dapat bertanda negatif atau positif. Pada saat kondisi tersebut, simpangan suatu massa pada saat diberikan gaya

pengaruh berupa t dapat dinyatakan dalam koordinat tunggal. Struktur inilah dinamakan struktur dengan derajat kebebasan tunggal atau *single degree of freedom* (SDOF).

Pada saat sistem derajat kebebasan tunggal (SDOF) struktur dimodelkan dengan satu massa dan satu koordinat perpindahan (Lumantarna : 1999). Dimana jika terdapat sebuah struktur 5 tingkat berarti struktur tersebut mempunyai 5 massa dan 5 derajat kebebasan dengan diasumsikan struktur berperilaku seperti *shear building*.



Gambar 2.10 Model Matematis pada Sistem SDOF
 Sumber : Sugeng P.Budio, 2005

2.5.2 Periode Getar Alami

Getaran dan gelombang merupakan Gerakan bolak-balik dalam suatu interval tertentu. Periode getar T merupakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu model struktur untuk menempuh satu putaran lengkap menuju posisi keseimbangan statis dan Kembali ke posisi aslinya. Periode yang sering disebut dengan “Periode Getar Alami Struktur”, dimana istilah “alami” tersebut digunakan untuk menggambarkan setiap getaran yang diakibatkan oleh suatu struktur yang bergetar secara bebas tanpa adanya gaya luar dan disebabkan oleh massa dan kekakuan struktur itu sendiri. Adapun rumus getaran menurut sugeng (2005) adalah sebagai berikut :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots \dots \dots (1-2)$$

Dengan :

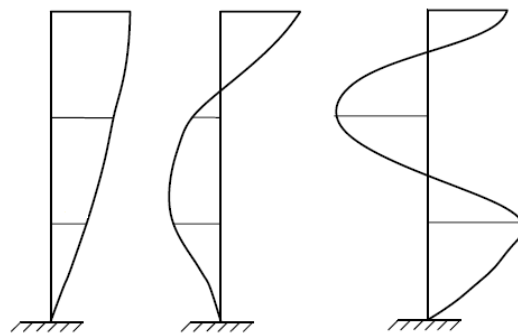
ω = periode (frekuensi natural)

K = kekakuan

m = massa (berat/gravitasi)

Dalam rumus tersebut dijelaskan bahwa periode getar alami sangat tergantung pada kekakuan (K) dan massa (m). Tapi dalam kondisi struktur nyata kekakuan adalah elemen non structural yang tidak dipertimbangkan dalam perancangan, sedangkan massa adalah kuantitas acak yang bergantung terhadap struktur saat gempa terjadi. Maka dari itu perhitungan eksak periode getar struktur sulit dilakukan dalam kondisi riil.

Dalam analisis dinamik, dimana *mode shape* pertama banyak digunakan karena struktur dianggap cukup efisien dan fleksibel dalam kondisi riil lapangan (Widodo : 2001).



Gambar 2.11 Mode Shape Pertama, Kedua dan Ketiga
 Sumber : Sugeng P.Budio, 2005



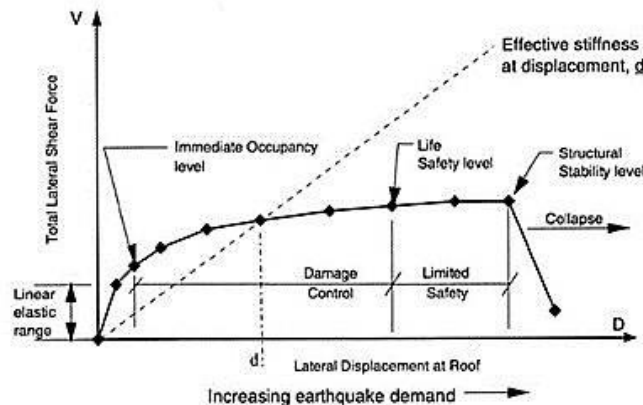
2.7 Kinerja Struktur

Kinerja struktur adalah tingkatan performa suatu struktur terhadap gempa rencana (Tavio dan Usman : 2018). Tingkatan performa struktur dapat diketahui dengan melihat tingkat kerusakan pada struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu, oleh karenanya tingkat kinerja struktur akan selalu berhubungan dengan biaya perbaikan terhadap bangunan tersebut.

2.7.1 Kinerja struktur Metode ATC-40

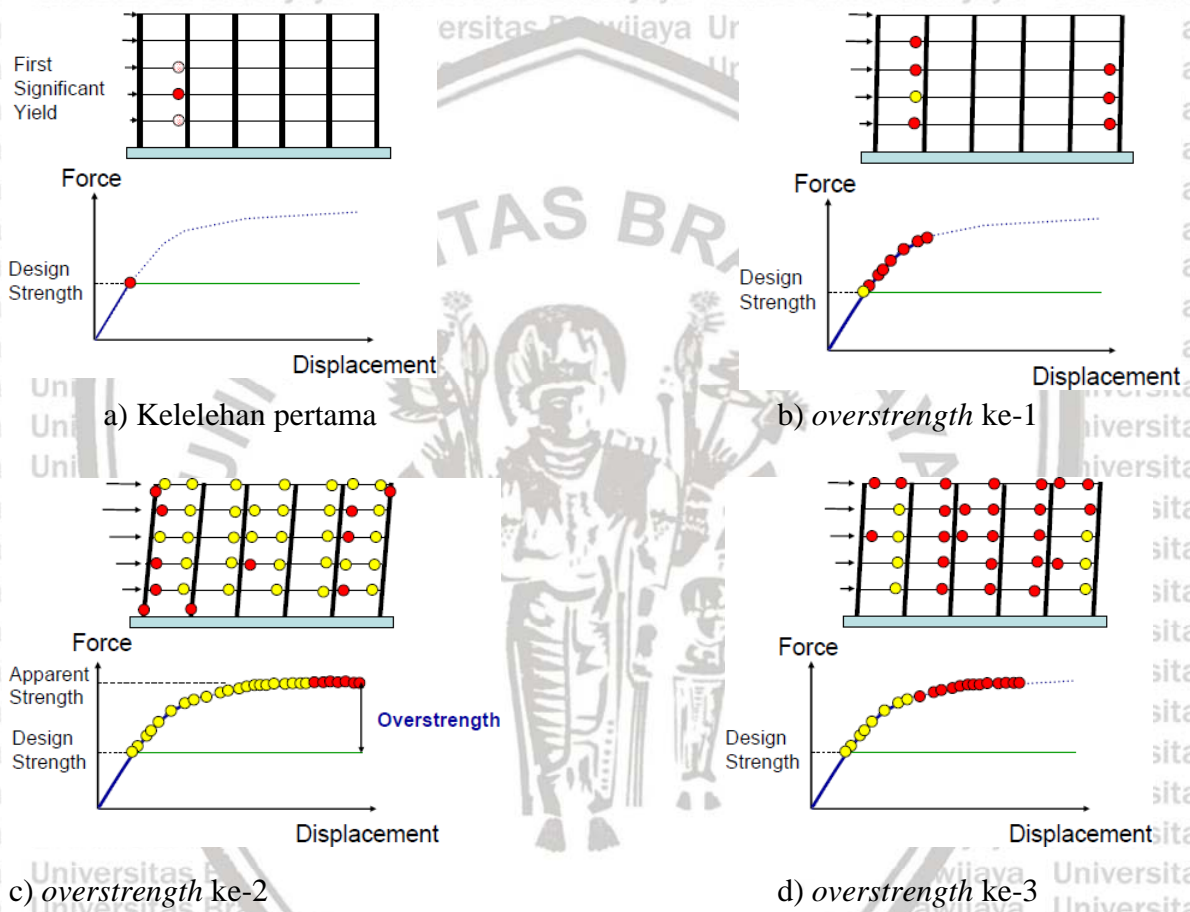
Respon bangunan terhadap Gerakan tanah akibat gempa menyebabkan perpindahan lateral dan deformasi pada setiap elemen struktur. Pada level respon rendah, deformasi elemen akan dalam rentang elastis (linier) dan tidak akan ada kerusakan yang timbul. Pada level respon tinggi, deformasi elemen akan melebihi kapasitas linier elastis dan bangunan akan mengalami kerusakan. Untuk memberikan kinerja seismik yang andal, bangunan harus memiliki sistem penahan lateral akibat gempa pada level kerusakan yang berkelanjutan dan untuk tujuan kinerja yang diinginkan. Faktor-faktor dasar yang mempengaruhi kemampuan sistem penahan gaya lateral untuk melakukan hal tersebut meliputi massa bangunan, kekakuan, redaman, dan konfigurasi: kapasitas deformasi pada elemen, kekuatan dan karakter Gerakan tanah (ATC-40 : 1996).

Ada beberapa tingkatan kinerja sesuai ATC-40, dimana tingkatan kinerja digambarkan kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja atau kurva kapasitas.



Gambar 2.12 Kurva Kapasitas Tingkat Kinerja Struktur
Sumber : ATC-40 (1996)

Pada **Gambar 2.12**, simbol “♦” mewakili kejadian-kejadian penting selama terjadinya respon lateral terhadap struktur. Kejadian-kejadian penting tersebut seperti pelepasan pertama pada sala satu elemen struktur atau kerusakan tertentu misalnya pecahnya atau terkelupasnya selimut beton pada kolom atau kegagalan geser pada spandrel hingga keruntuhan total pada sistem. Untuk lebih jelasnya kejadian-kejadian penting selama respon lateral terhadap struktur dapat dilihat pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13 Mekanisme Respon Lateral Struktur dengan Pushover Analysis

Sumber : FEMA 451

Kinerja seismik digambarkan dengan menetapkan tingkat kerusakan maksimum yang diizinkan (*performance level*) untuk mengidentifikasi bahaya gempa. Pada **Gambar 2.12** telah diketahui kurva kapasitas suatu struktur terhadap beban lateral, dimana terdapat level-level kinerja tertentu. Level kinerja tersebut dapat dideskripsikan lagi atas bagaimana kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan yang diizinkan terhadap level kinerja tertentu, dan ditabelkan dalam **Tabel 2.3** Berikut.

Tabel 2.3 Kondisi Bangunan Pasca Gempa dan Kategori Bangunan pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996)

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<p>SP-1 <i>Immidiate Occupancy (IO)</i></p>	<p>Bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan Kembali</p>	<p>Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang bahaya, atau struktur bangunan yang dapat mempengaruhi ekonomi nasional. Contohnya rumah sakit, Gudang bahan bakar/bahan berbahaya dll</p>
<p>SP-2 <i>Damage Control (DO)</i></p>	<p>Merupakan transisi antara <i>intermediate Occupancy (IO)</i> SP-1 dan <i>life safety (LS)</i> SP-3. Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa manusia sangat kecil.</p>	<p>Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga</p>
<p>SP-3 <i>Life Safety (LS)</i></p>	<p>Bangunan mengalami keruskan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (resiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan akan dapat berfungsi Kembali setelah dilakukan perbaikan komponen gedung maupun non-struktural.</p>	<p>Fasilitas-fasilitas umum, Gedung perkantoran, perumahan, Gudang dll.</p>

<p>SP-4 <i>Limited Safety</i></p>	<p>Merupakan transisi antara SP-3 dan SP-4 dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa.</p>
<p>SP-5 <i>Structural Stability (SS)</i></p>	<p>Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kesetabilan sudah diambang keruntuhan</p>
<p>SP-6 <i>Not Considered</i></p>	<p>Bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapi hanya untuk melakukan evaluasi Gedung non-struktural atau <i>retrofit</i>.</p>

2.7.2 Titik Kinerja Struktur Metode ATC-40

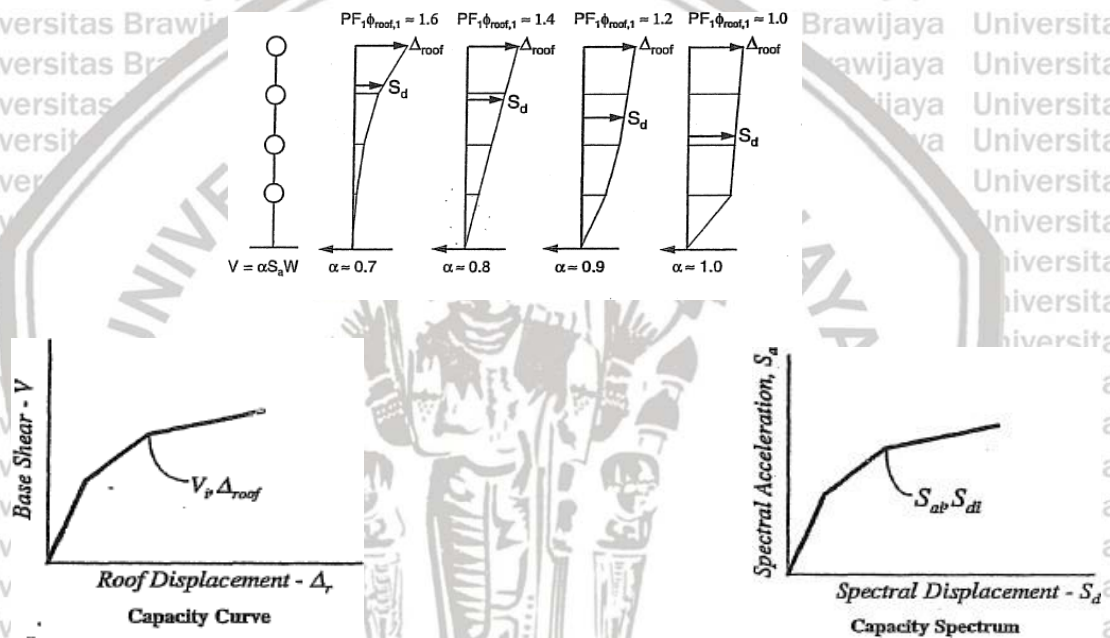
Menurut metode ATC-40, untuk menentukan kinerja struktur dapat menggunakan metode spektrum kapasitas (*capacity-spectrum*). Metode spektrum kapasitas adalah dengan memplotkan *demand* respon spektrum dan kurva kapasitas dalam satu format antara *spectral* percepatan versus *spectral* perpindahan atau disebut sebagai format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS).

Kurva kapasitas (*capacity-curve*) diperoleh dari analisis *pushover*, yaitu dengan memberikan beban lateral static tertentu pada struktur, yang kemudian ditingkatkan secara

bertahap hingga struktur mencapai suatu batas tertentu atau mengalami kegagalan struktur.

Respon struktur terhadap pemberian beban lateral yang diberikan secara bertahap tadi dicatat dan dibuat kurva hubungan gaya geser dasar, “V” dari perpindahan pada atap, “ Δ_{atap} ”, kurva tersebut-lah yang disebut kurva kapasitas

Kurva kapasitas menggambarkan kekuatan struktur yang besarnya sangat tergantung dari kemampuan deformasi dari masing-masing komponen struktur. Untuk merubah kurva kapasitas ke dalam format ADRS atau menjadi spektrum kapasitas maka terlebih dahulu kita harus memahami tentang hubungan factor partisipasi modal, modal koefisien massa, dan perpindahan bangunan, hubungan tersebut digambarkan pada **Gambar 2.14**.



Gambar 2.14 (a) Kurva Kapasitas (b) Spektrum Kapasitas
Sumber : ATC-40 (1996)

2.7.3 Batasan Deformasi

Deformasi lateral pada saat *performance point* harus dicek terhadap deformasi limit yang ditetapkan dalam ATC-40, 1996 bab 11.3.3. Deformasi limit pada berbagai tingkat kinerja dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 1996)

Batas	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate</i>	<i>Damage</i>	<i>Life</i>	<i>Structural</i>
Simpangan Antar Tingkat	<i>Occupancy</i>	<i>Control</i>	<i>safety</i>	<i>Stability</i>
Simpangan Total	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33 V_i/P_i
Maksimum				
Simpangan Inelastis Maksimum	0.005	0.005-0.015	Tidak Ada Batasan	Tidak Ada Batasan

Pada tabel tersebut dijelaskan bahwa simpangan total maksimum (*maximum total drift*) adalah simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada titik kinerja (*performance point displacement*) atau nilai simpangan maksimum pada atap pada saat *performance point* dibagi dengan total tinggi bangunan hingga atap. Simpangan inelastis maksimum adalah proporsi *stability level*, simpangan total maksimum pada lantai ke-*i* saat titik kinerja harus tidak melebihi $0.33 V_i/P_i$, dimana V_i adalah total gaya geser pada lantai ke-*i* dan P_i adalah total gaya gravitasi (seperti *dead load*, *live load*) pada lantai ke-*i*.

Pada desain bangunan baru, level kinerja yang direkomendasikan adalah *Live Safety Level*, saat simpangan total maksimum adalah 0.02, hal ini dikarenakan pada berbagai eksperimen yang dilakukan menghasilkan respon dengan deformasi yang besar sehingga proporsional untuk detailing pada bangunan baru (ATC-40, 1996 : 11-5).

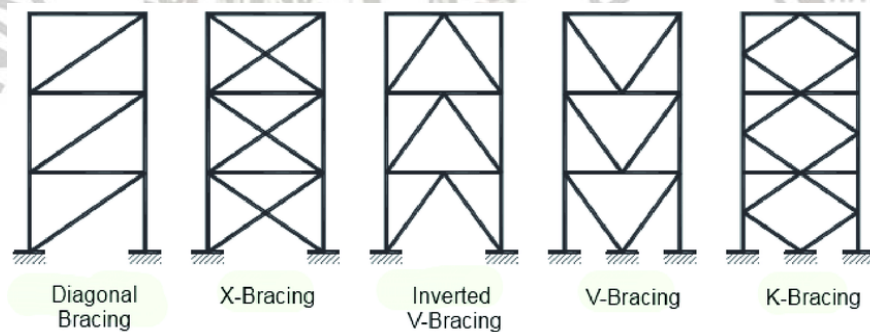
2.8 Pengaku Struktur Diagonal (Braced Frame)

Pengaku struktur diagonal (*braced frame*) adalah system struktur yang dirancang untuk meningkatkan kekakuan struktur dari terjadinya gempa bumi. Pengaku tersebut umumnya diaplikasikan pada struktur bangunan berjenis *Momen Resisting Frame* (MRF) atau biasa disebut dengan Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM).

Sistem struktur *Braced Frame* dibagi menjadi dua jenis sebagai berikut :

1. *Centrically Braced Frame* (CBF)

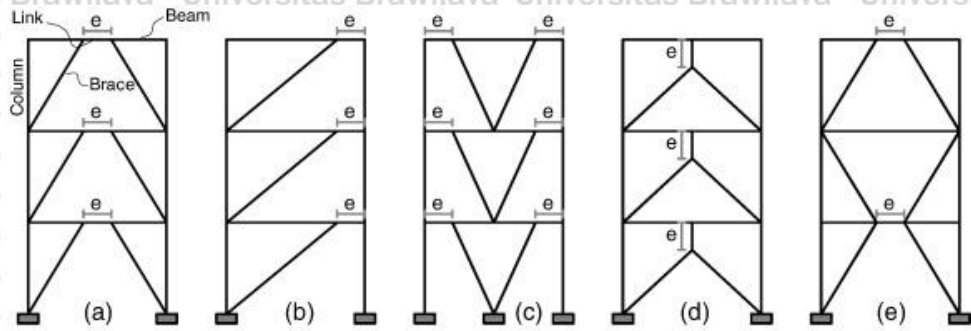
Merupakan sistem struktur rangka berpengaku konsentris, sistem tersebut efektif dalam menahan beban lateral dengan kekakuan yang tinggi. Untuk menghasilkan kekakuan yang tinggi maka struktur dipasang bresing secara diagonal yang berfungsi menahan beban lateral struktur (Smith dan Coull, 1991). Menurut AISC (1992) ada 5 tipe bentuk *Centrically Braced Frame* (CBF) yaitu terdapat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.15 Concentrically Based Frame

2. *Eccentrically Braced Frame* (EBF)

Merupakan sistem struktur rangka berpengaku eksentris. Sistem tersebut adalah struktur portal baja berfungsi menahan gaya lateral yang merupakan kombinasi dari keunggulan sistem MRF dan CBF dari segi kekakuan lateral dan daktilitasnya. Dimana berfungsi untuk mengurangi perilaku inelastic dan mampu menjaga pengaku bresing agar tetap elastis tanpa mengalami tekuk saat terjadi gempa. Berikut beberapa gambar tipe bentuk *Eccentrically Braced Frame* (EBF) terdapat pada gambar dibawah ini.

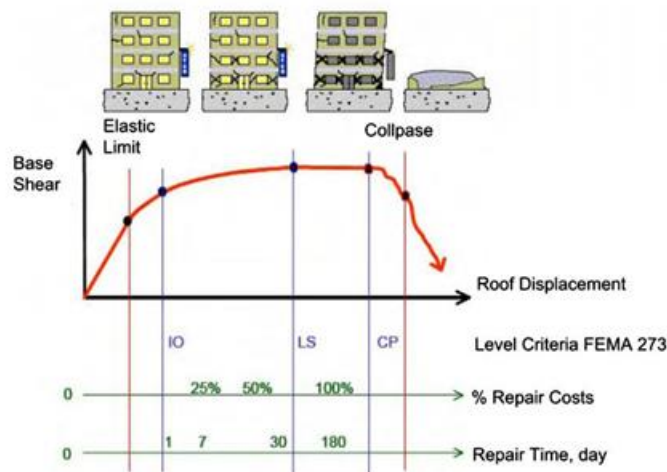


Gambar 2.16 Eccentrically Braced Frame (EBF)

Sumber : AISC, 1992

2.9 Performance Based Seismic Design (PBSD)

Performance Based Seismic Design (PBSD) adalah konsep untuk mendesain kinerja seismic bangunan dan jembatan yang saat ini sedang diterapkan. Tujuan utamanya agar menghasilkan struktur yang akan memiliki hasil yang dapat diprediksi jika terjadi gempa bumi. Namun, PBSD juga dapat digunakan untuk memperkuat bangunan yang sudah ada. Parameter yang menentukan keberhasilan dalam PBSD adalah kinerjanya (*performance objective*). Cara mengetahui kinerja adalah dengan menentukan tingkat intensitas gempa maka tingkat kerusakan yang dapat diterima dapat diketahui.



Gambar 2.17 Performance Levels dari PBSD

Sumber : FEMA 356

2.9.1 Performance Levels

Performance Levels diklasifikasikan menjadi beberapa bagian sesuai tingkatnya berdasarkan kerusakan akibat gempa yang meliputi kerusakan bangunan (*property loss*), korban jiwa dan status operasional. Menurut ATC-40 (*Federal Emergency Management Agency*) pembagian *performance levels* pada bangunan sebagai berikut :

1. *Immediate Occupancy Performance Level*

Elemen struktur tidak mengalami kerusakan dan elemen non struktur mengalami kerusakan yang minim. Bangunan masih bisa beroperasi dengan baik.

2. *Damage Control Performance Level*

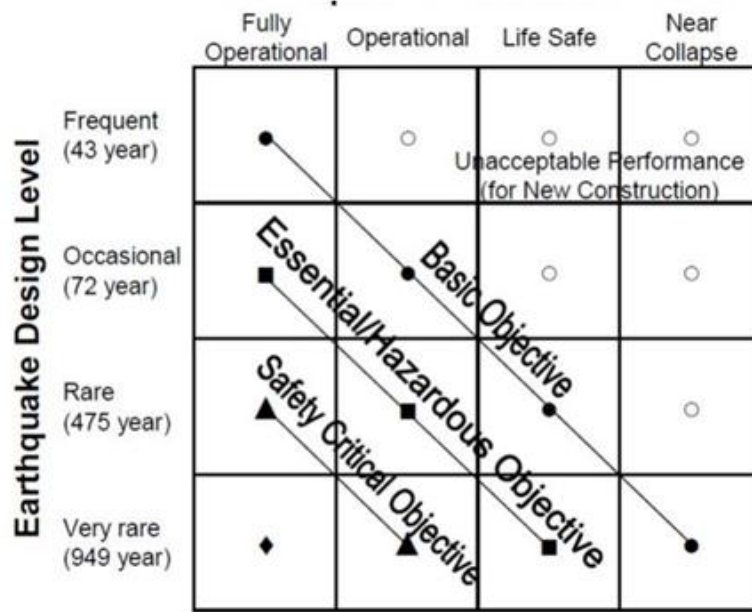
Elemen struktur mengalami kerusakan yang minim dan elemen non structural mengalami kerusakan sedang. Bangunan masih aman untuk beroperasi setelah terjadi gempa.

3. *Life Safety Building Performance Level*

Elemen struktur mengalami kerusakan dan elemen non struktur mengalami kerusakan yang maksimum. Bangunan harus diperbaiki agar bisa beroperasi Kembali.

4. *Structural Stability Performance Level*

Elemen non struktur mengalami keruntuhan dan elemen struktur diharapkan tidak mengalami keruntuhan. Struktur rusak berat akan tetapi tidak sampai terjadi keruntuhan.



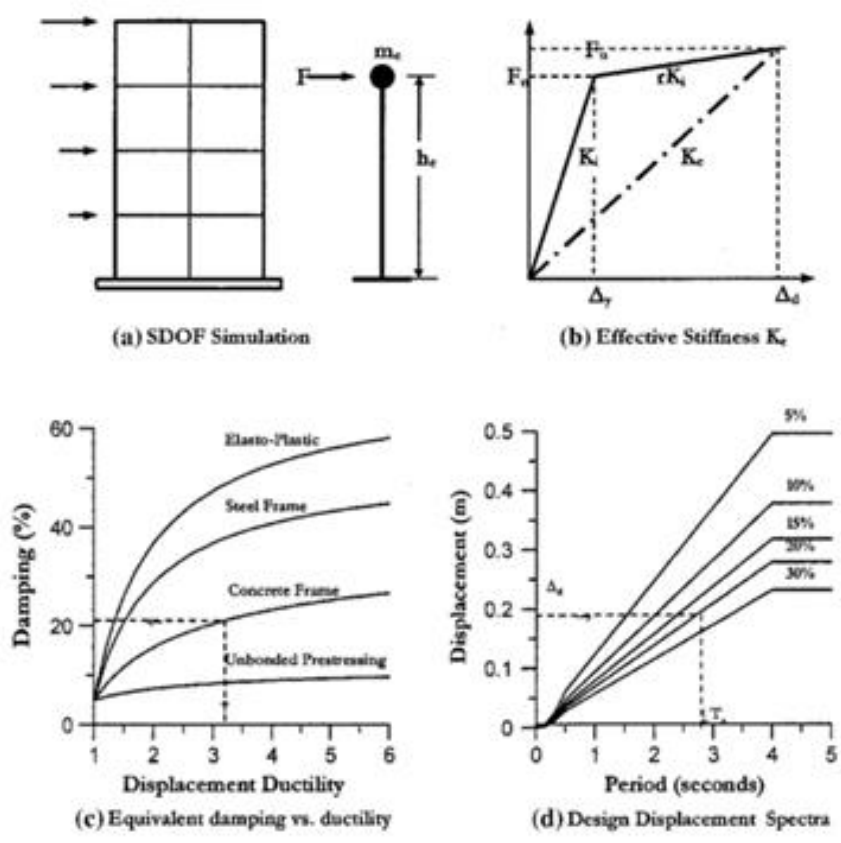
Gambar 2.18 Earthquake Performance level

Sumber : FEMA 356

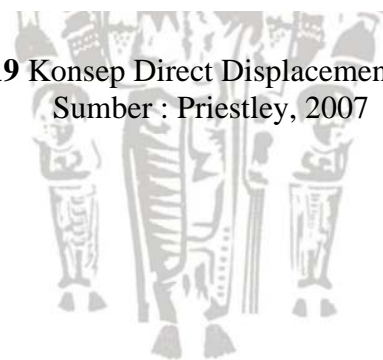
2.10 Direct Displacement Based Design (DDBD)

Metode *Direct Displacement Based Design* merupakan metode yang muncul untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dalam metode desain berbasis gaya (*Force Based Design*). Metode DDBD merupakan metode yang menekankan pada nilai *displacement* sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang dibutuhkan bangunan pada gempa desain (Priestley 52, 2007).

Metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) muncul untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dalam desain dengan metode desain berbasis gaya atau *Force Based Design* (FBD). Metode DDBD menekankan pada nilai *Displacement* sebagai acuan untuk menentukan kekuatan yang diperlukan bangunan terhadap gempa desain. Perbedaan dengan struktur akan didesain oleh satu derajat kebebasan (*Single Degree of Freedom/SDOF*) dengan representasi dari kinerja pada respon perpindahan puncak, bukan oleh karakteristik elastic awal. Konsep desain berbasis perpindahan *Direct Displacement Based Design* secara umum diilustrasikan pada **Gambar 2.19** dibawah ini.



Gambar 2.19 Konsep Direct Displacement Based Design
 Sumber : Priestley, 2007



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Data Umum Gedung

Nama : Gedung Rumah Sakit Bhayangkara

Lokasi : Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur

Fungsi : Gedung Rumah Sakit

Jenis Struktur : Rangka Beton Bertulang

Jumlah Lantai : 7 (termasuk lantai atap)

Luas per Lantai : 860 m²

Luas Gedung : ± 5160 m² (6 lantai)

Tinggi Gedung : 23,5 meter (puncak atap)

3.2 Preliminary Design

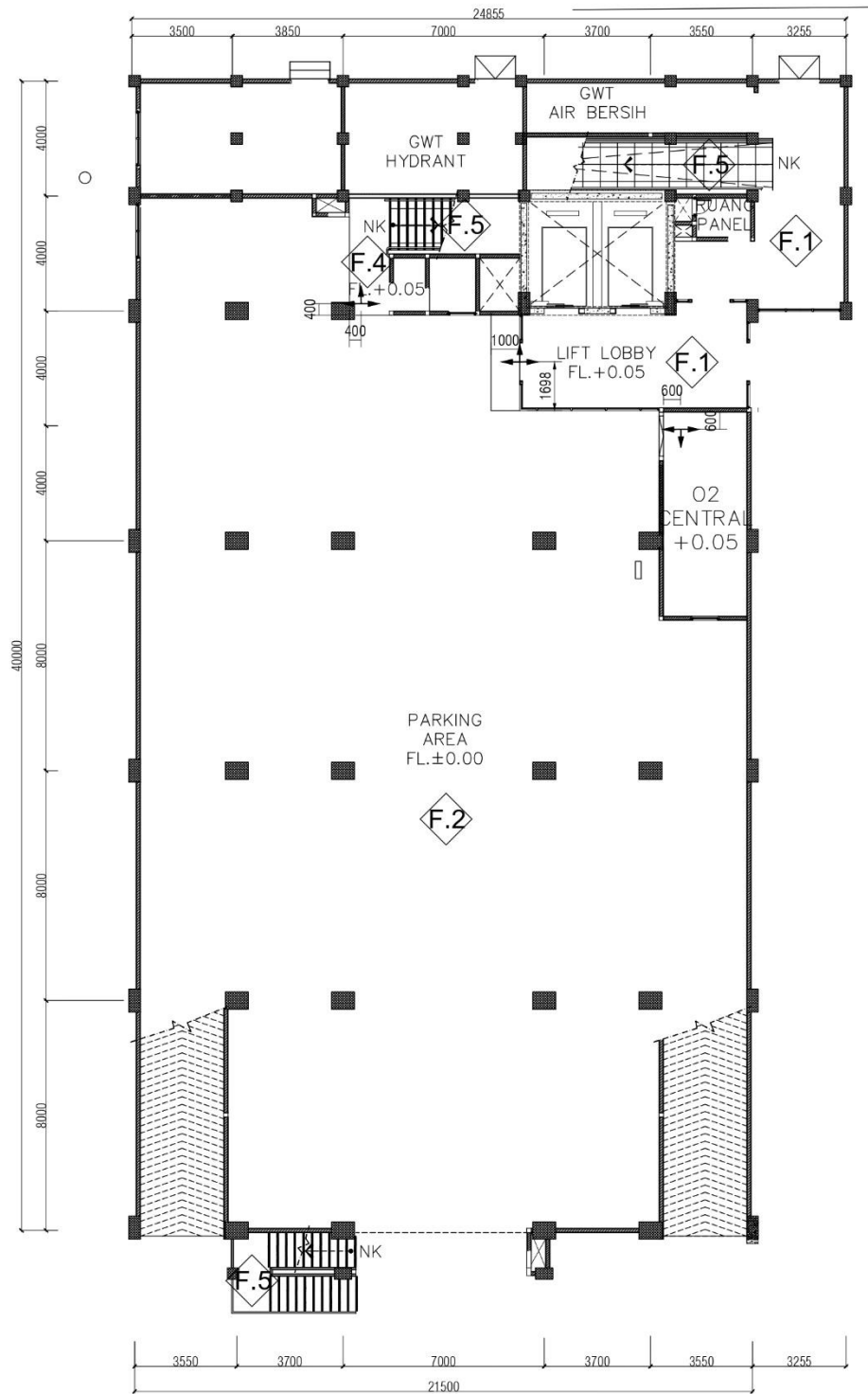
Pada kajian ini, bangunan gedung yang digunakan adalah Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Kabupaten Nganjuk. Bangunan ini memiliki dimensi 21,5 x 40 m dan memiliki tinggi lantai yang bervariasi. Lantai 1 memiliki tinggi 3,5 meter sedangkan untuk lantai 2-6 memiliki tinggi 4 meter. Pada *Detailed Engineering Design (DED)*, bangunan ini tidak didesain menggunakan metode *Direct Displacement Based Design (DDBD)*, sehingga akan dilakukan menggunakan metode *Direct Displacement Based Design (DDBD)* dengan optimasi bresing baja.

Tabel 3.1 Spesifikasi Material

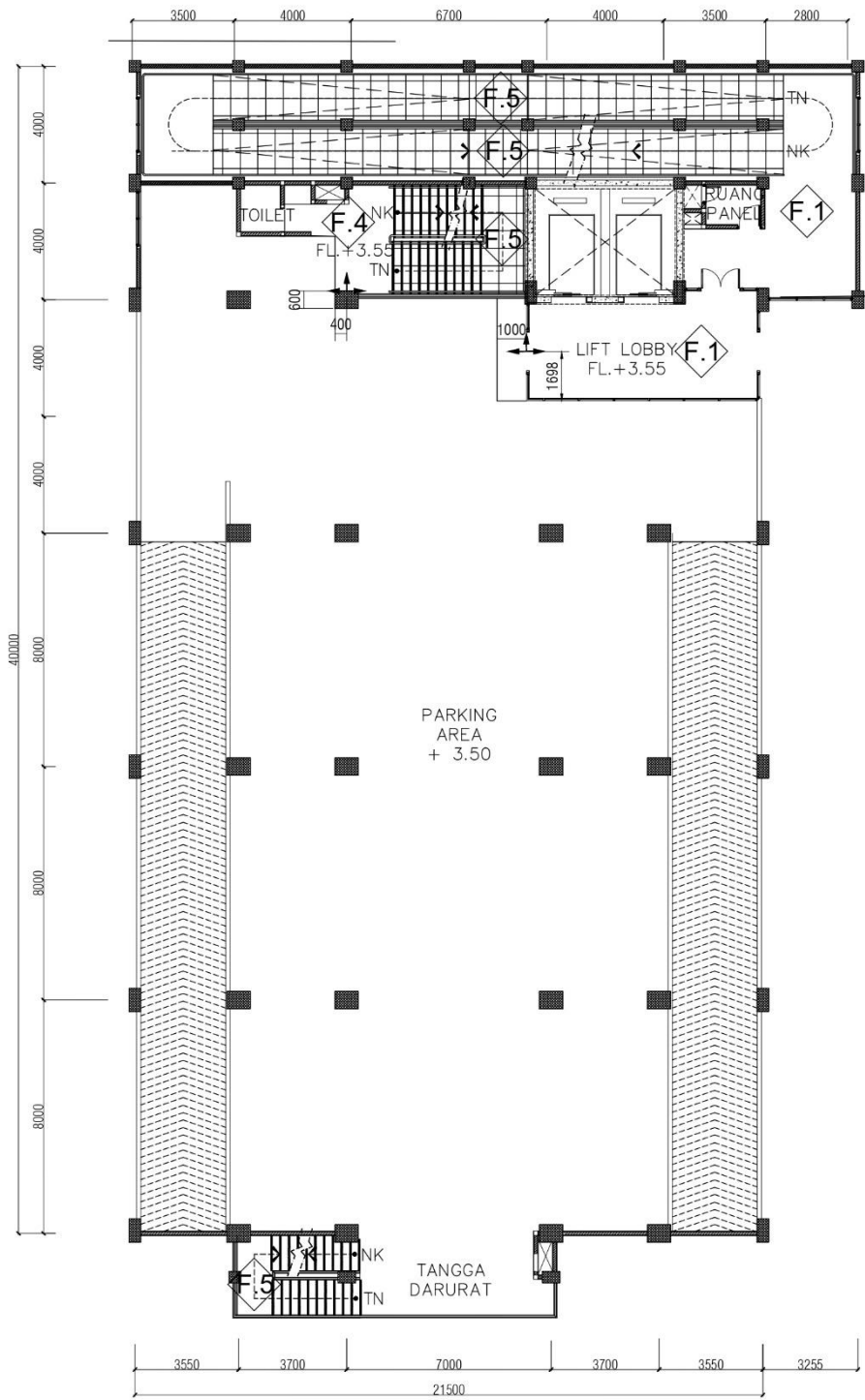
Data	Spesifikasi
Mutu Beton (f'_c)	25 Mpa
Modulus Elastisitas Beton	$4700 \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$
Tulangan Ulir (f_y)	390 MPa
Tulangan Polos (f_y)	240 MPa



3.2.1 Denah Struktural

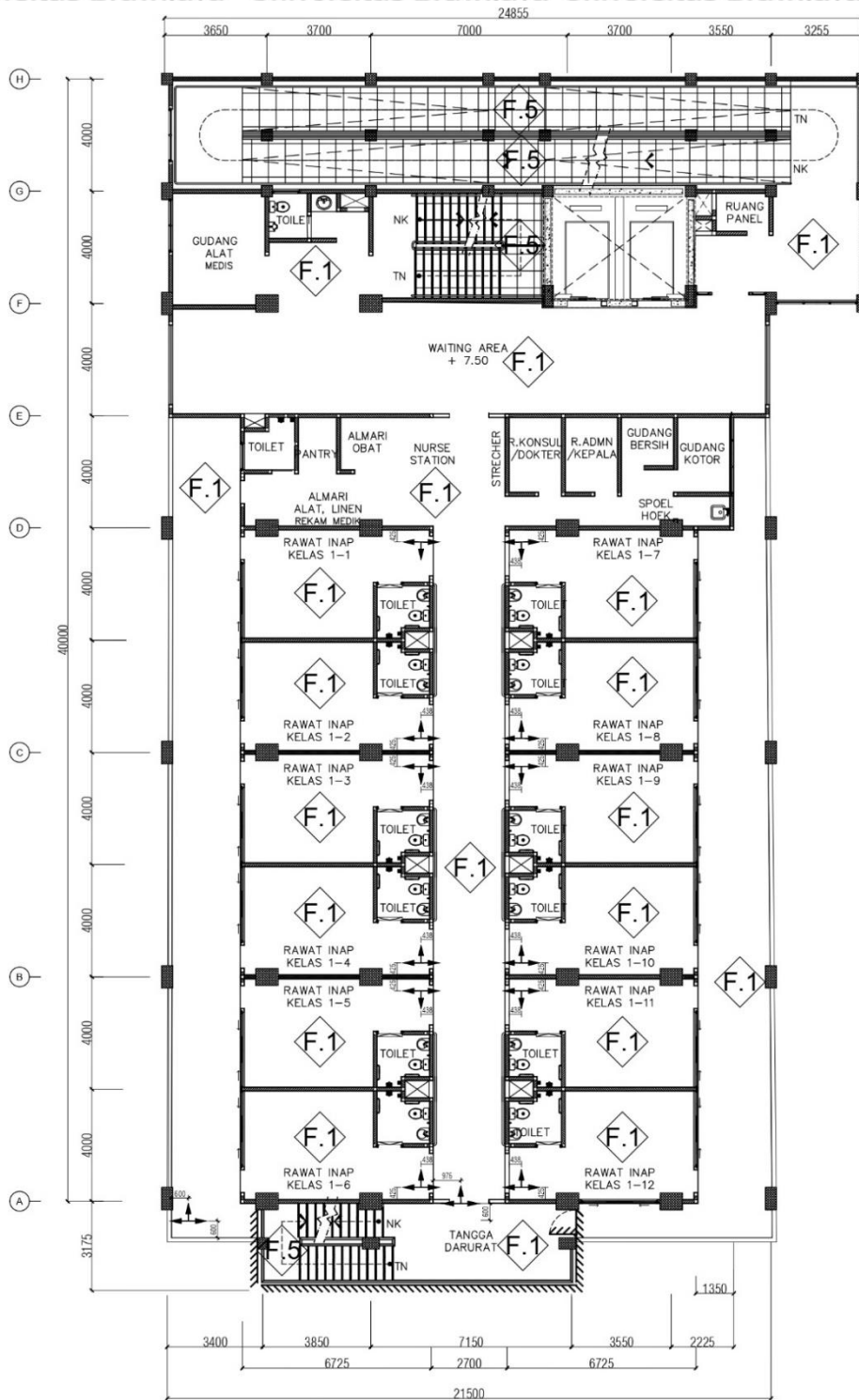


Gambar 3.1 Denah Lantai 1
Sumber : Detailed Engineering Design (DED)



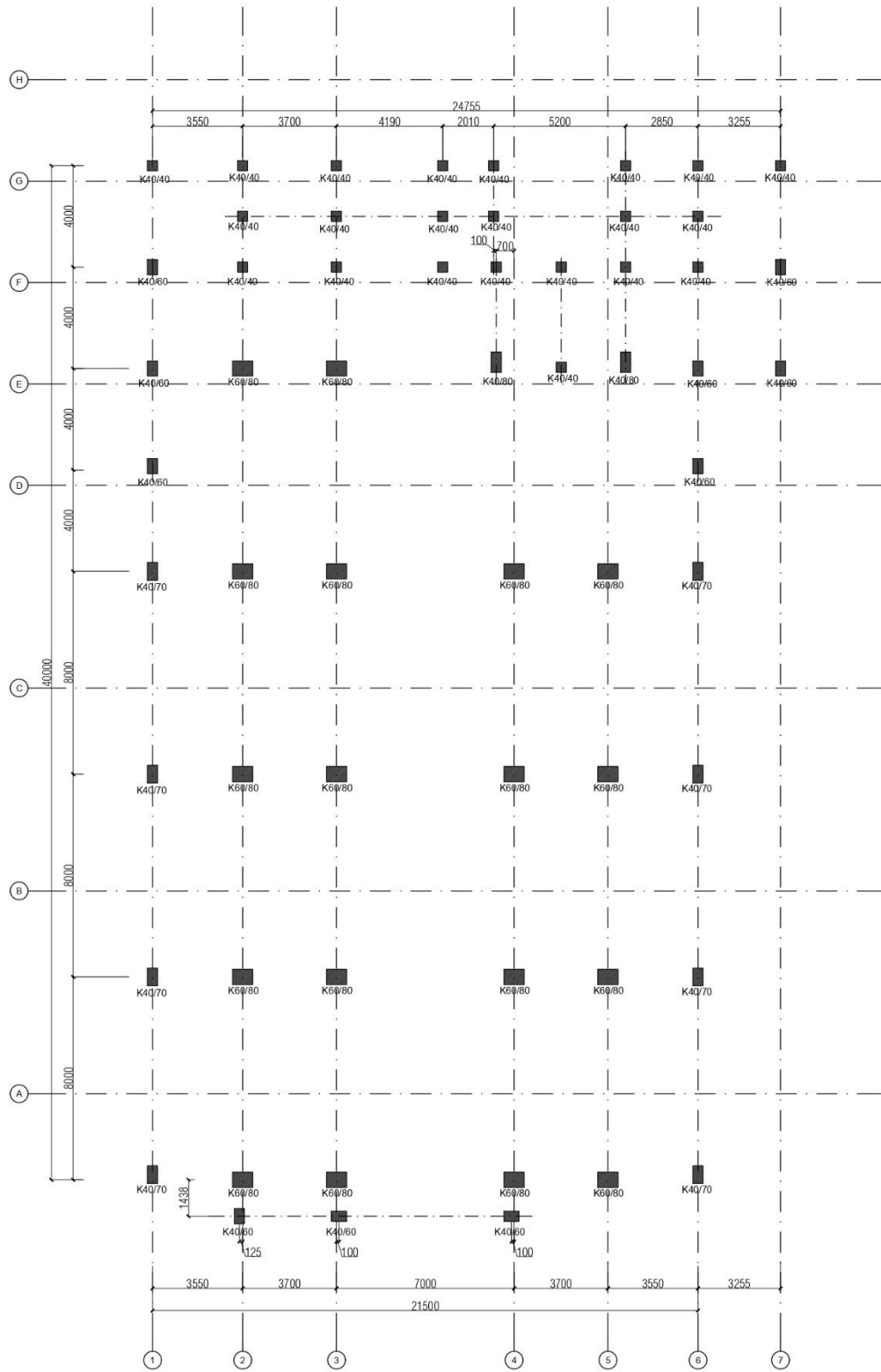
Gambar 3.2 Denah Lantai 2
Sumber : *Detailed Engineering Design (DED)*





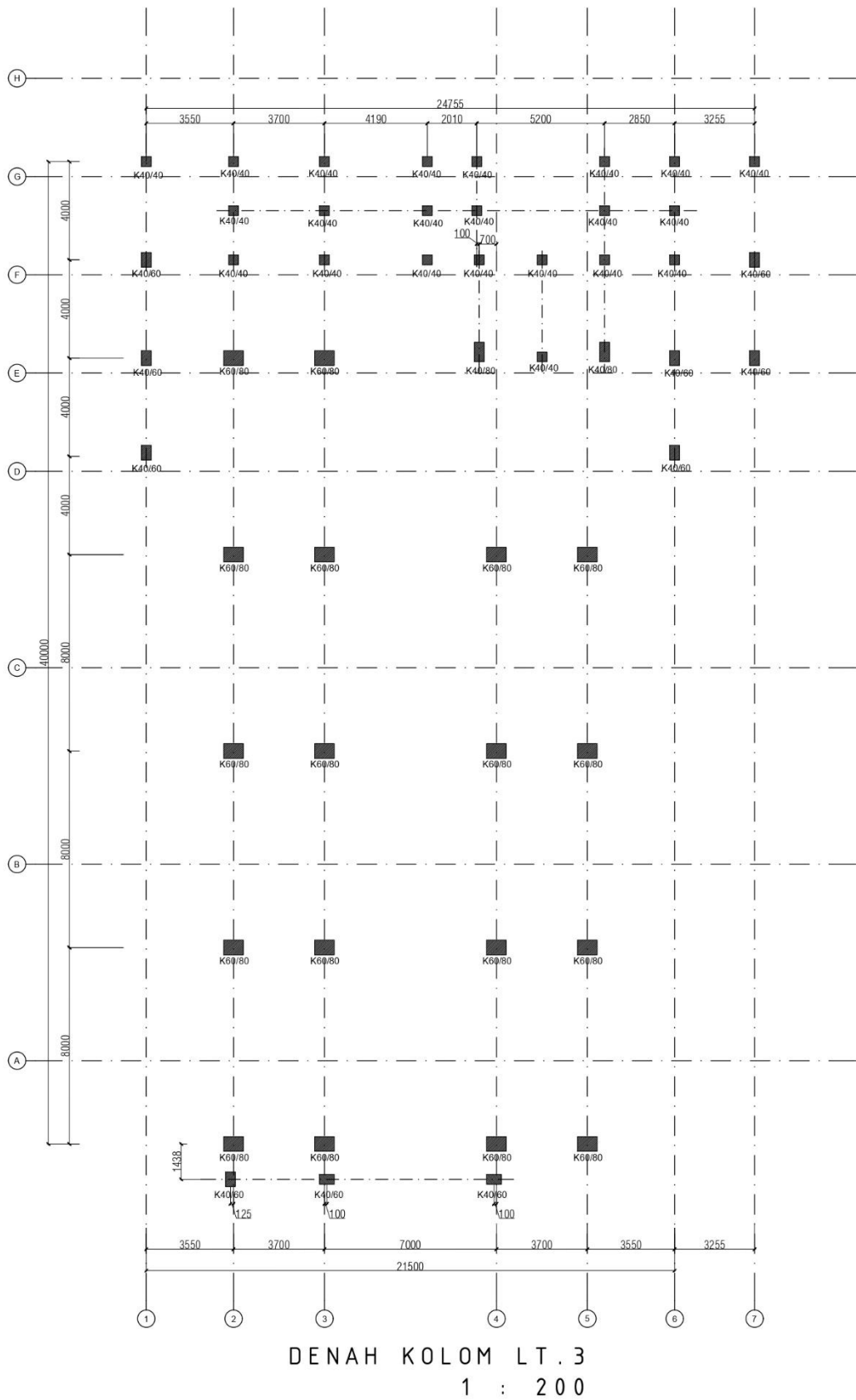
Gambar 3.3 Denah Lantai 3
Sumber : *Detailed Engineering Design (DED)*



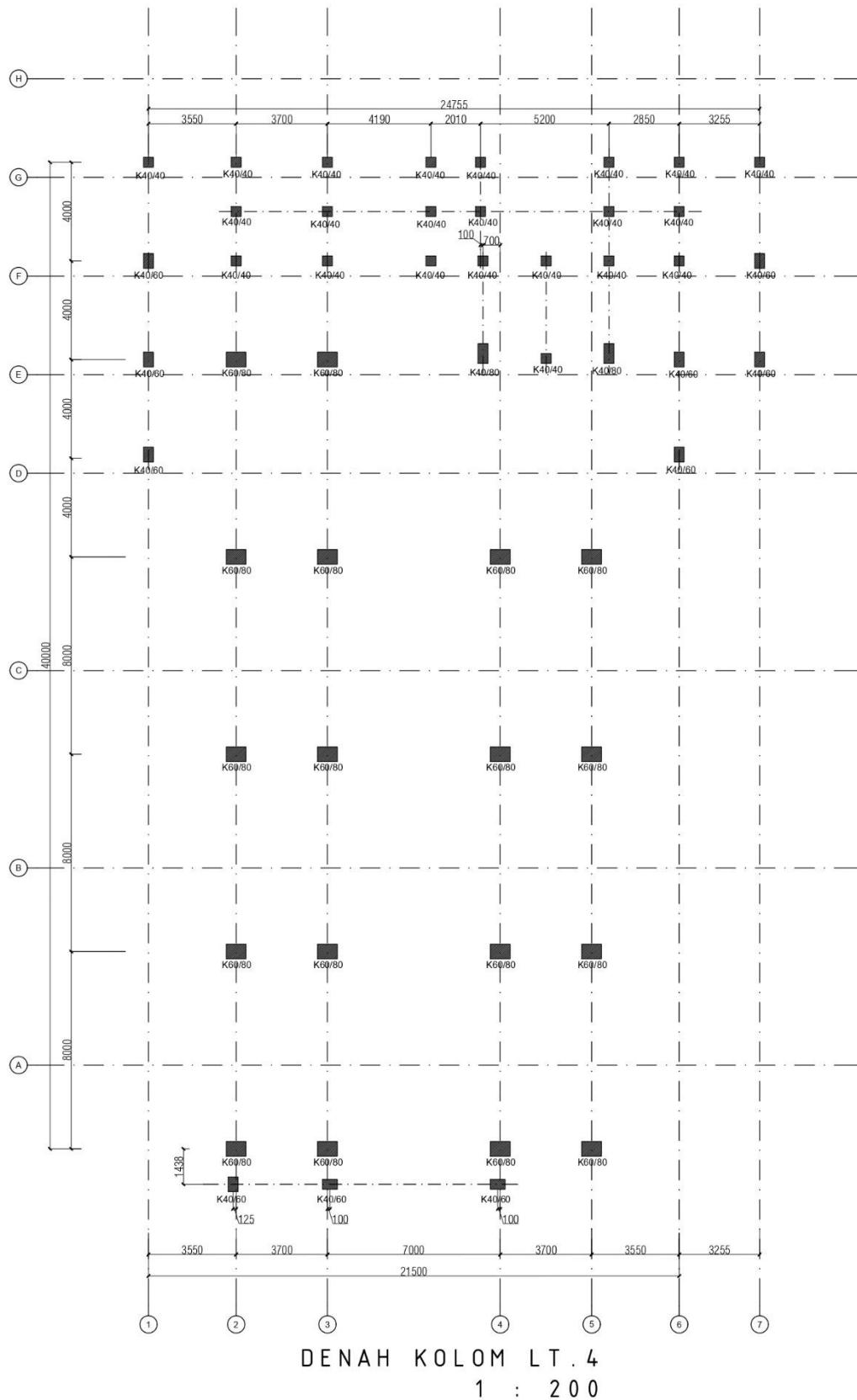


DENAH KOLOM LT. 2
1 : 200

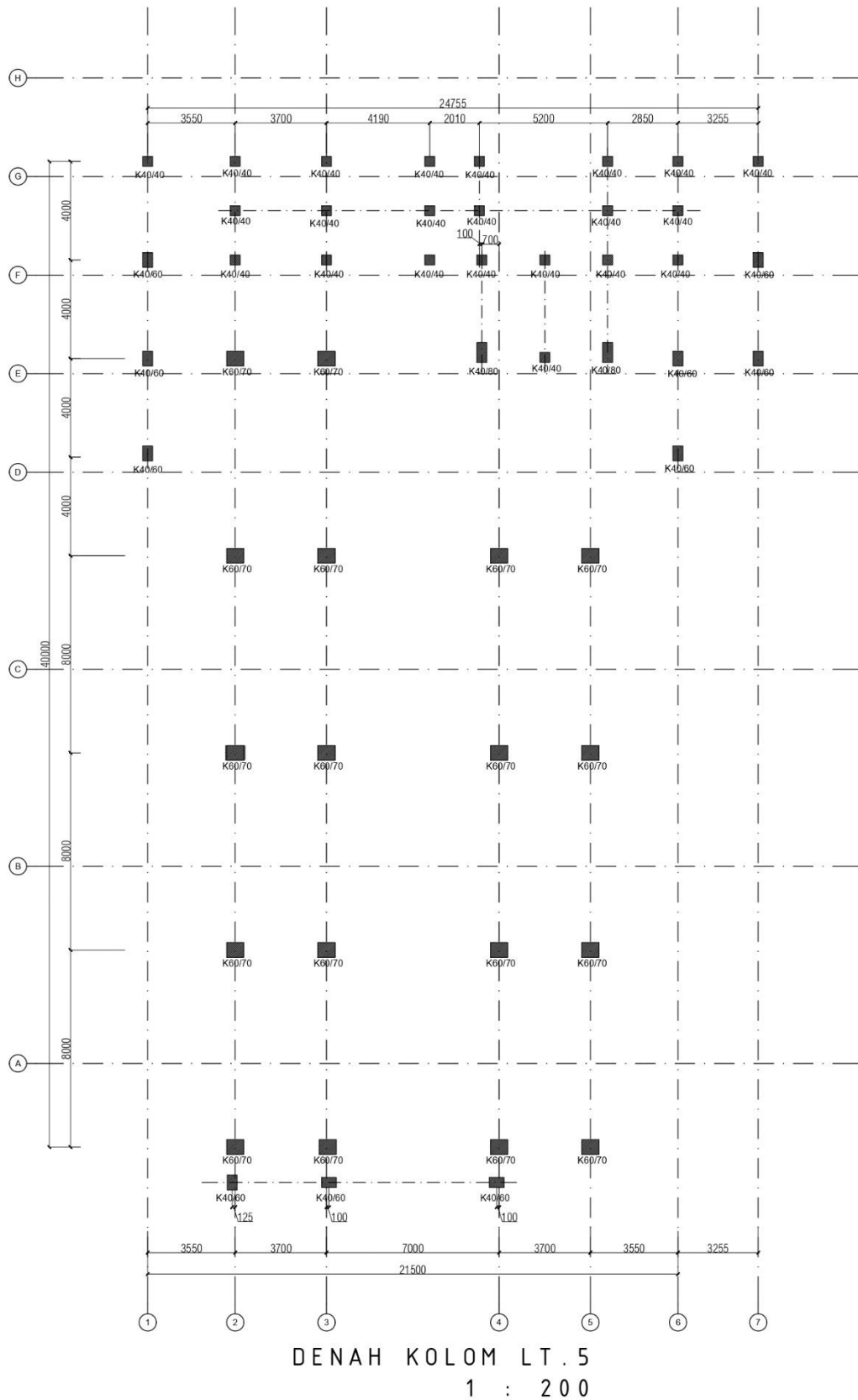
Gambar 3.7 Denah kolom lantai 2



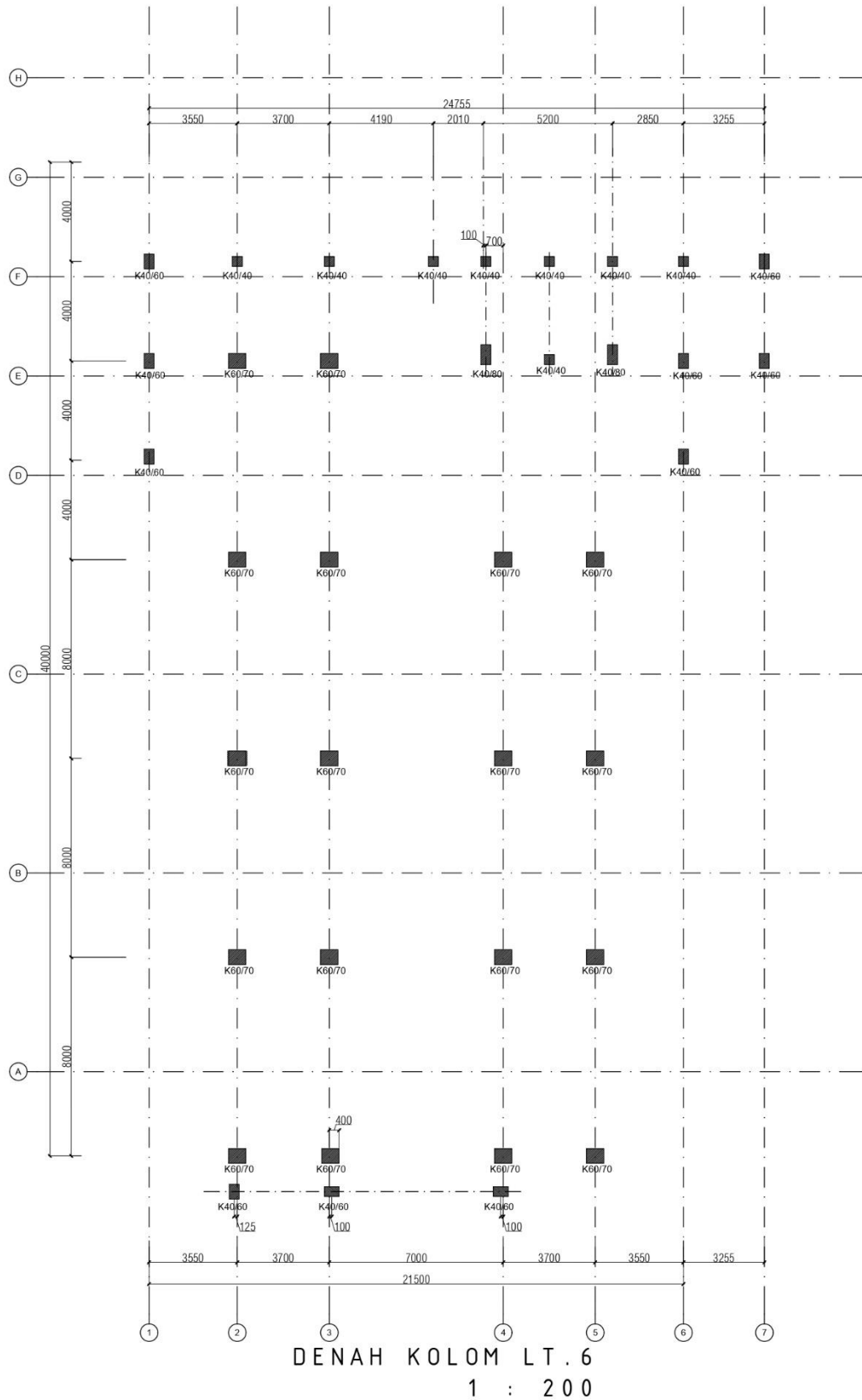
Gambar 3.8 Denah kolom lantai 3



Gambar 3.9 Denah kolom lantai 4



Gambar 3.10 Denah kolom lantai 5

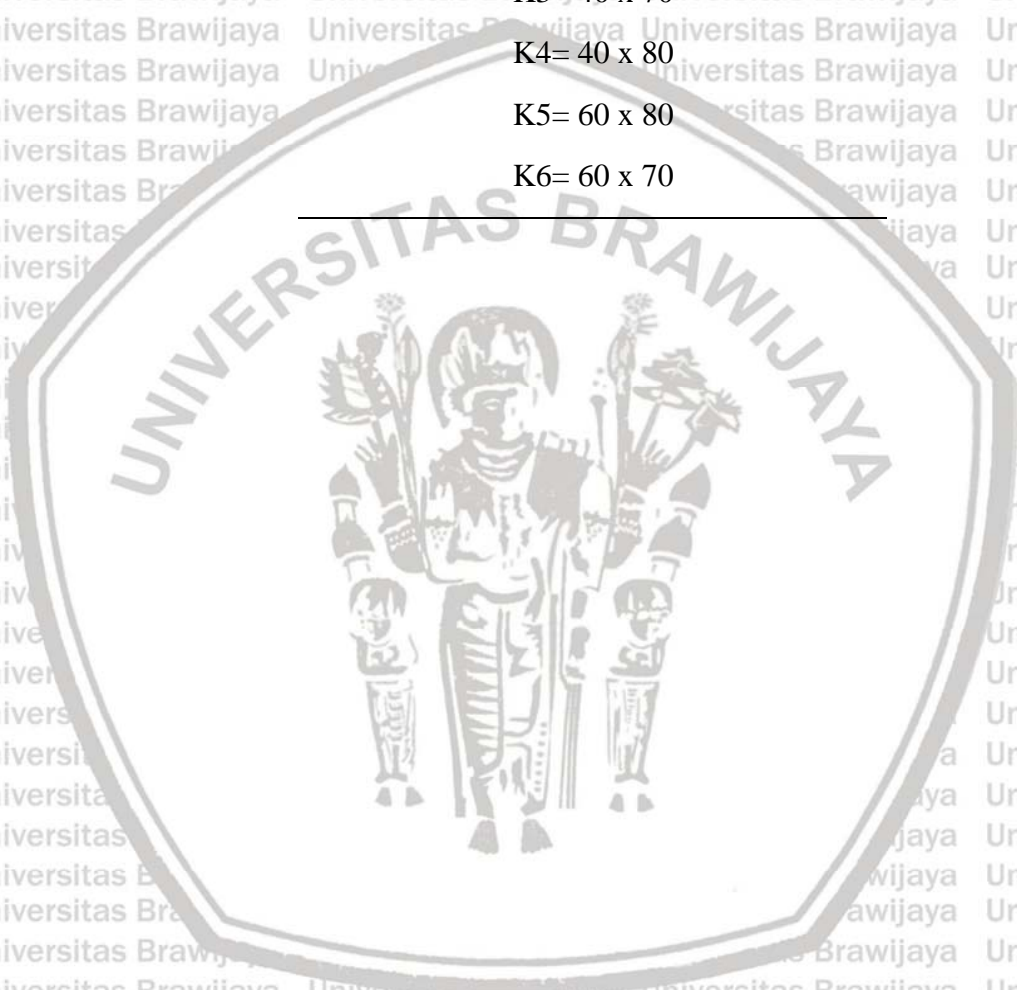


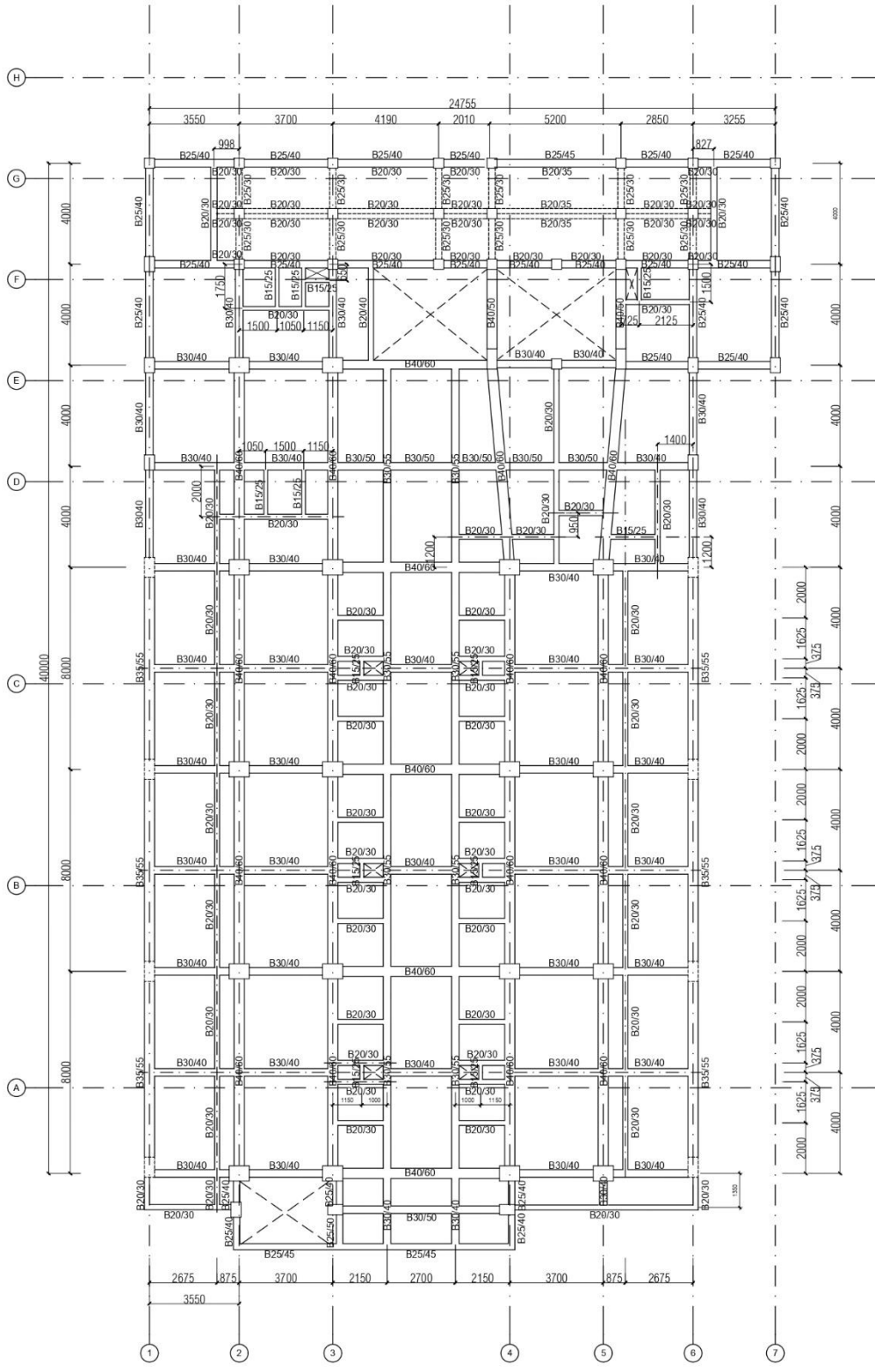
Gambar 3.11 Denah kolom lantai 6

Berikut Keterangan terkait data spesifikasi dimensi kolom yang digunakan dalam permodelan struktur :

Tabel 3.2 Dimensi Kolom

Dimensi Kolom
K1= 40 x 40
K2= 40 x 60
K3= 40 x 70
K4= 40 x 80
K5= 60 x 80
K6= 60 x 70

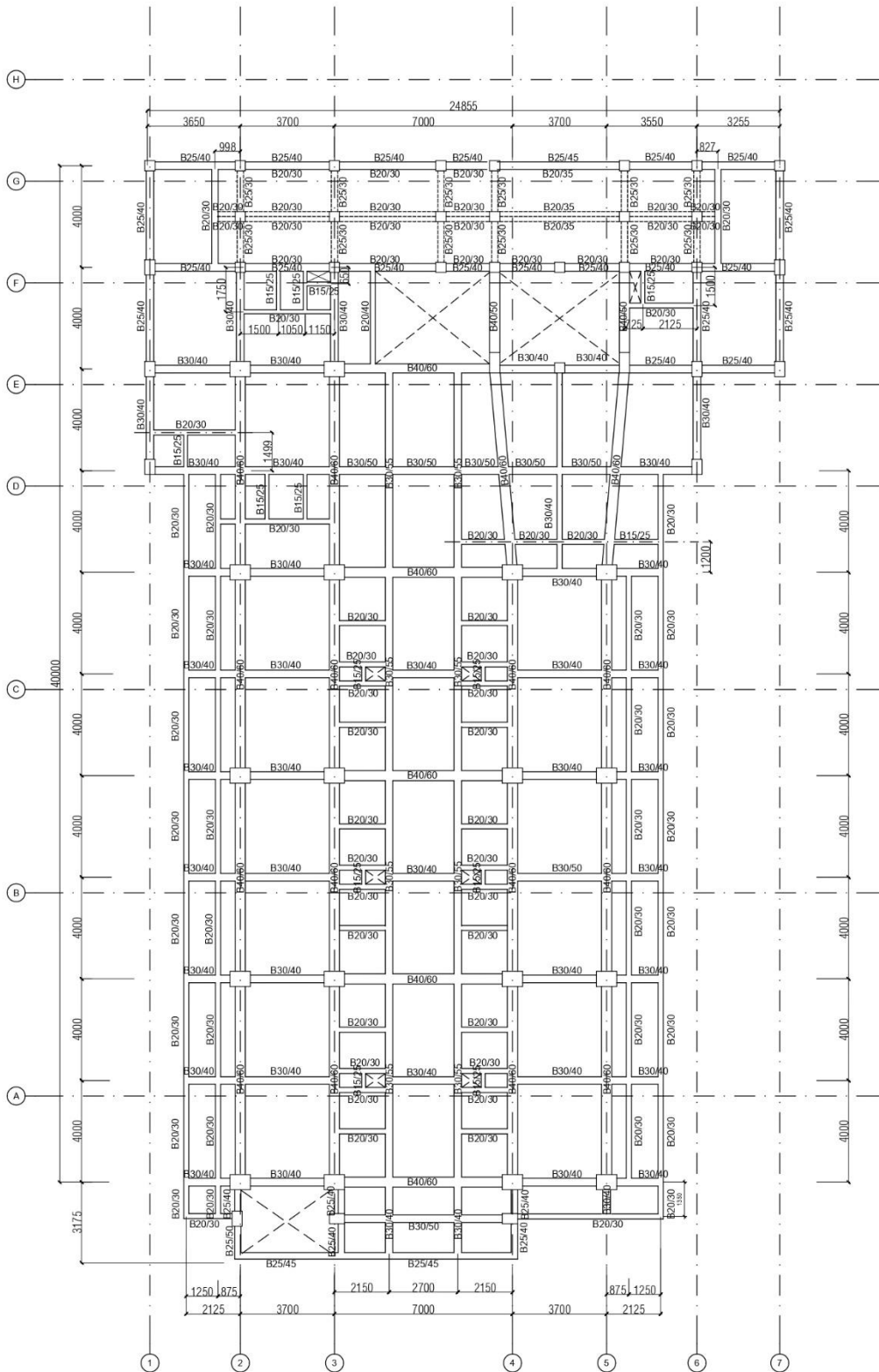




DENAH BALOK LT. 3
1 : 200

Gambar 3.14 Denah Balok lantai 3





DENAH BALOK LT. 4
1 : 200

Gambar 3.15 Denah balok lantai 4

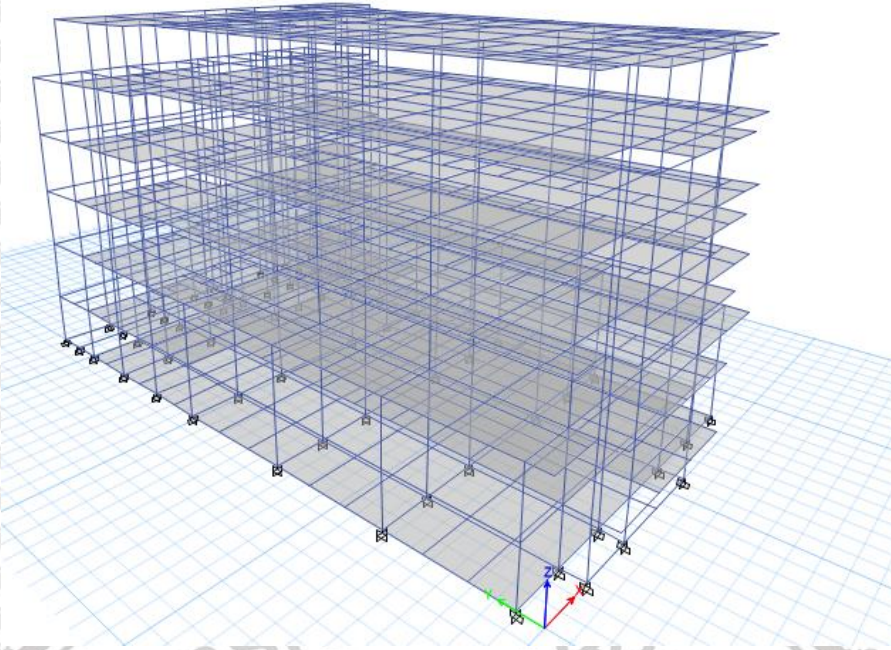
Berikut Keterangan terkait data spesifikasi dimensi balok yang digunakan dalam permodelan struktur :

Tabel 3.3 Dimensi Elemen Struktur

Dimensi Balok	
B1= 40 x 60	B7= 20 x 30
B2= 30 x 50	B8= 15 x 25
B3= 30 x 40	B9= 30 x 55
B4= 40 x 65	B10= 25 x 45
B5= 25 x 40	B11= 25 x 50
B6= 20 x 40	B12= 20 x 35

3.3 Pemodelan Pada ETABS 2018

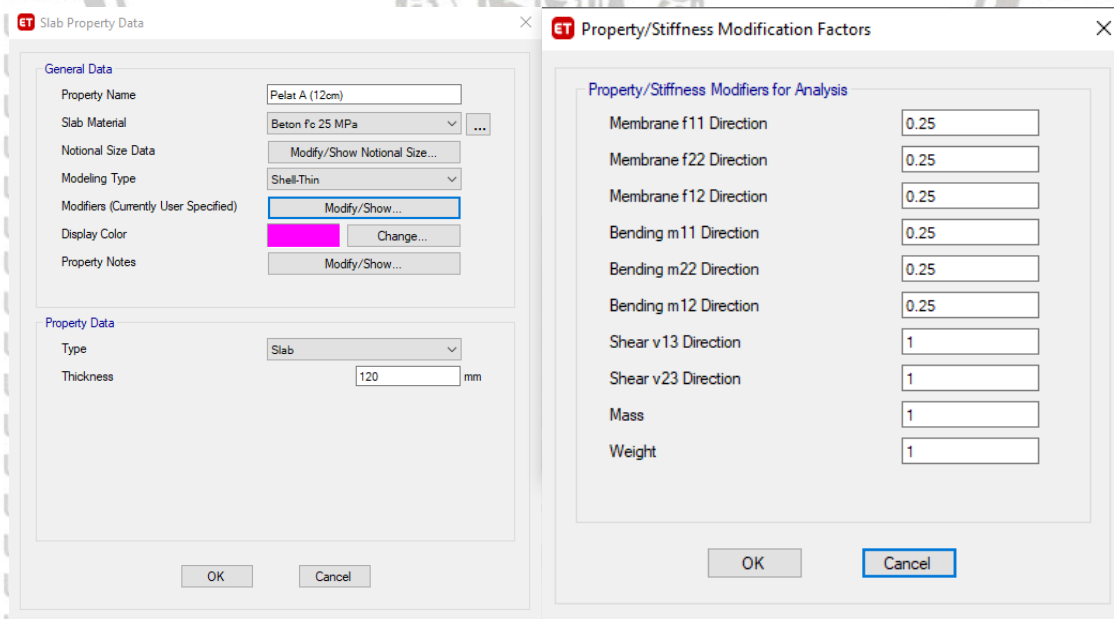
Pemodelan pada penelitian ini menggunakan software ETABS 2018 V 18.1.1. pemodelan struktur dilakukan dengan keadaan tiga dimensi (arah x-y-z) untuk mengetahui perilaku struktur. Dimana arah x merupakan horizontal (tampak atas denah), arah y adalah vertical sumbu (tampak atas denah) dan arah z adalah vertical 3 dimensi. Elemen struktur seperti kolom, balok dan plat dimodelkan sesuai dengan mutu dan spesifikasi yang sudah tertera. Untuk elemen non-struktural seperti plafon, dinding mekanikal dan sebagainya tidak akan dimodelkan dalam program dan hanya akan menjadi beban untuk struktur utama (beban mati tambahan). Untuk pondasi, dimodelkan dengan tumpuan jepit. Pemodelan untuk elemen tersebut ada pada **Gambar 3.18**



Gambar 3.18 Pemodelan Gedung pada ETABS 18

3.3.1 Pemodelan Pelat lantai

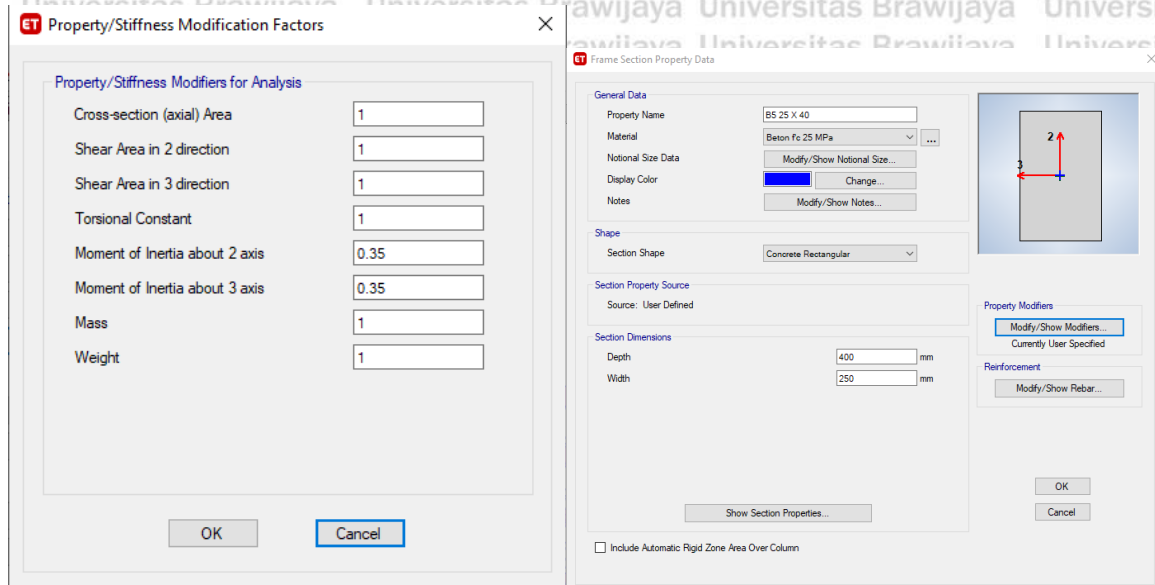
Pelat lantai pada kajian ini dibuat dengan data metrial 25 MPa beton dan tipe model *shell-thin* . ketebelan pelat lantai ialah 12 dan 15 cm dengan tipe *property data* yaitu *slab*. *Stiffness modifier* dibuat 0,25 untuk *bending* dan *membrane*. Pada program pelat lantai didesain dengan rigid. Untuk data lebih lengkap terdapat pada Gambar 3.19



Gambar 3.19 Mendifine pelat pada program ETABS

3.3.2 Pemodelan Balok

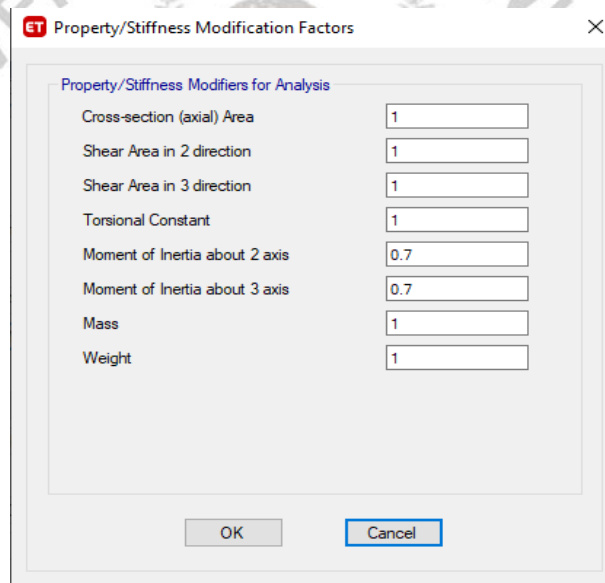
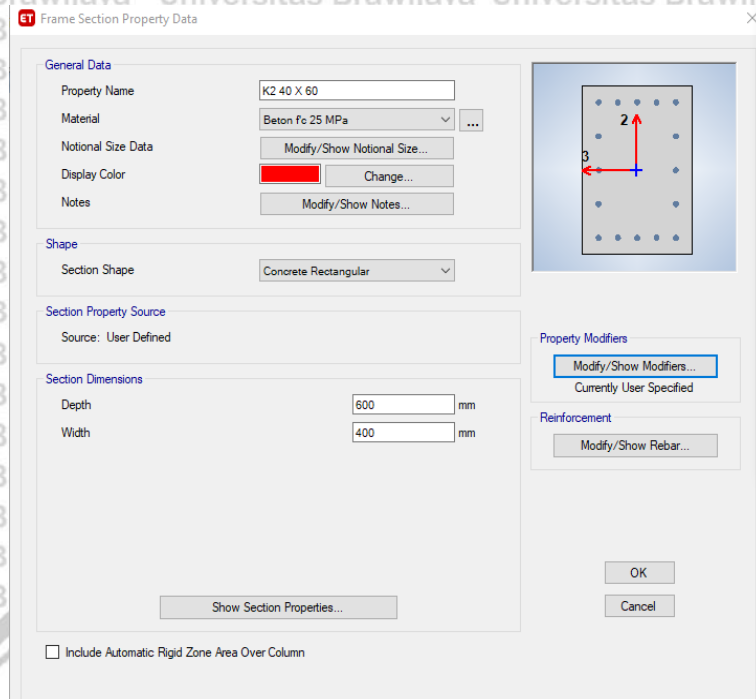
Balok dibuat dengan data material beton 25 MPa. Momen inersia axis 2 dan 3 (arah x dan y tampak atas) dibuat dengan nilai 0,35. Torsi, massa, berat di buat dengan faktor modifikasi 1. Untuk ukuran dimensi disesuaikan dengan masing-masing tipe. Untuk mutu baja tulangan yang digunakan yaitu 390 MPa untuk ulir dan 240 MPa untuk polos. Pada program, balok didesain dengan rigid. Untuk data lebih lengkap terdapat pada **Gambar 3.20**



Gambar 3.20 Mendefine balok pada program ETABS

3.3.3 Pemodelan Kolom

Kolom dibuat dengan data material beton 25 MPa. untuk momen inersia axis 2 dan 3 (arah x dan y tampak atas) dibuat dengan nilai 0,7. Torsi, massa, berat di buat dengan faktor modifikasi 1. Untuk ukuran dimensi disesuaikan dengan masing-masing tipe. Untuk mutu baja tulangan yang digunakan yaitu 390 MPa untuk ulir dan 240 MPa untuk polos. Pada program kolom didesain dengan rigid. Untuk data lebih lengkap terdapat pada **Gambar 3.21**



Gambar 3.21 Mendefine kolom pada program ETABS

3.4 Pembebanan Gedung dan Respon Gempa

Desain pembebanan gedung mengacu pada SNI 1727:2013 “Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain” dan *ASCE 7-10 Minimum Design Load for Building and Other Structure* untuk beban hidup dan beban mati. Untuk respon gempa, diambil SNI 1726:2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung”.

3.4.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat sendiri struktur dan berat tambahan pada struktur. Berat sendiri pada struktur yaitu 2400 Kg/m^3 . Lalu untuk berat tambahan merupakan berat elemen-elemen non struktur pada Gedung. Berat elemen-elemen non-struktur pada Gedung akan dijelaskan pada **Tabel 3.4** Dibawah ini

Tabel 3.4 Beban Mati dan Beban Mati Tambahan

Komponen Pembebanan	Nilai	Satuan
Lantai keramik + spesi	113	Kg/m^2
Ducting	20	Kg/m^2
Mekanikal elektrikal	10	Kg/m^2
Plafon langit-langit	10	Kg/m^2
Dinding bata ringan	80	Kg/m^2
Dinding partisi Gypsum	30	Kg/m^2

3.4.2 Beban Hidup

Berikut adalah beban hidup menurut SNI 1727:2013 yang digunakan dalam perencanaan :

Tabel 3.5 Beban Hidup

Beban Hidup	Nilai	Satuan
Ruang Operasi, Laboratorium	2,87	kN/m^2
Ruang Pasien	1,92	kN/m^2

3.4.3 Kombinasi Pembebanan

Berikut adalah kombinasi pembebanan menurut SNI 1727:2013 yang digunakan dalam perencanaan. Dimana gaya gempa lateral yang terjadi yaitu dua arah atau bolak-balok. Dalam kombinasi pembebanannya hal ini digambarkan oleh nilai positif (+) dan negative (-) gaya gempanya (EQX dan EQY). Berikut merupakan rincian dari kombinasi pembebanan.

Tabel 3.6 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi Pembebanan

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6
3. 1,2D + 0,5L + 0,096EQV + 1,3 EQX + 0,39 EQY
4. 1,2D + 0,5L + 0,096EQV - 1,3 EQX + 0,39 EQY
5. 1,2D + 0,5L + 0,096EQV + 1,3 EQY + 0,39 EQX
6. 1,2D + 0,5L + 0,096EQV - 1,3 EQY + 0,39 EQX
7. 0,9D + 0,096EQV + 1,3 EQX + 0,39 EQY
8. 0,9D - 0,096EQV - 1,3 EQX + 0,39 EQY
9. 0,9D - 0,096EQV + 1,3 EQY + 0,39 EQX
10. 0,9D - 0,096EQV - 1,3 EQY + 0,39 EQX

3.5 Respon Gempa Elastis

Respon gempa pada *DDBD* ini menggunakan respon gempa yang dihitung sesuai SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung dan Non-gedung. Gempa rencana mempunyai periode ulang 500 ($2/3 \times S_{ms}$) tahun, agar probabilitasnya terbatas pada 2% selama umur gedung 50 tahun. Respon gempa elastis ini mempunyai redaman 5% (redaman dasar yang melekat). Dalam kajian ini data respon spektrum gempa diambil dari web [RSA \(pu.go.id\)](http://RSA.pu.go.id) pada halaman “Aplikasi Respon Spektra 2021” dan akan didapat hasil sebagai berikut.

3.5.1 Data Umum Struktur

1. Lokasi : Kabupaten Nganjuk (Jawa Timur)
2. Tanah Dasar : Tanah Batuan (SB)
3. Kategori Resiko : 4 (Rumah Sakit)
4. Faktor Keutamaan (I_e) : 1,5



Tabel 3.7 Kategori Resiko Bangunan

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	<p>IV</p>

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 3.8 Faktor keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_c
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726-2019

Tabel 3.9 Faktor R, Cd, dan Ω untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^g	TI ^g
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ^h
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726-2019

3.5.2 Parameter Respon Spektrum Untuk Gempa Maksimum

- Menentukan nilai S_s Dan S_1 dimana didapatkan dari web [RSA \(pu.go.id\)](http://RSA.pu.go.id).

Results: Tabel dibawah ini merupakan Parameter untuk membuat Grafik Desain Spektra Indonesia:

Kelas	T0(detik)	Ts(detik)	Sds(g)	Sd1(g)
SBC - Batuan	0.08	0.42	0.48	0.20

Rentang T(s) Value: 6

PGA MCEg: 0.3661 (g) bedrock

SS MCEr: 0.8053 (g) bedrock

S1 MCEr: 0.3701 (g) bedrock

TL: 20 Detik

Save

Gambar 3.22 Hasil Data untuk lokasi Gedung Rumah Sakit Bhayangkara

Sumber : RSA (pu.go.id)



Dari data diatas didapatkan :

- $S_s = 0,8054$
- $S_1 = 0,3701$

2. Penetapan factor amplifikasi getaran periode pendek (0,2 detik dan 1 detik). Setelah menentukan nilai S_s dan S_1 maka factor amplifikasi gempa (F_a dan F_v) dapat ditentukan pada *Tabel 3.10* dan *Tabel 3.11*.

Tabel 3.10 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Tabel 3.11 Koefisien Situs F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_R) terpetakan pada periode 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Berdasarkan Ketentuan Diatas untuk tanah batuan (SB) dengan $S_s = 0,8054$ dan $S_1 = 0,3701$ didapatkan :

- $F_a = 0,9$
- $F_v = 0,8$

3. Menghitung respon spektrum percepatan periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}).

- $S_{MS} = F_a \times S_s = 0,9 \times 0,8054 = 0,72486$
- $S_{M1} = F_v \times S_1 = 0,8 \times 0,3701 = 0,29608$

4. Menghitung parameter percepatan spectral desain.

- $S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,72486 = 0,48324$
- $S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0,29608 = 0,19738$

5. Menghitung periode (T_0 dan T_s).

- $T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,19738}{0,48324} = 0,08169$
- $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,19738}{0,48324} = 0,40845$

3.5.3 Respon Spektrum Desain

Menurut pasal 6.4 SNI 1726-2012, prosedur untuk menentukan respon spektrum desain adalah sebagai berikut :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \dots\dots\dots (3-1)$$

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

3. Untuk periode lebih besar dari T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \dots\dots\dots (3-2)$$

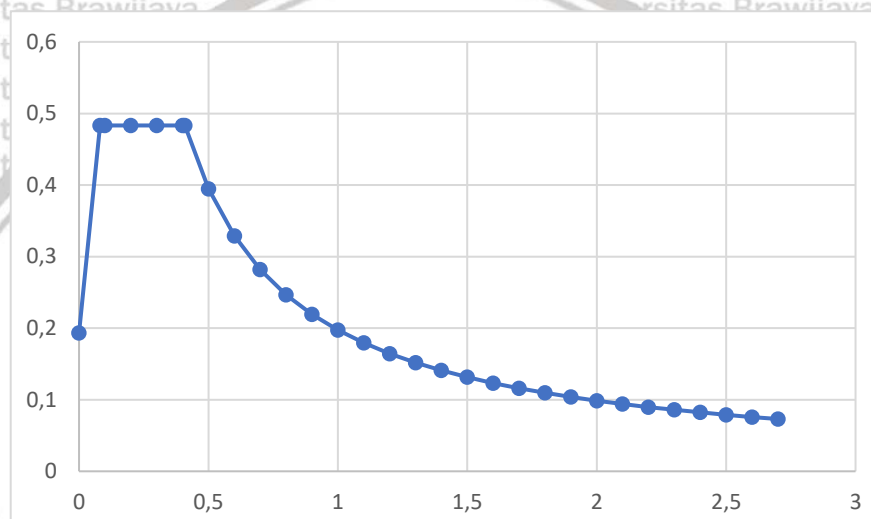
4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \dots\dots\dots (3-3)$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh grafik spektrum desain yang selanjutnya digunakan dalam analisis, ditampilkan pada **Gambar 3.23**

Tabel 3.12 Koefisien Situs Fv (Gedung)

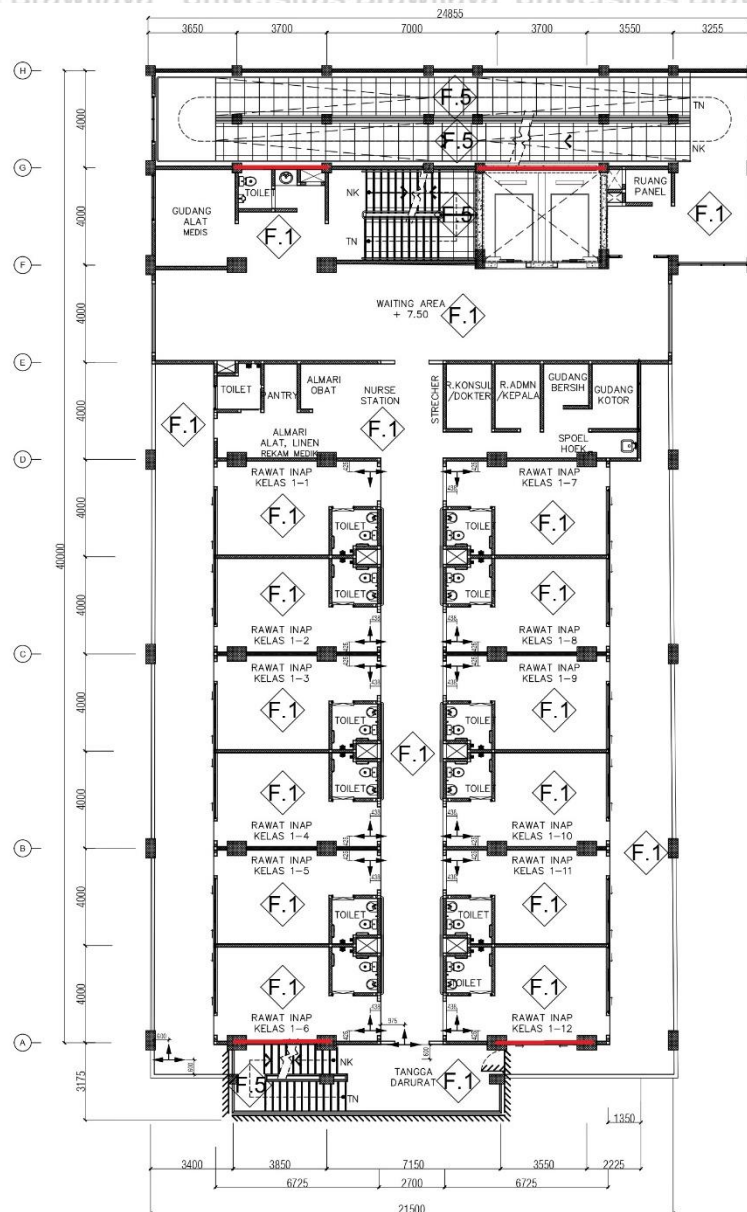
T (Detik)	Sa (g)	T (Detik)	Sa (g)	T (Detik)	Sa (g)
0	0.1933	0.8	0.24673	1.8	0.10966
0.08169	0.48324	0.9	0.21931	1.9	0.10388
0.1	0.48324	1	0.19738	2	0.09869
0.2	0.48324	1.1	0.17944	2.1	0.09399
0.3	0.48324	1.2	0.16448	2.2	0.08972
0.4	0.48324	1.3	0.15183	2.3	0.08582
0.40845	0.48324	1.4	0.14099	2.4	0.08224
0.5	0.39476	1.5	0.13159	2.5	0.07895
0.6	0.32897	1.6	0.12336	2.6	0.07592
0.7	0.28197	1.7	0.11611	2.7	0.0731



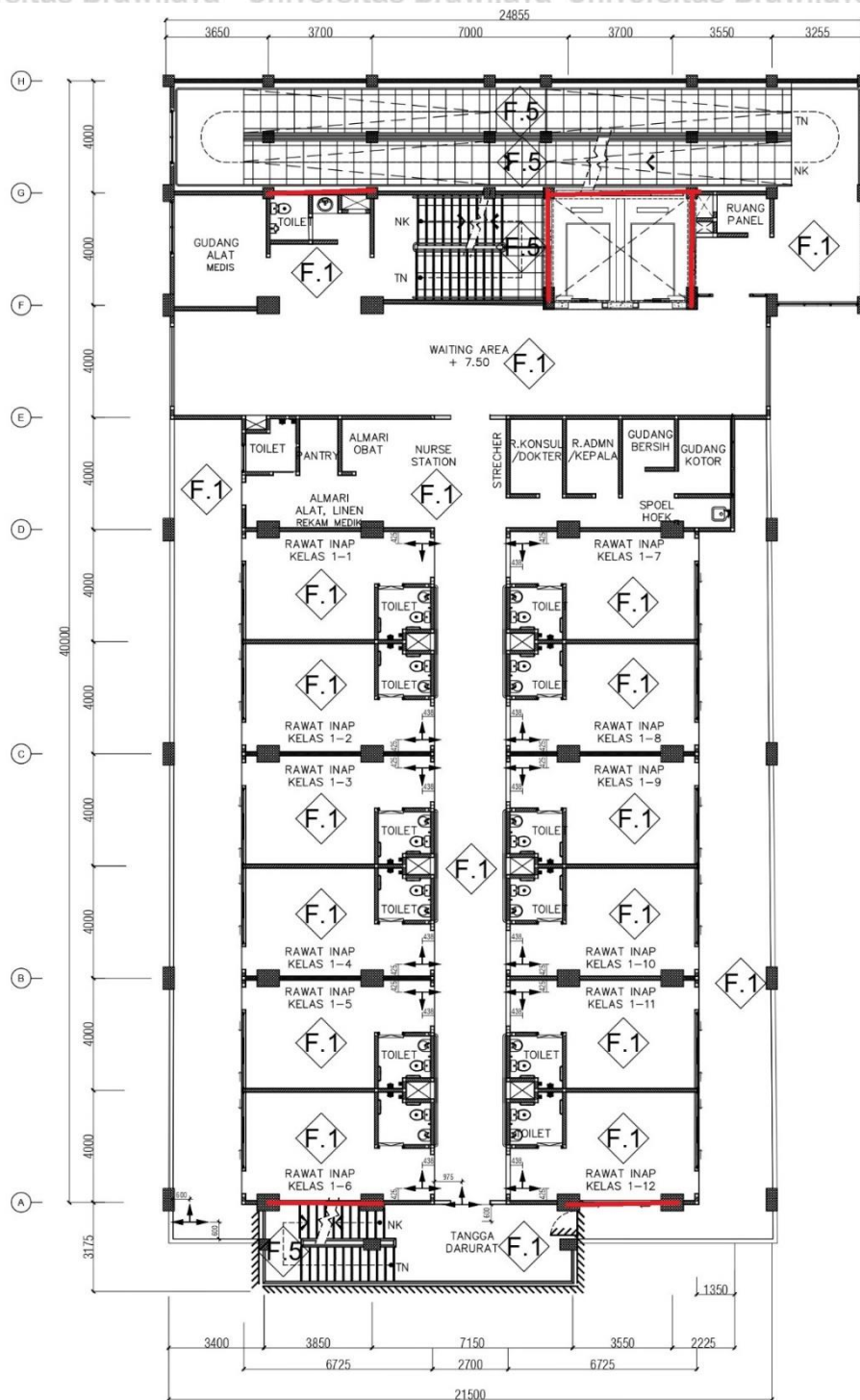
Gambar 3.23 Kurva Respon Spektrum Desain Elastik (redaman 5%)

3.6 Konfigurasi Bresing Baja

Terdapat 3 tipe untuk perletakan bresing baja pada Gedung rumah sakit Bhayangkara ini. Dalam menentukan perletakannya memperhatikan beberapa aspek terutama titik dimana terdapat *displacement* (perpindahan) paling besar. Untuk tipe perletakannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.24 Tipe 1 Perletakan Bresing Baja
Sumber : Detailed Engineering Design (DED)



Gambar 3.26 Tipe 3 Perletakan Bresing Baja
Sumber : *Detailed Engineering Design (DED)*

3.7 Langkah-Langkah Menghitung Gaya Geser Dasar Metode DDBD

Prosedur metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) adalah struktur tidak didesain dengan karakteristik seperti awal, tapi struktur didesain dengan karakteristik inelastik pada tingkat kinerja. Berikut langkah-langkah perhitungan gaya geser metode DDBD untuk sistem rangka:

3.7.1 Desain Perpindahan Tingkat

Desain perpindahan sistem rangka ditentukan sesuai inelastik *mode shape* dan tinggi lantai. Perhitungan inelastik *mode shape* berdasarkan jumlah lantai struktur. Simpangan desain struktur dapat dihitung dengan persamaan berikut :

- Untuk $n \leq 4$
$$\delta_i = \frac{H_i}{H_n} \dots \dots \dots (3-4)$$

- Untuk $n \geq 4$
$$\delta_i = \frac{4}{3} \left[\frac{H_i}{H_n} \right] \left[1 - \frac{H_i}{4H_n} \right] \dots \dots \dots (3-5)$$

Desain perpindahan rencana sistem rangka dipengaruhi nilai simpangan desain struktur rencana. Desain perpindahan rencana setiap lantai dihitung dengan persamaan berikut :

- Untuk lantai pertama ($i=1$)
$$\Delta_i = \theta \times H_1 \dots \dots \dots (3-6)$$

Untuk lantai-lantai berikutnya ($i>1$)
$$\Delta_i = \delta_i \frac{\Delta_1}{H_1} \dots \dots \dots (3-7)$$

Dimana :

θ = simpangan desain pada tingkat kinerja

3.7.2 Desain Perpindahan SDOF

Desain perpindahan *Multiple Degree of Freedom* (MDOF) dikonversikan kedalam sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF). Dapat dihitung dengan persamaan berikut dibawah ini :



$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \dots\dots\dots (3-8)$$

Dimana :

Δ_d = perpindahan maksimum desain SDOF (m)

m_i = massa pada tingkat ke- i (ton)

Δ_i = perpindahan pada lantai ke- i (m)

3.7.3 Massa Efektif

Massa efektif sistem *SDOF* pada sistem rangka dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$M_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} \dots\dots\dots (3-9)$$

Dimana :

M_e = massa efektif (ton/g)

3.7.4 Tinggi Efektif

Tinggi efektif struktur dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i h_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \dots\dots\dots (3-10)$$

Dimana :

H_e = tinggi efektif struktur (m)

3.7.5 Desain Daktilitas Perpindahan (Displacement Ductility)

Daktilitas perpindahan sistem *SDOF* ditentukan dengan karakteristik perpindahan saat leleh. Dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\mu = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} \dots\dots\dots (3-11)$$

Dimana :



μ = daktilitas perpindahan

Δ_y = perpindahan leleh *SDOF*

Perpindahan leleh sistem rangka ditentukan oleh karakteristik simpangan leleh (*yield drift*) dan dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\Delta_y = \theta_y H_e \dots\dots\dots (3-12)$$

Dimana :

θ_y = simpangan leleh (*yield drift*) pada *frame*

Simpangan leleh untuk rangka tingkat ke-*i* dipengaruhi oleh karakteristik geometri bangunan dan suatu kekuatan elemen. Dimana suatu kekuatan elemen tersebut dipengaruhi oleh nilai regangan material, panjang dan tinggi efektif balok.

- Rangka beton : $\theta_y = 0,5 \varepsilon_y \frac{L_b}{h_b} \dots\dots\dots (3-13)$

- Rangka baja : $\theta_y = 0,65 \varepsilon_y \frac{L_b}{h_b} \dots\dots\dots (3-14)$

Dimana :

L_b = panjang bentang bersih balok pada rangka (m)

h_b = tinggi efektif balok pada rangka (m)

ε_y = regangan material tulangan pada balok (f_{ye}/E)

f_{ye} = yield strength tulangan (1,1 f_y), MPa

3.7.6 Redaman Viscous Ekuivalen

Nilai redaman *viscous* ekuivalen sistem *SDOF* beton bertulang dan baja dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

- Rangka beton bertulang : $\xi_F = 0,05 + 0,565 \left(\frac{\mu-1}{\mu.\pi} \right) \dots\dots\dots (3-15)$

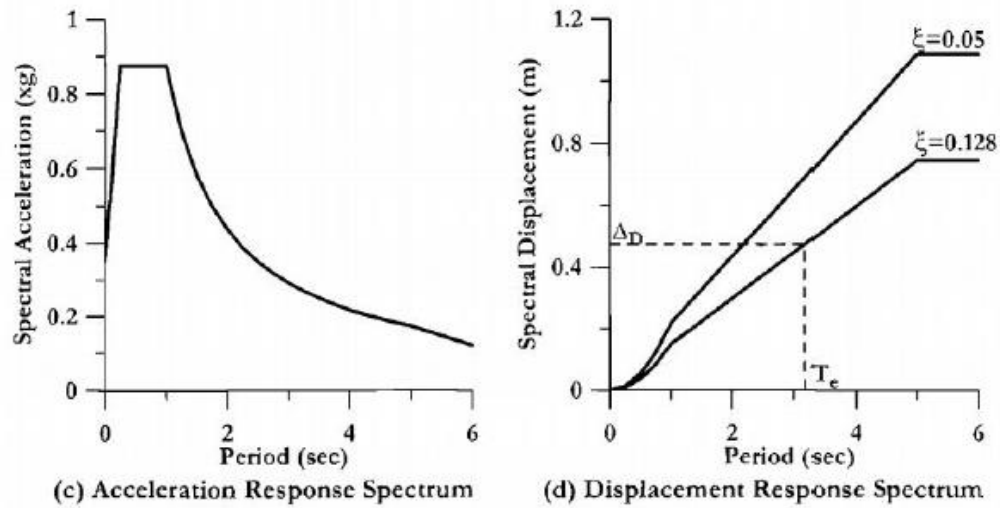
- Rangka baja : $\xi_F = 0,05 + 0,577 \left(\frac{\mu-1}{\mu.\pi} \right) \dots\dots\dots (3-16)$

3.7.7 Periode Efektif

Nilai periode efektif sistem *SDOF* pada saat respon perpindahan limit dengan redaman inelastic dapat dihitung dengan cara konversi respon spektrum desain ke grafik spektra perpindahan (*Sd*) dan mengoreksi ke tingkat redaman *viscous* ekuivalen (ξ_{eq}). Lalu di hasil



grafik spectra perpindahan tarik nilai perpindahan rencana (Δ_d) sehingga didapatkan nilai periode efektif. konversi kurva respon spektrum desain ke spektra perpindahan dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 3.27 Respon Spektrum Desain dan Spektrum Perpindahan
 Sumber : Priestley, 2007

Nilai spektrum perpindahan (S_d) tingkat redaman viscous ekuivalen (ξ_{eq}) harus dikalikan faktor koreksi untuk tingkat redaman dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a (g) \dots\dots\dots (3-17)$$

Dimana :

S_d = spectra displacement (m)

S_a = spectra acceleration (g)

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)



3.7.8 Kekakuan Efektif

Nilai kekakuan efektif dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} \dots \dots \dots (3-18)$$

Dimana :

Ke = kekakuan efektif sistem (kN/m)

3.7.9 Gaya Geser Dasar

Setelah didapatkan nilai kekakuan efektif, lalu nilai gaya geser desain dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$V_{Base} = K_e \Delta_d \dots \dots \dots (3-19)$$

$$F_i = F_t + 0,9V_{base}(m_i \Delta_i) / \sum_{i=1}^n m_i \Delta_i \dots \dots \dots (3-20)$$

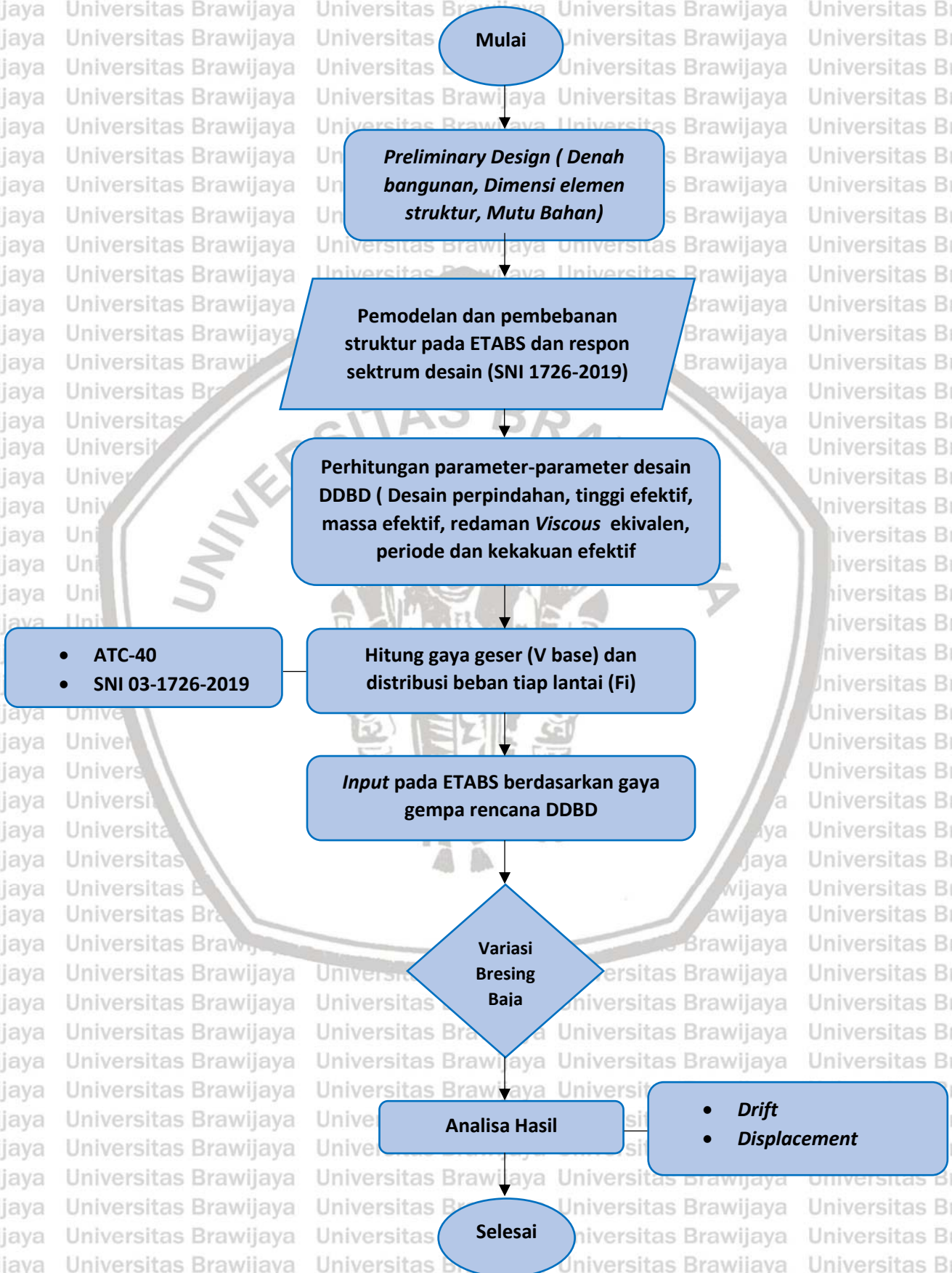
Dimana =

$F_t = 0,1V_{base}$ untuk lantai atap

$F_t = 0$ untuk lantai selain atap



3.8 Diagram Alir Penelitian



BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Berat Bangunan

Perhitungan berat bangunan per lantai digunakan untuk menentukan berat seismik efektif dari gedung yang akan didesain.

Tabel 4.1 Beban Mati Lantai 2

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
Berat Sendiri							
Pelat Lantai	Luasan 1	24.755	8	0.15	24	1	712.944
	Luasan 2	21.575	32	0.15	24	1	2485.44
	void 1	14.1	4	-0.15	24	1	-203.04
	void 2	24.755	4	-0.15	24	1	-356.472
	void 3	3.55	24	-0.15	24	2	-613.44
Balok B1	Type 1	8	0.4	0.6	24	6	276.48
	Type 2	7	0.4	0.6	24	5	201.6
Balok B2	Type 1	3.5	0.3	0.5	24	3	37.8
	Type 2	3.7	0.3	0.5	24	12	159.84
Balok B3	Type 1	3.7	0.3	0.4	24	15	159.84
	Type 2	4	0.3	0.4	24	8	92.16
Balok B4	Type 1	8	0.4	0.65	24	17	848.64
	Type 2	7	0.4	0.65	24	4	174.72
	Type 3	6.2	0.4	0.65	24	1	38.688
Balok B5	Type 1	1.438	0.25	0.4	24	8	27.6096
	Type 2	3.55	0.25	0.4	24	5	42.6
	Type 3	3.7	0.25	0.4	24	8	71.04
	Type 4	3.1	0.25	0.4	24	20	148.8
	Type 5	2.85	0.25	0.4	24	6	41.04
	Type 6	3.255	0.25	0.4	24	3	23.436
	Type 7	4	0.25	0.4	24	4	38.4
Balok B6		4	0.2	0.4	24	1	7.68
Balok B7	Type 1	4	0.2	0.3	24	7	40.32
	Type 2	4.4875	0.2	0.3	24	4	25.848
	Type 3	3.7	0.2	0.3	24	2	10.656
	Type 4	2.85	0.2	0.3	24	1	4.104
	Type 5	2	0.2	0.3	24	4	11.52
Balok B8		2	0.15	0.25	24	5	9
Balok B9	Type 1	7	0.3	0.55	24	6	166.32
	Type 2	8	0.3	0.55	24	3	95.04
Balok B10		5.2	0.25	0.45	24	1	14.04
Kolom K1		0.4	0.4	4	24	22	337.92
Kolom K2		0.4	0.6	4	24	10	230.4
Kolom K3		0.4	0.7	4	24	8	215.04
Kolom K4		0.4	0.8	4	24	2	61.44
Kolom K5		0.6	0.8	4	24	18	829.44
Beban mati tambahan							
Keramik & Spesi					1.13		
Plafond					0.1		
Mekanikal elektrik					0.1		
Ducting					0.2		
	Luasan 1	24.755	8		1.53	1	303.00
	Luasan 2	21.575	32		1.53	1	1056.31
	void 1	14.1	4		-1.53	1	-86.29
	void 2	24.755	4		-1.53	1	-151.50
	void 3	3.55	24		-1.53	2	-260.71
Dinding bata ringan & partisi		87.425		3.35	1.1	1	322.16
TOTAL							7649.86



Tabel 4.2. Beban Hidup Lantai 2

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
Ruang operasi & Lab.					2.87		
Ruang Pasien					1.92		
Koridor					3.83		
	Luasan 1	24.755	8		8.62	1	1707.1048
	Luasan 2	21.575	32		8.62	1	5951.248
	void 1	14.1	4		-8.62	1	-486.168
	void 2	24.755	4		-8.62	1	-853.5524
	void 3	3.55	24		-8.62	2	-1468.848
TOTAL							: 4849.7844



Tabel 4.3 Beban Mati Lantai 3

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
Berat Sendiri :							
Pelat Lantai	Luasan 1	24.755	8	0.12	24	1	570.3552
	Luasan 2	21.575	32	0.12	24	1	1988.352
	Void	14.1	4	-0.12	24	1	-162.432
Balok B1	Tipe 1	0.75	0.15	0.25	24	6	4.05
	Tipe 2	4.7	0.15	0.25	24	1	4.23
	Tipe 3	3.75	0.15	0.25	24	2	6.75
Balok B2	Tipe 1	3.7	0.2	0.3	24	8	42.624
	Tipe 2	5.55	0.2	0.3	24	2	15.984
	Tipe 3	2.15	0.2	0.3	24	12	37.152
	Tipe 4	10.08	0.2	0.3	24	1	14.5152
	Tipe 5	10.88	0.2	0.3	24	4	62.6688
	Tipe 6	4	0.2	0.3	24	17	97.92
	Tipe 7	1.39	0.2	0.3	24	3	6.0048
Balok B3		5.2	0.2	0.35	24	3	26.208
Balok B4		4	0.2	0.4	24	1	7.68
Balok B5	Tipe 1	9.66	0.25	0.4	24	3	69.552
	Tipe 2	9.9	0.25	0.4	24	2	47.52
	Tipe 3	5.2	0.25	0.4	24	1	12.48
	Tipe 4	4	0.25	0.4	24	8	76.8
Balok B6		15.9	0.25	0.45	24	1	42.93
Balok B8	Tipe 1	7.25	0.3	0.4	24	16	334.08
	Tipe 2	2.7	0.3	0.4	24	4	31.104
	Tipe 3	8.4	0.3	0.4	24	1	24.192
	Tipe 4	4	0.3	0.4	24	5	57.6
Balok B9		27.48	0.3	0.5	24	1	98.928
Balok B10		32	0.3	0.55	24	1	126.72
Balok B11	Tipe 1	6.2	0.4	0.6	24	1	35.712
	Tipe 2	7	0.4	0.6	24	4	161.28
	Tipe 3	4	0.4	0.6	24	30	691.2
	Tipe 4	8.03	0.4	0.6	24	2	92.5056
Kolom K1		0.4	0.4	4	24	22	337.92
Kolom K2		0.4	0.6	4	24	10	230.4
Kolom K3		0.4	0.7	4	24	8	215.04
Kolom K4		0.4	0.8	4	24	2	61.44
Kolom K6		0.6	0.8	4	24	18	829.44
Beban mati tambahan :							
Keramik & Spesi					1.13		
Plafond					0.1		
Mekanikal elektrik					0.1		
Ducting					0.2		
	Luasan 1	24.755	8		1.53	1	303.0012
	Luasan 2	21.575	32		1.53	1	1056.312
	Void	14.1	4		-1.53	1	-86.2920
Dinding bata ringan & partisi		273.16		3.35	1.1	1	1006.59
TOTAL							8578.52

Tabel 4.4 Beban Hidup Lantai 3

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
Ruang operasi & Lab.					2.87		
Ruang Pasien					1.92		
Koridor					3.83		
	Luasan 1	24.755	8		8.62	1	1707.1048
	Luasan 2	21.575	32		8.62	1	5951.248
	void	14.1	4		-8.62	1	-486.168
TOTAL							7172.18



Tabel 4.5 Beban Mati Lantai 4 & 5

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
Berat Sendiri							
Pelat Lantai	Luasan 1	24.755	8	0.12	24	1	570.36
	Luasan 2	21.5	4	0.12	24	1	247.68
	Luasan 3	18.65	28	0.12	24	1	1503.94
	void 1	14.1	4	-0.12	24	1	-162.43
	void 2	24.755	4	-0.12	24	1	-285.18
Balok B1	Type 1	8	0.4	0.6	24	17	783.36
	Type 2	7	0.4	0.6	24	5	201.60
Balok B2	Type 1	7	0.3	0.5	24	3	75.60
	Type 2	2.5	0.3	0.5	24	3	27.00
Balok B3	Type 1	2.125	0.3	0.4	24	14	85.68
	Type 2	3.7	0.3	0.4	24	23	245.09
	Type 3	8	0.3	0.4	24	1	23.04
	Type 4	3.175	0.3	0.4	24	2	18.29
Balok B5	Type 1	1.438	0.25	0.4	24	5	17.26
	Type 2	4	0.25	0.4	24	5	48.00
	Type 3	3.55	0.25	0.4	24	16	136.32
Balok B6		4	0.2	0.4	24	1	7.68
Balok B7	Type 1	1.4	0.2	0.3	24	7	14.11
	Type 2	4	0.2	0.3	24	35	201.60
	Type 3	2.15	0.2	0.3	24	28	86.69
	Type 4	2	0.2	0.3	24	12	34.56
Balok B8		2	0.15	0.25	24	7	12.60
Balok B9	Type 1	8	0.3	0.55	24	8	253.44
	Type 2	8	0.3	0.55	24	8	253.44
Balok B10		5.2	0.25	0.45	24	1	14.04
Kolom K1		0.4	0.4	4	24	22	337.92
Kolom K2		0.4	0.6	4	24	10	230.40
Kolom K4		0.4	0.8	4	24	2	61.44
Kolom K5		0.6	0.8	4	24	18	829.44
Beban mati tambahan							
Keramik & Spesi					1.13		
Plafond					0.1		
Mekanikal elektrik					0.1		
Ducting					0.2		
Dinding bata ringan & partisi	Luasan 1	24.755	8		1.53	1	303.00
	Luasan 2	21.5	4		1.53	1	131.58
	Luasan 3	18.65	28		1.53	1	798.97
	void 1	14.1	4		-1.53	1	-86.29
	void 2	24.755	4		-1.53	1	-151.50
Dinding bata ringan & partisi		313.51		3.35	1.1	1	1155.28
TOTAL							8023.99

Tabel 4.6 Beban Hidup Lantai 4 & 5

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
Ruang operasi & Lab.					2.87		
Ruang Pasien					1.92		
Koridor					3.83		
	Luasan 1	24.755	8		8.62	1	1707.10
	Luasan 2	21.575	4		8.62	1	743.91
	Luasan 3	18.65	28		8.62	1	4501.36
	void 1	14.1	4		-8.62	1	-486.17
void 2	24.755	4		-8.62	1	-853.55	
TOTAL							6466.21



Tabel 4.7 Beban Mati Lantai 6

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
Berat Sendiri :							
Pelat Lantai	Luasan 1	24.755	8	0.12	24	1	570.3552
	Luasan 2	21.575	4	0.12	24	1	248.544
	Luasan 3	18.65	28	0.12	24	1	1503.936
	Void	14.1	4	-0.12	24	1	-162.432
Balok B1	Tipe 1	8	0.15	0.25	24	1	7.2
	Tipe 2	2.5	0.15	0.25	24	3	6.75
Balok B2	Tipe 1	18.44	0.2	0.3	24	1	26.5536
	Tipe 2	4	0.2	0.3	24	32	184.32
Balok B4		4	0.2	0.4	24	1	7.68
Balok B5	Tipe 1	62.16	0.25	0.4	24	1	149.184
	Tipe 2	4	0.25	0.4	24	12	115.2
Balok B6	Tipe 1	10.7	0.25	0.45	24	1	28.89
	Tipe 2	4	0.25	0.45	24	2	21.6
Balok B7		2	0.25	0.5	24	1	6
Balok B8	Tipe 1	7.25	0.3	0.4	24	2	41.76
	Tipe 2	11.68	0.3	0.4	24	7	235.4688
	Tipe 3	10.4	0.3	0.4	24	1	29.952
	Tipe 4	4	0.3	0.4	24	6	69.12
Balok B9	Tipe 1	22.91	0.3	0.5	24	1	82.476
	Tipe 2	8	0.3	0.5	24	2	57.6
Balok B10	Tipe 1	7	0.3	0.55	24	3	83.16
	Tipe 2	24	0.3	0.55	24	2	190.08
Balok B11	Tipe 1	6.2	0.4	0.6	24	1	35.712
	Tipe 2	35	0.4	0.6	24	4	806.4
	Tipe 3	8.03	0.4	0.6	24	2	92.5056
Kolom K1		0.4	0.4	4	24	22	337.92
Kolom K2		0.4	0.6	4	24	10	230.4
Kolom K4		0.4	0.8	4	24	2	61.44
Kolom K5		0.6	0.7	4	24	18	725.76
Beban mati tambahan :							
Keramik & Spesi					1.13		
Plafond					0.1		
Mekanikal elektrik					0.1		
Ducting					0.2		
	Luasan 1	24.755	8		1.53	1	303.0012
	Luasan 2	21.575	4		1.53	1	132.039
	Luasan 3	18.65	28		1.53	1	798.966
	Void	14.1	4		-1.53	1	-86.2920
Dinding bata ringan & partisi		201.125		3.35	1.1	1	741.15
TOTAL							7682.40

Tabel 4.8 Beban Hidup Lantai 6

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
Ruang operasi & Lab.					2.87		
Ruang Pasien					1.92		
Koridor					3.83		
	Luasan 1	24.755	8		8.62	1	1707.1048
	Luasan 2	21.575	4		8.62	1	743.906
	Luasan 3	18.65	28		8.62	1	4501.364
	void	14.1	4		-8.62	1	-486.168
TOTAL							6466.2



Tabel 4.10 Beban Mati Atap

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
Berat Sendiri							
Balok B1		8	0.4	0.6	24	20	921.60
Balok B2	Type 1	4	0.3	0.5	24	9.5	136.80
	Type 2	7	0.3	0.5	24	2	50.40
Balok B3	Type 1	3.7	0.3	0.4	24	18	191.81
	Type 2	4	0.3	0.4	24	4	46.08
	Type 3	2.15	0.3	0.4	24	15	92.88
	Type 4	6.9	0.3	0.4	24	3	59.62
Balok B5	Type 1	4	0.25	0.4	24	10	96.00
	Type 2	3.7	0.25	0.4	24	18	159.84
	Type 3	2.15	0.25	0.4	24	4	20.64
	Type 4	1.438	0.25	0.4	24	5	17.26
Balok B7	Type 1	4	0.2	0.3	24	28	161.28
	Type 2	2.15	0.2	0.3	24	2	6.19
	Type 3	3.7	0.2	0.3	24	3	15.98
Balok B8		8	0.15	0.25	24	2	14.40
Balok B9	Type 1	7	0.3	0.55	24	6	166.32
	Type 2	8	0.3	0.55	24	3	95.04
Balok B10		3.7	0.25	0.45	24	1	9.99
Balok B11		1.438	0.25	0.45	24	1	3.88
Beban mati tambahan							
Plafond						0.1	
Mekanikal elektrikal						0.1	
Ducting						0.2	
	Luasan 1	29.438	18.824		0.4	1	221.66
	Luasan 2	8	24.755		0.4	1	9.61
	void	4	5.2		-0.4	1	-8.32
Penutup atap turap		33.708	24.755		0.4	1	333.78
TOTAL							: 2822.73

4.2 Berat Seismik Efektif

Dari perhitungan berat bangunan di atas, didapatkan beban mati dan hidup tiap lantai.

Beras seismik efektif diambil 1,0 beban mati ditambah 0,5 beban hidup dan dihitung pada

Tabel 4.10.

Tabel 4.10 berat seismik efektif dan kombinasi L

Lantai	Mati(KN)	Hidup (LL)	1D + 0,5L (KN)	1D + 0,5L (TON)
Atap	2822.73	0	2822.73	282.27
6	7682.395	6466.21	10915.50	1091.55
5	8023.99	6466.21	11257.10	1125.71
4	8023.99	6466.21	11257.10	1125.71
3	8578.521	7172.18	12164.61	1216.46
2	7649.86	4849.78	10074.76	1007.48
1	0	0	0	0



4.3 Desain Gaya Geser Dasar Dengan Metode DDBD

Pengertian gaya geser dasar yaitu gaya yang terjadi pada lantai dasar diakibatkan oleh berat seismik efektif. Data-data dari gedung ini diambil dari DED (*Detailed Engineering Design*) yang merupakan desain awal analisis (*original desisgn*) tanpa diberi pekuatan. Hal tersebut dilakukan agar didapatkan letak sendi plastis dan bagian mana saja dari gedung tersebut yang perlu diberikan perkuatan bresing baja.

Setelah dipasang *bresing* baja, direncanakan gedung tersebut memiliki level kinerja *Life Safety*, dimana menurut kinerja struktur metode ATC-40 memiliki nilai simpangan rencana sebesar **0,02** .

4.3.1 Desain Gaya Geser Dasar Dengan Metode DDBD

Gedung rumah sakit Bhayangkara sendiri memiliki tinggi lebih dari 4 lantai. Oleh karena itu, perhitungan *mode shape* inelastiknya menggunakan rumus berikut :

Untuk n (lantai) > 4, maka nilai $\delta_i = \frac{4}{3} \left(\frac{H_i}{H_n} \right) \times \left(1 - \frac{H_i}{4H_n} \right)$ (4-1)

Dimana :

δ_i = Mode shape inelastic (lantai i)

H_i = Tinggi lantai I (m)

H_n = Tinggi lantai total (m)

Menentukan profil perpindahan menggunakan rumus berikut :

$\Delta_1 = \theta \cdot H_1$, untuk lantai pertama..... (4-2)

$\Delta_i = \delta_i \cdot \frac{\Delta_1}{\delta_1}$, untuk lantai selanjutnya..... (4-3)

Dimana :

δ_1 = Mode shape inelastic (lantai 1)

θ = Nilai simpangan rencana (*Life Safety* = 0,02)



Nilai ω_1 harus dikalikan factor koreksi yang dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \omega_{\theta} &= 1,15 - 0,0034 \cdot H_n \leq 1,0 \\ &= 1,15 - (0,0034 \times 23,5) \\ &= 1,0701 \leq 1,0 \end{aligned}$$

Maka digunakan factor koreksi $\omega = 1$

Tabel 4.10 Perhitungan profil perpindahan rencana

level	Tinggi H_i (m)	Mass m_i (Ton)	δ_i	ω_{θ}	Δ_i (m)	$m_i \cdot \Delta_i$	$m_i \cdot \Delta_i^2$	$m_i \cdot \Delta_i \cdot H_i$
Atap	23.500	282.273	1.000	1.000	0.366	103.350	37.840	2428.713
6	19.500	1091.550	0.877	1.000	0.321	350.442	112.509	6833.615
5	15.500	1125.710	0.734	1.000	0.269	302.698	81.394	4691.815
4	11.500	1125.710	0.573	1.000	0.210	236.026	49.487	2714.297
3	7.500	1216.461	0.392	1.000	0.143	174.404	25.004	1308.032
2	3.500	1007.476	0.191	1.000	0.070	70.523	4.937	246.832
1	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Jumlah	81.000	5849.179				1237.442	311.171	18223.303

4.3.2 Desain Perpindahan SDOF

Desain perpindahan dari sistem SDOF dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} = \frac{311,171}{1237,442} = 0,2514 \text{ m}$$

4.2.3 Tinggi Efektif

Tinggi efektif dari sistem SDOF dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$H_E = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i h_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} = \frac{18223,303}{1237,442} = 14,7265 \text{ m}$$

4.2.4 Massa Efektif

Massa efektif dari sistem SDOF dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$m_E = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} = \frac{1237,442}{0,2514} = 4920,9724 \text{ ton}$$

4.3.5 Redaman Efektif Ekuivalen

Daktilitas pada *Frame* arah x-x (memanjang) dan arah y-y (melintang) dihitung berdasarkan bentang (L_b) dan tinggi balok (H_b), dan nilai $M_1 = M_i$ (asumsi semua balok akan didesain tipikal, sehingga nilai momennya sama). Nilai *drift* leleh *frame* (θ_{yf}) dihitung dengan persamaan dibawah ini dan ditabelkan pada **Tabel 4.12**.

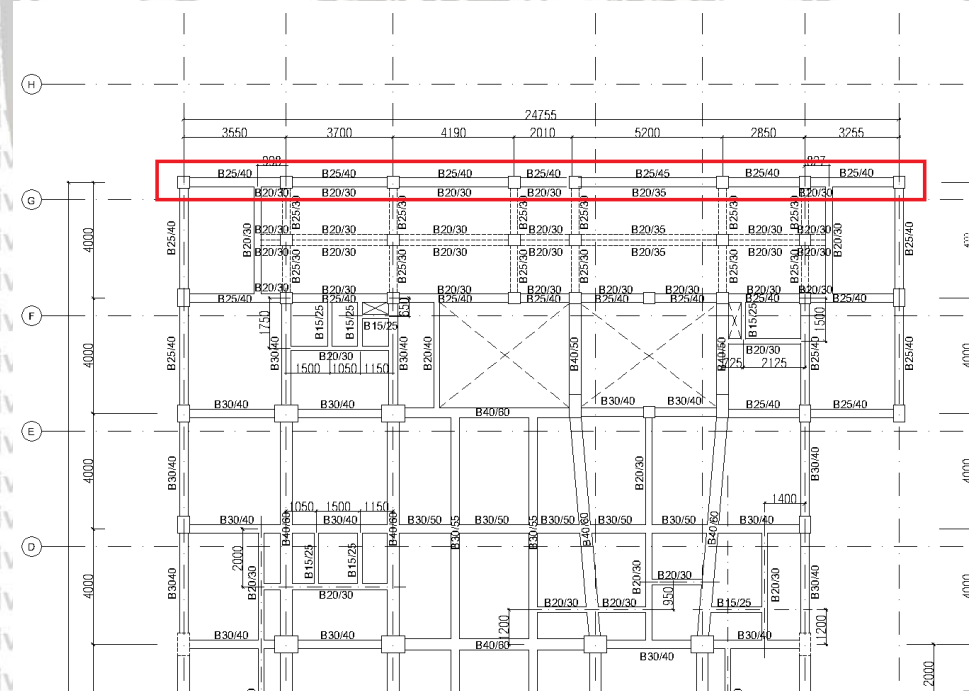
$$\theta_{yf} = 0,5 \cdot \epsilon_y \cdot \frac{L_b}{H_b} \dots\dots\dots (4-4)$$

Dimana :

θ_{yf} = Nilai *drift* frame

$\epsilon_y = 0,00215$, regangan material tulangan (F_{ye} / E)

F_{ye} = yield strength tulangan ($1,1 \cdot F_y$)



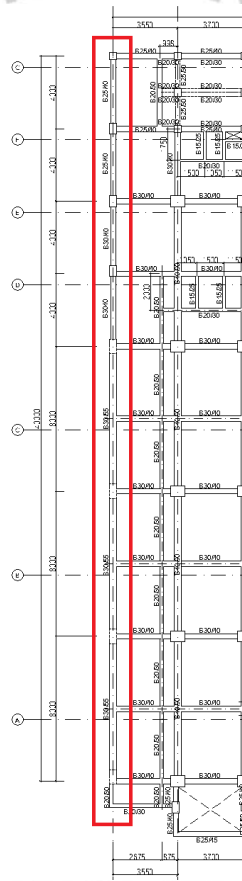
Gambar 4.1 Elemen balok yang ditinjau pada perhitungan drift leleh arah x-x (melintang)

Tabel 4.12 Perhitungan drift leleh arah x-x (melintang)

Elemen	Lb	Hb	M	(n)	θ_y	$\Sigma M \cdot \theta_y$	ΣM
Balok B5(25/40)	3.55	0.4	1	1	0.009518	0.009518	1
	3.7	0.4	1	1	0.009921	0.009921	1
	4.19	0.4	1	1	0.011234	0.011234	1
	2.01	0.4	1	1	0.005389	0.005389	1
	5.2	0.4	1	1	0.013943	0.013943	1
	2.85	0.4	1	1	0.007642	0.007642	1
	3.25	0.4	1	1	0.008714	0.008714	1
Jumlah						0.066361	7

Nilai yield displacement pada frame, Δ_y :

$$\Delta_y = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i \theta_y)}{\sum_{i=1}^n M_i} H_e = \frac{0,0663}{7} \times 14,7164 = 0,1396$$



Gambar 4.2 Elemen balok yang ditinjau pada perhitungan drift leleh arah y-y (memanjang)

Tabel 4.13 Perhitungan drift leleh arah y-y (memanjang)

Elemen	Lb	Hb	M	(n)	θ_y	$\Sigma M^* \theta_y$	ΣM
Balok B9(30/55)	8	0.55	1	3	0.015600	0.046800	3
Balok B5(25/40)	4	0.4	1	2	0.010725	0.021450	2
Balok B3(30/40)	4	0.4	1	2	0.010725	0.021450	2
Balok B7(20/30)	1.438	0.3	1	1	0.005141	0.005141	1
Jumlah						0.094841	8

Nilai *yield displacement* pada *frame*, Δ_y :

$$\Delta_y = \frac{\sum_{i=1}^n (M_i \theta_i)}{\sum_{i=1}^n M_i} H_e = \frac{0,0948}{8} \times 14,7164 = 0,1744$$

Sehingga nilai daktilitas strukturnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

1) Arah x-x (melintang) :

$$\mu_F = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} = \frac{0,2514}{0,1396} = 1,8011$$

2) Arah y-y (memanjang) :

$$\mu_F = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} = \frac{0,2514}{0,1744} = 1,4403$$

Redaman Efektif *frame* dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\xi_F = 0,05 + 0,565 \left(\frac{\mu_F - 1}{\mu_F \times \pi} \right)$$

1) Arah x-x (melintang) :

$$\xi_F = 0,05 + 0,565 \left(\frac{\mu_F - 1}{\mu_F \times \pi} \right) = 0,05 + 0,565 \left(\frac{1,8011 - 1}{1,8011 \times \pi} \right) = 0,1300 = 13 \%$$

2) Arah y-y (memanjang) :

$$\xi_F = 0,05 + 0,565 \left(\frac{\mu_F - 1}{\mu_F \times \pi} \right) = 0,05 + 0,565 \left(\frac{1,4403 - 1}{1,4403 \times \pi} \right) = 0,1050 = 10,50 \%$$

4.3.6 Periode Efektif

Nilai periode efektif dari sistem berderajat kebebasan tunggal (SDOF) dihitung dengan mengkonversi respon spektrum desain ke grafik spektra perpindahan (S_d) dengan mengoreksi ke tingkat redaman *viscous* ekuivalen (ξ_{eq}). lalu pada grafik spektra perpindahan ditarik nilai perpindahan rencana (Δ_d) sehingga nilai periode efektif sistem dapat diketahui menggunakan persamaan berikut :

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} \cdot S_a \cdot (g) \dots \dots \dots (4-6)$$

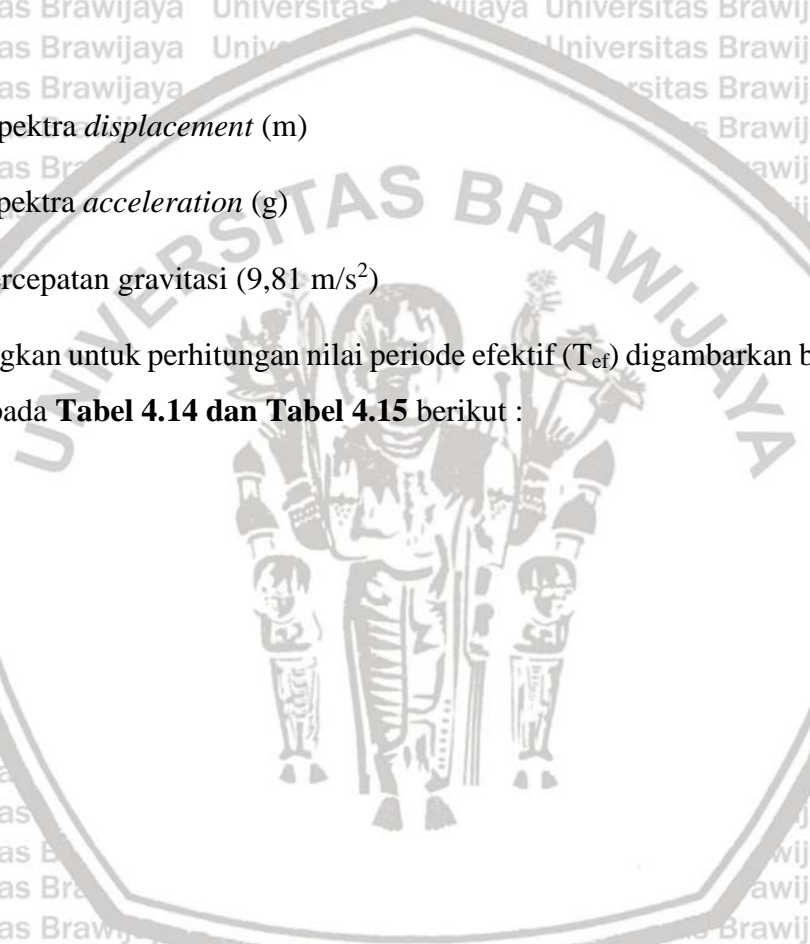
Dimana :

S_d = spektra *displacement* (m)

S_a = spektra *acceleration* (g)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Sedangkan untuk perhitungan nilai periode efektif (T_{ef}) digambarkan bentuk kurva dan ditabelkan pada **Tabel 4.14 dan Tabel 4.15** berikut :

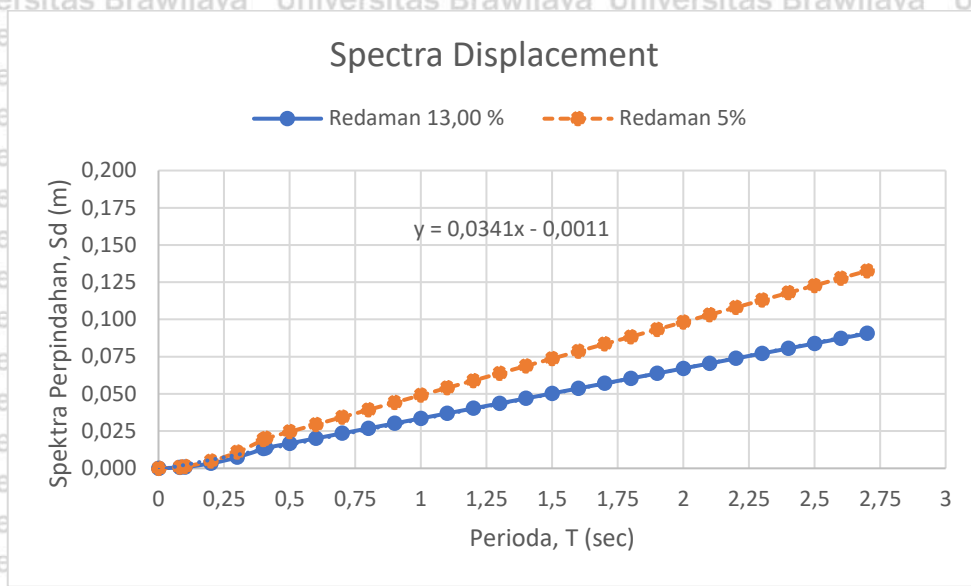


1) arah memanjang (x-x)

Tabel 4.14 Perhitungan Spectra Displacement dengan redaman efektif arah x-x (melintang)

T (Sec)	Sa (g)	Redaman 5% Sd (m)	Redaman 13,00 %		Δd (m)
			Rξ	Sd	
0	0.193	0.000	0.683	0.000	0.251
0.08169	0.483	0.001	0.683	0.001	0.251
0.1	0.483	0.001	0.683	0.001	0.251
0.2	0.483	0.005	0.683	0.003	0.251
0.3	0.483	0.011	0.683	0.007	0.251
0.4	0.483	0.019	0.683	0.013	0.251
0.40845	0.483	0.020	0.683	0.014	0.251
0.5	0.395	0.025	0.683	0.017	0.251
0.6	0.329	0.029	0.683	0.020	0.251
0.7	0.282	0.034	0.683	0.023	0.251
0.8	0.247	0.039	0.683	0.027	0.251
0.9	0.219	0.044	0.683	0.030	0.251
1	0.197	0.049	0.683	0.034	0.251
1.1	0.179	0.054	0.683	0.037	0.251
1.2	0.164	0.059	0.683	0.040	0.251
1.3	0.152	0.064	0.683	0.044	0.251
1.4	0.141	0.069	0.683	0.047	0.251
1.5	0.132	0.074	0.683	0.050	0.251
1.6	0.123	0.079	0.683	0.054	0.251
1.7	0.116	0.083	0.683	0.057	0.251
1.8	0.110	0.088	0.683	0.060	0.251
1.9	0.104	0.093	0.683	0.064	0.251
2	0.099	0.098	0.683	0.067	0.251
2.1	0.094	0.103	0.683	0.070	0.251
2.2	0.090	0.108	0.683	0.074	0.251
2.3	0.086	0.113	0.683	0.077	0.251
2.4	0.082	0.118	0.683	0.080	0.251
2.5	0.079	0.123	0.683	0.084	0.251
2.6	0.076	0.128	0.683	0.087	0.251
2.7	0.073	0.133	0.683	0.091	0.251





Gambar 4.3 Spectra Displacement (S_D) pada Redaman 13,00 %

Berdasarkan kurva spektra *displacement* (S_d) nilai redaman 13,00 % ditarik garis dari perpindahan desain (Δ_d) senilai 0,2514 m atau dapat juga menggunakan ekstrapolasi dengan memasukkan persamaan yang sudah didapatkan dari grafik tersebut :

$$y = 0,0341x - 0,0011$$

$$0,2514 = 0,0341x - 0,0011$$

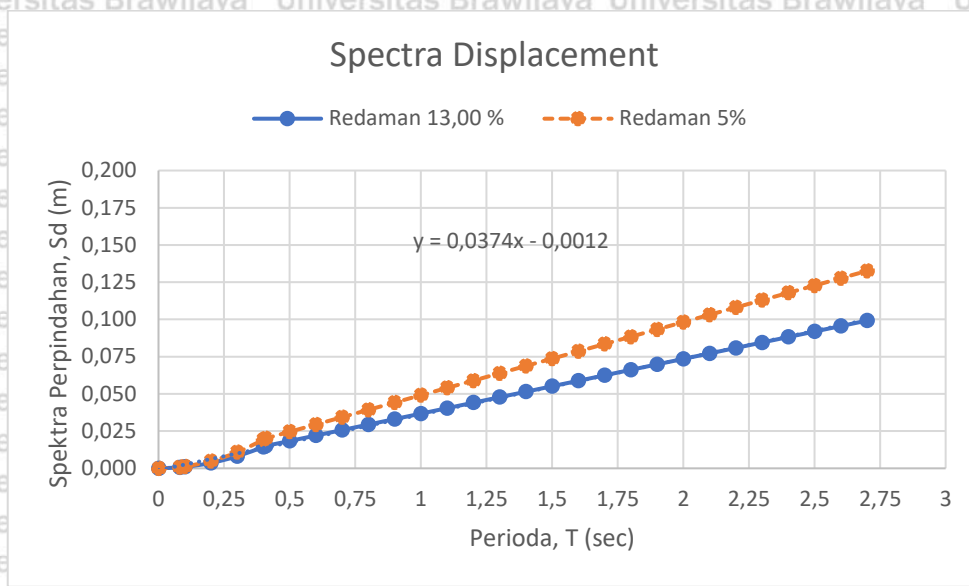
$$x = \frac{0,2514 + 0,0011}{0,0341} = 7,4065 \text{ s}$$

Sehingga didapat nilai periode efektif T_{ef} sebesar 7,4065 detik

2) arah memanjang (y-y)

Tabel 4.15 Perhitungan Spectra Displacement dengan redaman efektif arah y-y (memanjang)

T (Sec)	Sa (g)	Redaman 5% Sd (m)	Redaman 10,50 %		Δ_d (m)
			R ξ	Sd	
0	0.193	0.000	0.748	0.000	0.251
0.08169	0.483	0.001	0.748	0.001	0.251
0.1	0.483	0.001	0.748	0.001	0.251
0.2	0.483	0.005	0.748	0.004	0.251
0.3	0.483	0.011	0.748	0.008	0.251
0.4	0.483	0.019	0.748	0.014	0.251
0.40845	0.483	0.020	0.748	0.015	0.251
0.5	0.395	0.025	0.748	0.018	0.251
0.6	0.329	0.029	0.748	0.022	0.251
0.7	0.282	0.034	0.748	0.026	0.251
0.8	0.247	0.039	0.748	0.029	0.251
0.9	0.219	0.044	0.748	0.033	0.251
1	0.197	0.049	0.748	0.037	0.251
1.1	0.179	0.054	0.748	0.040	0.251
1.2	0.164	0.059	0.748	0.044	0.251
1.3	0.152	0.064	0.748	0.048	0.251
1.4	0.141	0.069	0.748	0.051	0.251
1.5	0.132	0.074	0.748	0.055	0.251
1.6	0.123	0.079	0.748	0.059	0.251
1.7	0.116	0.083	0.748	0.062	0.251
1.8	0.110	0.088	0.748	0.066	0.251
1.9	0.104	0.093	0.748	0.070	0.251
2	0.099	0.098	0.748	0.073	0.251
2.1	0.094	0.103	0.748	0.077	0.251
2.2	0.090	0.108	0.748	0.081	0.251
2.3	0.086	0.113	0.748	0.084	0.251
2.4	0.082	0.118	0.748	0.088	0.251
2.5	0.079	0.123	0.748	0.092	0.251
2.6	0.076	0.128	0.748	0.096	0.251
2.7	0.073	0.133	0.748	0.099	0.251



Gambar 4.4 Spectra Displacement (S_D) pada Redaman 10,50 %

Berdasarkan kurva spektra *displacement* (S_d) nilai redaman 10,50 % ditarik garis dari perpindahan desain (Δ_d) senilai 0,2514 m atau dapat juga menggunakan ekstrapolasi dengan memasukkan persamaan yang sudah didapatkan dari grafik tersebut :

$$y = 0,0374x - 0,0012$$

$$0,2514 = 0,0374x - 0,0012$$

$$x = \frac{0,2514 + 0,0012}{0,0374} = 6,7556 \text{ s}$$

Sehingga didapat nilai periode efektif T_{ef} sebesar 6,7556 detik

4.3.7 Kekakuan Efektif

Nilai kekakuan efektif bergantung pada nilai massa efektif dan periode efektif dan dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} \dots\dots\dots (4-7)$$



1) Arah x-x (melintang) :

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 14,7265}{7,4065} = 3537,8514 \text{ KN/m}$$

2) Arah y-y (memanjang) :

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 14,7265}{6,7556} = 4252,3617 \text{ KN/m}$$

4.3.8 Gaya Geser Dasar

Setelah nilai kekakuan dihitung maka nilai gaya geser dasar desain dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$V_{base} = K_e \cdot \Delta_d \dots\dots\dots (4-8)$$

1) Arah x-x (melintang) :

$$V_{base} = K_e \cdot \Delta_d = 3537,8514 \cdot 0,2514 = 889,6387 \text{ KN}$$

2) Arah y-y (memanjang) :

$$V_{base} = K_e \cdot \Delta_d = 4252,3617 \cdot 0,2514 = 1069,3115 \text{ KN}$$

Nilai gaya geser dasar tersebut lalu didistribusikan pada setiap lantai (F_i) pusat massa bangunan menggunakan persamaan berikut :

$$F_i = \frac{F_t + 0,9 \cdot V_{base} \cdot (m_i \Delta_i)}{\sum_{i=1}^n m_i \Delta_i} \dots\dots\dots (4-9)$$

Dimana :

$F_t = 0,1 \cdot V_{base}$ Untuk lantai atap

$F_t = 0$ Untuk lantai selain atap

Perhitungan gaya geser dasar dan distribusi tiap lantai arah memanjang dan melintang ditabelkan pada **Tabel 4.16 dan Tabel 4.17** berikut :



1) arah melintang (x-x)

Tabel 4.16 Perhitungan distribusi gaya geser per lantai arah x-x (melintang)

Tingkat	Tinggi H1 (m)	Mass mi (ton)	Δ_i (m)	$m_i \cdot \Delta_i$	V_{base} (KN)	F_i (KN)
Atap	23.500	282.273	0.366	103.350	889.639	155.835
6	19.500	1091.550	0.321	350.442	889.639	226.750
5	15.500	1125.710	0.269	302.698	889.639	195.858
4	11.500	1125.710	0.210	236.026	889.639	152.718
3	7.500	1216.461	0.143	174.404	889.639	112.847
2	3.500	1007.476	0.070	70.523	889.639	45.631
1	0	0	0	0	889.639	0
Jumlah		5849.179		1237.442		889.639

2) arah memanjang (y-y)

Tabel 4.17 Perhitungan distribusi gaya geser per lantai arah y-y (memanjang)

Tingkat	Tinggi H1 (m)	Mass mi (ton)	Δ_i (m)	$m_i \cdot \Delta_i$	V_{base} (KN)	F_i (KN)
Atap	23.5	282.273	0.366	103.350	1069.312	187.308
6	19.5	1091.550	0.321	350.442	1069.312	272.545
5	15.5	1125.710	0.269	302.698	1069.312	235.413
4	11.5	1125.710	0.210	236.026	1069.312	183.561
3	7.5	1216.461	0.143	174.404	1069.312	135.637
2	3.5	1007.476	0.070	70.523	1069.312	54.847
1	0	0	0	0	1069.312	0.000
Jumlah	0	5849.179	0	1237.442	0	1069.312

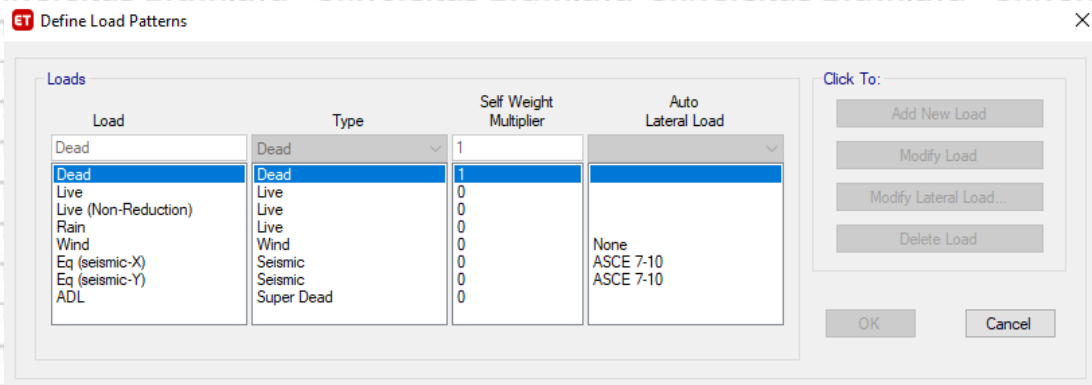
4.4 Pembebanan Struktur

Beban pada struktur yang akan digunakan diklasifikasikan menjadi 4 yaitu, Beban Gempa (*Earthquake*), Beban Mati (*Dead Load*), Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*), dan Beban Hidup (*Live load*).

4.4.1 Pembebanan Berat Mati Struktur

Pembebanan berat sendiri struktur (kolom, balok dan pelat lantai) secara otomatis terhitung pada program ETABS dengan cara menginput *load pattern* “dead” dan menentukan faktor *selfweight multiplier* sebesar 1.0





Gambar 4.5 Input load pattern pada ETABS

4.4.2 Pembebanan Mati Tambahan

Perhitungan berat sendiri struktur dilakukan secara otomatis oleh program ETABS dengan menginput pada program ETABS seperti mutu bahan dan dimensi struktur. Kemudian beban mati tambahan dihitung secara manual baik yang membebani pelat lantai maupun balok.

1) Pembebanan pelat lantai

Beban pelat lantai berupa beban luasan merata (kg/m^2) pada luasan lantai.

- Keramik + Spesi : 113 kg/m^2
- Ducting : 20 kg/m^2
- Mekanikal + Elektrikal : 10 kg/m^2
- Plafon langit-langit : 10 kg/m^2

Total : $153 \text{ kg/m}^2 = 1,53 \text{ KN/m}^2$

2) Pembebanan balok

Beban balok berupa beban merata (kg/m) sepanjang balok yang terbebani.

- Beban dinding bata ringan + partisi : berat dinding x tinggi dinding

Dimana berat jenis bata ringan + partisi : 110 kg/m^2

Untuk lantai 2 - 6 : $110 \times 3,35 = 368,5 \text{ kg/m} = 3,3685$

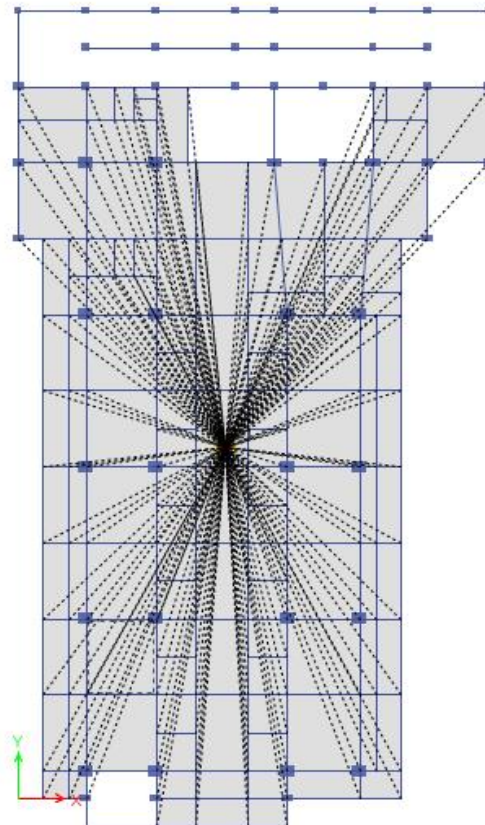
KN/m

4.4.3 Pembebanan Berat Hidup

Beban hidup diaplikasikan kepada pelat lantai berupa luasan beban merata (kg/m^2) yang diakibatkan oleh penghuni atau pengguna suatu gedung, termasuk barang-barang, mesin-mesin serta peralatan-peralatan yang ada. Besarnya beban hidup pada pelat lantai untuk gedung rumah sakit yaitu sebesar 479 kg/m^2 mengacu pada *SNI 1727:2013*

4.4.4 Pembebanan Gempa Statik

Pada analisis ini gaya gempa terpusat hasil perhitungan metode *direct displacement based design*, akan diaplikasikan pada pusat massa di tiap lantai (arah x dan y) dengan kombinasi pembebanan sesuai *SNI 1726-2019*. Pada program ETABS untuk menentukan pusat massa dengan menggunakan *diaphragm*. Berikut contoh pengaplikasian beban gempa pada lantai 5 arah X menggunakan *diaphragm*.



Gambar 4.6 Pengaplikasian Beban Gempa pada Pusat Massa Lantai 5

4.5 Hasil Analisis Struktur (Original Design)

4.5.1 Kurva Kapasitas Arah X-X

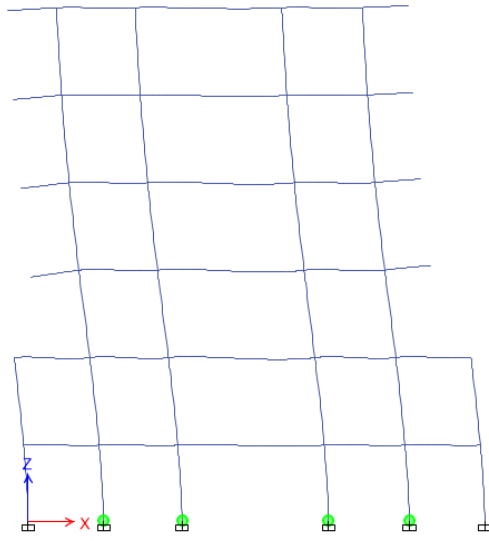
Pada saat proses *running pushover analysis* gedung arah x-x (melintang) menghasilkan 5 *step* pola beban dorong sampai struktur mengalami keruntuhan. Berikut 5 *step* pola beban dorong hasil *running* ETABS pada **Tabel 4.18**.

Tabel 4.18 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah x-x (melintang)

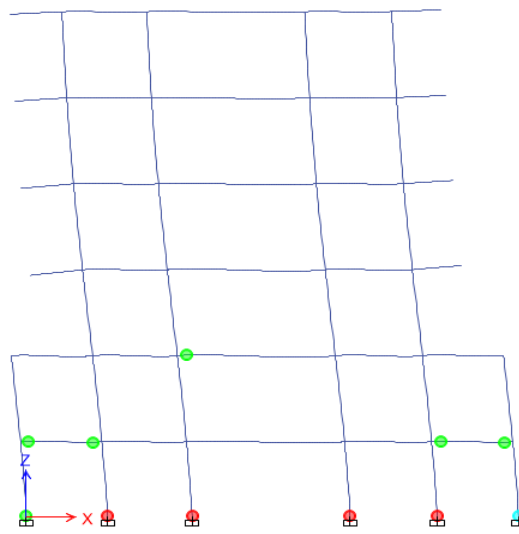
Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1532	0	0	0	0	1532	0	0	0	1532
1	31,454	1781,4093	1530	2	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	125,611	6512,1644	1227	305	0	0	0	1532	0	0	0	1532
3	222,838	10479,8205	1061	471	0	0	0	1521	7	0	4	1532
4	316,838	13302,5968	996	536	0	0	0	1432	86	4	10	1532
5	333,826	13812,565	987	544	1	0	0	1417	95	7	13	1532

Dari tabel tersebut Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada *step* 3 dengan elemen yang sudah mulai memasuki IO-LS. Kemudian pada *step* selanjutnya mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban dorong. Hal ini menandakan setiap kenaikan beban dorong yang diberikan kepada struktur maka kondisi plastifikasi juga akan meningkat secara bertahap hingga struktur mengalami keruntuhan





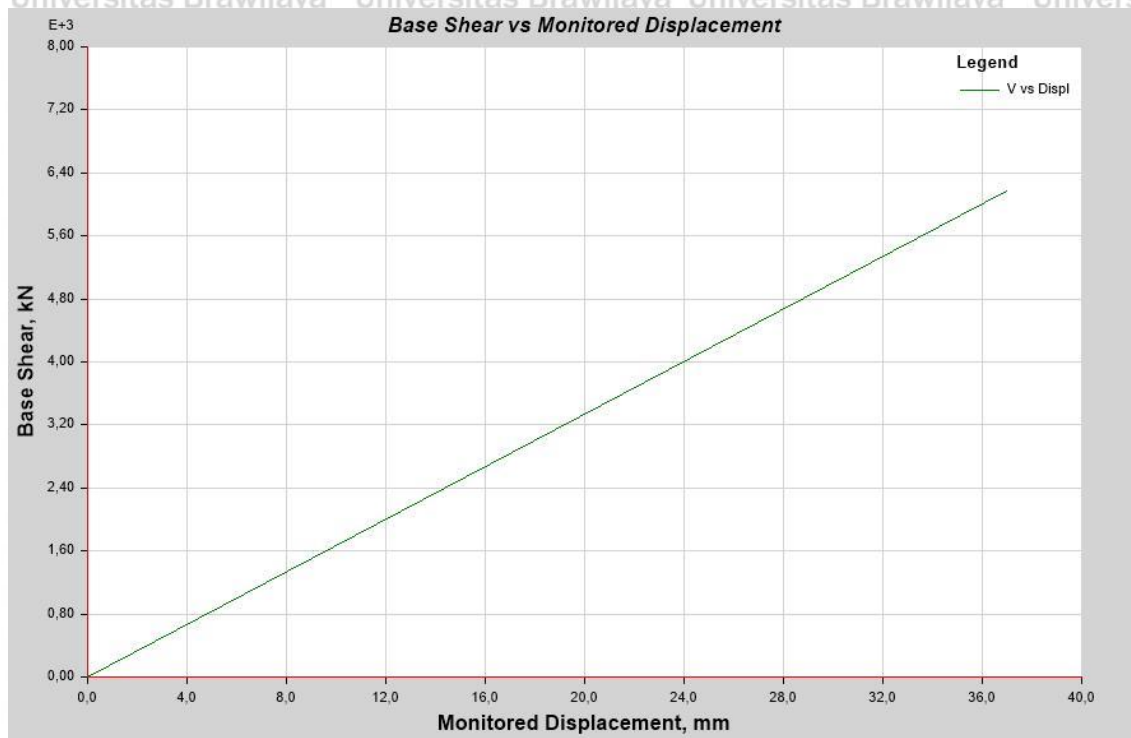
Gambar 4.7 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 3* Arah x-x (melintang)



Gambar 4.8 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 3* Arah x-x (melintang)

Pada Gambar 4.7 Sendi Plastis terjadi pada pondasi dan kemudian bertambah secara bertahap karena adanya beban dorong yang diberikan pada struktur. Berikut kurva kapasitas arah x-x Gambar 4.9





Gambar 4.9 Kurva Kapasitas Arah x-x (melintang)

4.5.2 Kurva Kapasitas Arah Y-Y

Pada saat proses *running pushover analysis* gedung arah y-y (memanjang) menghasilkan 9 *step* pola beban dorong sampai struktur mengalami keruntuhan. Berikut 9 *step* pola beban dorong hasil *running* ETABS pada **Tabel 4.19**.

Tabel 4.19 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah y-y (memanjang)

Step	Monitored Displ (mm)	Base Force (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1532	0	0	0	0	1532	0	0	0	1532
1	0,075	2067,2505	1530	2	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	0,088	2376,9256	1520	12	0	0	0	1532	0	0	0	1532
3	0,088	2422,7683	1514	18	0	0	0	1532	0	0	0	1532
4	0,093	2556,5988	1503	29	0	0	0	1532	0	0	0	1532
5	0,109	2719,4842	1488	44	0	0	0	1532	0	0	0	1532
6	0,11	2768,2788	1485	47	0	0	0	1532	0	0	0	1532
7	0,132	2981,3506	1478	54	0	0	0	1532	0	0	0	1532
8	0,15	3215,0782	1471	61	0	0	0	1532	0	0	0	1532
9	0,151	3291,002	1464	68	0	0	0	1532	0	0	0	1532
10	0,154	3335,6117	1459	73	0	0	0	1532	0	0	0	1532
11	0,154	3379,167	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
12	0,154	3379,7899	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
13	0,155	3387,9483	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
14	0,155	3388,4665	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
15	0,155	3393,8144	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
16	0,155	3394,5345	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
17	0,155	3395,4288	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
18	0,155	3397,6285	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532

Dari tabel tersebut Elemen struktur untuk arah y-y (memanjang) tidak mengalami plastifikasi sehingga tidak terbentuk sendi plastis. Berikut merupakan kurva kapasitas arah y-y **Gambar 4.10**



Gambar 4.10 Kurva Kapasitas Arah y-y (memanjang)

4.5.3 Perbandingan Drift dan Displacement

Perbandingan nilai drift dan displacement untuk mengetahui perilaku akhir dari struktur yang direncanakan. Berikut hasil nilai drift dan displacement dari original desain.

Dimana nilai drift design DDBD didapatkan menggunakan persamaan berikut :

$$Drift = \left(1 - 0,5 \cdot \frac{H_i}{H_n}\right) \cdot \theta \dots\dots\dots (4-10)$$

Dimana :

H_i = Tinggi lantai I (m)

H_n = Tinggi lantai total (m)

θ = Nilai simpangan rencana (*Life Safety* = 0,02)

Sedangkan untuk menghitung nilai simpangan lateral menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Simpangan\ lateral = \frac{\Delta_{Roof\ top}}{H} \dots\dots\dots (4-11)$$

Dimana :

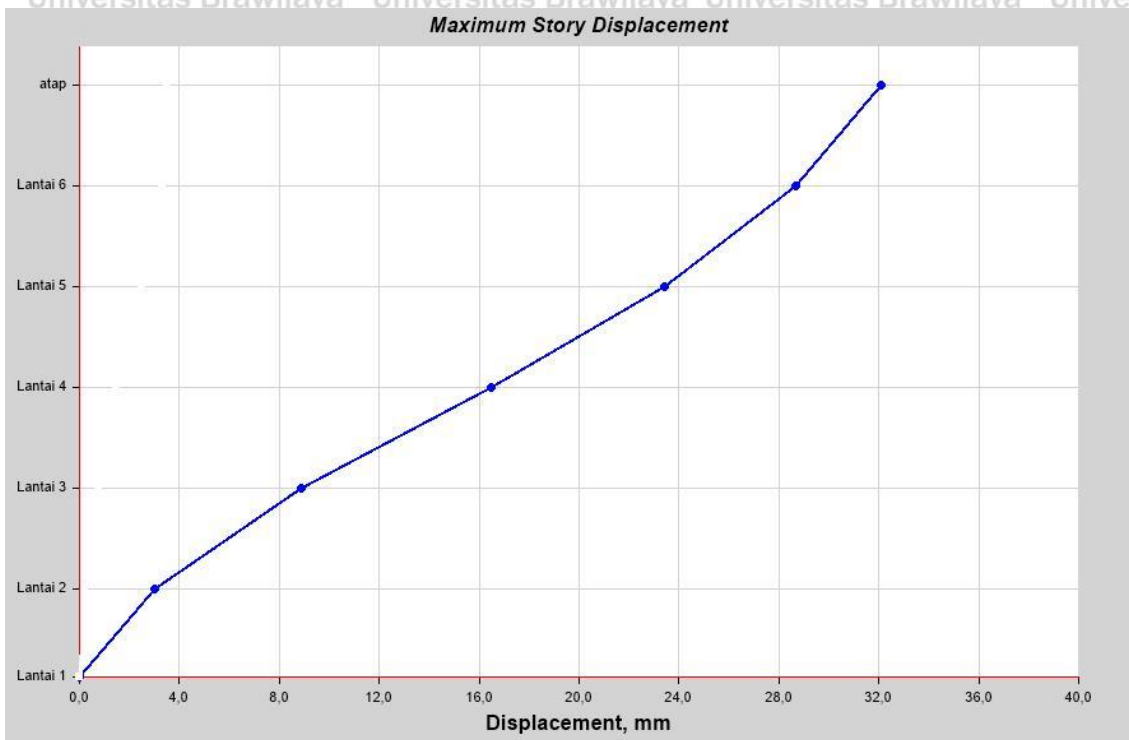
$\Delta_{Roof\ top}$ = Perpindahan pada atap (m)

H = Tinggi total bangunan (m)

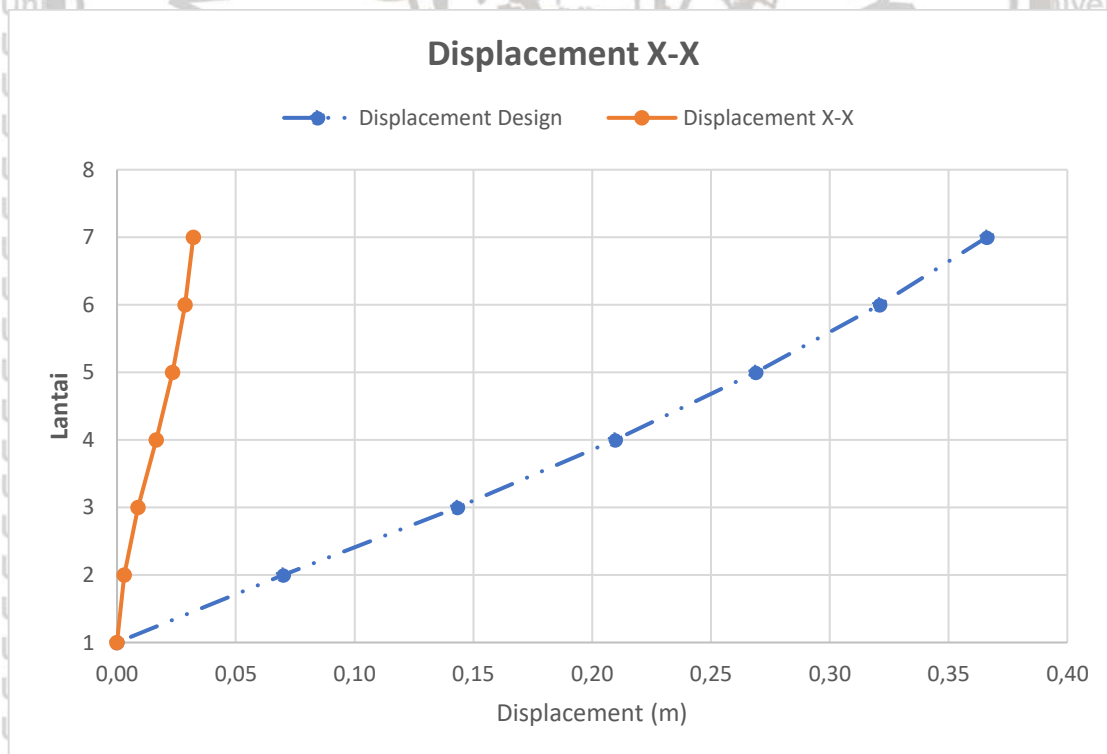
Tabel 4.20 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah X-X (melintang)

lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,3661	0,0100	0,0321	0,0045
6	19,5	0,02	0,3210	0,0117	0,0287	0,0013
5	15,5	0,02	0,2689	0,0134	0,0234	0,0017
4	11,5	0,02	0,2097	0,0151	0,0165	0,0019
3	7,5	0,02	0,1434	0,0168	0,0089	0,0016
2	3,5	0,02	0,0700	0,0185	0,0030	0,0009
1	0	0,02	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000

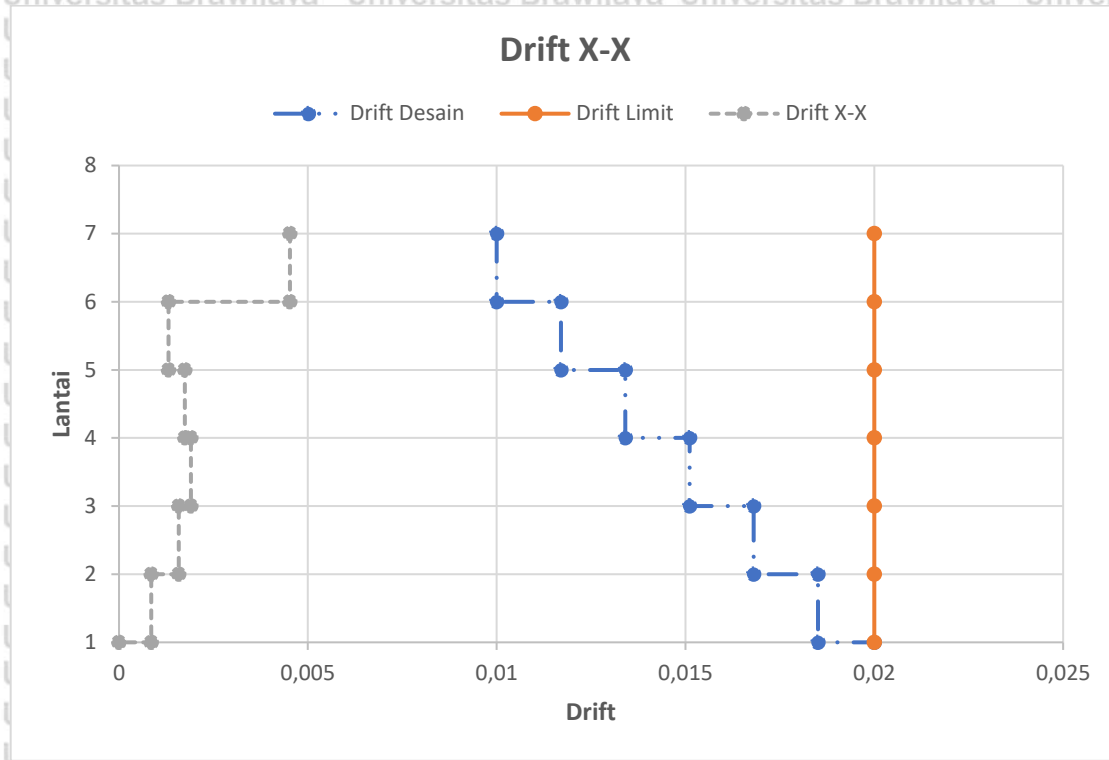




Gambar 4.11 Grafik Story Displacement Maksimum Arah x-x (melintang)



Gambar 4.12 Kurva Displacement Arah x-x (melintang)



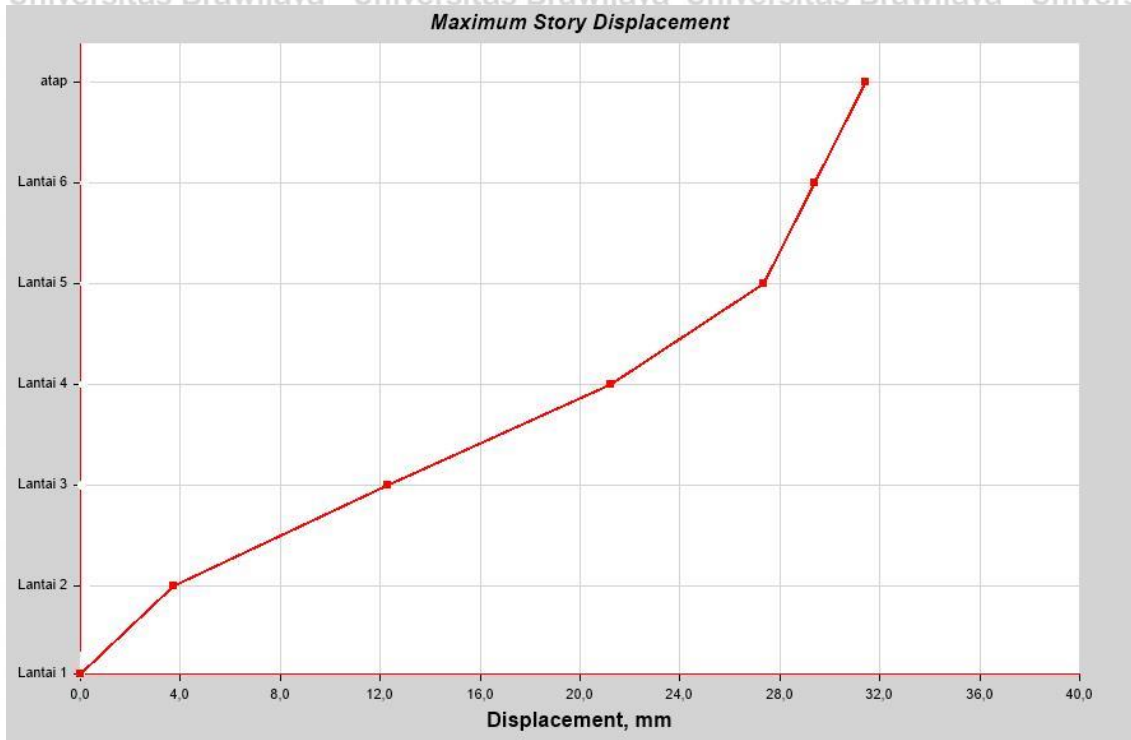
Gambar 4.13 Kurva Story Drift Arah x-x (melintang)

$$\text{Simpangan lateral} = \frac{0,0321}{23,5} = 0,0013 \text{ atau } 0,13\% \text{ (Immidiata Occupancy)}$$

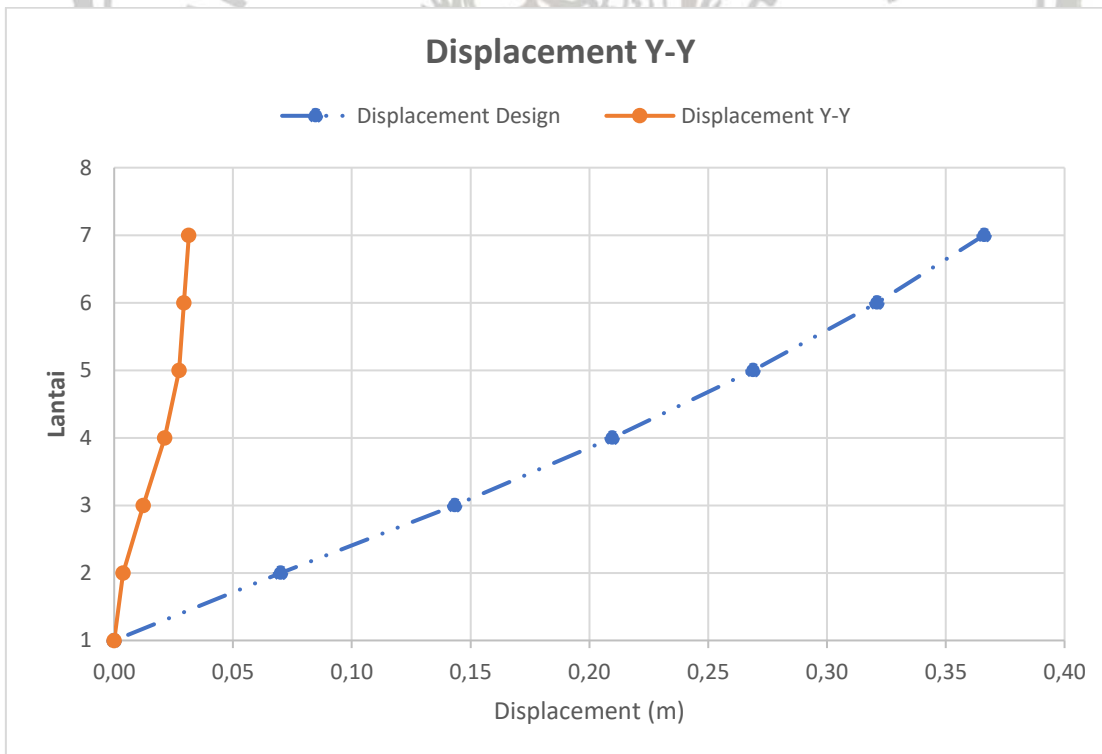
Hal ini menandakan bahwa Gedung yang sudah direncanakan oleh perencana dalam *Detailed Engineering Drawing (DED)* setelah diuji menggunakan program ETABS memiliki kinerja berbasis *Immidiata Occupancy*.

Tabel 4.21 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah Y

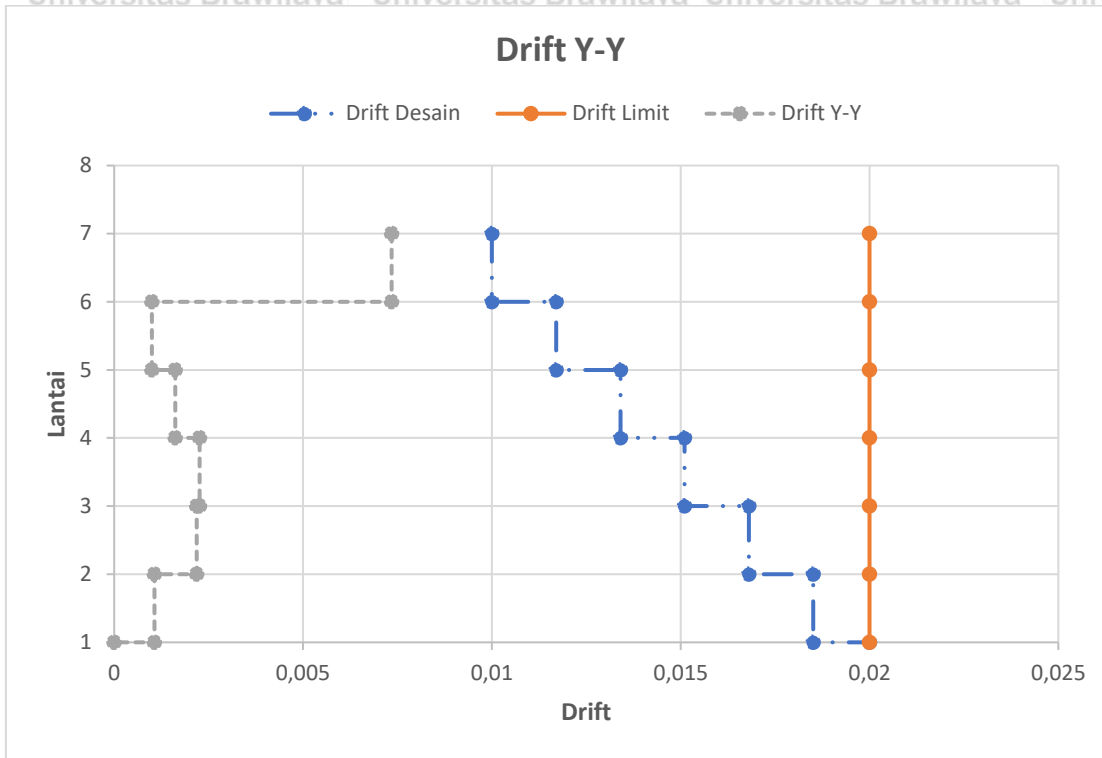
lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,3661	0,0100	0,0314	0,0073
6	19,5	0,02	0,3210	0,0117	0,0294	0,0010
5	15,5	0,02	0,2689	0,0134	0,0273	0,0016
4	11,5	0,02	0,2097	0,0151	0,0212	0,0023
3	7,5	0,02	0,1434	0,0168	0,0123	0,0022
2	3,5	0,02	0,0700	0,0185	0,0037	0,0011
1	0	0,02	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000



Gambar 4.14 Grafik Story Displacement Maksimum Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.15 Grafik Perpindahan Displacement Arah y-y (memanjang)



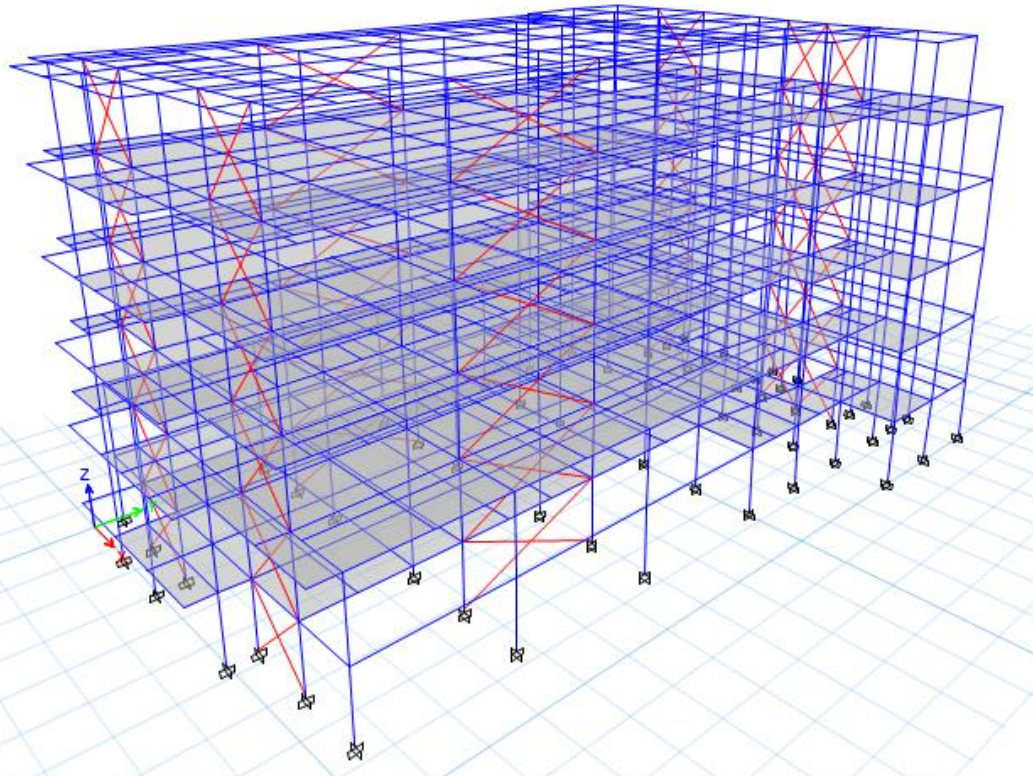
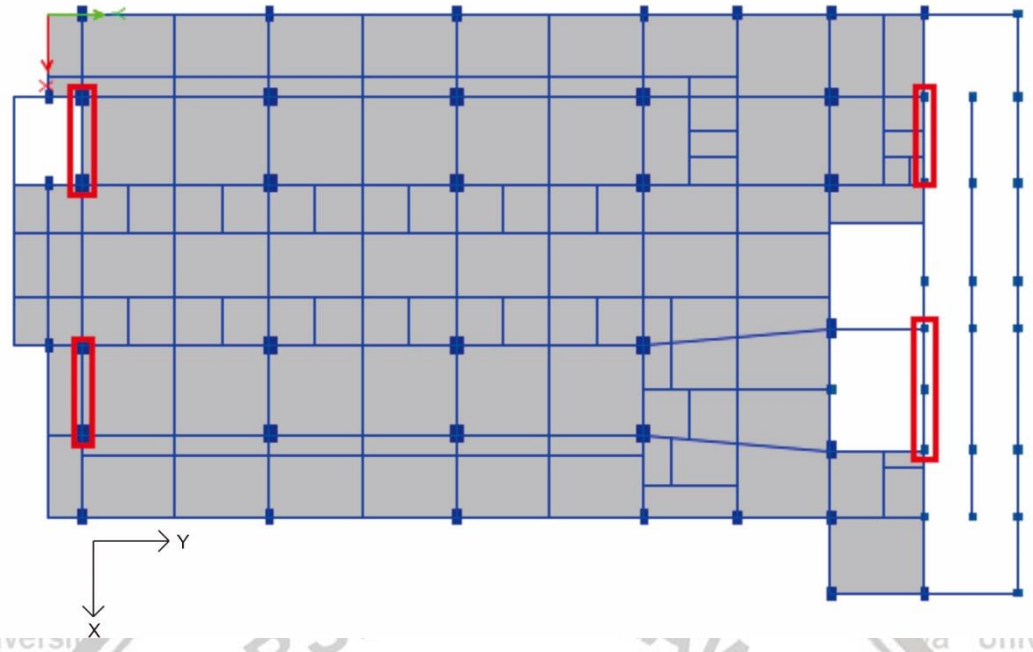
Gambar 4.16 Grafik Story Drift Arah y-y (memanjang)

$$\text{Simpangan lateral} = \frac{0,0314}{23,5} = 0,0013 \text{ atau } 0,13\% \text{ (Immidiata Occupancy)}$$

Hal ini menandakan bahwa Gedung yang sudah direncanakan oleh perencana dalam *Detailed Engineering Drawing (DED)* setelah diuji menggunakan program ETABS memiliki kinerja berbasis *Immidiata Occupancy*.

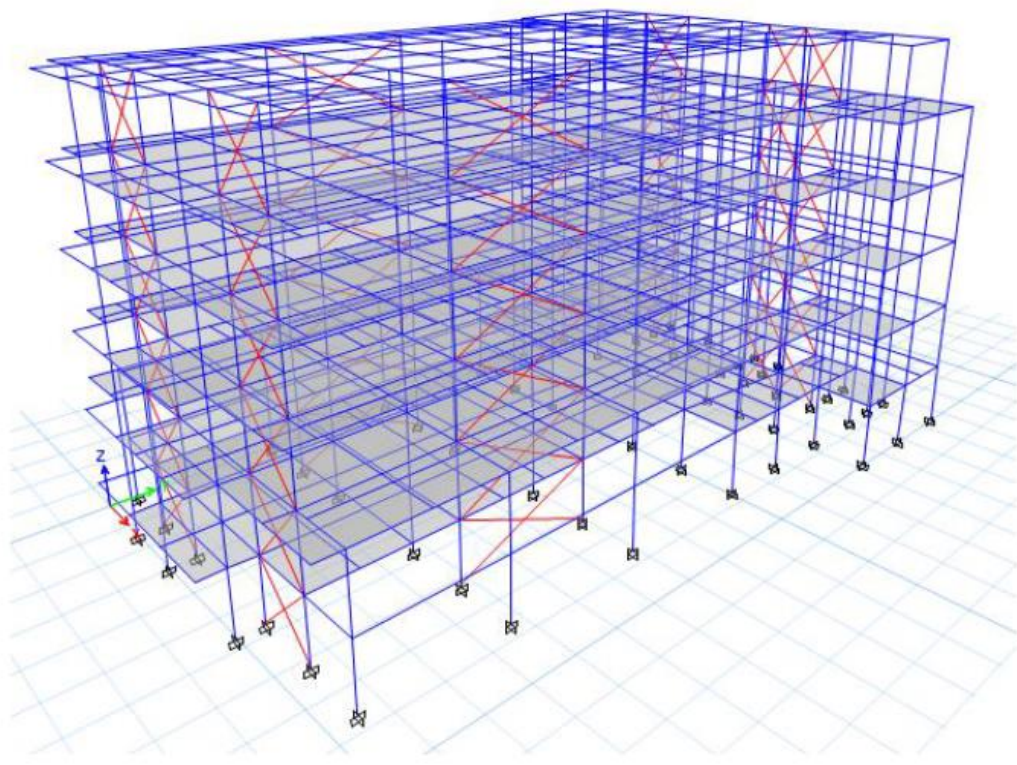
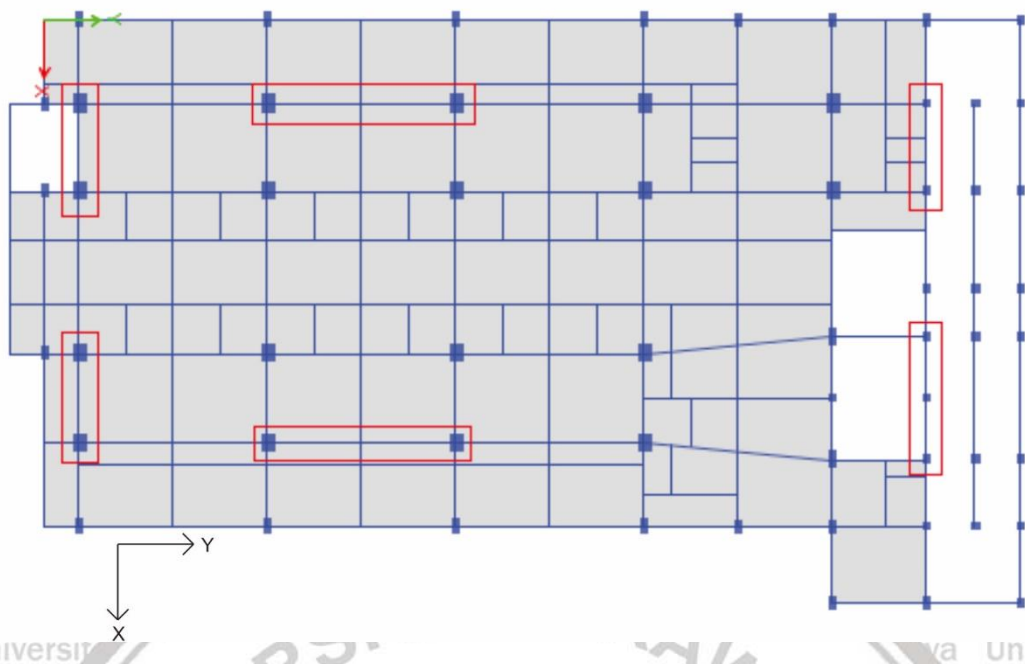
4.6 Pemodelan Struktur B्रेसing Baja

Terdapat 3 model struktur dalam kajian ini yang akan dianalisis dengan *non – linier static pushover*, dimana jenis bresing baja yang digunakan yaitu berbentuk X (*X-Shaped Braced Frame*). Alasan kenapa dibuat 3 tipe yang berbeda ini adalah untuk mengetahui bagaimana hasilnya jika arah serta letak dari bresing baja tersebut dibuat bervariasi. Berikut merupakan pemodelan dari masing-masing jenis struktur pada program ETABS.



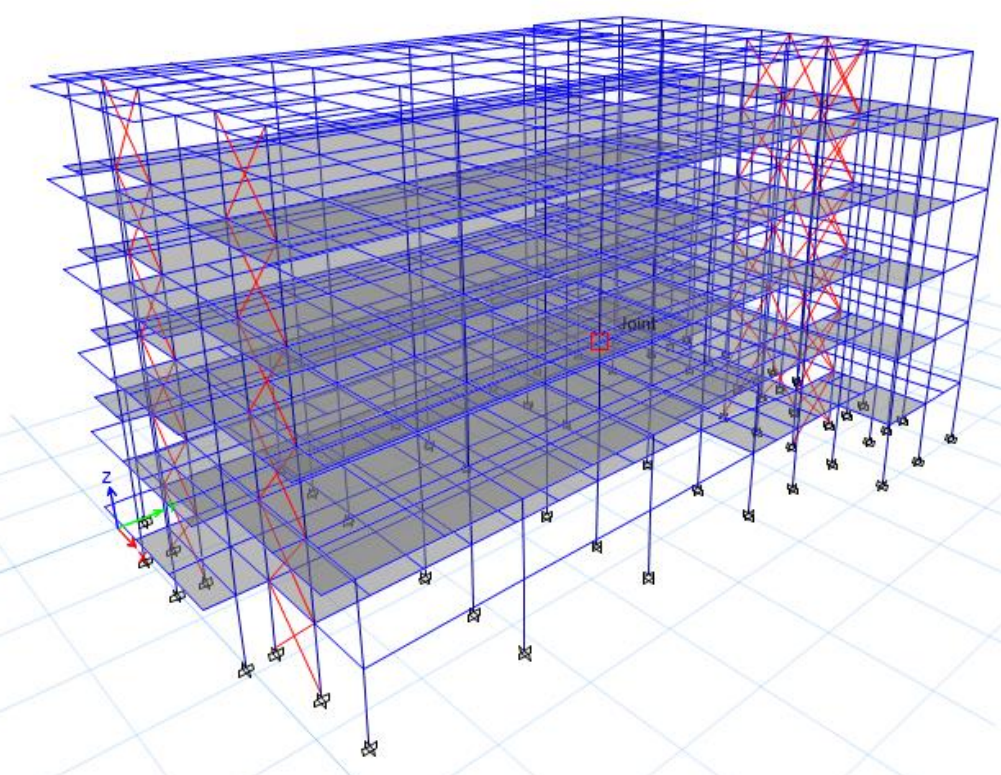
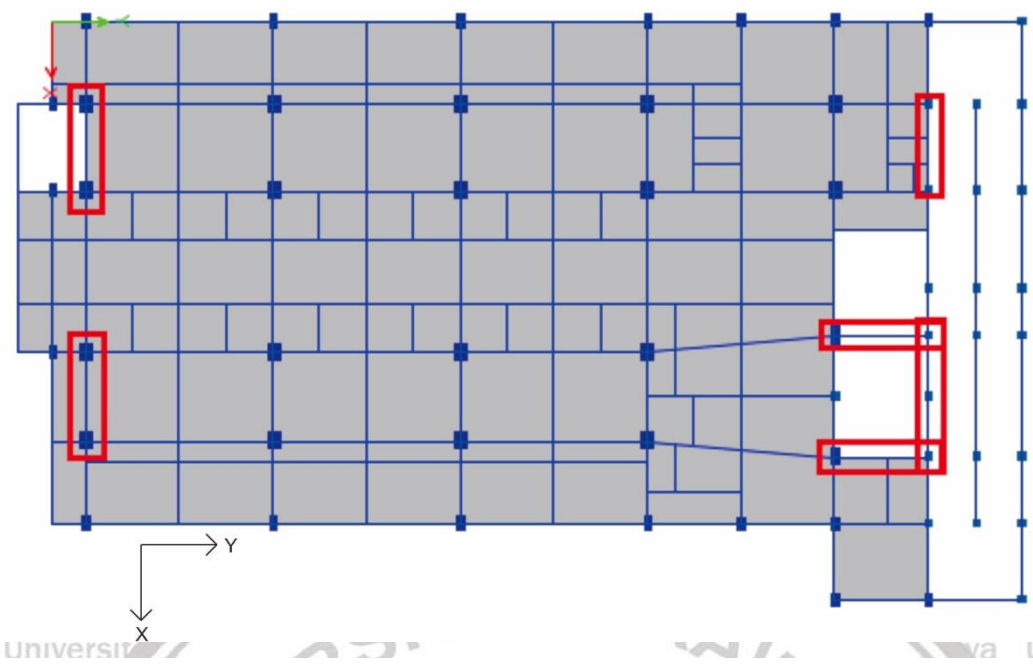
Gambar 4.17 Pemodelan Struktur B्रेसing Baja Tipe 1





Gambar 4.18 Pemodelan Struktur B्रेसing Baja Tipe 2





Gambar 4.19 Pemodelan Struktur Bresing Baja Tipe 3



4.7 Hasil Analisis Struktur Perkuatan Bresing Baja

Dari ketiga model diatas akan dilakukan analisis dan pembahasan mengenai hasil dari *static pushover* analisis menggunakan software ETABS.

4.7.1 Tipe 1

Pada tipe ini struktur bresing baja diletakkan pada arah sumbu x-x (melintang) khususnya pada daerah tangga depan, tangga belakang dan lift, dengan alasan karena sumbu x-x (melintang) merupakan sumbu lemah pada bangunan gedung rumah sakit tersebut.

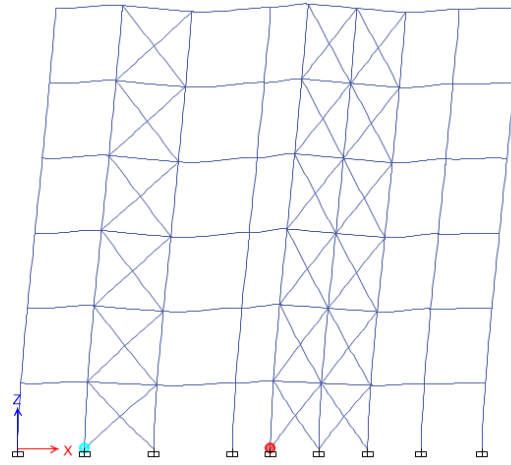
4.7.1.1 Kurva Kapasitas Arah X-X

Pada saat proses *running pushover analysis* gedung arah x-x (melintang) menghasilkan 2 *step* pola beban dorong sampai struktur mengalami keruntuhan. Berikut 2 *step* pola beban dorong hasil *running* ETABS pada **Tabel 4.22**.

Tabel 4.22 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah x-x (melintang)

Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1532	0	0	0	0	1532	0	0	0	1532
1	18,096	4194,898	1531	1	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	32,729	7611,5542	1489	42	1	0	0	1530	0	1	1	1532

Dari tabel tersebut Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada *step* 2 dengan elemen yang sudah mulai memasuki CP dan LS sebelum memasuki kondisi mekanisme keruntuhan.



Gambar 4.20 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 2* Arah x-x (melintang)

Pada **Gambar 4.20** Sendi Plastis terjadi pada pondasi dan kemudian akan memasuki mekanisme keruntuhan. Berikut kurva kapasitas arah x-x (melintang) **Gambar 4.21**



Gambar 4.21 Kurva Kapasitas Arah x-x (melintang)

4.7.1.2 Kurva Kapasitas Arah Y-Y

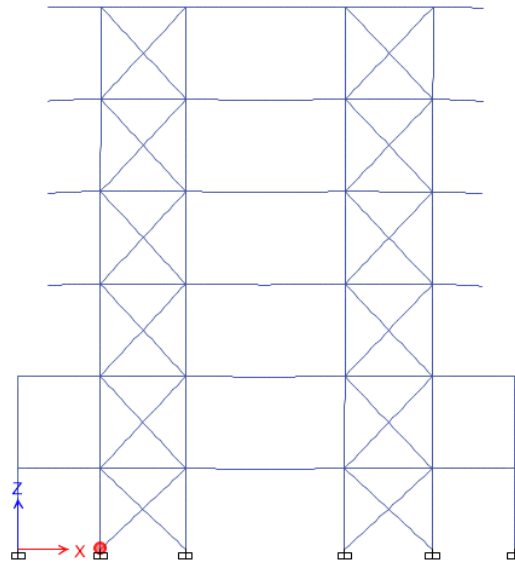
Pada saat proses *running pushover analysis* gedung arah y-y (memanjang) menghasilkan 6 *step* pola beban dorong sampai struktur mengalami keruntuhan. Berikut 6 *step* pola beban dorong hasil *running* ETABS pada **Tabel 4.23**

Tabel 4.23 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah y-y (memanjang)

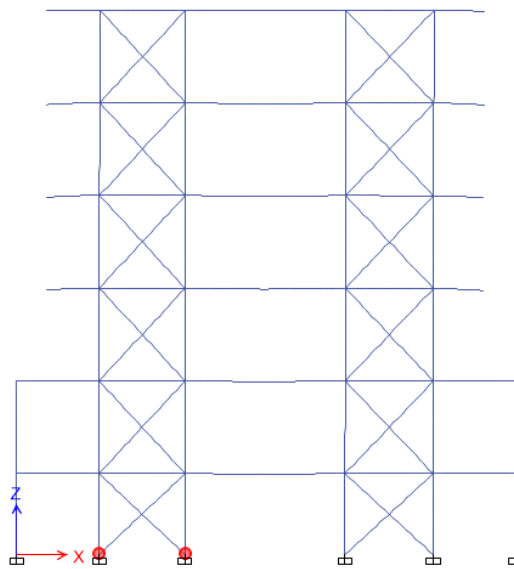
Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1532	0	0	0	0	1532	0	0	0	1532
1	0,475	2066,0845	1531	1	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	1,669	7076,354	1291	240	1	0	0	1531	0	0	1	1532
3	1,678	6880,7773	1291	240	0	0	1	1531	0	0	1	1532
4	1,766	7231,079	1287	243	1	0	1	1530	0	0	2	1532
5	1,775	7098,7752	1287	243	0	0	2	1530	0	0	2	1532
6	2,001	7870,6716	1264	266	0	0	2	1525	4	0	3	1532

Dari tabel tersebut Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada *step* 2 dengan elemen yang sudah mulai memasuki CP. Kemudian pada *step* selanjutnya mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban dorong. Hal ini menandakan setiap kenaikan beban dorong yang diberikan kepada struktur maka kondisi plastifikasi juga akan meningkat secara bertahap hingga struktur mengalami keruntuhan.

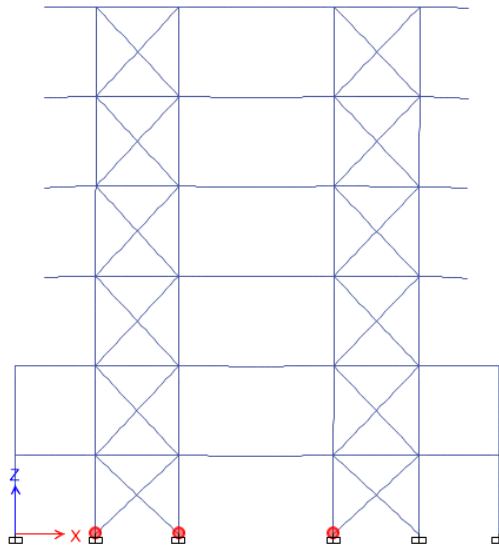




Gambar 4.22 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 2* Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.23 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 5* Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.24 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 6* Arah y-y (memanjang)

Pada **Gambar 4.22** Sendi Plastis terjadi pada pondasi dan kemudian bertambah secara bertahap karena adanya beban dorong yang diberikan pada struktur. Berikut kurva kapasitas arah y-y **Gambar 4.25**



Gambar 4.25 Kurva Kapasitas Arah y-y (memanjang)

4.7.1.3 Perbandingan Drift dan Displacement

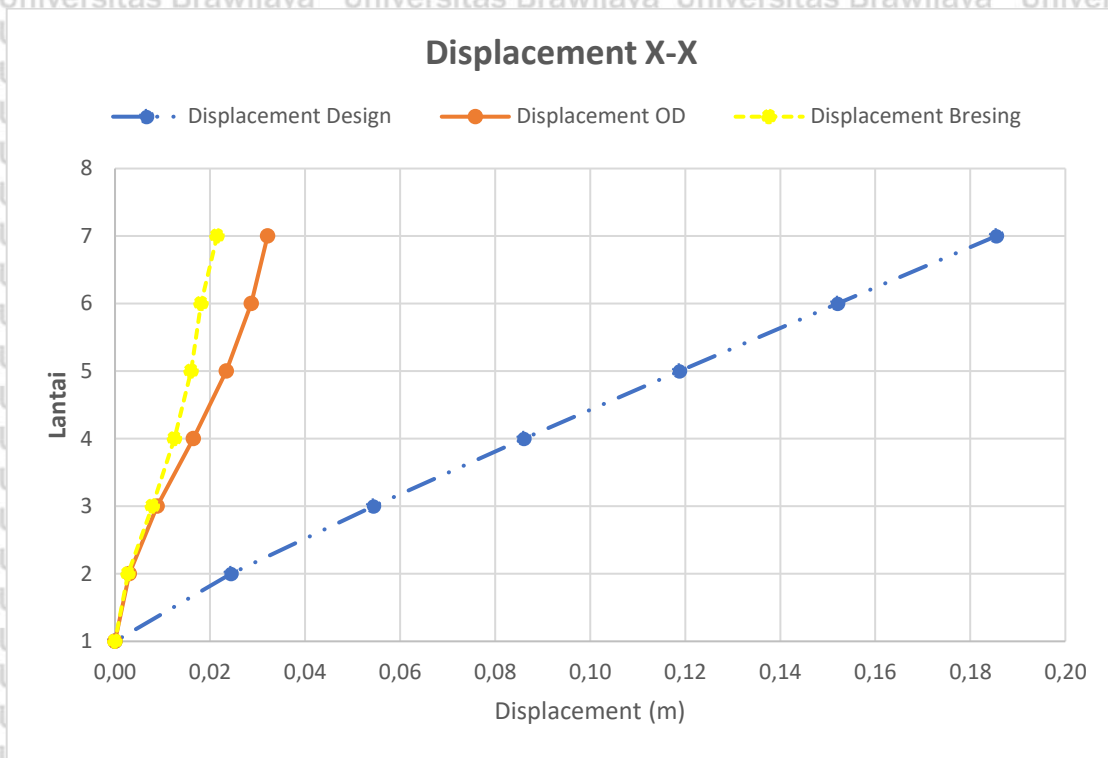
Perbandingan nilai drift dan displacement untuk mengetahui perilaku akhir dari struktur yang direncanakan. Berikut hasil nilai *drift* dan *displacement* dari gedung setelah diberi perkuatan bresing baja.

Tabel 4.24 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah X-X (melintang)

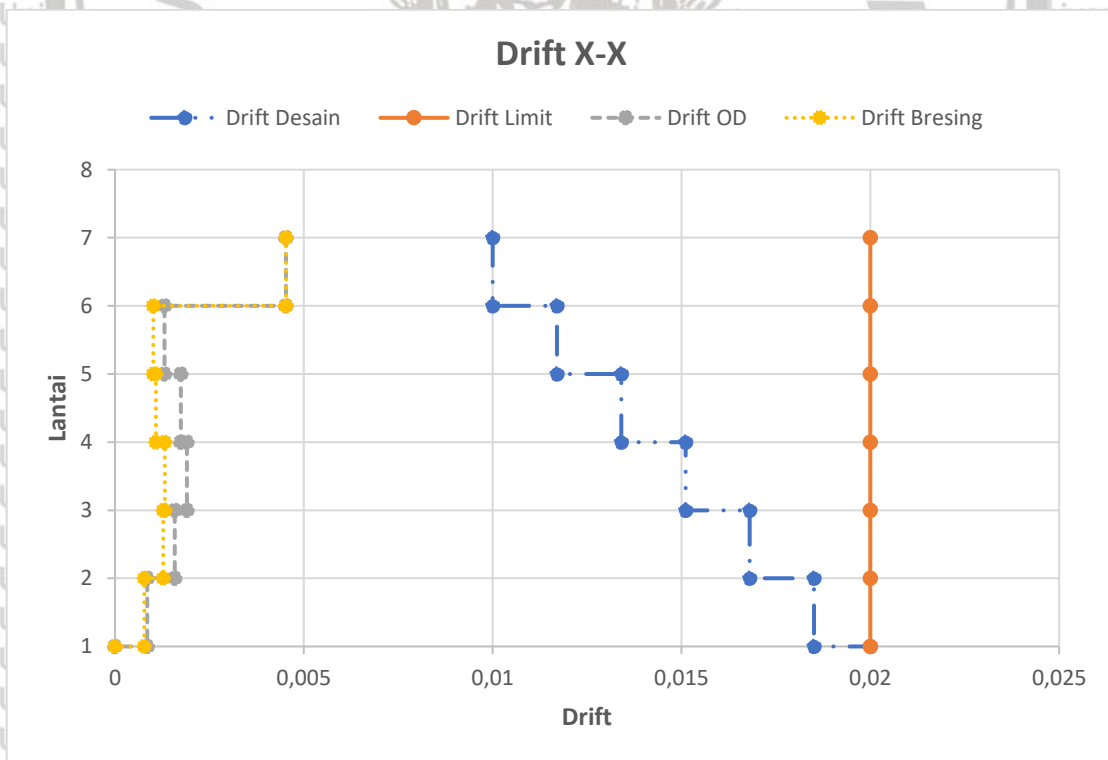
Lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,1855	0,0100	0,0215	0,0045
6	19,5	0,02	0,1521	0,0117	0,0181	0,0010
5	15,5	0,02	0,1188	0,0134	0,0160	0,0011
4	11,5	0,02	0,0861	0,0151	0,0125	0,0013
3	7,5	0,02	0,0544	0,0168	0,0078	0,0013
2	3,5	0,02	0,0244	0,0185	0,0027	0,0008
1	0	0,02	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000



Gambar 4.26 Grafik Story Displacement Maksimum Arah x-x (melintang)



Gambar 4.27 Kurva Displacement Arah x-x (melintang)



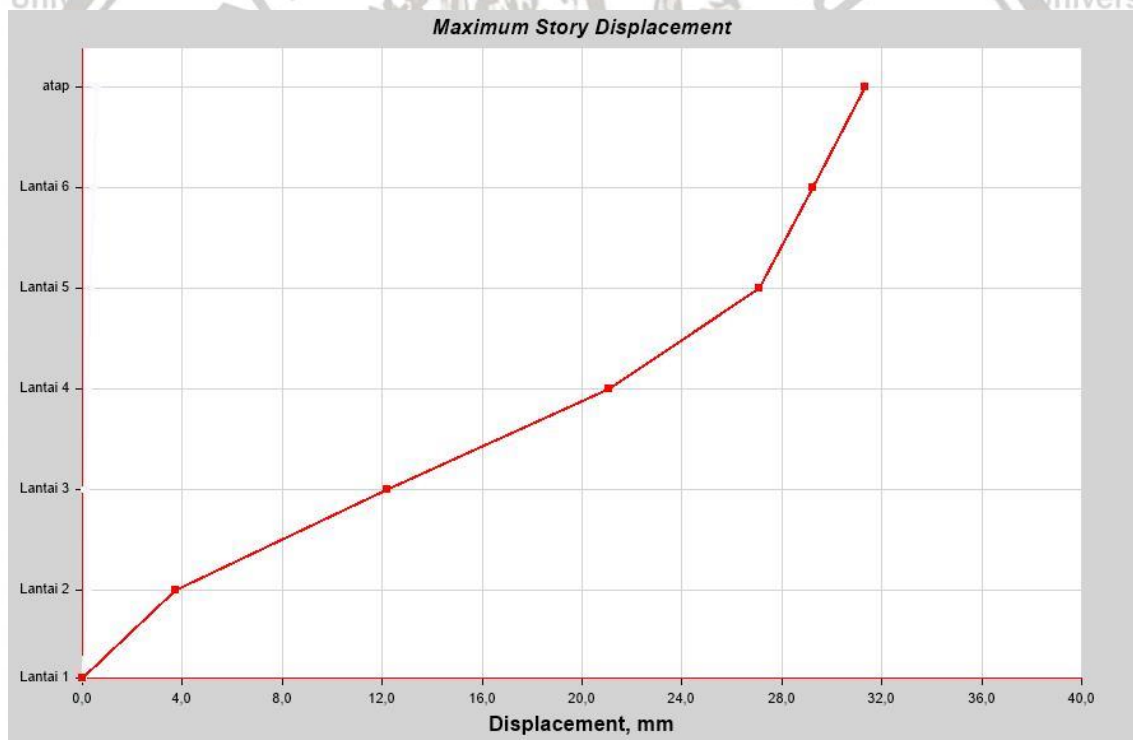
Gambar 4.27 Kurva Story Drift Arah x-x (melintang)

$$\text{Simpangan lateral} = \frac{0,0215}{23,5} = 0,0009 \text{ atau } 0,9\% \text{ (Immidiata Occupancy)}$$

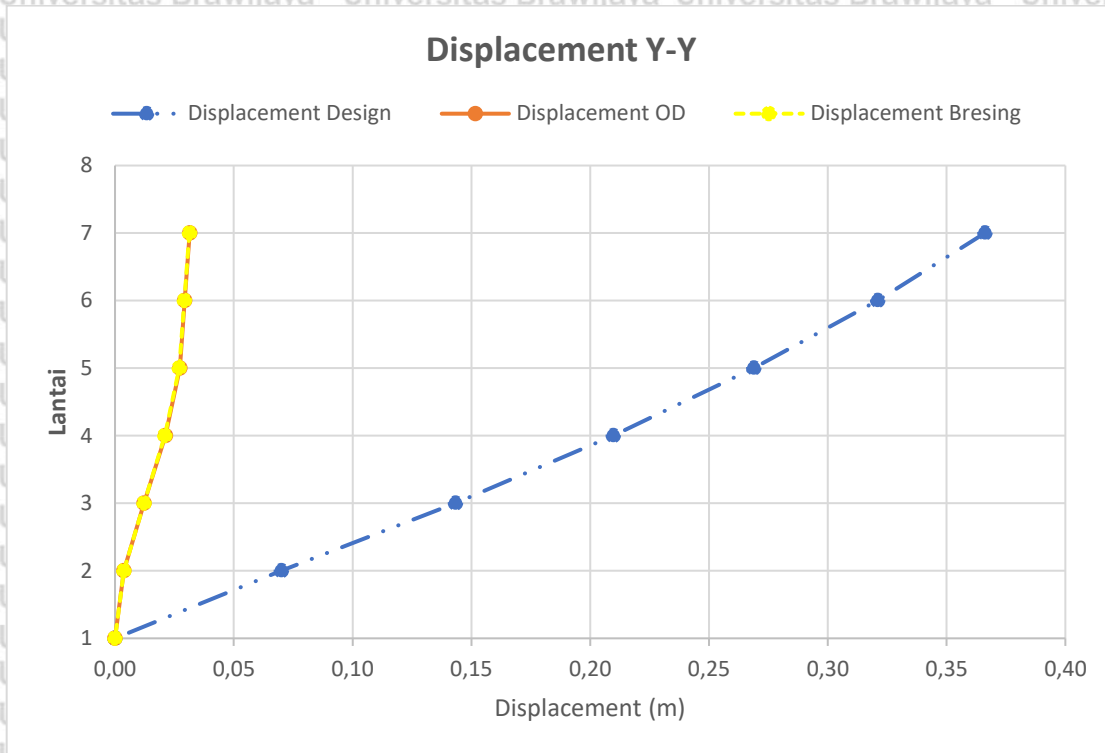
Hal ini menandakan bahwa Gedung yang sudah direncanakan oleh perencana dalam *Detailed Engineering Drawing (DED)* setelah diuji menggunakan program ETABS memiliki kinerja berbasis *Immidiata Occupancy*.

Tabel 4.25 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah Y

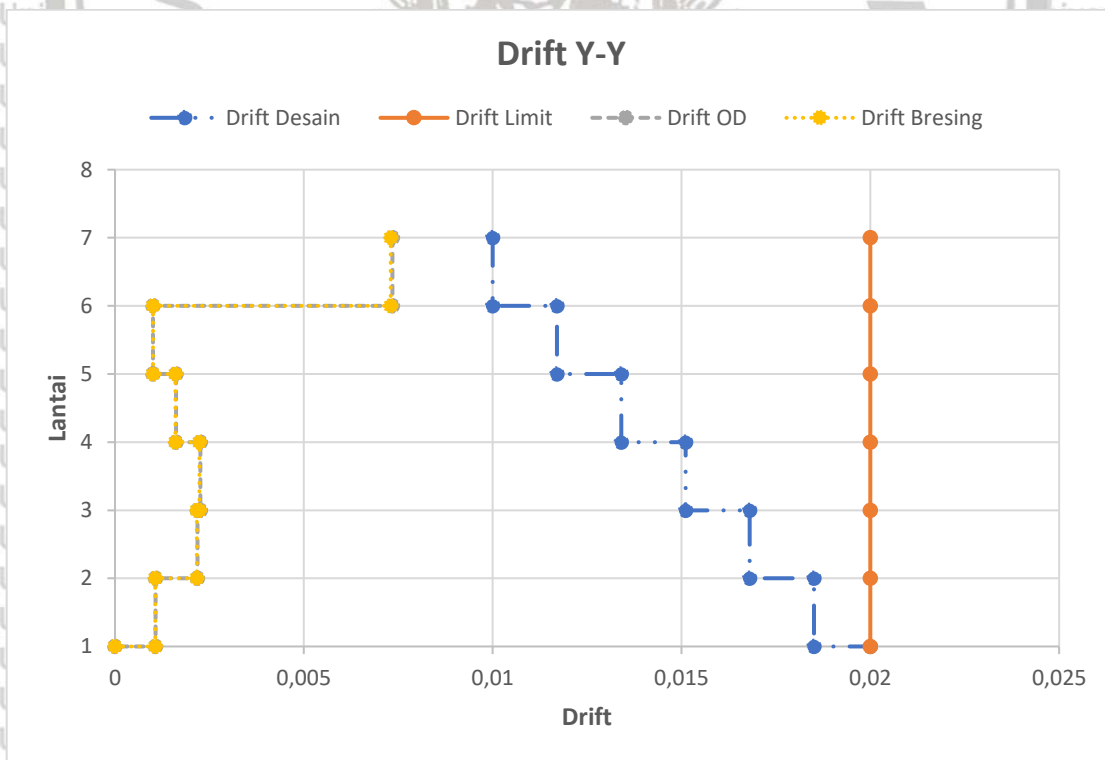
Lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,3661	0,0100	0,0313	0,0073
6	19,5	0,02	0,3210	0,0117	0,0292	0,0010
5	15,5	0,02	0,2689	0,0134	0,0271	0,0016
4	11,5	0,02	0,2097	0,0151	0,0210	0,0022
3	7,5	0,02	0,1434	0,0168	0,0122	0,0022
2	3,5	0,02	0,0700	0,0185	0,0037	0,0011
1	0	0,02	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000



Gambar 4.28 Grafik *Story Displacement* Maksimum Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.29 Grafik Perpindahan Displacement Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.30 Grafik Story Drift Arah y-y (memanjang)

$$\text{Simpangan lateral} = \frac{0,0313}{23,5} = 0,0014 \text{ atau } 0,14\% \text{ (Immidiata Occupancy)}$$

Hal ini menandakan bahwa Gedung yang sudah direncanakan oleh perencana dalam *Detailed Engineering Drawing (DED)* setelah diuji menggunakan program ETABS memiliki kinerja berbasis *Immidiata Occupancy*.

4.7.2 Tipe 2

Pada tipe ini struktur bresing baja diletakkan pada kedua arah yaitu sumbu x-x (melintang) dan sumbu y-y (memanjang). Alasan mengapa diletakkan pada 2 arah tersebut ialah karena tidak hanya sumbu lemah saja yang perlu diberi perkuatan melainkan sumbu kuat juga perlu. Pada arah sumbu x-x (melintang) perkuatan diletakkan pada daerah tangga depan, tangga belakang serta lift. Sementara pada sumbu y-y (memanjang) perkuatan diletakkan pada tengah bentang Gedung agar meminimalisir terjadinya rotasi pada elemen-elemen Gedung.

4.7.2.1 Kurva Kapasitas Arah X-X

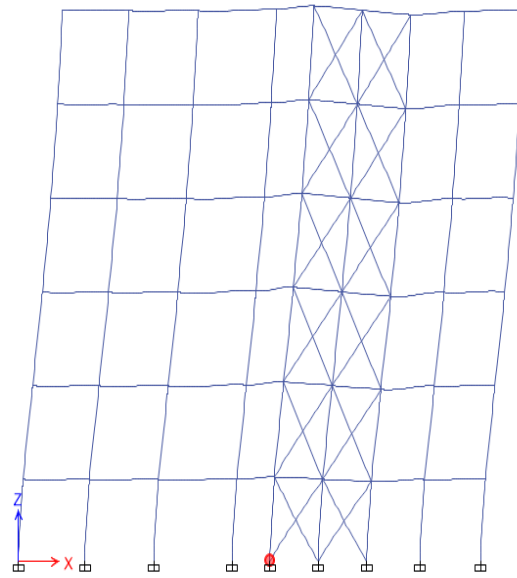
Pada saat proses *running pushover analysis* gedung arah x-x (melintang) menghasilkan 2 *step* pola beban dorong sampai struktur mengalami keruntuhan. Berikut 2 *step* pola beban dorong hasil *running* ETABS pada **Tabel 4.26**.

Tabel 4.26 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah x-x (melintang)

Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1532	0	0	0	0	1532	0	0	0	1532
1	18,523	4247,6547	1531	1	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	29,573	6782,605	1513	19	0	0	0	1531	0	0	1	1532

Dari tabel tersebut Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada *step* 2 dengan elemen yang sudah mulai memasuki CP sebelum memasuki kondisi mekanisme keruntuhan.





Gambar 4.31 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 2* Arah x-x (melintang)

Pada **Gambar 4.31** Sendi Plastis terjadi pada pondasi dan kemudian akan memasuki mekanisme keruntuhan. Berikut kurva kapasitas arah x-x (melintang) **Gambar 4.32**



Gambar 4.32 Kurva Kapasitas Arah x-x (melintang)

4.7.2.2 Kurva Kapasitas Arah Y-Y

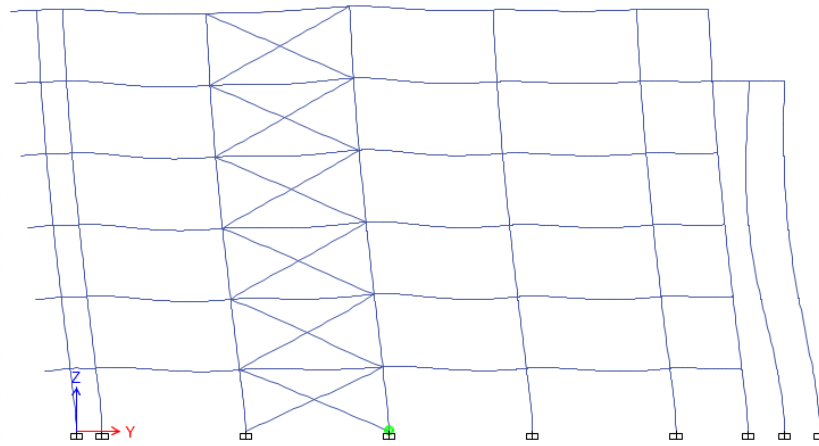
Pada saat proses *running pushover analysis* gedung arah y-y (memanjang) menghasilkan 17 *step* pola beban dorong sampai struktur mengalami keruntuhan. Berikut 17 *step* pola beban dorong hasil *running* ETABS pada **Tabel 4.23**

Tabel 4.27 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah y-y (memanjang)

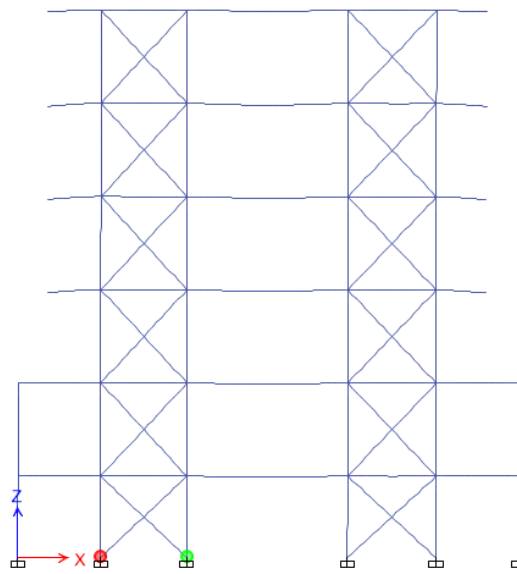
Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1532	0	0	0	0	1532	0	0	0	1532
1	0,046	7347,4383	1529	3	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	0,066	10492,8443	1508	24	0	0	0	1530	2	0	0	1532
3	0,069	11116,3686	1498	34	0	0	0	1530	2	0	0	1532
4	0,071	11362,3493	1492	40	0	0	0	1530	2	0	0	1532
5	0,071	11660,1708	1488	44	0	0	0	1530	2	0	0	1532
6	0,072	11865,3058	1483	49	0	0	0	1530	2	0	0	1532
7	0,083	13905,5403	1455	77	0	0	0	1529	2	1	0	1532
8	0,084	14134,6895	1449	83	0	0	0	1529	2	1	0	1532
9	0,084	14361,4377	1445	87	0	0	0	1529	2	1	0	1532
10	0,087	15378,9123	1429	103	0	0	0	1528	2	1	1	1532
11	0,087	15541,4067	1426	106	0	0	0	1527	3	1	1	1532
12	0,089	16168,8673	1418	114	0	0	0	1527	3	1	1	1532
13	0,091	16943,7166	1410	122	0	0	0	1526	4	1	1	1532
14	0,091	17184,1876	1404	128	0	0	0	1526	4	1	1	1532
15	0,091	17205,3849	1404	128	0	0	0	1526	4	1	1	1532
16	0,091	17217,442	1404	128	0	0	0	1526	4	1	1	1532
17	0,115	21039,9699	1342	190	0	0	0	1526	4	1	1	1532

Dari tabel tersebut Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada *step* 2 dengan elemen yang sudah mulai memasuki IO-LS. Kemudian pada *step* selanjutnya mengalami peningkatan seiring bertambahnya beban dorong. Hal ini menandakan setiap kenaikan beban dorong yang diberikan kepada struktur maka kondisi plastifikasi juga akan meningkat secara bertahap hingga struktur mengalami keruntuhan.

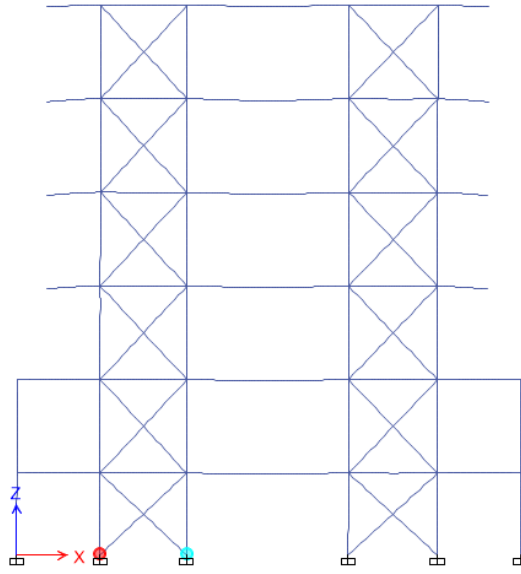




Gambar 4.33 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 7* Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.34 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 10* Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.35 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 17* Arah x-x (memanjang)

Pada **Gambar 4.33** Sendi Plastis terjadi pada pondasi dan kemudian bertambah secara bertahap karena adanya beban dorong yang diberikan pada struktur. Berikut kurva kapasitas arah y-y **Gambar 4.36**



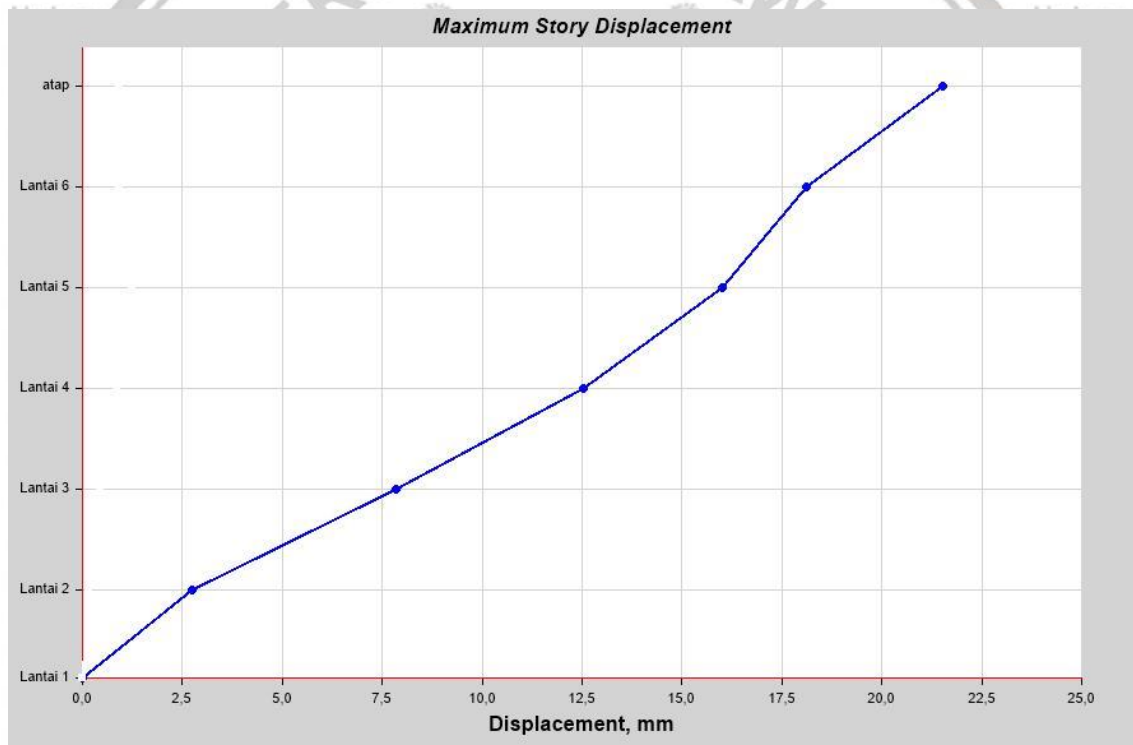
Gambar 4.36 Kurva Kapasitas Arah y-y (memanjang)

4.7.2.3 Perbandingan Drift dan Displacement

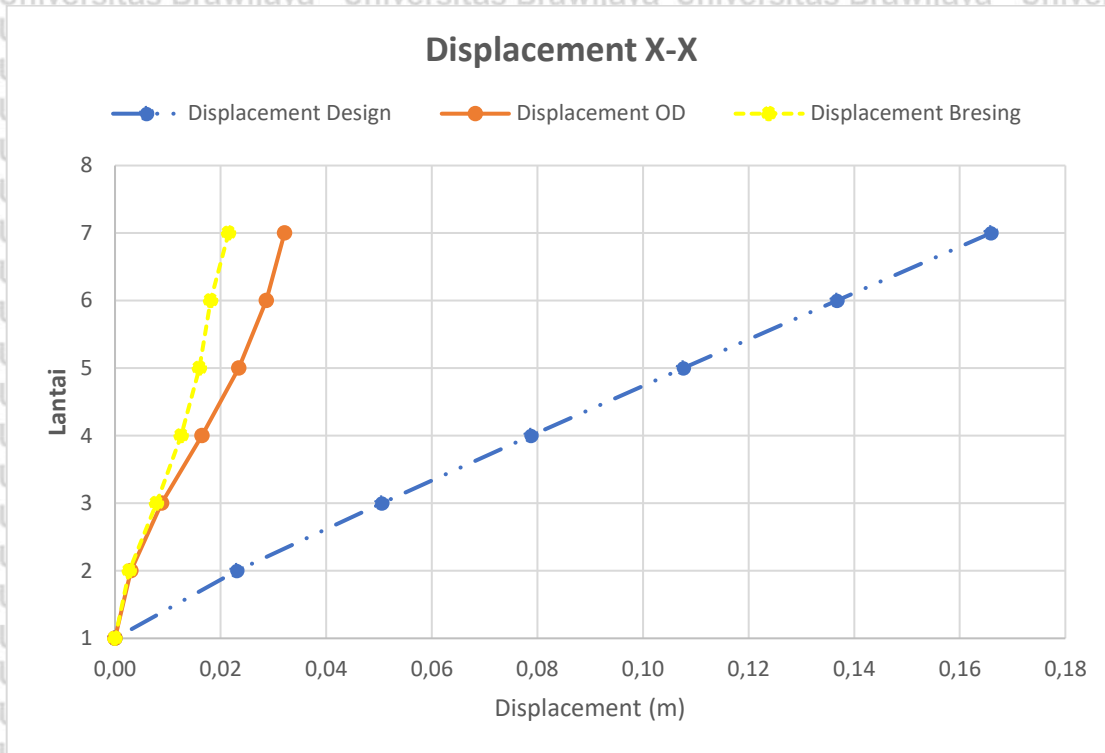
Perbandingan nilai drift dan displacement untuk mengetahui perilaku akhir dari struktur yang direncanakan. Berikut hasil nilai *drift* dan *displacement* dari gedung setelah diberi perkuatan bresing baja.

Tabel 4.28 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah X-X (melintang)

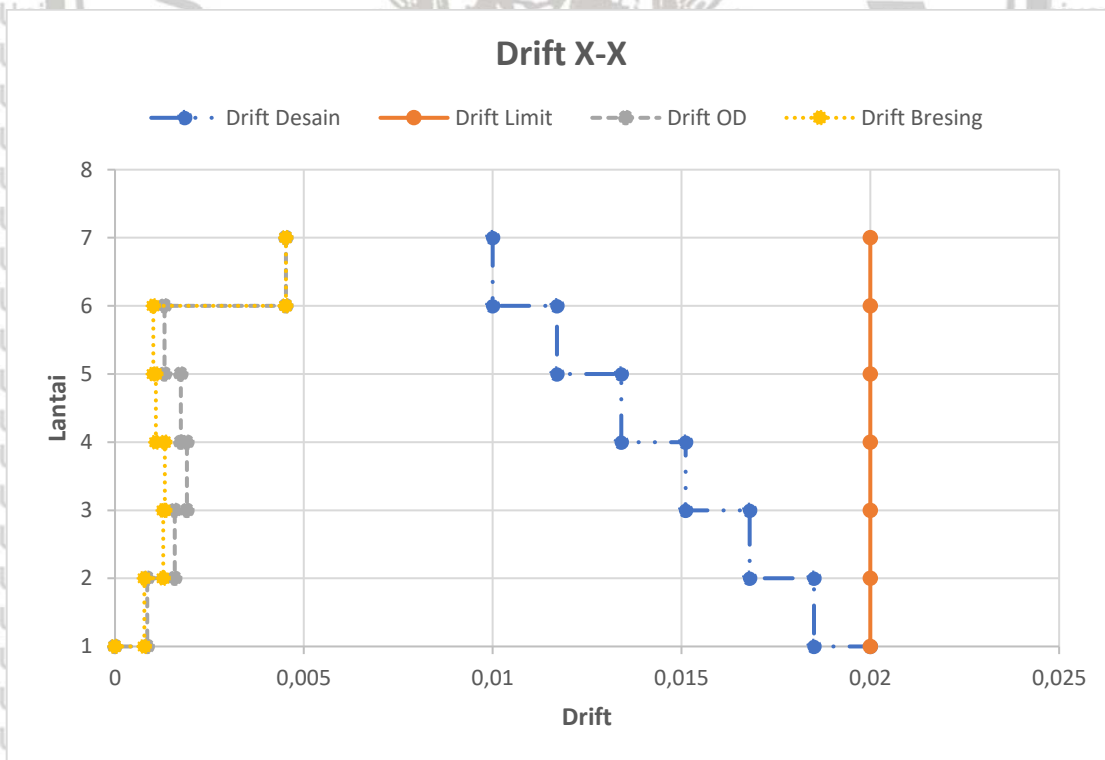
Lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,1708	0,0100	0,0215	0,0045
6	19,5	0,02	0,1376	0,0117	0,0181	0,0010
5	15,5	0,02	0,1081	0,0134	0,0160	0,0011
4	11,5	0,02	0,0790	0,0151	0,0125	0,0013
3	7,5	0,02	0,0506	0,0168	0,0078	0,0013
2	3,5	0,02	0,0231	0,0185	0,0027	0,0008
1	0	0,02	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000



Gambar 4.37 Grafik Story Displacement Maksimum Arah x-x (melintang)



Gambar 4.38 Kurva Displacement Arah x-x (melintang)



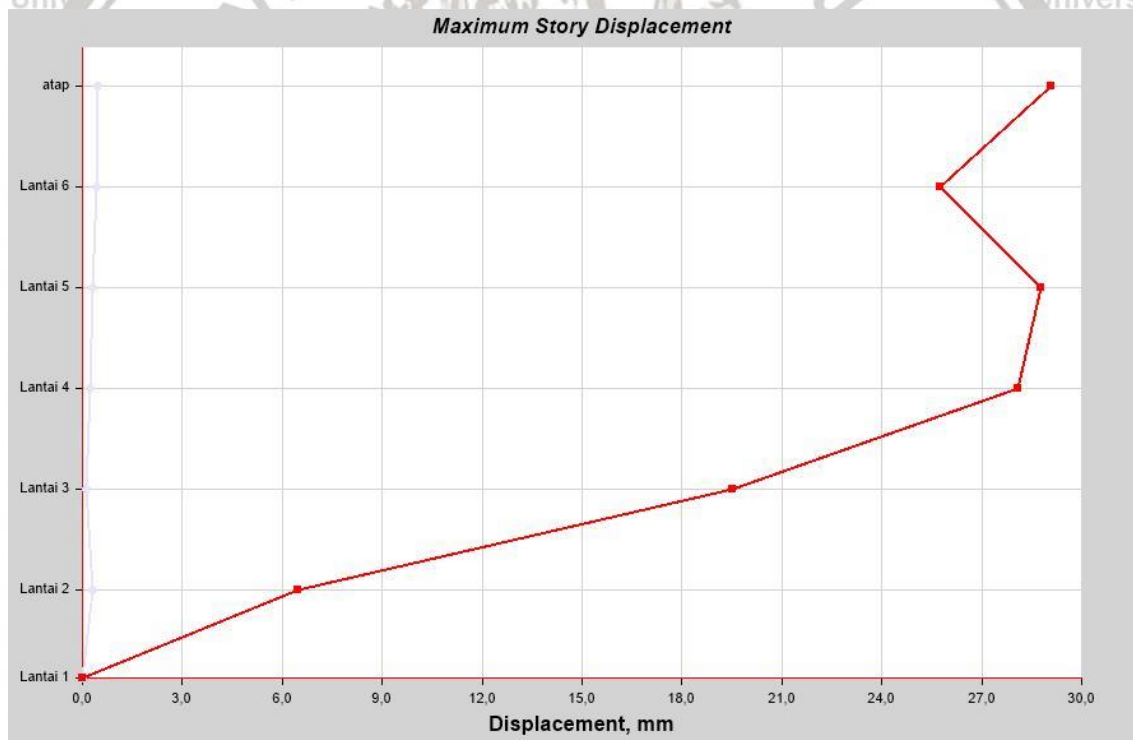
Gambar 4.39 Kurva Story Drift Arah x-x (melintang)

$$\text{Simpangan lateral} = \frac{0,0273}{23,5} = 0,0011 \text{ atau } 0,11\% \text{ (Imidiate Occupancy)}$$

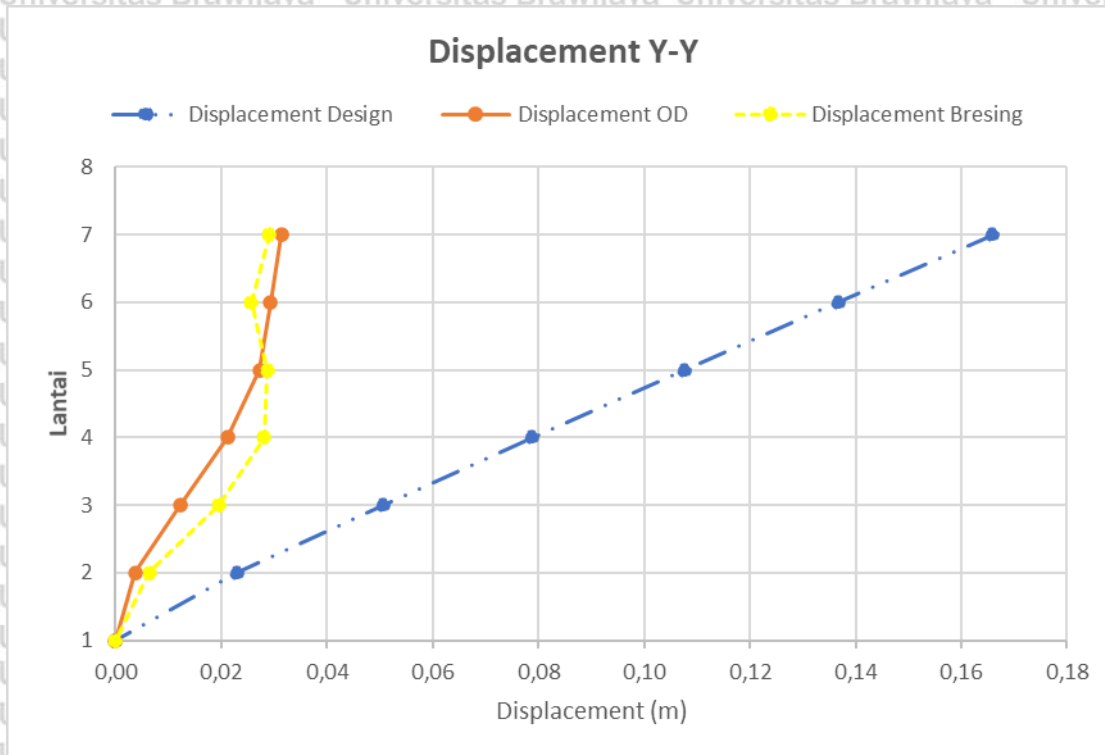
Hal ini menandakan bahwa Gedung yang sudah direncanakan oleh perencana dalam *Detailed Engineering Drawing (DED)* setelah diuji menggunakan program ETABS memiliki kinerja berbasis *Immidiate Occupancy*.

Tabel 4.29 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah Y

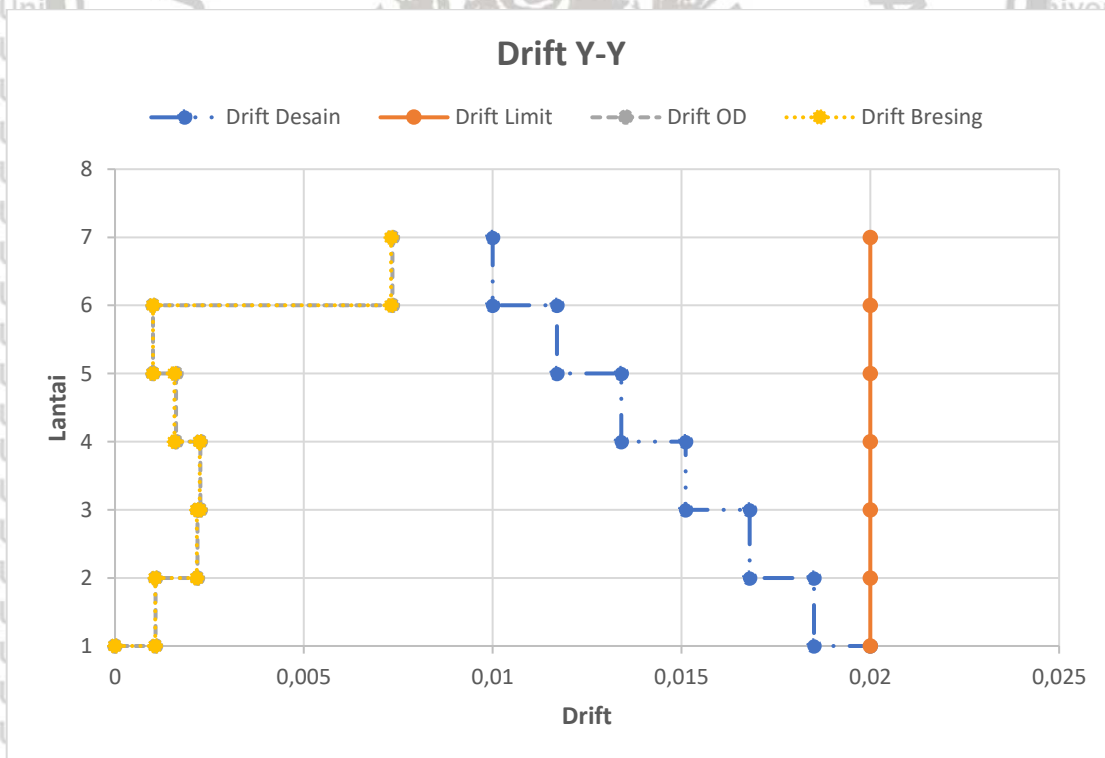
Lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,1659	0,0100	0,0291	0,0073
6	19,5	0,02	0,1368	0,0117	0,0257	0,0010
5	15,5	0,02	0,1076	0,0134	0,0288	0,0016
4	11,5	0,02	0,0788	0,0151	0,0281	0,0022
3	7,5	0,02	0,0505	0,0168	0,0195	0,0022
2	3,5	0,02	0,0231	0,0185	0,0065	0,0011
1	0	0,02	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000



Gambar 4.40 Grafik *Story Displacement* Maksimum Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.41 Grafik Perpindahan Displacement Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.42 Grafik Story Drift Arah y-y (memanjang)

$$\text{Simpangan lateral} = \frac{0,0291}{23,5} = 0,0012 \text{ atau } 0,12\% \text{ (Immidiata Occupancy)}$$

Hal ini menandakan bahwa Gedung yang sudah direncanakan oleh perencana dalam *Detailed Engineering Drawing (DED)* setelah diuji menggunakan program ETABS memiliki kinerja berbasis *Immidiata Occupancy*.

4.7.3 Tipe 3

Pada tipe ini struktur bresing baja diletakkan pada kedua arah yaitu sumbu x-x (melintang) dan sumbu y-y (memanjang). Alasan mengapa diletakkan pada 2 arah tersebut ialah karena tidak hanya sumbu lemah saja yang perlu diberi perkuatan melainkan sumbu kuat juga perlu. Perbedaan tipe 3 dan tipe 2 ialah bresing pada arah sumbu y-y (memanjang) diletakkan sejajar pada bagian lift.

4.7.3.1 Kurva Kapasitas Arah X-X

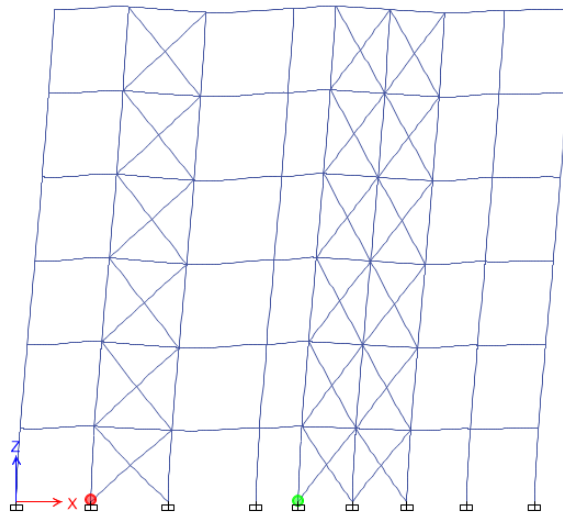
Pada saat proses *running pushover analysis* gedung arah x-x (melintang) menghasilkan 4 *step* pola beban dorong sampai struktur mengalami keruntuhan. Berikut 4 *step* pola beban dorong hasil *running* ETABS pada **Tabel 4.22**.

Tabel 4.30 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah x-x (melintang)

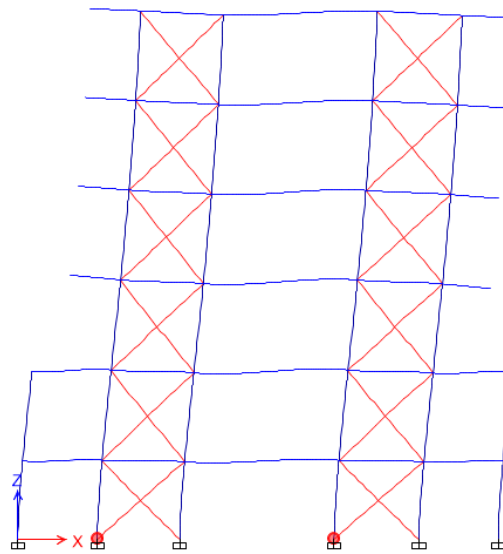
Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1532	0	0	0	0	1532	0	0	0	1532
1	29,107	6446,6453	1531	1	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	42,505	9341,8646	1495	37	0	0	0	1528	2	1	1	1532
3	42,601	9197,3201	1495	37	0	0	0	1528	2	1	1	1532
4	44,064	9429,0364	1491	41	0	0	0	1527	3	1	1	1532

Dari tabel tersebut Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada *step* 2 dengan elemen yang sudah mulai memasuki IO-LS sebelum memasuki kondisi mekanisme keruntuhan.





Gambar 4.43 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 2* Arah x-x (melintang)



Gambar 4.44 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 4* Arah x-x (melintang)

Pada **Gambar 4.43** Sendi Plastis terjadi pada pondasi dan kemudian akan memasuki mekanisme keruntuhan. Berikut kurva kapasitas arah x-x (melintang) **Gambar 4.45**



Gambar 4.45 Kurva Kapasitas Arah x-x (melintang)

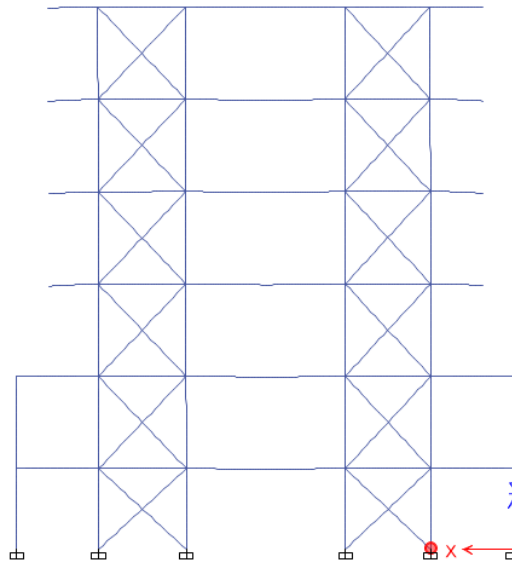
4.7.3.2 Kurva Kapasitas Arah Y-Y

Pada saat proses *running pushover analysis* gedung arah y-y (memanjang) menghasilkan 2 *step* pola beban dorong sampai struktur mengalami keruntuhan. Berikut 2 *step* pola beban dorong hasil *running* ETABS pada Tabel 4.23

Tabel 4.31 Output Beban Dorong dan Perpindahan Non-Linear Pushover Arah y-y (memanjang)

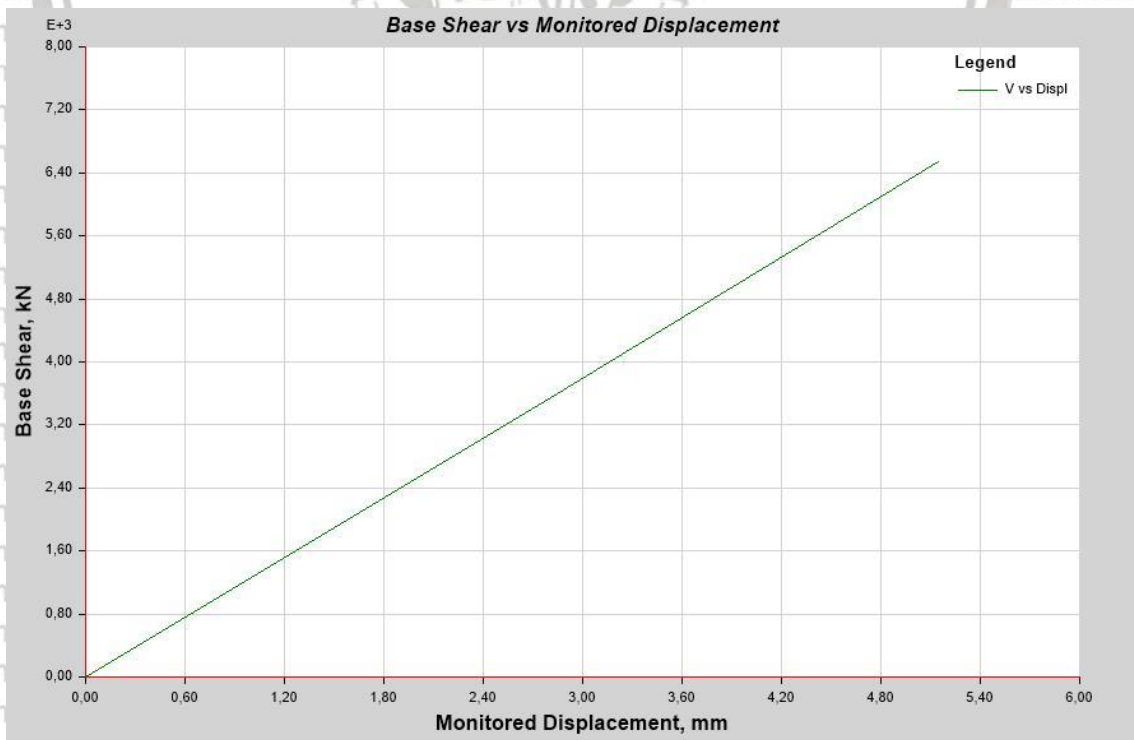
Step	Monitored Displ mm	Base Force kN	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1532	0	0	0	0	1532	0	0	0	1532
1	2,807	3540,4796	1531	1	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	5,144	6539,8173	1457	73	2	0	0	1531	0	0	1	1532

Dari tabel tersebut Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada *step* 2 dengan elemen yang sudah mulai memasuki CP sebelum memasuki kondisi mekanisme keruntuhan.



Gambar 4.46 Sendi Plastis yang Terbentuk pada *Pushover Step 2* Arah y-y (memanjang)

Pada **Gambar 4.46** Sendi Plastis terjadi pada pondasi dan kemudian bertambah secara bertahap karena adanya beban dorong yang diberikan pada struktur. Berikut kurva kapasitas arah y-y **Gambar 4.47**



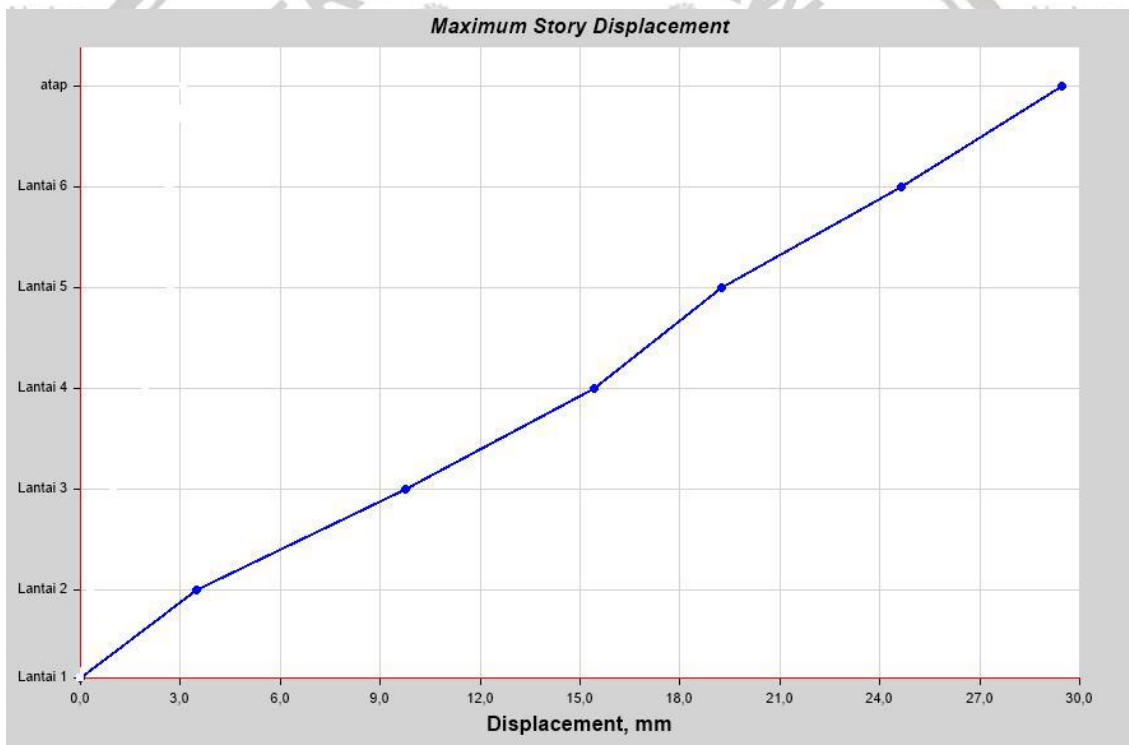
Gambar 4.47 Kurva Kapasitas Arah y-y (memanjang)

4.7.3.3 Perbandingan Drift dan Displacement

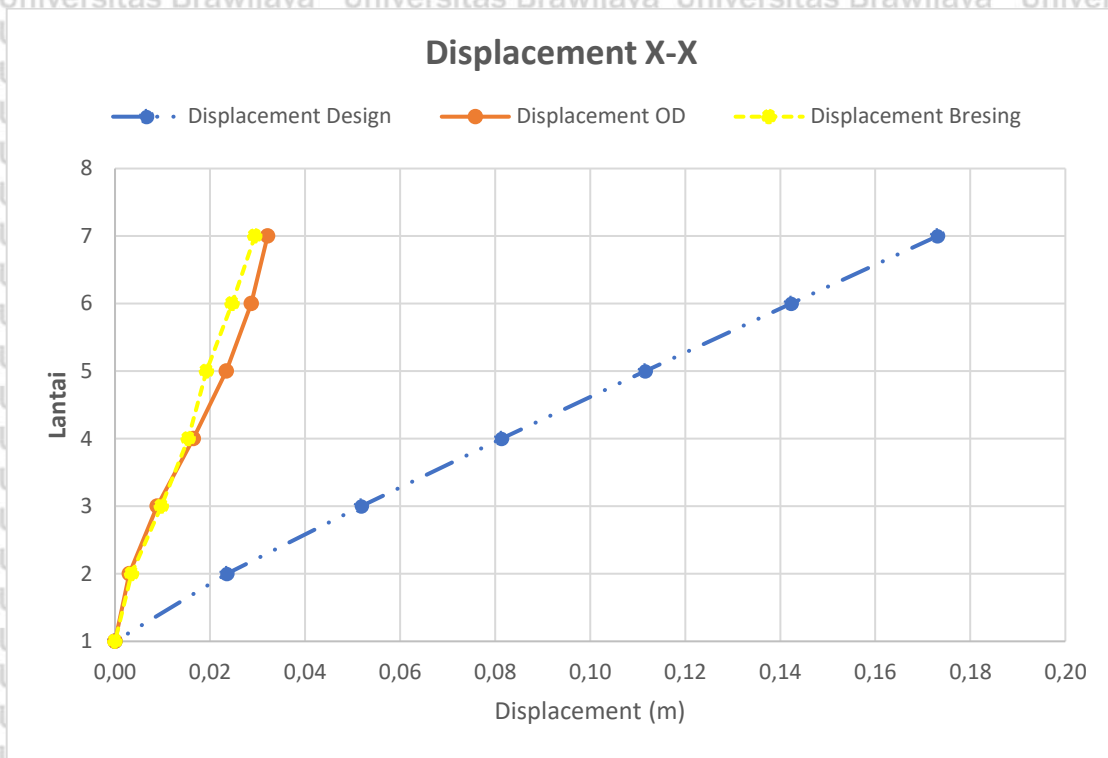
Perbandingan nilai drift dan displacement untuk mengetahui perilaku akhir dari struktur yang direncanakan. Berikut hasil nilai *drift* dan *displacement* dari gedung setelah diberi perkuatan bresing baja.

Tabel 4.32 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah X-X (melintang)

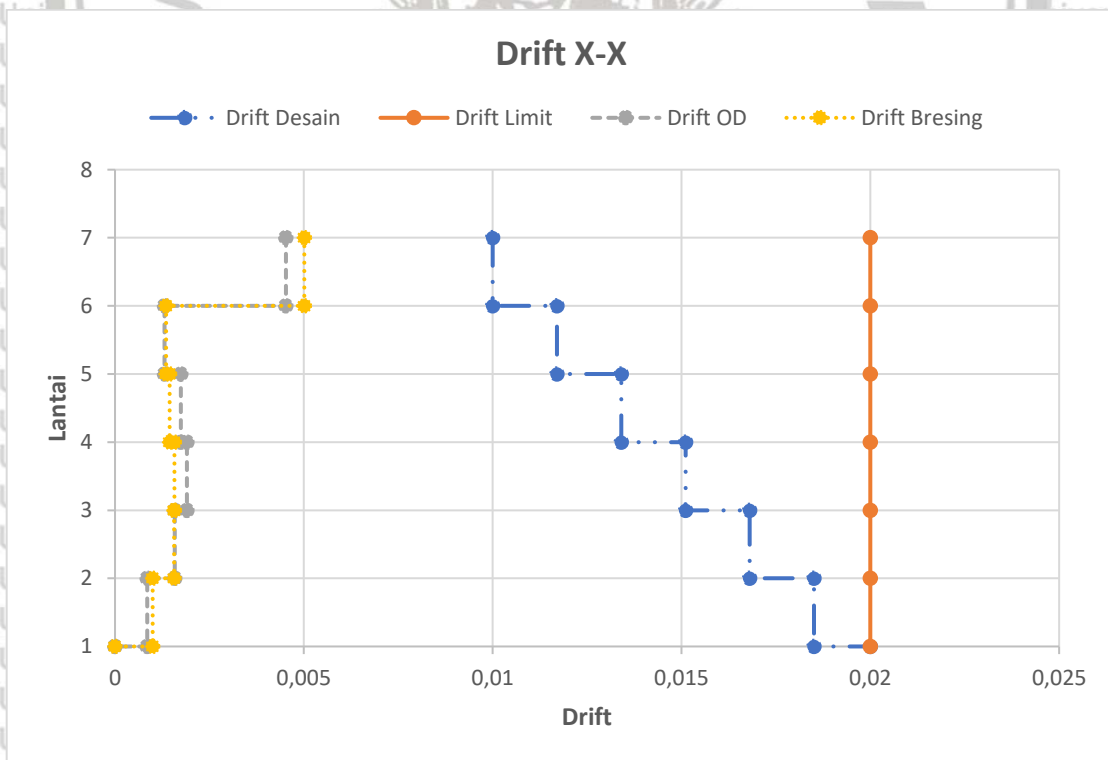
lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,1708	0,0100	0,0294	0,0050
6	19,5	0,02	0,1408	0,0117	0,0246	0,0014
5	15,5	0,02	0,1108	0,0134	0,0192	0,0014
4	11,5	0,02	0,0810	0,0151	0,0154	0,0016
3	7,5	0,02	0,0518	0,0168	0,0098	0,0016
2	3,5	0,02	0,0235	0,0185	0,0035	0,0010
1	0	0,02	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000



Gambar 4.48 Grafik Story Displacement Maksimum Arah x-x (melintang)



Gambar 4.49 Kurva Displacement Arah x-x (melintang)



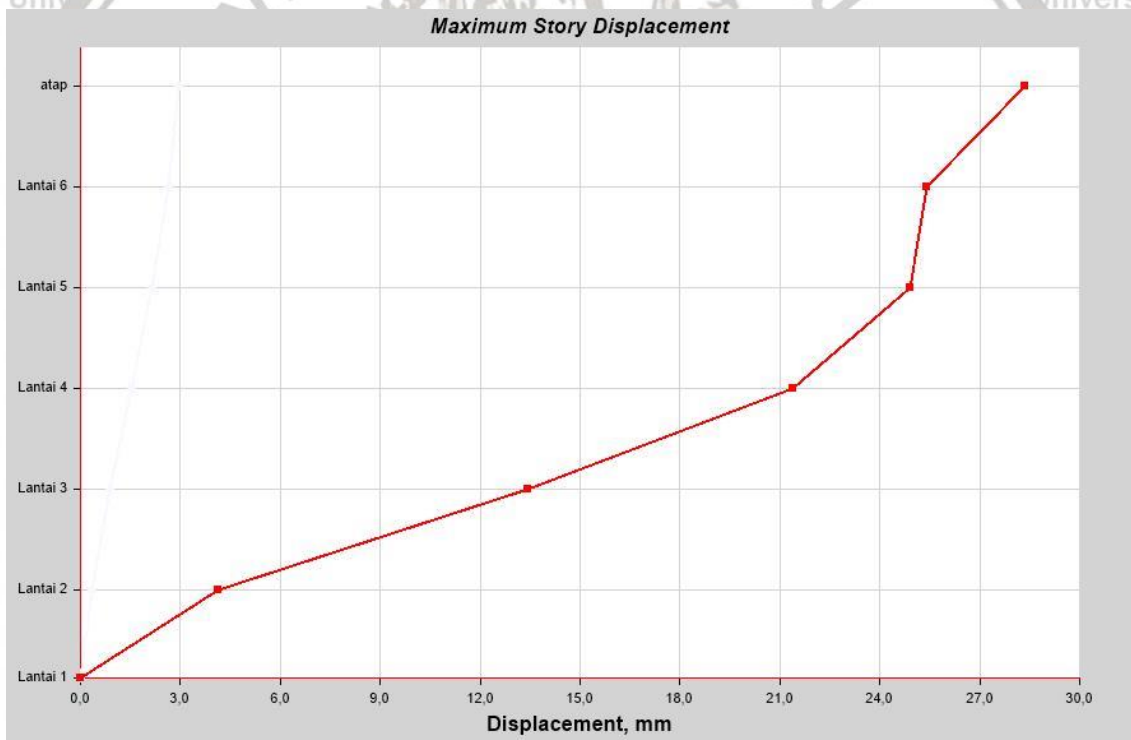
Gambar 4.50 Kurva Story Drift Arah x-x (melintang)

$$\text{Simpangan lateral} = \frac{0,0294}{23,5} = 0,0012 \text{ atau } 0,12\% \text{ (Immidiata Occupancy)}$$

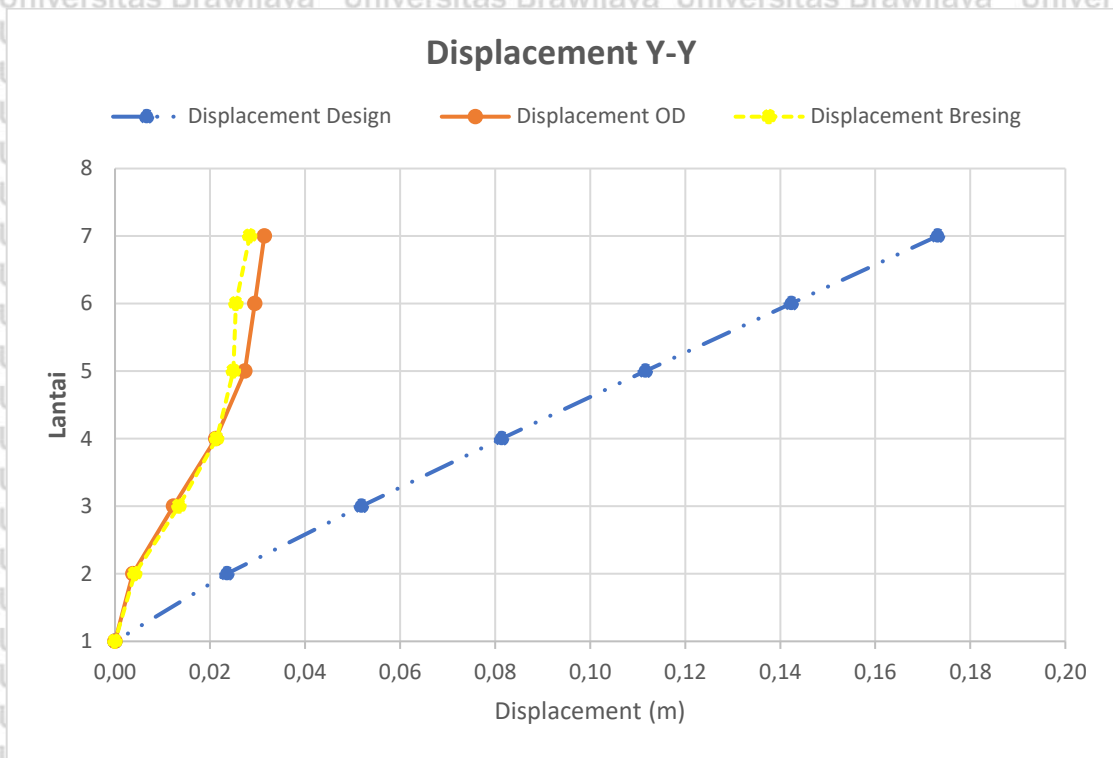
Hal ini menandakan bahwa Gedung yang sudah direncanakan oleh perencana dalam *Detailed Engineering Drawing (DED)* setelah diuji menggunakan program ETABS memiliki kinerja berbasis *Immidiata Occupancy*.

Tabel 4.33 Perbandingan Nilai Drift dan Displacement Arah Y

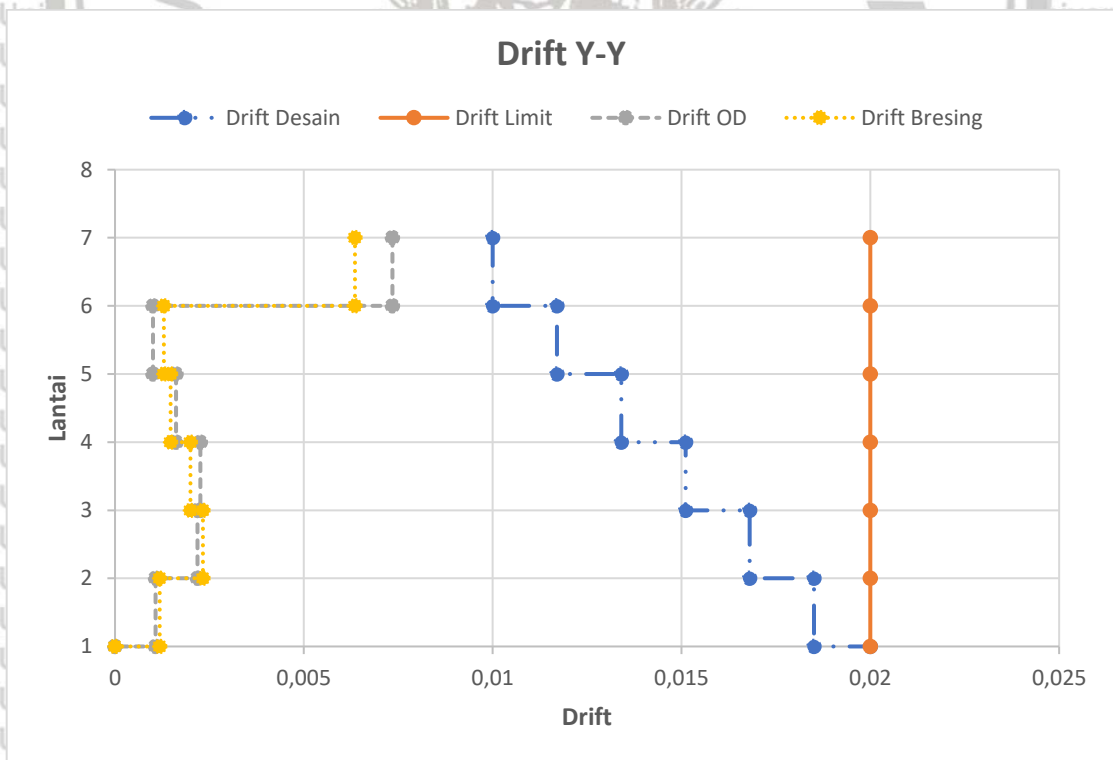
lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,1731	0,0100	0,0284	0,0064
6	19,5	0,02	0,1423	0,0117	0,0254	0,0013
5	15,5	0,02	0,1116	0,0134	0,0249	0,0015
4	11,5	0,02	0,0813	0,0151	0,0214	0,0020
3	7,5	0,02	0,0519	0,0168	0,0134	0,0023
2	3,5	0,02	0,0236	0,0185	0,0041	0,0012
1	0	0,02	0,0000	0,0200	0,0000	0,0000



Gambar 4.51 Grafik *Story Displacement* Maksimum Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.52 Grafik Perpindahan Displacement Arah y-y (memanjang)



Gambar 4.53 Grafik Story Drift Arah y-y (memanjang)

$$\text{simpangan lateral} = \frac{0,0284}{23,5} = 0,0012 \text{ atau } 0,12\% \text{ (Immidiata Occupancy)}$$

Hal ini menandakan bahwa Gedung yang sudah direncanakan oleh perencana dalam *Detailed Engineering Drawing (DED)* setelah diuji menggunakan program ETABS memiliki kinerja berbasis *Immidiata Occupancy*.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis perhitungan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) dan hasil perhitungan metode *non-linear pushover* pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk, didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Akibat dari pemberian perkuatan bresing baja tersebut, terdapat penurunan nilai perpindahan (*displacement*) pada ketiga tipe perkuatan tersebut dengan nilai penurunan paling besar pada tipe 1 dan penurunan nilai paling kecil pada tipe 3.
2. Akibat pengaruh perkuatan bresing baja, ketiga tipe perkuatan tersebut memiliki hasil nilai simpangan lateral dibawah 0,01%. Menandakan bahwa tingkat performa yang didapat yaitu *Immediate Occupancy* (IO) SP-1 menurut ATC 40.
3. Pemberian perkuatan bresing baja tersebut juga berpengaruh pada nilai simpangan antar lantainya (*Drift*). Dibuktikan dengan penurunan nilai dari simpangan tersebut pada ketiga tipe perkuatan jika dibandingkan dengan nilai simpangan pada *Original Design* (OD), walaupun penurunan yang didapat tidak terlalu besar karena pada dasarnya di perhitungan *Original Design* (OD) dapat disimpulkan Gedung sudah kuat terlebih dahulu.

5.2 Saran

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlunya pemahaman serta referensi yang valid mengenai analisis *non-linear pushover* menggunakan program ETABS.
2. Mencari referensi yang akurat dan mudah di pahami terkait metode perencanaan *Direct Displacement Based Design* (DDBD) khususnya dengan perkuatan sistem ganda.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- ASCE 7-10. 2010. *Seismic Design Loads for Building and Other Structures*, Virginia : American Society of Civil Engineers
- ATC-40. 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Vol. I*. California : Applied Technology Council.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI 03-1727-2013 *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Bandung : Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 03-1726-2019 *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Bandung : Badan Standarisasi Nasional
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 03-2847-2019 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- Budio, S.P (2013). *Dinamika*. Malang : Universitas Brawijaya
- Budiono, B. & Supriatna, L. (2011). *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa*. Bandung: ITB
- Computers and Structures (1999). *Etabs User's Manual-Three-Dimensional Analysis and Design of Building System First Edition*. California : Computers and Structures, Inc.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1983. *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983)*, Bandung : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Paulay, T.; dan Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Priestly, M.J.N, Calvi, G.M., Kowalsky, M.J. (2007). *Displacement Based Seismic Design of Structures*. Pavia : IUSS Press.
- Priestly, M.J.N. (2000). *Performance Based Seismic Design. 12th World Conference of Earthquake Engineering*. San Diego : University of California.
- Schodek, D. L. (1998). *Struktur*. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung : Refika Aditama.
- Tavio (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013) dan Penjelasan*. Surabaya : ITS Press

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Analisis Gedung *Original Design*

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
atap	23,5	Top	32,106	3,514
Lantai 6	19,5	Top	28,675	3,314
Lantai 5	15,5	Top	23,425	2,476
Lantai 4	11,5	Top	16,467	1,487
Lantai 3	7,5	Top	8,862	0,775
Lantai 2	3,5	Top	2,988	0,192
Lantai 1	0	Top	0	0

(a)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
atap	23,5	Top	0,179	31,427
Lantai 6	19,5	Top	0,168	29,383
Lantai 5	15,5	Top	0,137	27,335
Lantai 4	11,5	Top	0,096	21,222
Lantai 3	7,5	Top	0,063	12,283
Lantai 2	3,5	Top	0,209	3,746
Lantai 1	0	Top	0	0

(b)

Gambar 1 Hasil nilai Displacement Arah x-x (a) dan Arah y-y (b)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
atap	23,5	Top	0,004526	0,000828
Lantai 6	19,5	Top	0,001312	0,00021
Lantai 5	15,5	Top	0,00174	0,000253
Lantai 4	11,5	Top	0,001901	0,000223
Lantai 3	7,5	Top	0,001578	0,000146
Lantai 2	3,5	Top	0,000854	0,000055
Lantai 1	0	Top	0	0

(a)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
atap	23,5	Top	0,000018	0,007346
Lantai 6	19,5	Top	0,00001	0,001002
Lantai 5	15,5	Top	0,00001	0,001617
Lantai 4	11,5	Top	0,000009	0,002259
Lantai 3	7,5	Top	0,000054	0,002185
Lantai 2	3,5	Top	0,00006	0,00107
Lantai 1	0	Top	0	0

(b)

Gambar 2 Hasil nilai Drift Arah x-x (a) dan Arah y-y (b)

Lampiran 2 Hasil Analisis Penambahan Perkuatan Bresing Baja Gedung Tipe 1

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
atap	23,5	Top	21,489	1,329
Lantai 6	19,5	Top	18,12	1,296
Lantai 5	15,5	Top	15,997	1,483
Lantai 4	11,5	Top	12,511	1,028
Lantai 3	7,5	Top	7,833	0,473
Lantai 2	3,5	Top	2,723	0,128
Lantai 1	0	Top	0	0

(a)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
atap	23,5	Top	0,584	31,337
Lantai 6	19,5	Top	0,444	29,237
Lantai 5	15,5	Top	0,313	27,101
Lantai 4	11,5	Top	0,188	21,055
Lantai 3	7,5	Top	0,082	12,187
Lantai 2	3,5	Top	0,222	3,722
Lantai 1	0	Top	0	0

(b)

Gambar 3 Hasil nilai Displacement Arah x-x (a) dan Arah y-y (b)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
atap	23,5	Top	0,00453	0,000324
Lantai 6	19,5	Top	0,001013	0,000368
Lantai 5	15,5	Top	0,001083	0,000123
Lantai 4	11,5	Top	0,001322	0,000139
Lantai 3	7,5	Top	0,001278	0,000091
Lantai 2	3,5	Top	0,000778	0,000037
Lantai 1	0	Top	0	0

(a)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
atap	23,5	Top	0,000036	0,007309
Lantai 6	19,5	Top	0,000033	0,001006
Lantai 5	15,5	Top	0,000031	0,001574
Lantai 4	11,5	Top	0,000027	0,002244
Lantai 3	7,5	Top	0,000062	0,002168
Lantai 2	3,5	Top	0,000064	0,001063
Lantai 1	0	Top	0	0

(b)

Gambar 4 Hasil nilai Drift Arah x-x (a) dan Arah y-y (b)

Lampiran 3 Hasil Analisis Penambahan Perkuatan Bresing Baja Gedung Tipe 2

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
atap	23,5	Top	21,511	0,931
Lantai 6	19,5	Top	18,106	0,917
Lantai 5	15,5	Top	15,999	1,244
Lantai 4	11,5	Top	12,523	0,862
Lantai 3	7,5	Top	7,846	0,436
Lantai 2	3,5	Top	2,73	0,153
Lantai 1	0	Top	0	0

(a)



Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
atap	23,5	Top	0,474	29,099
Lantai 6	19,5	Top	0,414	25,734
Lantai 5	15,5	Top	0,324	28,778
Lantai 4	11,5	Top	0,224	28,103
Lantai 3	7,5	Top	0,123	19,504
Lantai 2	3,5	Top	0,302	6,456
Lantai 1	0	Top	0	0

(b)

Gambar 5 Hasil nilai Displacement Arah x-x (a) dan Arah y-y (b)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
atap	23,5	Top	0,004526	0,000229
Lantai 6	19,5	Top	0,001013	0,000358
Lantai 5	15,5	Top	0,001082	0,000099
Lantai 4	11,5	Top	0,001323	0,000119
Lantai 3	7,5	Top	0,00128	0,000078
Lantai 2	3,5	Top	0,00078	0,000044
Lantai 1	0	Top	0	0

(a)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
atap	23,5	Top	0,000103	0,006433
Lantai 6	19,5	Top	0,000025	0,001012
Lantai 5	15,5	Top	0,000028	0,001265
Lantai 4	11,5	Top	0,000025	0,002166
Lantai 3	7,5	Top	0,000082	0,003262
Lantai 2	3,5	Top	0,000086	0,001845
Lantai 1	0	Top	0	0

(b)

Gambar 6 Hasil nilai Drift Arah x-x (a) dan Arah y-y (b)

Lampiran 4 Hasil Analisis Penambahan Perkuatan Bresing Baja Gedung Tipe 3

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
atap	23,5	Top	29,445	3,114
Lantai 6	19,5	Top	24,639	2,684
Lantai 5	15,5	Top	19,239	2,723
Lantai 4	11,5	Top	15,405	1,957
Lantai 3	7,5	Top	9,756	1
Lantai 2	3,5	Top	3,495	0,289
Lantai 1	0	Top	0	0

(a)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		mm	mm
atap	23,5	Top	2,934	28,365
Lantai 6	19,5	Top	2,659	25,415
Lantai 5	15,5	Top	2,147	24,91
Lantai 4	11,5	Top	1,535	21,405
Lantai 3	7,5	Top	0,89	13,426
Lantai 2	3,5	Top	0,342	4,132
Lantai 1	0	Top	0	0

(b)

Gambar 7 Hasil nilai Displacement Arah x-x (a) dan Arah y-y (b)

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m			
atap	23,5	Top	0,005013	0,000671
Lantai 6	19,5	Top	0,00135	0,00035
Lantai 5	15,5	Top	0,001447	0,000191
Lantai 4	11,5	Top	0,00157	0,000239
Lantai 3	7,5	Top	0,001566	0,000182
Lantai 2	3,5	Top	0,000999	0,000083
Lantai 1	0	Top	0	0

(a)

Story	Elevation m	Location	X-Dir	Y-Dir
atap	23,5	Top	0,0006	0,006354
Lantai 6	19,5	Top	0,000132	0,001293
Lantai 5	15,5	Top	0,000153	0,001468
Lantai 4	11,5	Top	0,000161	0,001995
Lantai 3	7,5	Top	0,00014	0,002324
Lantai 2	3,5	Top	0,000098	0,00118
Lantai 1	0	Top	0	0

(b)

Gambar 8 Hasil nilai Drift Arah x-x (a) dan Arah y-y (b)

