

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

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

Ditunjukkan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**M. FAJAR PRAYOGA  
NIM. 175060100111033**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2021**

(Lembar ini sengaja dikosongkan)



**LEMBAR PENGESAHAN**  
**ANALISIS SISTEM PERKUATAN DINDING GESER MENGGUNAKAN**  
**METODE *DIRECT DISPLACEMENT BASED DESIGN* (DDBD) PADA**  
**GEDUNG RUMAH SAKIT BHAYANGKARA NGANJUK**

**SKRIPSI**  
**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi  
persyaratan memperoleh gelar Sarjana



**M. FAJAR PRAYOGA**  
**NIM. 175060100111033**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen  
pembimbing Pada tanggal 7 Januari 2022

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D**  
NIP. 197406192000121002

**Dr. Eng. Lilva Susanti, ST., MT.**  
NIP. 198502212019032003

Mengetahui, Ketua Program Studi S1



**Dr. Eng. Ir. Indradi W., ST., M.Eng. (Prac)**  
NIP. 19810220 200604 1 002



(Lembar ini sengaja dikosongkan)



## HALAMAN IDENTITAS PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Analisis Sistem Perkuatan Dinding Geser Menggunakan Metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) Pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk

Nama Mahasiswa : M. Fajar Prayoga

NIM : 175060100111033

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji

Dosen Penguji I : Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D

Dosen Penguji II : Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT

Dosen Penguji III : Dr. Eng Desy Setyowulan, ST., M.Sc

Tanggal Ujian : 29 Desember 2021

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



(Lembar ini sengaja dikosongkan)



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai 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 jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 10 Januari 2022

Mahasiswa,



M. Fajar Prayoga

NIM. 175060100111033



(Lembar ini sengaja dikosongkan)





(Lembar ini sengaja dikosongkan)



LEMBAR PERUNTUKAN

*Skripsi ini Kupersembahkan untuk kedua orang tua dan keluarga, yang telah mendukung dan mendoakan saya hingga sampai saat ini.*



(Lembar ini sengaja dikosongkan)



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang menjadi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil di Universitas Brawijaya.

Banyak terima kasih kepada kedua orang tua yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis dalam menuntut ilmu, serta berjuang memperoleh gelar Sarjana Teknik. Terima kasih juga kepada semua orang yang telah membantu atas kelancaran skripsi ini. Khususnya dalam hal pengetahuan, pengalaman, motivasi, dan juga nasehat yang telah diberikan. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Alwafi Puji Raharjo, ST, MT selaku ketua jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Eng. Indradi W., ST, M.Eng.(Prac.) selaku ketua program studi SI jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Ibu Dr. Eng. Lilya Susanti, ST., MT. selaku dosen pembimbing 1 dan dosen pembimbing 2 yang telah membantu, membimbing, dan memberikan masukan dalam penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Dr. Eng. Desy Setyowulan, ST., M.Sc. selaku dosen penguji.
5. Bapak dan ibu Pejabat Pembuat Komitmen RS Bhayangkara Tk. III Nganjuk yang telah memberikan data – data yang diperlukan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak dan ibu dosen Teknik Sipil UB yang telah mengajarkan ilmu-ilmunya selama proses perkuliahan.
7. Teman – teman Teknik Sipil UB angkatan 2017 yang telah menemani dan membantu selama proses perkuliahan disetiap fasenya.

Sekian ucapan terima kasih dari penulis, yang menyadari dalam penyusunan maupun penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Karena itu mohon maaf yang sebesar-besarnya, penulis memohon saran dan kritikan positif agar dapat bermanfaat bagi kita semua.

Malang, 10 Januari 2022



M. Fajar Prayoga

(lembar ini sengaja dikosongkan)



# DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Manfaat.....	3
1.7 Hipotesis.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Umum.....	5
2.2 Gempa Bumi.....	5
2.2.1 Jenis – Jenis Gempa Bumi.....	5
2.2.2 Besaran Gempa.....	7
2.3 Bangunan Tahan Gempa.....	9
2.3.1 Filosofi Desain Bangunan Tahan Gempa.....	9
2.3.2 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa.....	11
2.4 Perilaku dan Sistem Dinamis Struktur.....	11
2.4.2 Sistem Dinding Struktural (SDS).....	12
2.4.3 Single Degree of Freedom System (SDOF).....	12
2.4.4 Periode Getar Alami.....	13
2.5 Kriteria Desain.....	13
2.5.1 Kekuatan ( <i>Strength</i> ).....	13
2.5.2 Kekakuan ( <i>Stiffness</i> ).....	14
2.5.3 Sistem Pelepasan Energi ( <i>Energy Dissipation System</i> ).....	14
2.5.4 Elastisitas ( <i>Elasticity</i> ).....	14
2.5.5 Daktilitas ( <i>Ductility</i> ).....	15
2.5.6 Stabilitas ( <i>Stability</i> ).....	15



2.6	Kinerja Struktur .....	16
2.6.1	Kinerja struktur metode ATC-40 .....	16
2.6.2	Tingkatan kinerja ATC-40 .....	17
2.7	Dinding Geser ( <i>Shear Wall</i> ).....	20
2.7.1	Klasifikasi dinding geser .....	20
2.7.2	Jenis – jenis dinding geser.....	21
2.7.3	Prinsip penempatan dinding geser .....	21
2.7.4	Konsep dinding geser.....	22
2.8	Performance Based Seismic Design (PBSD).....	23
2.8.1	Tingkatan Kinerja .....	24
2.9	Direct Displacement Based Design (DDBD).....	25
BAB III .....		27
METODE PENELITIAN.....		27
3.1	Data Umum Bangunan .....	27
3.2	Preliminary Design.....	27
3.2.1	Denah Struktur.....	28
3.2.2	Denah Kolom.....	33
3.2.3	Denah Balok.....	40
3.2.4	Kriteria Desain Gedung .....	46
3.3	Pembebanan Struktur .....	46
3.3.1	Beban Mati.....	46
3.3.2	Beban Hidup .....	47
3.3.3	Kombinasi Beban .....	47
3.4	Respon Gempa Elastis .....	48
3.4.1	Data Umum Struktur.....	48
3.4.2	Parameter Respon Spektrum Gempa Maksimum.....	50
3.4.3	Respon Spektrum Desain .....	51
3.5	Menghitung Gaya Geser Dasar dengan Metode DDBD.....	52
3.6	Pemodelan Struktur Pada ETABS 2018 .....	56
3.6.1	Pemodelan Pelat Lantai .....	56
3.6.2	Pemodelan Kolom.....	57
3.6.3	Pemodelan Balok .....	58
3.7	Konfigurasi Dinding Geser .....	58
3.8	Diagram Alir.....	62
BAB IV .....		63
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		63
4.1	Berat Seismik Efektif .....	63



4.2	Desain Gaya Geser Dasar dengan Metode DDBD.....	63
4.2.1	Desain Perpindahan Tingkat.....	63
4.2.2	Desain Perpindahan SDOF.....	64
4.2.3	Massa Efektif.....	65
4.2.4	Tinggi Efektif.....	65
4.2.5	Redaman Viskositas Ekuivalen.....	65
4.2.6	Periode Efektif.....	66
4.2.7	Kekakuan Efektif.....	70
4.2.8	Gaya Geser Dasar.....	70
4.3	Pembebanan Struktur.....	71
4.3.1	Pembebanan Mati.....	71
4.3.2	Pembebanan Mati Tambahan.....	71
4.3.3	Pembebanan Hidup.....	72
4.3.4	Pembebanan Gempa Statik.....	72
4.4	Hasil Analisis Struktur ( <i>Original Design</i> ).....	73
4.4.1	Kapasitas Struktur Arah X.....	73
4.4.2	Kapasitas Struktur Arah Y.....	76
4.4.3	Perbandingan Perpindahan dan Simpangan Lateral.....	77
4.5	Pemodelan Struktur dengan Perkuatan Dinding Geser.....	80
4.6	Hasil Analisis Perkuatan Dinding Geser.....	82
4.6.1	Tipe 1.....	82
4.6.2	Tipe 2.....	88
4.6.3	Tipe 3.....	95
4.7	Rekapitulasi Perbandingan <i>Original Design</i> dengan <i>Shear Wall</i> .....	100
4.7.1	Rekapitulasi Story Displacement.....	101
4.7.2	Rekapitulasi <i>Inter Story Drift</i> .....	102
4.8	Persentase penurunan.....	103
BAB V.....		105
PENUTUP.....		105
5.1	Kesimpulan.....	105
5.2	Saran.....	106
DAFTAR PUSTAKA.....		107







(lembar ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tingkatan intensitas Skala Richter (Tavio & Usman 2018)	8
Tabel 2.2	Tingkatan intensitas Skala Mercalli (Tavio & Usman 2018)	8
Tabel 2.3	Kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur (ATC-40, 1996 : chapter 3-2)	19
Tabel 2.4	Batasan Simpangan (ATC-40, 1996)	20
Tabel 3.1	Spesifikasi material	27
Tabel 3.2	Dimensi Kolom (DED proyek)	39
Tabel 3.3	Dimensi Balok (DED proyek)	46
Tabel 3.4	Komponen beban mati tambahan	47
Tabel 3.5	Komponen beban hidup, (SNI 1727:2013)	47
Tabel 3.6	Komponen beban hidup, (SNI 1727:2013)	47
Tabel 3.7	Kategori resiko bangunan (SNI 1736-2019)	48
Tabel 3.8	Faktor keutamaan gempa (SNI 1736-2019)	49
Tabel 3.9	Faktor R, Cd, $\Omega$ untuk sistem penahan gaya gempa (SNI 1736-2019)	49
Tabel 3.10	Koefisien situs Fa	50
Tabel 3.11	Koefisien situs Fy	50
Tabel 3.12	Koefisien situs Fx	52
Tabel 4.1	Berat Seismik Efektif (Kombinasi Beban)	63
Tabel 4.2	Desain Perpindahan Tingkat	64
Tabel 4.3	Simpangan leleh rangka arah x-x (melintang)	65
Tabel 4.4	Simpangan leleh rangka arah y-y (memanjang)	65
Tabel 4.5	Perhitungan Periode Efektif arah x-x (melintang)	67
Tabel 4.6	Perhitungan Periode Efektif arah y-y (memanjang)	68
Tabel 4.7	Perhitungan Periode Efektif arah y-y (memanjang)	70
Tabel 4.8	Distribusi gaya geser tiap lantai arah y-y (memanjang)	71
Tabel 4.9	Hasil beban dorong dan perpindahan <i>non-linear pushover</i> arah x-x	74
Tabel 4.10	Hasil beban dorong dan perpindahan <i>non-linear pushover</i> arah y-y	76
Tabel 4.11	Perbandingan nilai <i>displacement</i> dan <i>drift</i> arah x-x	78
Tabel 4.12	Perbandingan nilai <i>displacement</i> dan <i>drift</i> arah y-y	79
Tabel 4.13	Hasil beban dorong dan perpindahan statik <i>non-linear pushover</i> arah x-x	82
Tabel 4.14	Hasil beban dorong dan perpindahan statik <i>non-linear pushover</i> arah y-y	84
Tabel 4.15	Perbandingan <i>displacement</i> dan <i>drift</i> arah x	86
Tabel 4.16	Perbandingan <i>displacement</i> dan <i>drift</i> arah y	86
Tabel 4.17	Hasil beban dorong dan perpindahan statik <i>non-linear pushover</i> arah x-x	88
Tabel 4.18	Hasil beban dorong dan perpindahan statik <i>non-linear pushover</i> arah y-y	90
Tabel 4.19	Perbandingan <i>displacement</i> dan <i>drift</i> arah x	92

Tabel 4.20 Perbandingan *displacement* dan *drift* arah y ..... 93

Tabel 4.21 Hasil beban dorong dan perpindahan statik *non-linear pushover* arah x-x ..... 95

Tabel 4.22 Hasil beban dorong dan perpindahan statik *non-linear pushover* arah y-y ..... 97

Tabel 4.23 Perbandingan *displacement* dan *drift* arah x ..... 98

Tabel 4.24 Perbandingan *displacement* dan *drift* arah y ..... 98

Tabel 4.25 Perbandingan *Story Displacement* arah x dan arah y ..... 101

Tabel 4.26 Perbandingan *Story Drift* arah x dan arah y ..... 102

Tabel 4.27 Persentase penurunan nilai *displacement* ..... 103

Tabel 4.28 Persentase penurunan nilai *drift* ..... 103



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gempa vulkanik..... 5

Gambar 2.2 Gempa Tektonik..... 6

Gambar 2.3 Zona wilayah gempa Indonesia SNI 1726-2019..... 7

Gambar 2.4 Level kerusakan bangunan, Widodo Pawirodikromo (2012) ..... 10

Gambar 2.5 Model matematis SDOF (Sugeng P. Budio, 2005)..... 12

Gambar 2.6 a) *Mode Shape* pertama b) *Mode Shape* kedua c) *Mode Shape* ketiga ..... 13

Gambar 2.7 Simpangan antar tingkat, Widodo Pawirodikromo (2012)..... 14

Gambar 2.8 Perilaku struktur daktail saat gempa berulang..... 15

Gambar 2.9 Perilaku struktur tidak daktail saat gempa berulang..... 15

Gambar 2.10 a) *diagonal bracing* b) dinding/diafragma c) sambungan kaku ..... 16

Gambar 2.11 Kurva kapasitas kinerja struktur (ATC-40, 1996)..... 17

Gambar 2.12 Mekanisme plasifikasi struktur dengan *Pushover Analysis* (FEMA 451) ..... 18

Gambar 2.13 a) *Bearing Walls* b) *Frame Walls* c) *Core Walls* ..... 21

Gambar 2.14 a) perletakan memenuhi syarat b) perletakan tidak memenuhi syarat..... 22

Gambar 2.15 Persyaratan dimensi dinding geser ..... 22

Gambar 2.16 Hubungan bc dengan  $\mu\Delta$ ..... 23

Gambar 2.17 *Performance levels of PBS* (FEMA 356)..... 24

Gambar 2.18 Konsep Direct Displacement Based Design (Priestley et.al 2007 :64)..... 25

Gambar 3.1 Denah lantai 1 (DED proyek)..... 28

Gambar 3.2 Denah lantai 2 (DED proyek)..... 29

Gambar 3.3 Denah lantai 3 (DED proyek)..... 30

Gambar 3.4 Denah lantai 4 dan 5 (DED proyek)..... 31

Gambar 3.5 Denah lantai 6 (DED proyek)..... 32

Gambar 3.6 Denah kolom lantai 1 (DED proyek)..... 33

Gambar 3.7 Denah kolom lantai 2 (DED proyek)..... 34

Gambar 3.8 Denah kolom lantai 3 (DED proyek)..... 35

Gambar 3.9 Denah kolom lantai 4 (DED proyek)..... 36

Gambar 3.10 Denah kolom lantai 5 (DED proyek)..... 37

Gambar 3.11 Denah kolom lantai 6 (DED proyek)..... 38

Gambar 3.12 Denah balok lantai 1 (DED proyek)..... 40

Gambar 3.13 Denah balok lantai 2 (DED proyek)..... 41

Gambar 3.14 Denah balok lantai 3 (DED proyek)..... 42

Gambar 3.15 Denah balok lantai 4 (DED proyek)..... 43

Gambar 3.16 Denah balok lantai 5 (DED proyek)..... 44

Gambar 3.17 Denah balok lantai 6 (DED proyek)..... 45



Gambar 3.18	Hasil data untuk lokasi Gedung RS Bhayangkara. Sumber : <a href="http://rsa.pu.go.id">RSA (pu.go.id)</a>	50
Gambar 3.19	Kurva respon spektrum desain elastik (redaman 5%)	52
Gambar 3.20	Respon spektrum desain dan perpindahan (Priestley et. Al, 2007)	55
Gambar 3.21	Pemodelan gedung menggunakan ETABS	56
Gambar 3.22	Define data pelat pada ETABS	57
Gambar 3.23	Define data kolom pada ETABS	57
Gambar 3.24	Define data balok pada ETABS	58
Gambar 3.25	Tipe 1 perletakan dinding geser	59
Gambar 3.26	Tipe 2 perletakan dinding geser	60
Gambar 3.27	Tipe 3 perletakan dinding geser	61
Gambar 3.28	Diagram alir	62
Gambar 4.1	Grafik Spectra Displacement arah x-x Redaman 13 %	68
Gambar 4.2	Grafik Spectra Displacement arah y-y Redaman 10,5 %	69
Gambar 4.3	Input Load Patern pada program ETABS 18	71
Gambar 4.4	Pengaplikasian beban gempa pada pusat massa lantai 5 arah x	73
Gambar 4.5	Pola sendi plastis pada <i>pushover</i> step 3 arah x-x	74
Gambar 4.6	Pola sendi plastis pada <i>pushover</i> step 4 arah x-x	75
Gambar 4.7	Kurva kapasitas gaya gempa dasar dengan perpindahan arah x-x	75
Gambar 4.8	Kurva kapasitas gaya gempa dasar dengan perpindahan arah y-y	77
Gambar 4.9	Grafik story displacement arah x-x	78
Gambar 4.10	Grafik inter story drift arah x-x	78
Gambar 4.11	Grafik story displacement arah y-y	79
Gambar 4.12	Grafik inter story drift arah y-y	80
Gambar 4.13	Pemodelan shear wall tipe 1	81
Gambar 4.14	Pemodelan shear wall tipe 2	81
Gambar 4.15	Pemodelan shear wall tipe 3	82
Gambar 4.16	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover</i> step 2 arah x-x	83
Gambar 4.17	Kurva kapasitas arah x-x	83
Gambar 4.18	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover</i> step 2 arah y-y	84
Gambar 4.19	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover</i> step 12 arah y-y	85
Gambar 4.20	Kurva kapasitas arah y-y	85
Gambar 4.21	Grafik story displacement arah x	87
Gambar 4.22	Grafik story displacement arah y	87
Gambar 4.23	Grafik inter story drift arah x	87
Gambar 4.24	Grafik inter story drift arah y	88

Gambar 4.25	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover step</i> 2 arah x-x.....	89
Gambar 4.26	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover step</i> 5 arah x-x.....	89
Gambar 4.27	Kurva kapasitas arah x-x.....	90
Gambar 4.28	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover step</i> 2 arah y-y.....	91
Gambar 4.29	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover step</i> 3 arah y-y.....	91
Gambar 4.30	Kurva kapasitas arah y-y.....	92
Gambar 4.31	Grafik <i>story displacement</i> arah x.....	93
Gambar 4.32	Grafik <i>story displacement</i> arah y.....	94
Gambar 4.33	Grafik <i>inter story drift</i> arah x.....	94
Gambar 4.34	Grafik <i>inter story drift</i> arah y.....	94
Gambar 4.35	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover step</i> 2 arah x-x.....	95
Gambar 4.36	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover step</i> 5 arah x-x.....	96
Gambar 4.37	Kurva kapasitas arah x-x.....	96
Gambar 4.38	Pola sendi plastis yang terbentuk pada <i>pushover step</i> 2 arah y-y.....	97
Gambar 4.39	Kurva kapasitas arah y-y.....	97
Gambar 4.40	Grafik <i>story displacement</i> arah x.....	99
Gambar 4.41	Grafik <i>story displacement</i> arah y.....	99
Gambar 4.42	Grafik <i>inter story drift</i> arah x.....	100
Gambar 4.43	Grafik <i>inter story drift</i> arah y.....	100
Gambar 4.44	Kurva <i>Story Displacement</i> arah x.....	101
Gambar 4.45	Kurva <i>Story Displacement</i> arah y.....	101
Gambar 4.46	Kurva <i>inter Story Drift</i> arah x.....	102
Gambar 4.47	Kurva <i>inter Story Drift</i> arah y.....	102

(lembar ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Struktur tanpa perkuatan (*Original Design*).....

Lampiran 2 Perkuatan dinding geser tipe 1 .....

Lampiran 3 Perkuatan dinding geser tipe 2 .....

Lampiran 4 Perkuatan dinding geser tipe 3 .....





(lembar ini sengaja dikosongkan)



## RINGKASAN

**M. Fajar Prayoga**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2021, Analisis Sistem Perkuatan Dinding Geser Menggunakan Metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) Pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk, Dosen Pembimbing: Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D, dan Dr. Eng, Lilya Susanti, ST., MT.

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, terdapat sekitar 17 ribuan pulau. Salah satu penyebab terbentuknya banyak pulau di Indonesia ini diakibatkan karena pergeseran lempeng bumi. Dengan adanya pergeseran lempeng bumi ini, mengakibatkan wilayah Indonesia ini sering mengalami gempa bumi. Hal ini menyebabkan bangunan – bangunan yang ada menjadi rusak atau hancur. Gempa bumi terjadi setiap saat bahkan setiap hari, hanya saja dengan skala yang kecil, sehingga tidak terasa oleh penduduk dan tidak menimbulkan kerusakan apapun. Tetapi bisa saja gempa kecil itu merupakan awalan dari gempa besar yang akan merusak bangunan, fasilitas umum, kendaraan, dan lain sebagainya. Oleh karena itu diperlukan bangunan – bangunan tahan gempa agar dapat mengurangi kerugian atau korban dari bencana gempa bumi. Salah satu solusi yang tepat untuk memperkuat bangunan terhadap gempa, adalah dengan menggunakan dinding geser (*Shear Wall*). Dinding geser (*Shear Wall*) merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk menahan gaya lateral pada bangunan bertingkat tinggi akibat adanya guncangan atau gempa horizontal.

Saat merancang suatu bangunan dibutuhkan metode yang tepat agar sesuai target desain yang diinginkan. Dengan menggunakan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) dianggap sebagai metode yang tepat dan relatif simple untuk perencanaan bangunan tahan gempa. *Direct Displacement Based Design* (DDBD) ini adalah metode alternatif yang digunakan untuk merancang bangunan tahan gempa. DDBD dianggap lebih akurat dan lebih jelas digunakan merancang bangunan tahan gempa daripada metode sebelumnya, yaitu *Force Based Design* (FBD). Pada analisa ini mengacu pada SNI 1726-2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur, SNI 1727-2013 tentang pembebanan gedung, SNI 2847-2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung, dan ATC-40 tentang kinerja struktur.

Saat melakukan analisa perlu dilakukan pemodelan struktur bangunan dan menginput pembebanan pada program ETABS. Struktur dianalisa dengan metode DDBD dan dimodelkan tanpa sistem perkuatan (*original design*) dan juga dengan sistem perkuatan (*shear wall*). Setelah dimodelkan dan dianalisa, didapatkan nilai perpindahan (*displacement*) dan simpangan lateral (*drift lateral*). Nilai simpangan lateral berguna untuk menentukan tingkat kinerja pada struktur. Setelah itu dapat diketahui perbandingan nilai perpindahan dan simpangan lateral antara *original design* dengan *shear wall* dalam menahan gaya lateral akibat gempa bumi.

**Kata kunci** : Dinding geser, *Direct Displacement Based Design*, pemodelan struktur, *drift*.

(Lembar ini sengaja Dikosongkan)



## SUMMARY

*M. Fajar Prayoga, Departement of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, December 2021, Analysis of Shear Wall Reinforcement System Using Direct Displacement Based Design (DDBD) Method in Bhayangkara Nganjuk Hospital Building, Supervisor : Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D dan Dr. Eng, Lilya Susanti, ST., MT.*

*Indonesia is the largest archipelagic country in the world, there are about 17 thousand islands. One of the causes of the formation of many islands in Indonesia is caused by the shift of the earth's plates. With this shift in the earth's plates, this area of Indonesia often experiences earthquakes. This causes existing buildings to be damaged or destroyed. Earthquakes occur at any time, even every day, only on a small scale, so residents cannot feel it and do not cause any damage. But it could be that a small earthquake is the beginning of a big earthquake that will damage buildings, public facilities, vehicles, and so on. Therefore, earthquake-resistant buildings are needed in order to reduce losses or victims from earthquake disasters. One of the right solutions to strengthen buildings against earthquakes is to use shear walls. Shear wall is a system that functions to withstand lateral forces on high-rise buildings due to shocks or earthquakes.*

*In designing a building, the right method is needed to match the desired design target. The use of the Direct Displacement Based Design (DDBD) method is considered an appropriate and relatively simple method for planning earthquake-resistant buildings. Direct Displacement Based Design (DDBD) is an alternative method used to design earthquake-resistant buildings. DDBD is considered more accurate and more clearly used to design earthquake-resistant buildings compared to the previous method, namely Force Based Design (FBD). This analysis refers to SNI 1726-2019 regarding procedures for planning earthquake resistance for structures, SNI 1727-2013 concerning Building Load, SNI 2847-2019 concerning Requirements for Structural Concrete for Buildings, and ATC-40 on structural performance.*

*At the time of doing the analysis, it is necessary to model the structure of the building and input the loading on the ETABS program. The structure was analyzed using the DDBD method and modeled without a reinforcement system (original design) and also with a reinforcement system (shear wall). After being modeled and analyzed, the value of displacement and lateral displacement is obtained. The value of the lateral deviation is useful for determining the level of performance on the structure. After that, it can be seen the comparison of the value of the deviation and the lateral deviation between the original plan and the shear wall in resisting the lateral forces due to the earthquake.*

**Key words :** *Shear wall, Direct Displacement Based Design, structural modeling, drift.*

(Lembar ini sengaja dikosongkan)



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, terdapat sekitar 17 ribuan pulau. Salah satu penyebab terbentuknya banyak pulau di Indonesia ini diakibatkan karena pergeseran lempeng bumi. Indonesia berada dikelilingi oleh 3 lempeng bumi yaitu, Lempeng Pasifik, Lempeng Australia, Lempeng Eurasia. Dengan adanya pergeseran lempeng bumi ini, mengakibatkan wilayah Indonesia ini sering mengalami gempa bumi. Hal ini menyebabkan bangunan – bangunan yang ada menjadi rusak atau hancur.

Gempa bumi terjadi setiap saat bahkan setiap hari, hanya saja dengan skala yang kecil, sehingga tidak terasa oleh penduduk dan tidak menimbulkan kerusakan apapun. Tetapi bisa saja gempa kecil itu merupakan awalan dari gempa besar yang akan merusak bangunan, fasilitas umum, kendaraan, dan lain sebagainya. Banyak sekali riwayat gempa bumi besar yang terjadi di Indonesia ini, dan merenggut banyak sekali korban jiwa. Salah satu contoh gempa bumi paling dahsyat di Indonesia adalah gempa bumi Aceh, dengan kekuatan 9,1 - 9,3 Skala Richter (SR) dan menimbulkan gelombang tsunami.

Oleh karena itu diperlukan bangunan – bangunan tahan gempa agar dapat mengurangi kerugian atau korban dari bencana gempa bumi. Konstruksi bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang bisa merespon gempa, dengan sikap bertahan dari keruntuhan dan bersifat fleksibel untuk meredam getaran gempa. Salah satu solusi yang tepat untuk memperkuat bangunan terhadap gempa, adalah dengan menggunakan dinding geser (*Shear Wall*). Dinding geser (*Shear Wall*) merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk menahan gaya lateral pada bangunan bertingkat tinggi akibat adanya guncangan atau gempa horizontal.

Saat merancang suatu bangunan dibutuhkan metode yang tepat agar sesuai target desain yang diinginkan. Dengan menggunakan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) dianggap sebagai metode yang tepat dan relatif simple untuk perencanaan bangunan tahan gempa. Metode ini lebih menekankan pada kinerja struktur, digunakan untuk mengatasi kelemahan-kelemahan dalam desain dengan metoda berbasis gaya atau *Force Based Design* (FBD). Dalam penelitian ini diterapkan pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Nganjuk sebagai objek kajian.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Indonesia merupakan negara yang terbilang berada di daerah rawan gempa, oleh karena itu memiliki resiko kerusakan *Infrastruktur* dan korban jiwa yang besar. Dibutuhkan bangunan tahan gempa yang dapat memperkecil adanya kerusakan atau korban jiwa saat gempa bumi. Sehingga untuk merancang suatu bangunan tahan gempa adalah menggunakan sistem perkuatan dinding geser (*Shear Wall*), dengan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD). Sistem dan metode ini cocok untuk bangunan tinggi atau bangunan yang membutuhkan ketahanan terhadap gempa, karena dapat menahan gaya lateral pada guncangan gempa horizontal.

## 1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) terhadap perpindahan (*displacement*) struktur bangunan dengan analisis metode DDBD?
2. Bagaimana pengaruh perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) terhadap tingkat kinerja struktur bangunan dengan analisis metode DDBD?
3. Bagaimana pengaruh perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) terhadap besarnya simpangan antar lantai (*Drift*) struktur bangunan dengan analisis metode DDBD?

## 1.4 Batasan Masalah

1. Model gedung yang digunakan ialah Gedung Rumah Sakit Bhayangkara 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 bertulang yang digunakan yaitu K-300 /  $f'c = 25$  Mpa
5. Mutu baja tulangan yang digunakan yaitu 390 MPa (tulangan ulir) dan 240 MPa (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 sistem perkuatan dinding geser (*Shear Wall*)
10. Tidak memodelkan struktur atap, pondasi, dan tangga

11. Tidak memperhitungkan beban angin
12. Tidak mengitung Rencana Anggaran Biaya (RAB).

### 1.5 Tujuan

Tujuan dari analisis ini antara lain :

1. Mengetahui pengaruh perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) terhadap perpindahan (*displacement*) struktur bangunan dengan analisis metode DDBD.
2. Mengetahui pengaruh perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) terhadap tingkat kinerja struktur bangunan dengan analisis metode DDBD
3. Mengetahui pengaruh perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) terhadap besarnya simpangan antar lantai (*Drift*) struktur bangunan dengan analisis metode DDBD

### 1.6 Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang sistem perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) dengan baik dan bagaimana langkah dalam menganalisanya. Dengan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) ini lebih mudah dalam proses perencanaan bangunan tahan gempa dan juga hasil dari perhitungannya lebih sesuai dengan kondisi nyata.

### 1.7 Hipotesis

Hipotesis dalam analisis ini antara lain :

1. Diprediksikan perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) berpengaruh terhadap penurunan perpindahan (*displacement*) struktur bangunan dengan analisis metode DDBD.
2. Diprediksikan perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) berpengaruh terhadap naiknya tingkat kinerja struktur bangunan dengan analisis metode DDBD
3. Diprediksikan perkuatan dinding geser (*Shear Wall*) berpengaruh terhadap penurunan simpangan antar lantai (*Drift*) struktur bangunan dengan analisis metode DDBD



(lembar ini sengaja dikosongkan)



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Dalam merancang bangunan tinggi, dibutuhkan susunan struktur yang tahan terhadap gempa. Bangunan tahan gempa merupakan bangunan yang mampu menahan guncangan dan fleksibel meredam getaran akibat gempa bumi. Semua ini ditujukan agar memberikan kemampuan layan bangunan yang baik dan layak untuk digunakan oleh semua orang. Oleh karena itu pihak perencana harus mampu merancang struktur bangunan sebaik mungkin, dengan mengacu pada peraturan – peraturan yang ada.

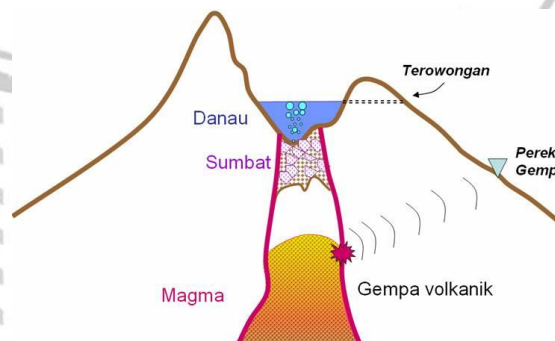
#### 2.2 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan guncangan atau getaran yang terjadi di permukaan bumi, yang biasanya diakibatkan oleh adanya aktifitas di perut bumi secara tiba-tiba. Banyak faktor yang menimbulkan terjadinya gempa bumi yaitu seperti aktifitas pergeseran lempeng, aktifitas pergerakan magma pada perut bumi, dan lain sebagainya. Indonesia berada dalam lingkaran dari lempeng bumi, oleh karena itu sering terjadi gempa bumi di Indonesia

##### 2.2.1 Jenis – Jenis Gempa Bumi

###### a. Gempa Vulkanik

Gempa vulkanik ini merupakan gempa bumi yang disebabkan oleh aktifitas gunung berapi. Magma yang aktif dan matang bergerak secara dinamis di dalam kawah dan akan dimuntahkan keluar, hal itu yang membuat getaran atau guncangan itu terjadi.

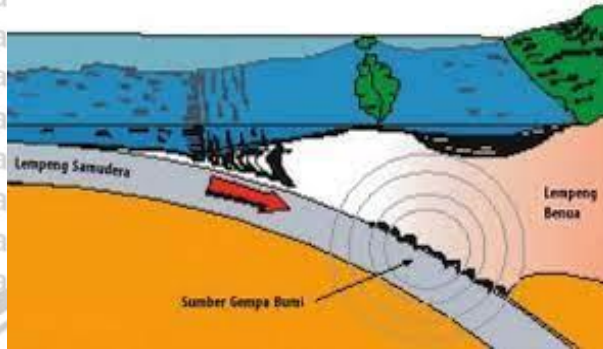


**Gambar 2.1 : Gempa vulkanik**

Sumber : <https://www.amongguru.com/proses-terjadinya-gempa-bumi-dilengkapi-gambarnya/>

### b. Gempa Tektonik

Gempa tektonik merupakan gempa bumi yang terjadi karena pergeseran lempeng bumi sehingga mengakibatkan gelombang seismik menyebar dan merambat pada permukaan bumi. Jika pusat gempa bumi di lautan, hal ini yang membuat gelombang tsunami datang.



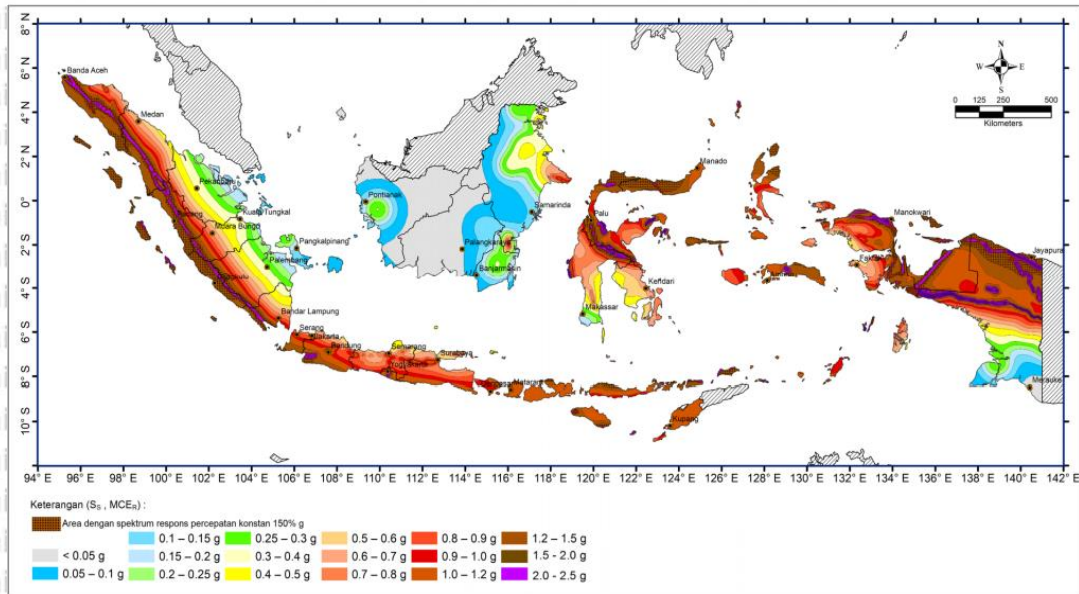
**Gambar 2.2 : Gempa Tektonik**

Sumber : <https://www.ilmusiana.com/2015/12/proses-terjadinya-gempa-bumi.html>

### c. Gempa Runtuhan

Gempa runtuh merupakan gempa bumi yang terjadi karena adanya tanah longsor, runtuhnya goa, aktifitas pertambangan. Dimana gempa seperti ini tidak berdampak terlalu besar.

Berdasarkan jenis – jenis gempa diatas, yang menimbulkan dampak paling besar di Indonesia adalah gempa tektonik. Gempa ini diakibatkan oleh pergerakan lempeng bumi yang dapat menimbulkan getaran atau guncangan pada permukaan bumi. Negara Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng bumi, yang artinya seringnya terjadi pergerakan lempeng secara tiba – tiba. Maka dari itu pemerintah membuat zona wilayah gempa yang diatur dalam SNI 1726-2019.



**Gambar 2.3 :** Zona wilayah gempa Indonesia SNI 1726-2019

### 2.2.2 Besaran Gempa

Besaran (magnitudo) adalah alat yang menyatakan seberapa besar energi seismik yang dihasilkan oleh gempa bumi. Besaran (magnitudo) gempa bumi dapat dihitung dengan menggunakan alat *Seismograph*. *Seismograph* ini memiliki suatu instrumen sensitif yang dapat mendeteksi gelombang sesimik pada gempa bumi. Dengan alat tersebut, maka dapat diketahui gambaran gerakan bumi yang dicatat dalam bentuk *Seismogram*. Umumnya untuk mengukur intensitas gempa, digunakan besaran satuan Skala Richter. Tetapi, skala ini hanya cocok digunakan untuk gempa bumi kecil lokal dengan magnitudo 6,0. Diatas magnitudo tersebut, tidak disarankan menggunakan Skala Richter lagi, karena dapat dikatakan kurang akurat. Tetapi masih banyak negara – negara di dunia ini yang menggunakan perhitungan Richter.

Perlu diperhatikan bahwa perhitungan magnitudo gempa tidak hanya menggunakan perhitungan Richter saja, melainkan ada juga teknik perhitungan lainnya. Selain perhitungan Richter, ada perhitungan Mercalli yang dianggap subjektif dalam perhitungannya. Terdapat 12 tingkatan analisa pada perhitungan Mercalli, karena umumnya Skala Mercalli ini diidentifikasi berdasarkan informasi dari para korban yang selamat dengan membandingkan tingkat kerusakan bangunan. Oleh karena itu perhitungan menggunakan Skala Mercalli ini sangat subjektif, tetapi kurang objektif jika dibandingkan dengan perhitungan magnitudo gempa yang lain.

**Tabel 2.1 : Tingkatan intensitas Skala Richter (Tavio & Usman 2018)**

Skala	Keterangan
< 2,0	Gempa kecil, tidak terasa oleh manusia.
2,0 - 2,9	Tidak terasa, tetapi terekam oleh alat.
3,0 - 3,9	Sering terjadi, tetapi jarang menimbulkan kerusakan.
4,0 - 4,9	Dapat diketahui dari bergetarnya benda - benda kecil, kerusakan tidak terlalu parah.
5,0 - 5,9	Menimbulkan kerusakan besar pada bangunan, hanya pada bagian bangunan yang didesain tidak baik.
6,0 - 6,9	Dapat merusak area hingga jarak ratusan kilometer.
7,0 - 7,9	Dapat merusak wilayah hingga jarak ribuan kilometer.
8,0 - 8,9	Dapat menyebabkan kerusakan yang parah pada area lebih luas.
9,0 - 9,9	Dapat merusak area hingga jarak ribuan mil.
10,0 - 10,9	Dapat merusak beberapa negara.
11,0 - 11,9	Terasa hingga setengah sisi bumi, yang diakibatkan jatuhnya meteorit.
12,0 - 12,9	Terasa hingga seluruh dunia akibat tumbukan meteorit.
> 13,0	Belum pernah terekam.

**Tabel 2.2 : Tingkatan intensitas Skala Mercalli (Tavio & Usman 2018)**

Index	Intensitas	Keterangan
I	Tidak terasa	Getaran tidak dirasakan kecuali dalam keadaan luar biasa oleh beberapa orang.
II	Lemah	Getaran dirasakan oleh beberapa orang dan benda-benda ringan yang digantung bergoyang.
III	Lemah	Getaran dirasakan di dalam rumah seperti adanya truk melintas.
IV	Ringan	Getaran dirasakan oleh banyak orang di dalam rumah, mulai dari jendela pecah, dinding bergoyang dan berbunyi.
V	Sedang	Getaran dirasakan hampir semua penduduk, terlihat tiang listrik dan benda lain bergoyangan, barang - barang terpelanting.
VI	Kuat	Getaran dirasakan semua penduduk, terlihat warga berlarian, plester dan dinding hancur, kerusakan ringan.
VII	Sangat kuat	Getaran dirasakan oleh orang yang berada di luar rumah serta pengendara kendaraan bermotor, menimbulkan kerusakan pada rumah.
VIII	Parah	Kerusakan ringan terjadi pada konstruksi yang kuat, bangunan gedung retak, dinding rumah terlepas.
IX	Hebat	Kerusakan pada konstruksi yang kuat, rumah berpindah pondasinya, saluran air rumah terputus, kerangka rumah menjadi tak beraturan.
X	Ekstrem	Bangunan dari kayu yang kuat rusak, lepasnya kerangka rumah dari pondasi, tanah terbelah, banyak tanah longsor.
XI	Ekstrem	Bangunan hanya sedikit yang berdiri, jembatan rusak, tanah terbelah, pipa dalam tanah tidak bisa difungsikan, rel kereta rusak.
XII	Ekstrem	Semua hancur, gelombang air sampai ke permukaan tanah, benda terlempar ke udara.

## 2.3 Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang mampu mempertahankan struktur dan tidak runtuh saat terjadi gempa bumi. Dalam arti lain bangunan tahan gempa boleh mengalami kerusakan tetapi tidak runtuh, asalkan telah memenuhi persyaratan yang berlaku. Bangunan yang tahan terhadap gempa harus mengeluarkan biaya pembangunan yang mahal, sedangkan jika untuk bangunan dengan biaya murah tetapi tidak terlalu kuat. Disamping itu dengan biaya bangunan yang murah dapat, membahayakan manusia jika bangunan rusak atau runtuh. Maka dari itu para ahli memutuskan bahwa bagaimana caranya bangunan yang relatif murah, tetapi kualitasnya terhadap menahan gempa sangat baik. Prinsip tersebut banyak dikenal dengan nama *earthquake resistant building*, yaitu bangunan yang kuat menahan gempa dengan biaya pembangunan yang tidak mahal.

### 2.3.1 Filosofi Desain Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa boleh saja mengalami kerusakan, tetapi tidak boleh mengalami keruntuhan, maka dari itu dalam merencanakannya harus sesuai dengan persyaratan tertentu. Konsep kemandu suatu struktur harus didasari beberapa hal yaitu peluang terjadinya gempa selama umur rencana bangunan dengan meninjau struktur bangunan yang sebenarnya. Gempa merupakan suatu hal yang kemungkinan terjadi, maka dari itu dalam mendesain struktur harus menganalisa terjadinya gempa dengan mencari probabilitasnya. Berikut ini merupakan rumus untuk mencari probabilitas suatu gempa, yaitu :

$$R_n = \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{1}{T_r} \right)^N \right\} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan :  $R_n$  = Resiko terjadi gempa selama umur rencana (%)

$T_r$  = Periode ulang terjadi gempa (tahun)

$N$  = Umur rencana bangunan (tahun)

Perencanaan bangunan tahan gempa harus memperhatikan dari kekuatan akibat beban gempa, dapat dikelompokkan sebagai berikut :

a. Gempa Ringan (*light*, atau *minor earthquake*)

Gempa ini sering terjadi, tetapi menimbulkan efek yang minor atau ringan.

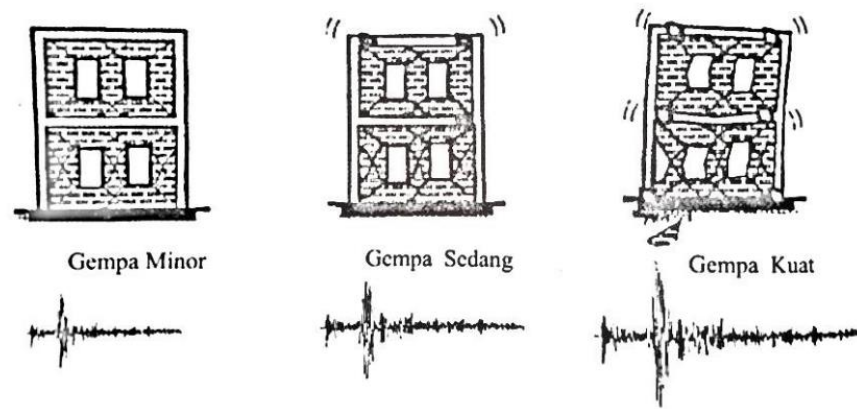
Dalam posisi seperti ini bangunan kuat tidak boleh rusak bahkan runtuh, masih diberi toleransi hancur tetapi hanya bagian non struktur. Resiko terjadinya gempa kecil ini sebesar 90%, jadi dapat dikatakan selama umur rencana bangunan berdiri akan mengalami gempa kecil.

b. Gempa Sedang (*moderate earthquake*)

Gempa seperti ini relatif jarang terjadi, dimana komponen struktur/non struktur boleh mengalami kerusakan ringan dan bisa diperbaiki dengan secara ekonomis.

c. Gempa Kuat (*strong earthquake*)

Potensi gempa seperti ini jarang terjadi, jadi bangunan kuat boleh mengalami kerusakan, tetapi tidak boleh mengalami keruntuhan. Maka dari itu, struktur bangunan harus didesain dengan kemampuan daktail yang tinggi agar tidak runtuh. Dengan kondisi struktur tidak runtuh meskipun komponen bangunan rusak, setidaknya mampu melindungi manusia secara maksimum.



**Gambar 2.4** : Level kerusakan bangunan, Widodo Pawirodikromo (2012)

### 2.3.2 Karakteristik Bangunan Tahan Gempa

Bangunan yang direncanakan dengan prosedur tahan gempa bertujuan untuk memberikan efek baik terhadap keselamatan jiwa manusia, karena dengan adanya gempa dipastikan akan rentan terhadap keruntuhan. Suatu bangunan tahan gempa harus dirancang dengan analisis yang tepat agar dapat menahan beban gempa yang berlebihan, dengan keruntuhan maksimal, dan menghindari adanya korban jiwa. Ada banyak persyaratan untuk merancang suatu bangunan yang kuat, oleh karena itu harus mengetahui karakteristiknya.

Berikut ini karakteristik bangunan tahan gempa:

- a. Struktur bangunan simetris
- b. Kualitas tanah pijak yang baik
- c. Pondasi bangunan kuat
- d. Menggunakan material bangunan ringan
- e. Memakai beton bertulang

## 2.4 Perilaku dan Sistem Dinamis Struktur

### 2.4.1 Perilaku Struktur

Struktur merupakan sarana untuk menyalurkan beban, baik beban dinamis maupun statis dan akibat penggunaan dan/atau kehadiran bangunan ke dalam tanah (L. Schodeck, 1980). Suatu bangunan pasti memiliki struktur kerangka yang dapat menahan bentuknya terhadap beban gravitasi. Tetapi itu saja tidak cukup, diperlukan suatu sistem perkuatan agar mampu menahan gaya lateral saat terjadi gempa besar. Berikut ini merupakan klasifikasi struktur utama bangunan menurut Kowalczyk dkk (1995), antara lain :

- a) *Framing System* : *Frame, bearing structural walls, core system, tube system*
- b) *Bracing System* : *Frame-bracing, steel-core bracing, shear-wall bracing*
- c) *Floor Framing* : *Flat-plate, flat-slab*

Pada penelitian ini lebih mengarah pada tipe struktur *Bracing System* lebih tepatnya dengan sistem *shear-wall bracing*. Dengan pemilihan sistem *shear-wall bracing* atau dinding geser ini diharapkan mampu meningkatkan kekuatan dan stabilitas struktur terhadap beban gravitasi atau beban gempa.



**2.4.2 Sistem Dinding Struktural (SDS)**

Sistem dinding struktural (SDS) dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan tingkat daktilitas yang dimiliki. Berikut ini jenis – jenis Sistem Dinding Struktural (SDS), antara lain :

1) Sistem Dinding Struktural Biasa (SDSB)

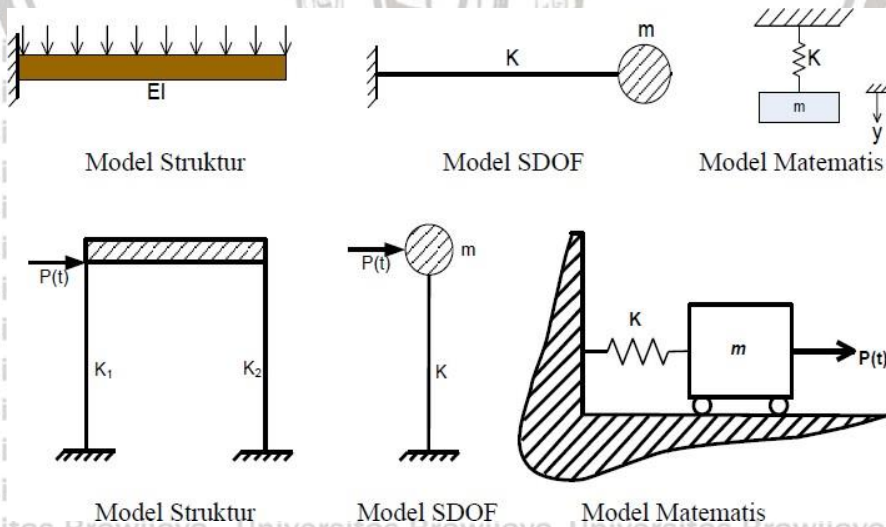
Sistem Dinding Struktural Biasa (SDSB) ini merupakan sistem dinding perkuatan yang memiliki tingkat daktilitas terbatas. Saat struktur menerima beban gempa, maka dapat ditentukan kemampuan struktur tersebut dengan faktor modifikasi respon (R). SDSB ini umumnya digunakan pada daerah dengan resiko gempa rendah dan menengah.

2) Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK)

Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK) ini merupakan sistem dinding perkuatan yang memiliki tingkat daktilitas penuh. Pada sistem ini mampu menerima respon gempa yang lebih besar dari pada SDSB, dan dibuat menjadi lebih daktil.

**2.4.3 Single Degree of Freedom System (SDOF)**

Sistem berderajat kebebasan tunggal atau SDOF adalah sistem massa yang berpindah dalam satu arah saja, yaitu arah horizontal (Lumantarna, 1999). Respon elastis pada struktur dengan satu derajat kebebasan yang disebabkan dari gerakan tanah akibat gempa bumi. Sistem SDOF hanya memiliki satu koordinat yang digunakan untuk menyatakan posisi suatu massa ada saat tertentu.



**Gambar 2.5** : Model matematis SDOF (Sugeng P. Budio, 2005)

### 2.4.4 Periode Getar Alami

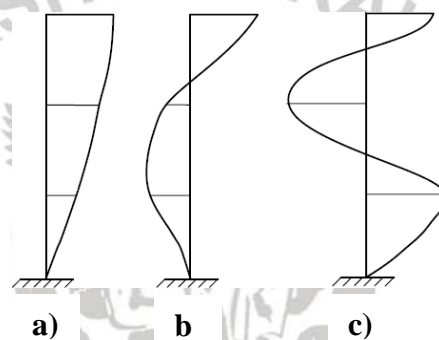
Periode getar adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh putaran lengkap dari suatu getaran dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi semula. Menurut Sugeng (2005) getaran dapat dihitung dengan rumus :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- $\omega$  = Periode getar (frekuensi natural)
- K = Kekakuan
- m = Massa (berat/gravitasi)

Dalam analisa dinamis struktur, periode getar alami dapat digambar dengan bentuk dari pola goyangan (*mode shape*). *Mode shape* pertama dapat dilihat dari frekuensi terendah yang memiliki periode terpanjang. *Mode shape* pertama banyak dianggap fleksibel dan kemungkinan terjadi pada kondisi sebenarnya.



**Gambar 2.6 :** a) *Mode Shape* pertama b) *Mode Shape* kedua c) *Mode Shape* ketiga (Sugeng P. Budio, 2005)

## 2.5 Kriteria Desain

Kriteria desain bertujuan agar bangunan masih mempunyai tingkat layanan yang diinginkan tidak boleh rendah dari batas minimal tertentu (Widodo Pawirodikromo, 2012).

### 2.5.1 Kekuatan (*Strength*)

Bangunan tahan gempa harus mempunyai kekuatan yang baik untuk menahan semua jenis beban kombinasi dalam masa layan bangunan. Jenis beban kombinasi yang dimaksud adalah beban mati, beban hidup, beban gempa, beban angin. Tegangan yang terjadi harus dalam kondisi batas elastis dengan angka keamanan tertentu, karena tegangan yang terjadi menjadi penentu dari tingkat layan bangunan.

**2.5.2 Kekakuan (Stiffness)**

Kekakuan adalah kemampuan struktur dalam menahan deformasi akibat adanya beban luar. Kekakuan merupakan salah satu karakteristik struktur bangunan yang sangat penting disamping massa bangunan. Dengan memiliki kekakuan yang baik dapat menahan beban akibat gempa, namun simpangan atau perpindahan yang terjadi harus relatif kecil agar nyaman untuk ditempati. Oleh karena itu dibutuhkan perhitungan rasio simpangan (*Drift Ratio*) agar bangunan kaku dan menghindari peristiwa resonansi.

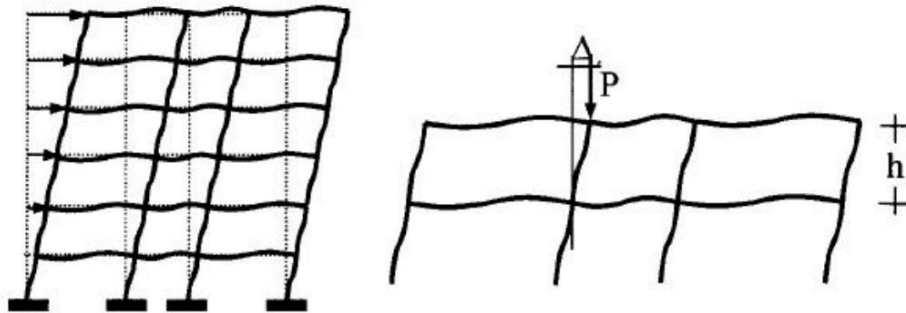
Berikut ini merupakan cara perhitungan rasio simpangan (*Drift Ratio*) :

$$Drift\ Ratio = \frac{\Delta}{h} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$\Delta$  = Simpangan antar tingkat

$h$  = Tinggi tingkat



**Gambar 2.7 :** Simpangan antar tingkat, Widodo Pawirodikromo (2012)

**2.5.3 Sistem Pelepasan Energi (*Energy Dissipation System*)**

Jika terjadi gempa yang besar, bangunan boleh mengalami kerusakan pada daerah yang sudah diperhitungkan. Kerusakan yang dimaksud yaitu tegangan bahan sudah sampai pada tegangan plastis, dan tempat yang rusak tersebut umumnya disebut dengan sendi plastis. Kerusakan yang terjadi dilihat berdasarkan level beban gempa dan level pentingnya struktur. Level beban gempa harus memperhitungkan kondisi regional tektonik, geologi, dan seismisitas. Pada level pentingnya struktur harus memperhitungkan berbagai kategori resiko struktur bangunan, pengaruh gempa terhadapnya dikalikan dengan suatu faktor kemanan.

**2.5.4 Elastisitas (*Elasticity*)**

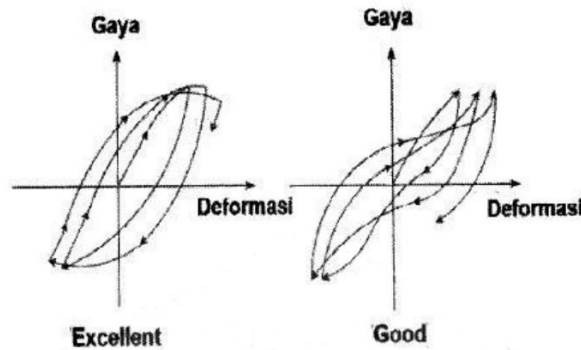
Elastisitas merupakan kemampuan suatu bahan padat yang dapat mendeformasikan ke bentuk semula. Setiap benda elastis juga memiliki batas kemampuan untuk mengatasi gaya. Jika gaya mekanik yang diberikan pada bahan elastis melampaui batas



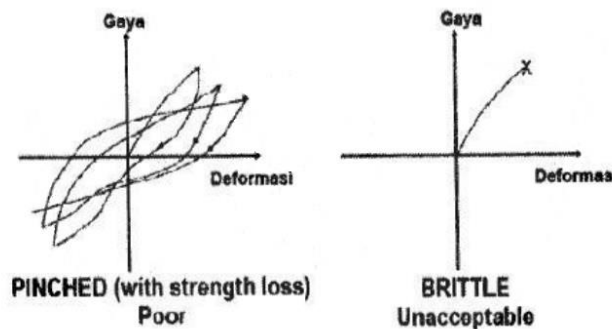
kemampuannya, bahan tersebut akan mengalami deformasi permanen, dengan kata lain bahan/benda elastis akan rusak.

**2.5.5 Daktilitas (Ductility)**

Daktilitas (*Ductility*) merupakan suatu kemampuan dari struktur untuk mengalami lendutan yang besar dengan tidak merubah kemampuan/kekuatan struktur yang berarti. Dengan adanya daktilitas ini, bangunan akan memiliki ketahanan terhadap gempa yang lebih lama.



**Gambar 2.8 :** Perilaku struktur daktail saat gempa berulang



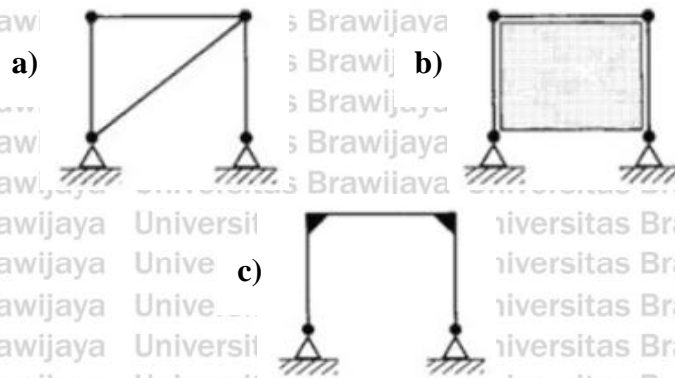
**Gambar 2.9 :** Perilaku struktur tidak daktail saat gempa berulang

**2.5.6 Stabilitas (Stability)**

Stabilitas merupakan suatu ketahan struktur yang tidak mengalami kerusakan (*Collapse*) jika mendapat pengaruh gaya yang besar. Pada saat terjadi gempa bumi, tegangan bahan akan mengalami peningkatan dan mencapai tegangan plastis. Adapun beberapa cara untuk membuat struktur menjadi stabil, antara lain :

- a) Pemasangan pengaku (*diagonal bracing*)
- b) Pembuatan bidang rangka (*dinding/diafragma*)
- c) Pemasangan sambungan yang kaku





Gambar 2.10 : a) diagonal bracing b) dinding/diafragma c) sambungan kaku

Sumber : <https://dukenmarga.id/sipil/2011/07/28/kestabilan-struktur/>

Dengan adanya sistem untuk meningkatkan stabilitas struktur ini bertujuan untuk membantu mencegah struktur mengalami deformasi besar pada arah horizontal. Oleh karena itu, struktur yang stabil dan tepat diharapkan tidak mengalami keruntuhan, memenuhi syarat deformasi sesuai peraturan, dan memberikan kuat layan yang baik untuk setiap pengguna bangunan tahan gempa..

## 2.6 Kinerja Struktur

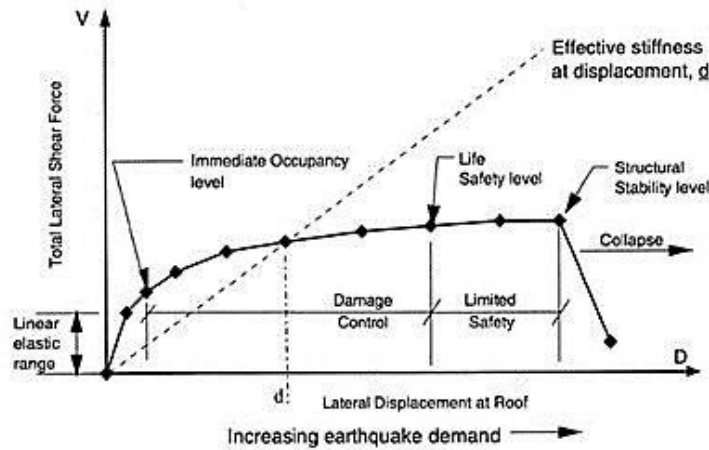
Kinerja struktur adalah tingkatan performa suatu struktur terhadap gempa rencana (Tavio dan Usman Wijaya, 2018). Konsep perencanaan struktur berbasis kinerja merupakan kombinasi dari aspek ketahanan dan aspek layan. Umumnya kinerja struktur didesain sesuai dengan tujuan dan kegunaan bangunan, dengan pertimbangan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa tanpa melihat keselamatan terhadap pengguna bangunan.

### 2.6.1 Kinerja struktur metode ATC-40

Untuk memberikan kinerja seismik yang andal, bangunan harus memiliki sistem penahan gaya lateral yang lengkap, yang mampu membatasi perpindahan lateral akibat gempa pada level kerusakan yang berkelanjutan dan untuk tujuan kinerja yang diinginkan (Tavio dan Usman Wijaya, 2018). 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).

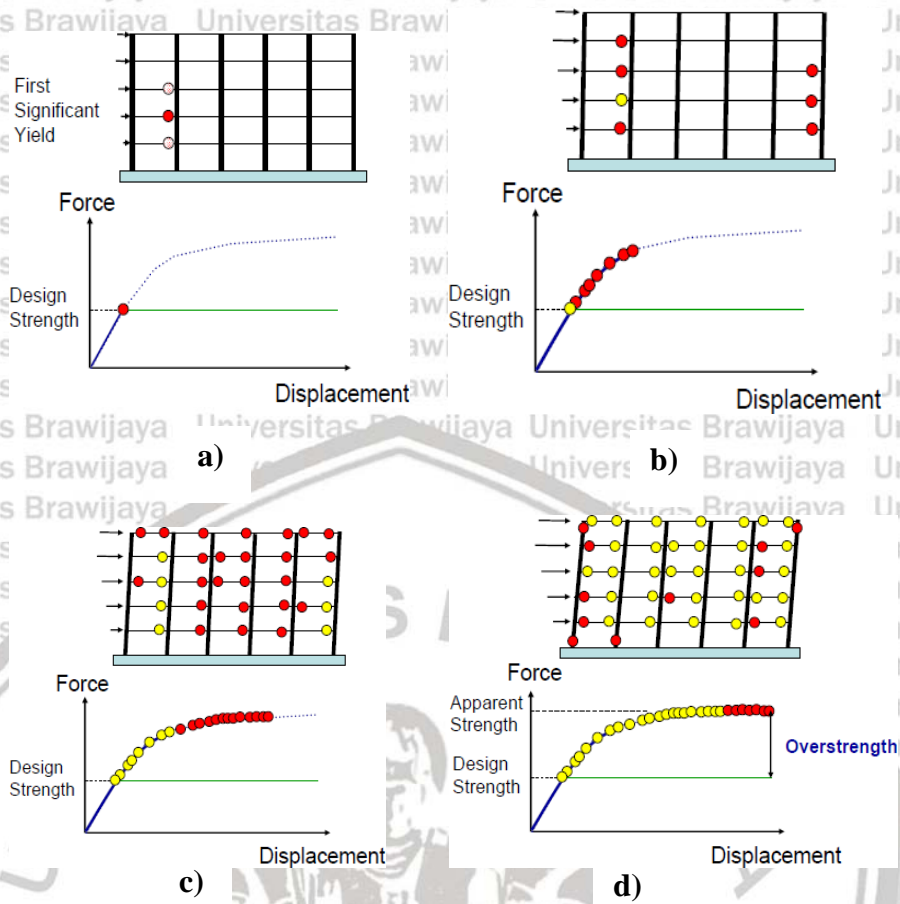
### 2.6.2 Tingkatan kinerja ATC-40



Gambar 2.11 : Kurva kapasitas kinerja struktur (ATC-40, 1996)

Grafik tingkatan kinerja diatas menggambarkan hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja. Pada grafik diatas, simbol “◆” menandakan kejadian – kejadian penting selama respon lateral terhadap struktur. Kejadian penting yang dimaksud yaitu seperti pelelehan pertama salah satu elemen, kerusakan tertentu, kegagalan geser pada spandel. Berikut ini merupakan kejadian – kejadian penting yang terjadi selama respon laterl terhadap struktur, antara lain :

- a) *Overstrength* ke-1
- b) Kelelehan Pertama
- c) *Overstrength* ke-2
- d) *Overstrength* ke-3



**Gambar 2.12** : Mekanisme plasifikasi struktur dengan *Pushover Analysis* (FEMA 451).

Tujuan dari desain berbasis kinerja ini untuk menentukan tingkat kinerja yang direncanakan. Untuk mengidentifikasi bahaya gempa, perlu mengetahui tingkatan kerusakan maksimum yang diizinkan (*Performance Level*). Tingkatan kinerja dapat dideskripsikan berdasarkan kondisi bangunan pasca gempa dan kategori bangunan yang diizinkan terhadap level kinerja tertentu. .

**Tabel 2.3 : Kategori bangunan pada tingkat kinerja struktur (ATC-40, 1996 : chapter 3-2)**

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
<i>SP-1 Immediate Occupancy (IO)</i>	Bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan kembali.	Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau struktur bangunan yang dapat mempengaruhi ekonomi nasional. Contohnya Rumah sakit, Gudang bahan bakar/ bahan berbahaya dll.
<i>SP-2 Damage Control (DO)</i>	Merupakan transisi antara <i>Immediate Occupancy (IO) SP-1</i> dan <i>Life Safety (LS) SP-3</i> . Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa manusia sangat kecil.	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.
<i>SP-3 Life Safety (LS)</i>	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (resiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non-struktural.	Fasilitas-fasilitas umum, Gedung perkantoran, perumahan, gudang dll.
<i>SP-4 Limited Safety</i>	Merupakan transisi antara <i>SP-3</i> dan <i>SP-4</i> dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa.	-



Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
SP-5 <i>Structural Stability (SS)</i>	Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kesetabilan sudah diambang keseluruhan.	-
SP-6 <i>Not Considered</i>	Bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapi hanya untuk melakukan evaluasi seismik non-struktural atau <i>retrofit</i> .	-

Tabel 2.4 : Batasan Simpangan (ATC-40, 1996)

Batasan Simpangan Antar	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan Total Maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 Vi/Pi
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

## 2.7 Dinding Geser (*Shear Wall*)

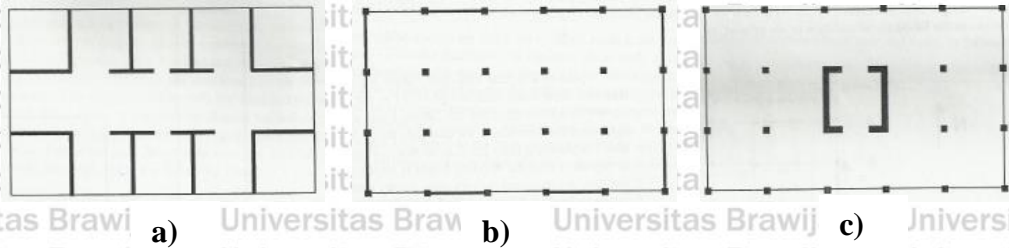
Bangunan atau gedung bertingkat tinggi harus dirancang agar kuat menahan beban gempa. Salah satu cara yang tepat yaitu menggunakan sistem perkuatan dengan elemen – elemen struktur kaku seperti dinding geser (*Shear Wall*). Dinding geser adalah suatu struktur vertikal yang sering digunakan pada bangunan bertingkat tinggi, berfungsi untuk menahan gaya lateral yang diakibatkan oleh gempa bumi.

### 2.7.1 Klasifikasi dinding geser

Dinding geser dapat diklasifikasikan berdasarkan letak dan fungsinya, antara lain :

- Bearing Walls*, dinding ini dapat menahan beban gravitasi yang tersusun seperti partisi – partisi.

- b. *Frame Walls*, dinding ini dapat menahan gaya lateral akibat beban gravitasi dengan *frame* beton bertulang, terletak selang – seling diantara dua baris kolom.
- c. *Core Walls*, dinding yang berfungsi sebagai pengaku struktur, yang terletak di pusat titik berat bangunan.



**Gambar 2.13 :** a) *Bearing Walls* b) *Frame Walls* c) *Core Walls*

Sumber : <http://yohannachristiani.blogspot.com/2012/06/shear-wall.html>

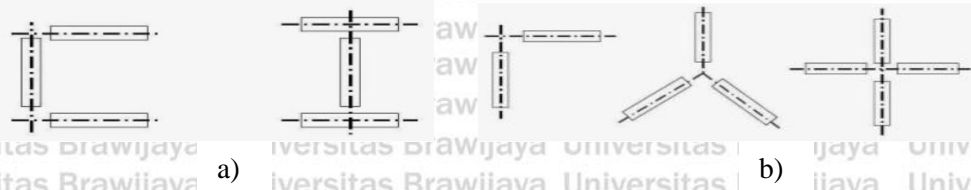
### 2.7.2 Jenis – jenis dinding geser

Adapun jenis – jenis dinding geser yang dikategorikan berdasarkan geometrinya, antara lain (Imran dkk, 2008) :

- a. *Flexural Wall*, yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $H_w/L_w \geq 2$ , dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur.
- b. *Squat Wall*, yaitu dinding geser yang memiliki rasio  $H_w/L_w < 2$ , dimana desain dikontrol terhadap perilaku geser.
- c. *Coupled Shear Wall*, yaitu dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan dengan balok - balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja pada masing - masing dasar dinding tersebut.

### 2.7.3 Prinsip penempatan dinding geser

Suatu bangunan tahan gempa dirancang agar tetap kokoh tidak runtuh dan juga memiliki stabilitas yang baik dalam menahan beban gempa. Untuk dapat menahan gaya lateral yang disebabkan oleh gempa, maka bangunan tersebut harus dipasang dinding geser dengan bentuk dan perletakan sedemikian rupa. Sebuah bangunan tinggi setidaknya paling sedikit memiliki tiga buah dinding geser sebagai penahan lateral. Garis pengaruh dari dinding geser tersebut tidak boleh berpotongan pada satu titik. Apabila perletakan dinding geser tidak sesuai syarat atau kurang baik, maka akan sangat berpengaruh terhadap kemampuan menahan gaya lateralnya.

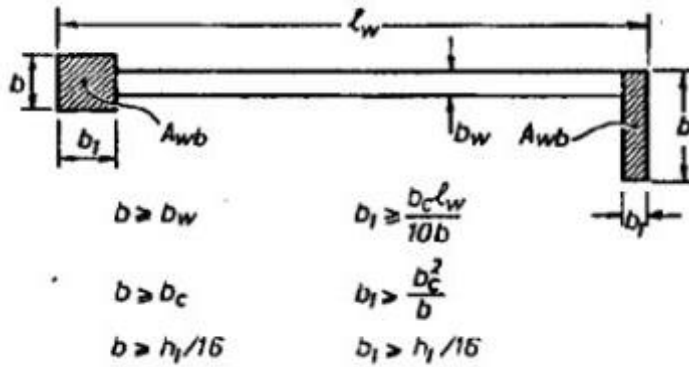


**Gambar 2.14 :** a) perletakan memenuhi syarat  
 b) perletakan tidak memenuhi syarat

Sumber : <https://www.ruang-sipil.com/2019/09/dinding-geser.html>

### 2.7.4 Konsep dinding geser

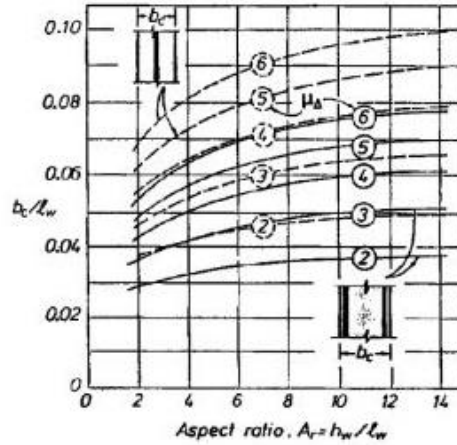
Dinding geser dapat diasumsikan bahwa memiliki cara kerja yang sama seperti kolom. Asumsi tersebut bertujuan untuk menghindari tekuk, dimana dimensi dinding dengan komponen batas (*boundary element*) perlu dibatasi.



**Gambar 2.15 :** Persyaratan dimensi dinding geser

Sumber : <https://www.ruang-sipil.com/2019/09/dinding-geser.html>

Dalam persyaratan dimensi diatas, nilai  $b_c$  didapatkan dari hubungan antara ketebalan kritis dinding geser ( $b_c$ ) dan faktor daktilitas *displacement* ( $\mu\Delta$ ). Hubungan ketebalan kritis dinding geser dan daktilitas *displacement* dapat dilihat pada diagram dibawah ini.



Gambar 2.16 : Hubungan  $bc$  dengan  $\mu_{\Delta}$

Sumber : <https://www.ruang-sipil.com/2019/09/dinding-geser.html>

Dengan adanya dinding geser diharapkan bangunan tetap stabil mempertahankan bentuknya. Untuk itu harus dapat memenuhi kriteria stabilitas, dengan persamaan berikut ini :

Keterangan :

$$bc^2 \leq A_{wb} \geq \frac{bc \cdot l_w}{10} \quad (2.4)$$

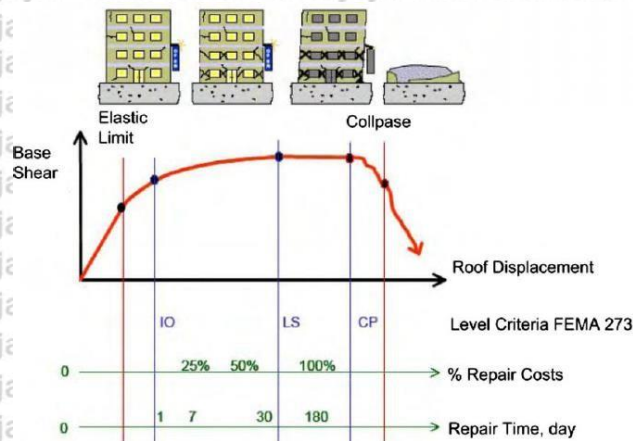
$A_{wb}$  = Luasan *boundary* elemen

$l_w$  = Panjang dinding geser

$\mu_{\Delta}$  = faktor daktilitas yang diambil  $\leq 5$

## 2.8 Performance Based Seismic Design (PBSD)

*Performance Based Seismic Design* (PBSD) merupakan suatu konsep merancang bangunan yang kuat dengan target kinerja bangunan (*performance objective*) harus ditentukan dahulu, lalu target tersebut menjadi parameter minimum yang harus terpenuhi. Konsep ini bertujuan mampu memprediksi kekuatan maksimum pada suatu struktur agar tahan terhadap gempa. Tingkatan kinerja struktur dapat dinilai dengan melihat kerusakan struktur saat terkena gempa rencana dengan periode ulang tertentu.



Gambar 2.17 : Performance levels of PBSD (FEMA 356)

### 2.8.1 Tingkatan Kinerja

Menurut ATC-40, ada beberapa tingkatan kinerja, antara lain :

a) SP-1 (*Immediate Occupancy*)

Bila terjadi gempa, elemen struktural pada bangunan tidak mengalami kerusakan, tetapi elemen non-struktural mengalami kerusakan ringan. Tidak ada ancaman korban jiwa. Bangunan tetap bisa beroperasi seperti biasa.

b) SP-2 (*Damage Control*)

Bila terjadi gempa, elemen struktural dan non-struktural pada bangunan mengalami kerusakan ringan, maka resiko korban jiwa juga sedikit. Struktur pada bangunan bisa diperbaiki dengan waktu yang singkat, sehingga dapat berfungsi normal. Fasilitas operasional mungkin ada yang tidak berfungsi.

c) SP-3 (*Life Safety*)

Bila terjadi gempa, elemen struktural dan non-struktural pada bangunan mengalami kerusakan yang cukup serius. Ancaman adanya korban jiwa cukup kecil. Bangunan dapat digunakan setelah diperbaiki dengan waktu yang cukup lama.

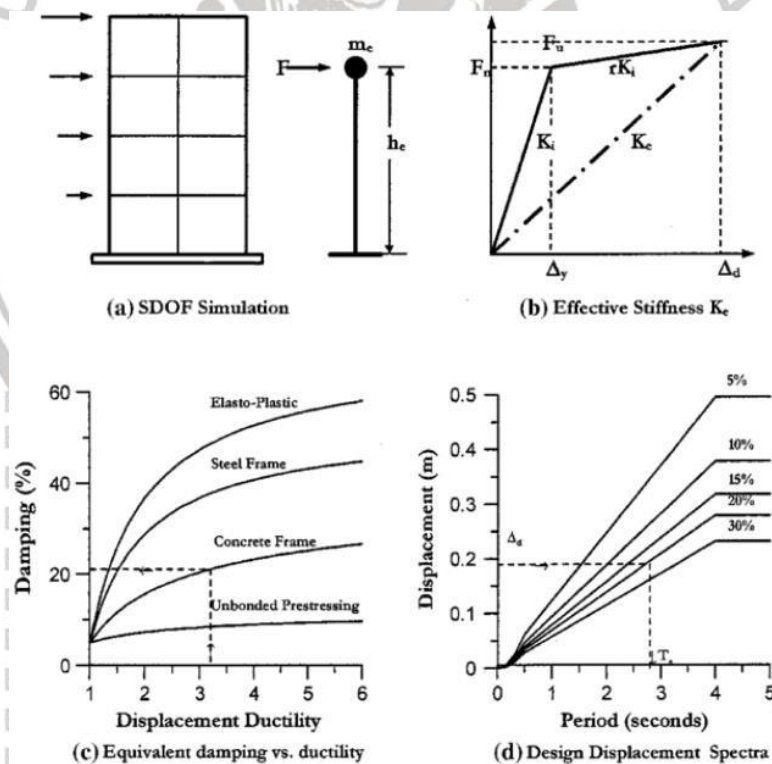
d) SP-4 (*Collapse Prevention*)

Bila terjadi gempa, elemen struktural dan non-struktural pada bangunan mengalami kerusakan yang parah, tetapi elemen struktur tidak runtuh. Hanya elemen non-struktural saja yang mengalami keruntuhan. Bangunan tidak dapat berfungsi atau digunakan lagi.

## 2.9 Direct Displacement Based Design (DDBD)

*Direct Displacement Based Design* (DDBD) ini adalah metode alternatif yang digunakan untuk merancang bangunan tahan gempa. DDBD dianggap lebih akurat dan lebih jelas digunakan merancang bangunan tahan gempa daripada metode sebelumnya, yaitu *Force Based Design* (FBD). Untuk menghitung gaya geser dasar, mudah menggunakan respon spektrum perpindahan. Tidak hanya akurat saja, penyelesaian metode ini tergolong mudah untuk menganalisis gedung berderajat kebebasan banyak. Struktur desain dengan menggunakan kekakuan secant (*secant stiffness*), dan peredam viscous ekivalen pada bangunan berderajat kebebasan tunggal (SDOF). Hal ini bertujuan untuk mencapai kondisi batas perpindahan dengan acuan intensitas batas simpang yang direncanakan.

Secara singkat pada tahap awal metode DDBD ini harus menentukan perpindahan desain sesuai tingkat kinerja yang diinginkan. Lalu dengan menggunakan spektrum perpindahan maka didapat periode getar alami efektif, agar struktur dapat mengalami perpindahan desain. Lalu dapat dihitung kekakuan yang dibutuhkan, sehingga dapat diketahui gaya geser dasarnya.



**Gambar 2.18** : Konsep Direct Displacement Based Design  
(Priestley et.al 2007 :64)

(lembar ini sengaja dikosongkan)



## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Data Umum Bangunan

- Nama : Pembangunan Gedung Rumah Sakit Bhayangkara  
Tk.III Nganjuk
- Lokasi : Jalan Abdul Rahman Saleh No. 56 Nganjuk
- Fungsi : Gedung Rumah Sakit
- Jenis Struktur : Rangka Portal Beton Bertulang
- Jumlah lantai : 6 lantai dan 1 lantai atap
- Luas per Lantai : 860 m<sup>2</sup>
- Luas Gedung : 5160 m<sup>2</sup> (6 lantai)
- Tinggi Gedung : 23,5 m (hingga atap)

#### 3.2 Preliminary Design

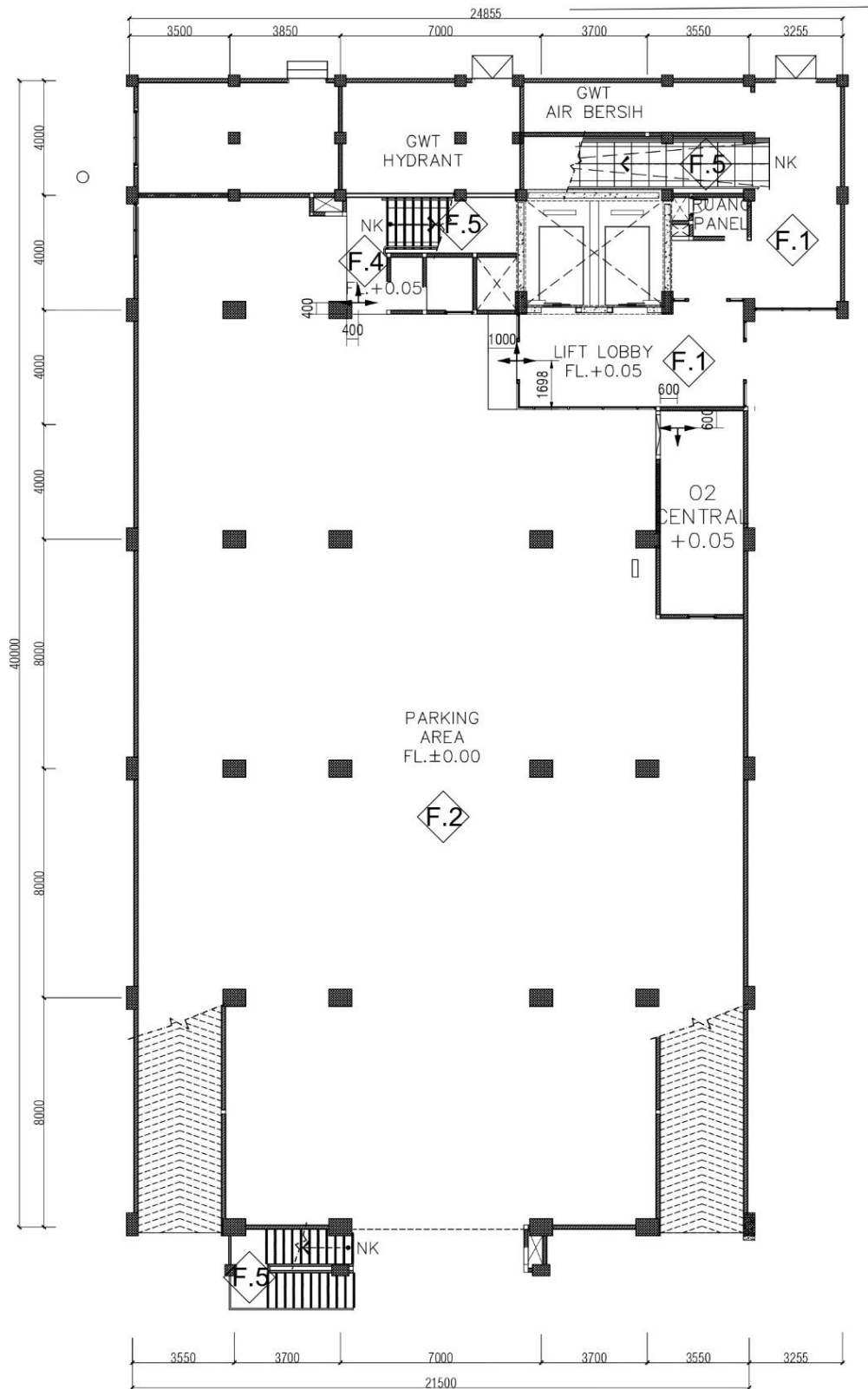
Pada kajian ini digunakan Gedung Rumah Sakit Bhayangkara Tk.III Nganjuk. Gedung Rumah Sakit tersebut memiliki dimensi bangunan 40x21,5 meter, dengan tinggi lantai yang bervariasi. Pada lantai 1 memiliki tinggi 3,5 meter, sedangkan pada lantai 2-6 memiliki tinggi 4 meter per lantainya. Pada kondisi nyata bangunan ini dirancang belum menggunakan sistem perkuatan terhadap gempa. Sehingga akan dilakukan perencanaan ulang dengan menambahkan sistem perkuatan dinding geser yang menggunakan metode *Direct Displacement Based Design (DDBD)*. Digunakan dinding geser (*shear wall*) sebagai sistem perkuatan untuk menahan gaya lateral struktur.

**Tabel 3.1 : Spesifikasi material**

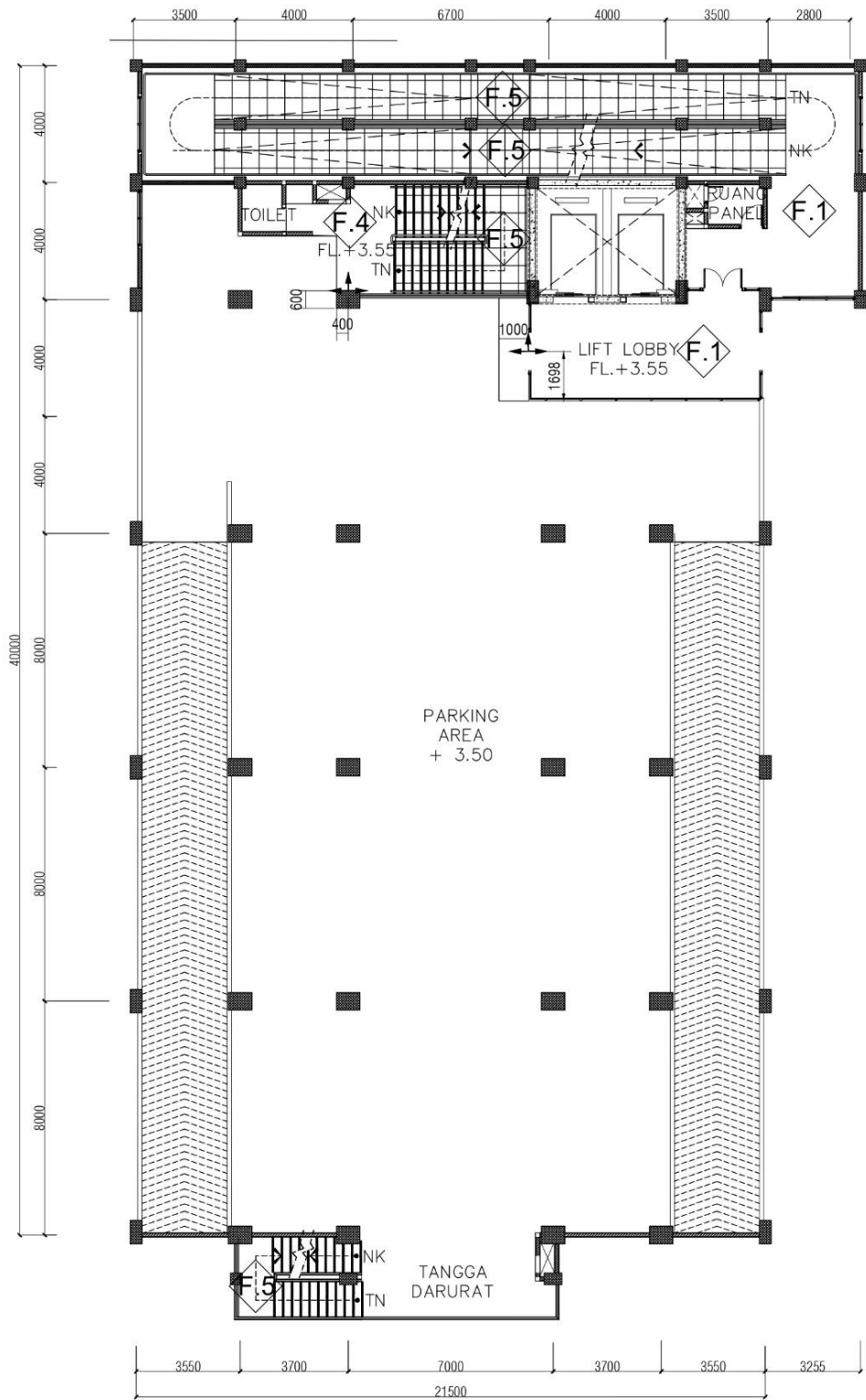
Data	Spesifikasi
Mutu beton (f <sub>c</sub> )	25 Mpa
Modulus elastis beton	$4700 \sqrt{25} = 23500$ Mpa
Tulangan ulir (f <sub>y</sub> )	390 Mpa
Tulangan polos (f <sub>y</sub> )	240 Mpa



3.2.1 Denah Struktur

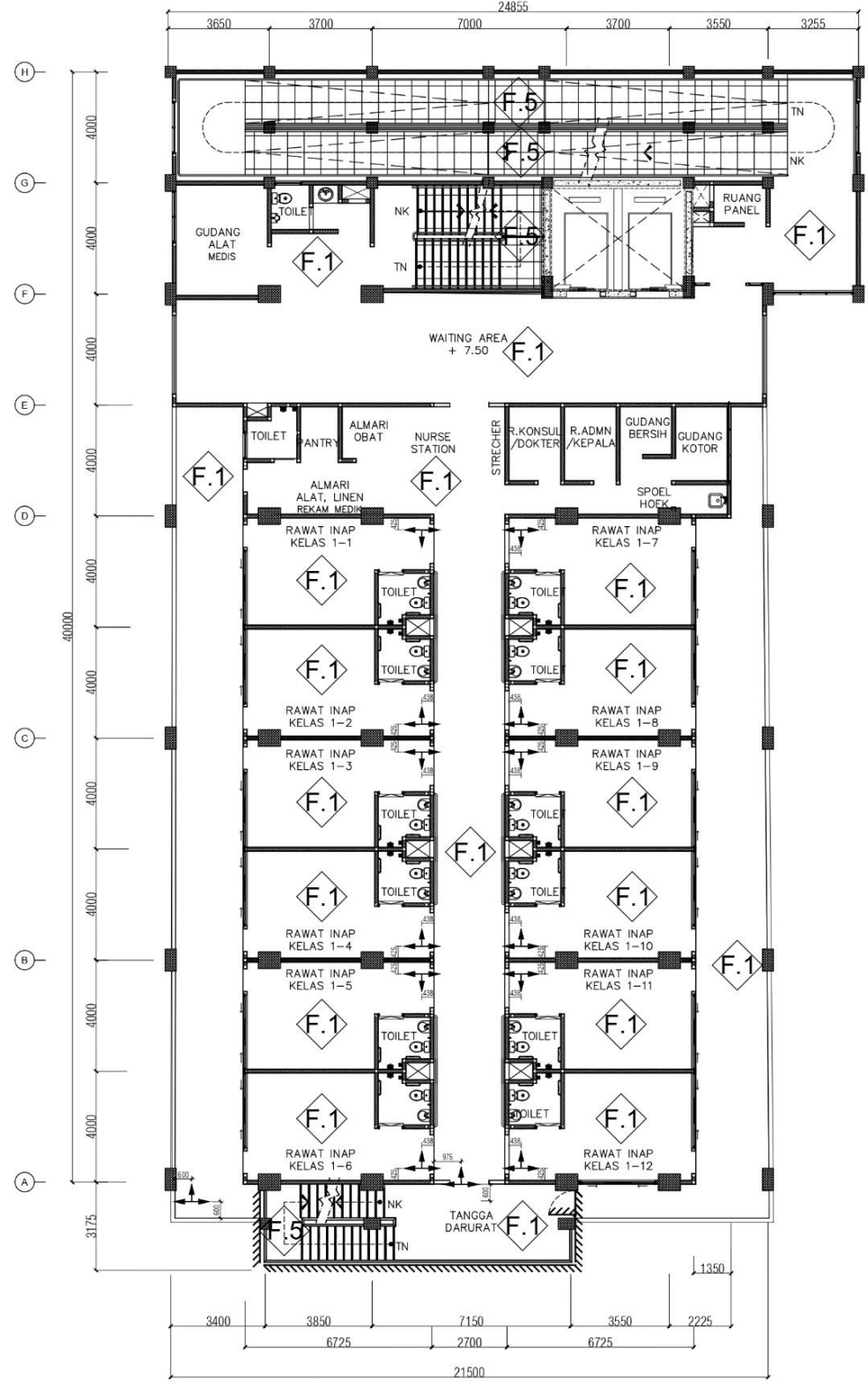


Gambar 3.1 : Denah lantai 1 (DED proyek)

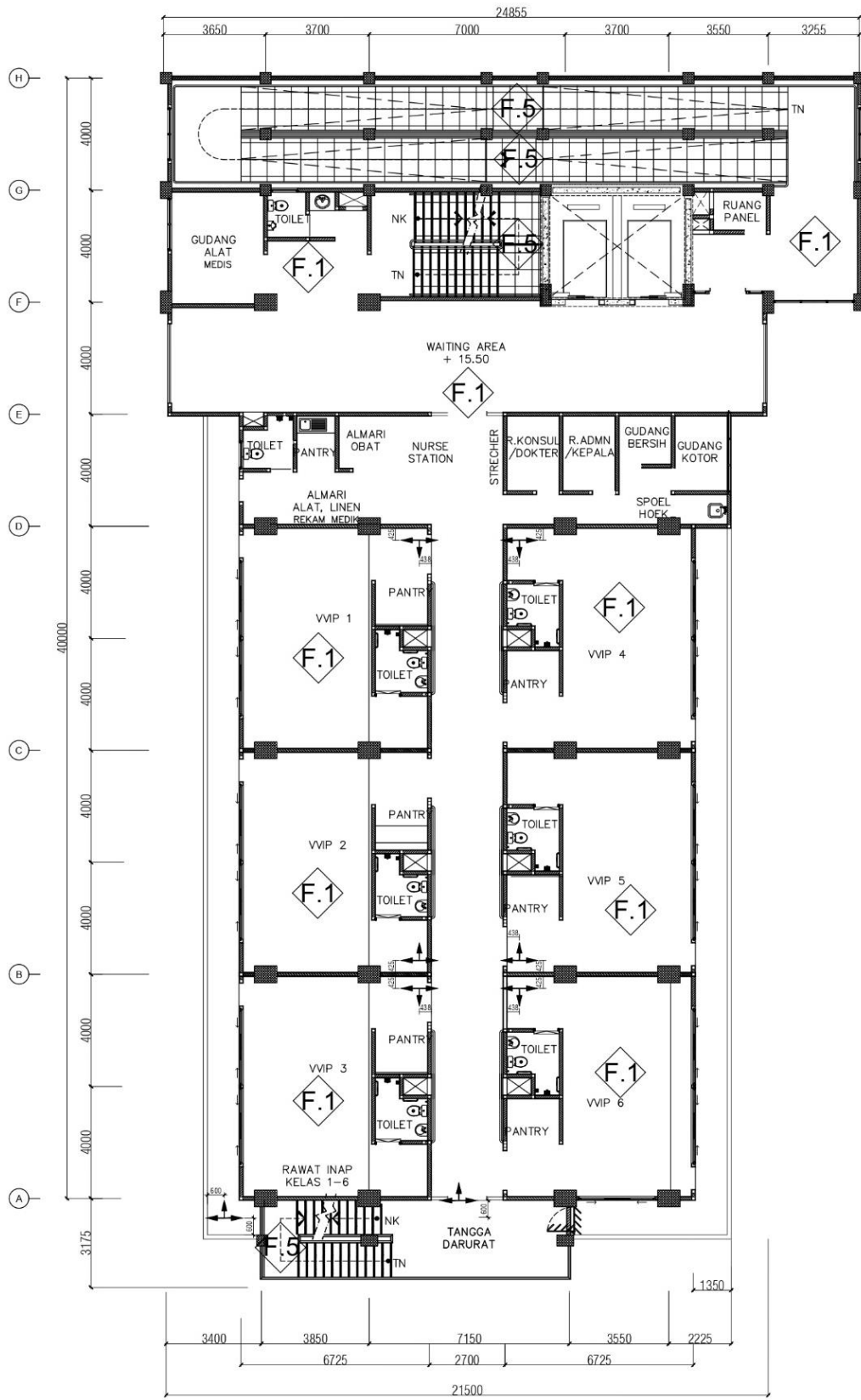


Gambar 3.2 : Denah lantai 2 (DED proyek)

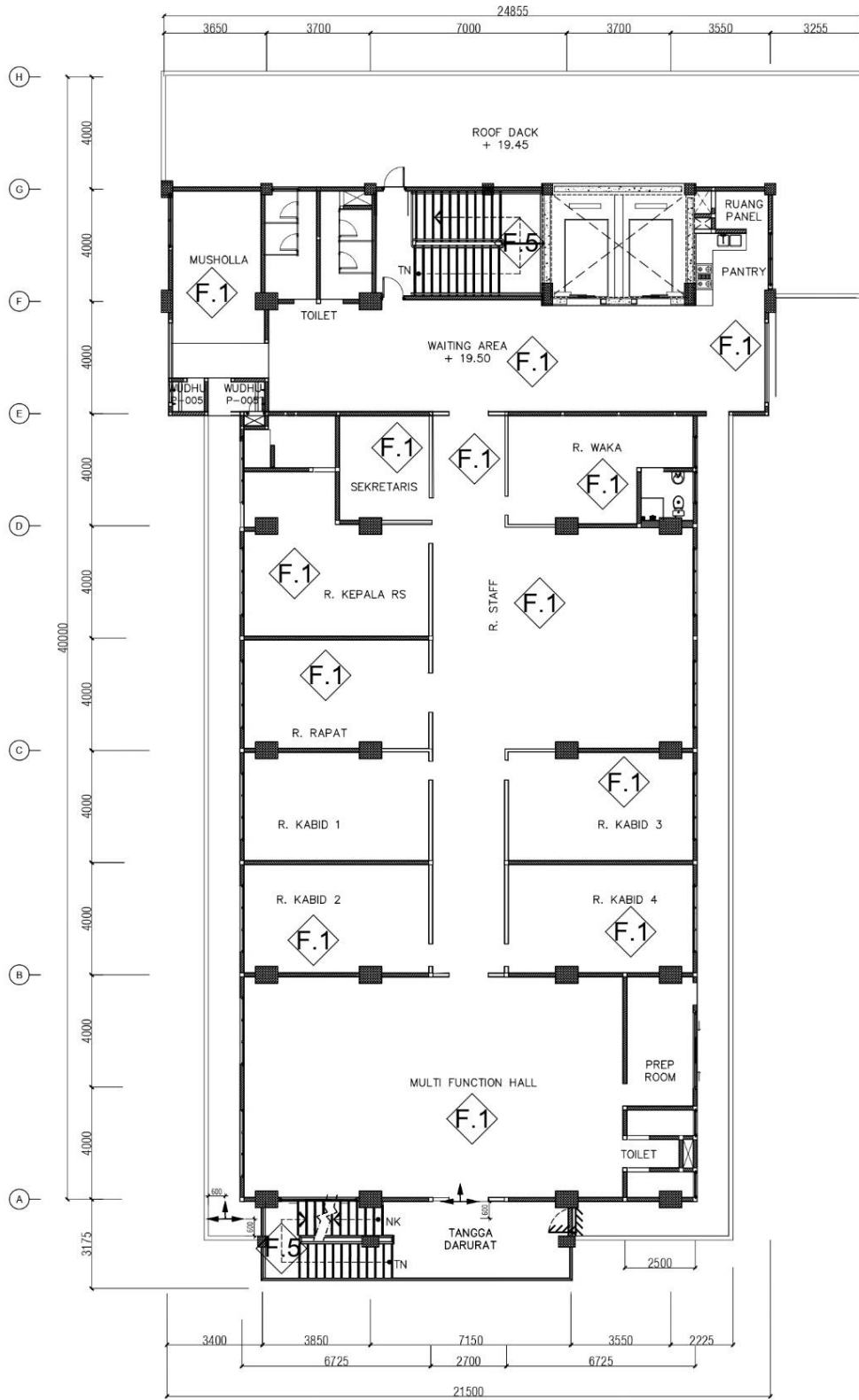




Gambar 3.3 : Denah lantai 3 (DED proyek)

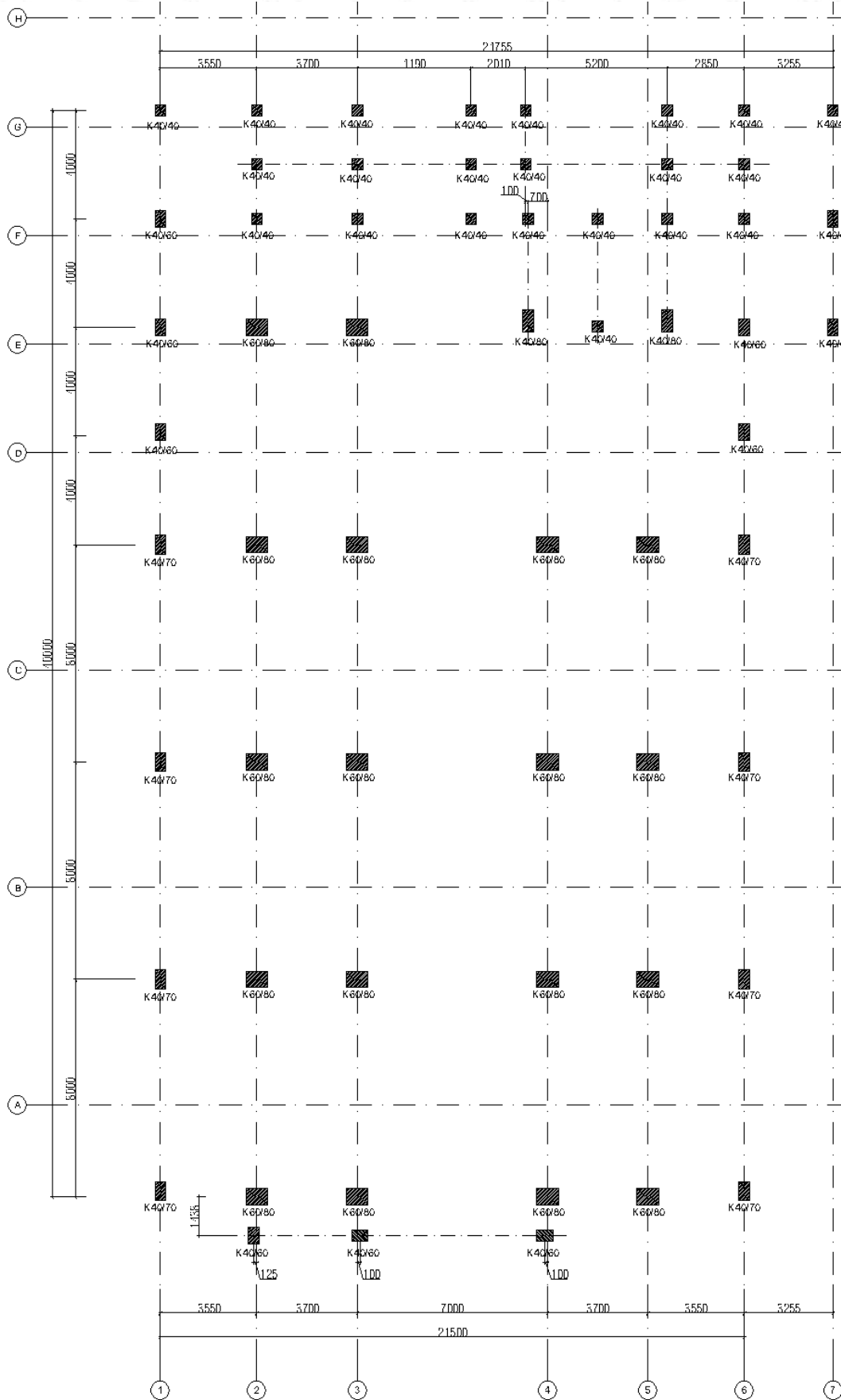


Gambar 3.4 : Denah lantai 4 dan 5 (DED proyek)

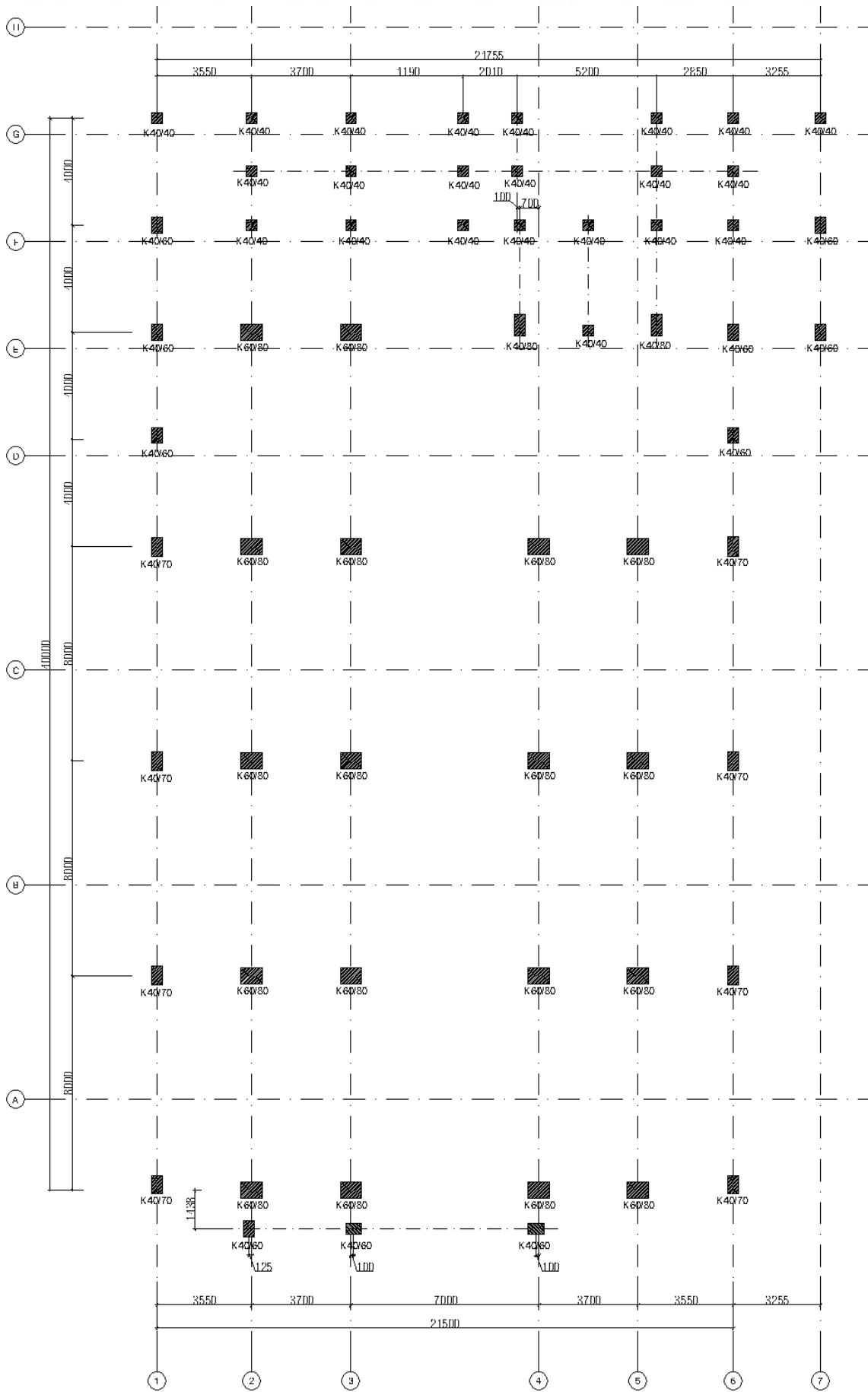


Gambar 3.5 : Denah lantai 6 (DED proyek)

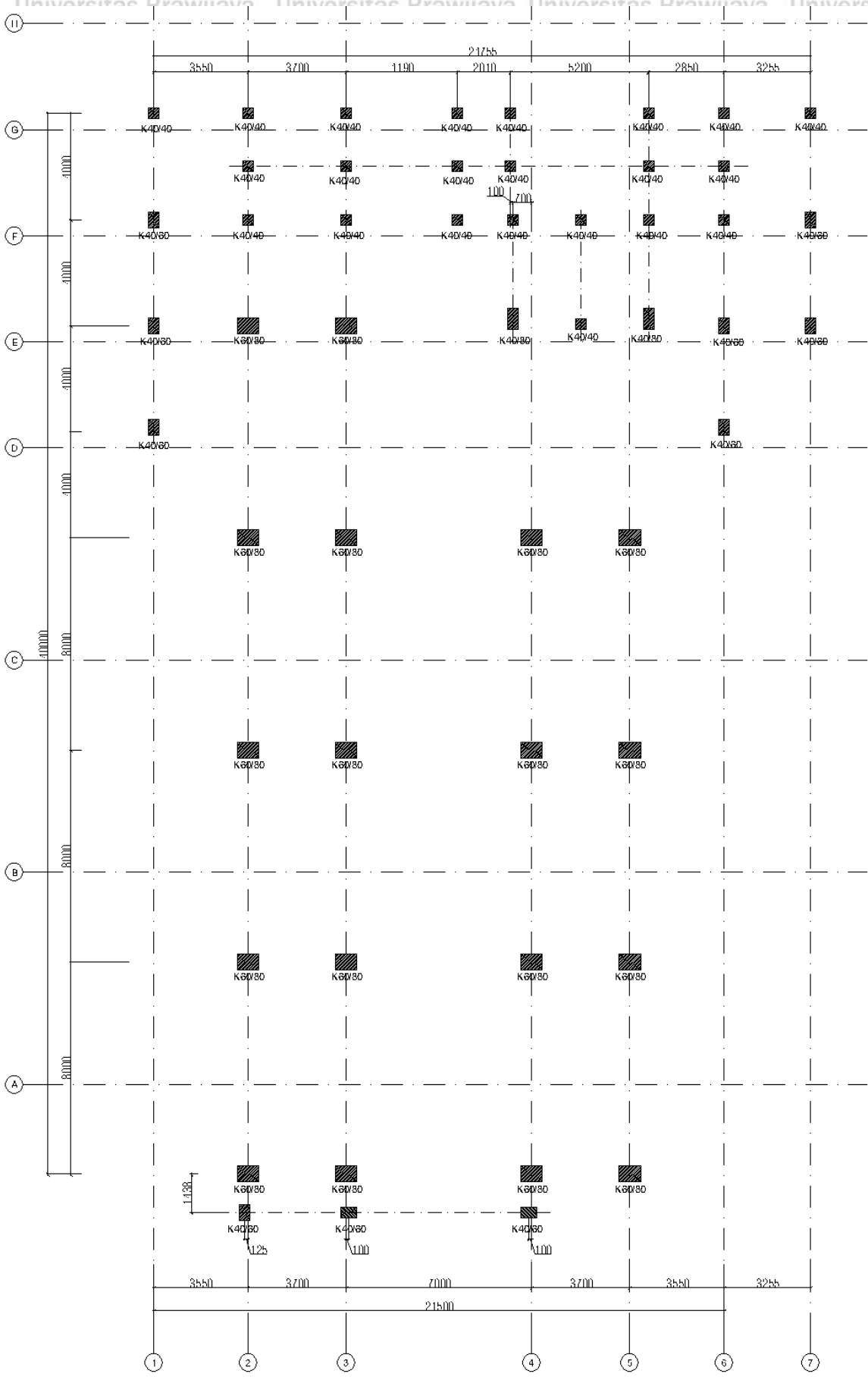
3.2.2 Denah Kolom



Gambar 3.6 : Denah kolom lantai 1 (DED proyek)

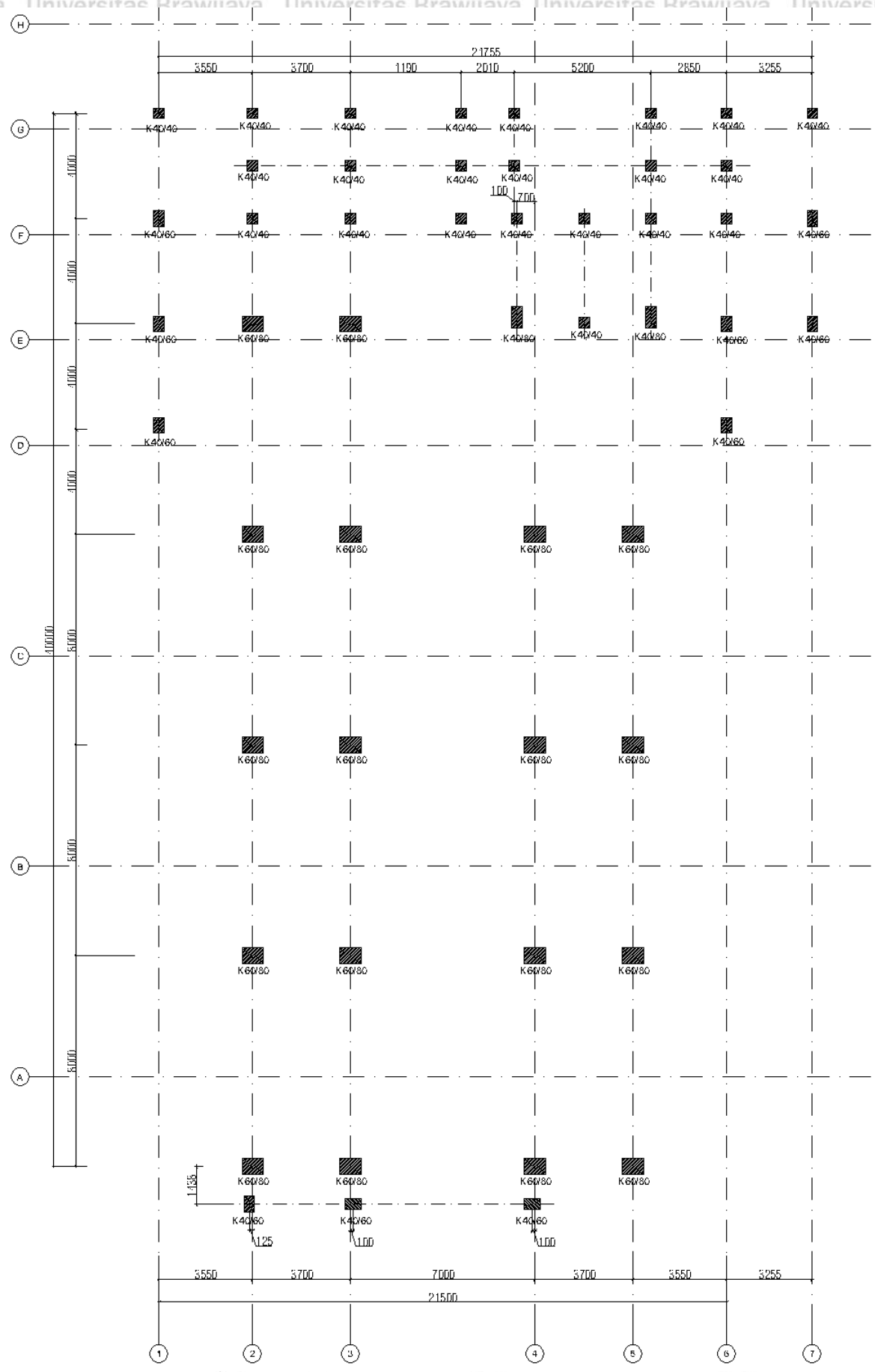


Gambar 3.7 : Denah kolom lantai 2 (DED proyek)



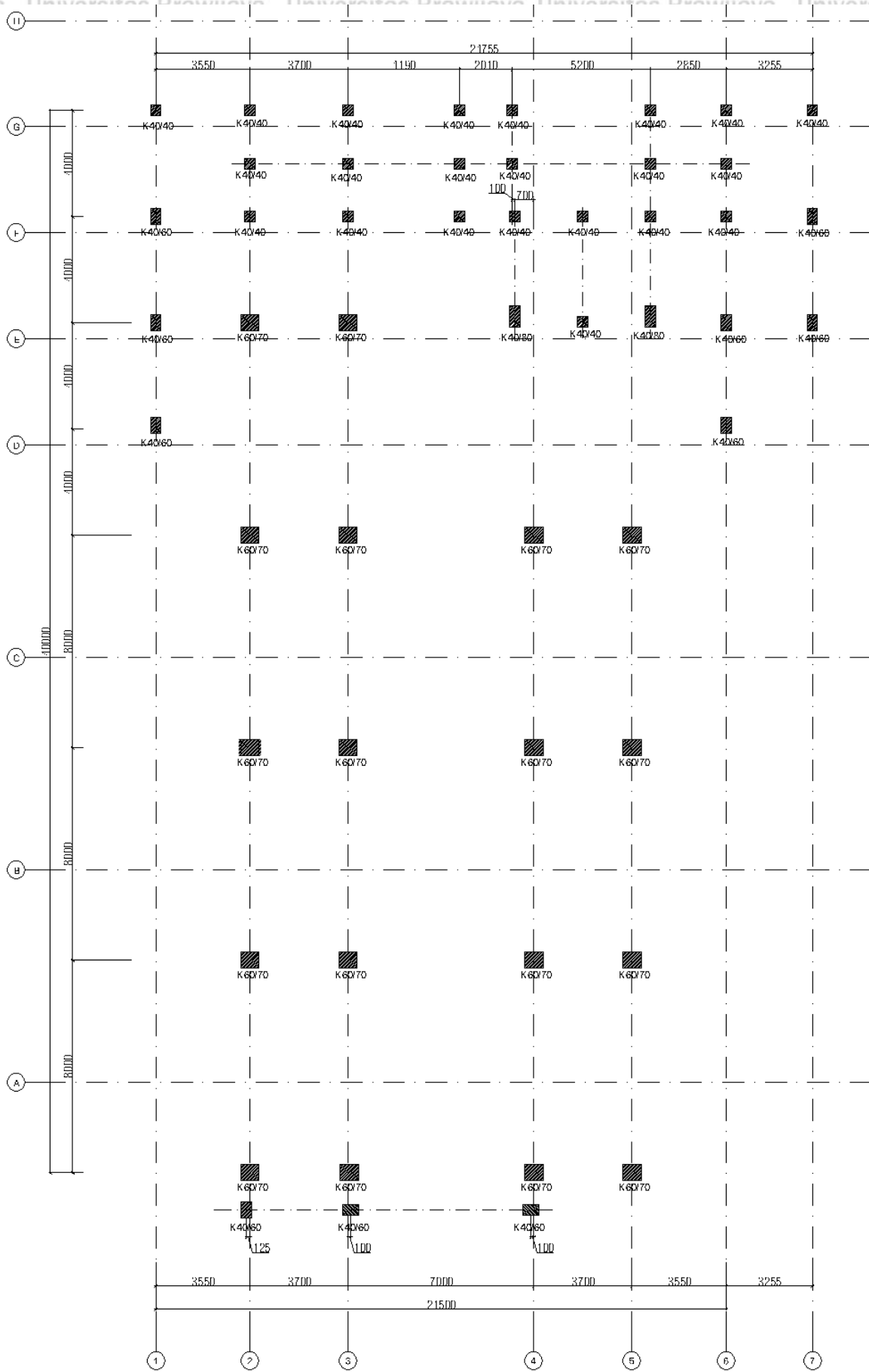
Gambar 3.8 : Denah kolom lantai 3 (DED proyek)



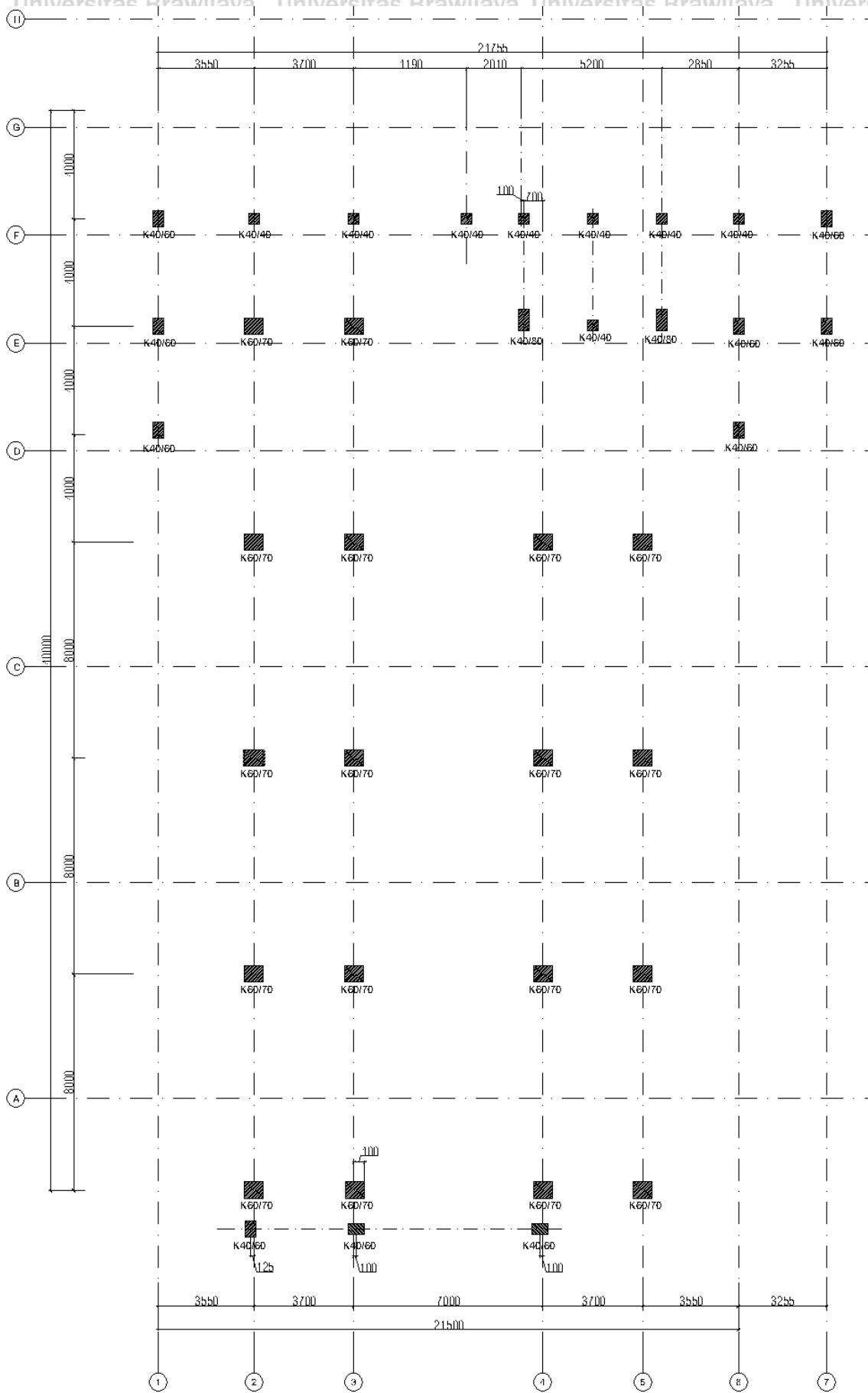


Gambar 3.9 : Denah kolom lantai 4 (DED proyek)





Gambar 3.10 : Denah kolom lantai 5 (DED proyek)



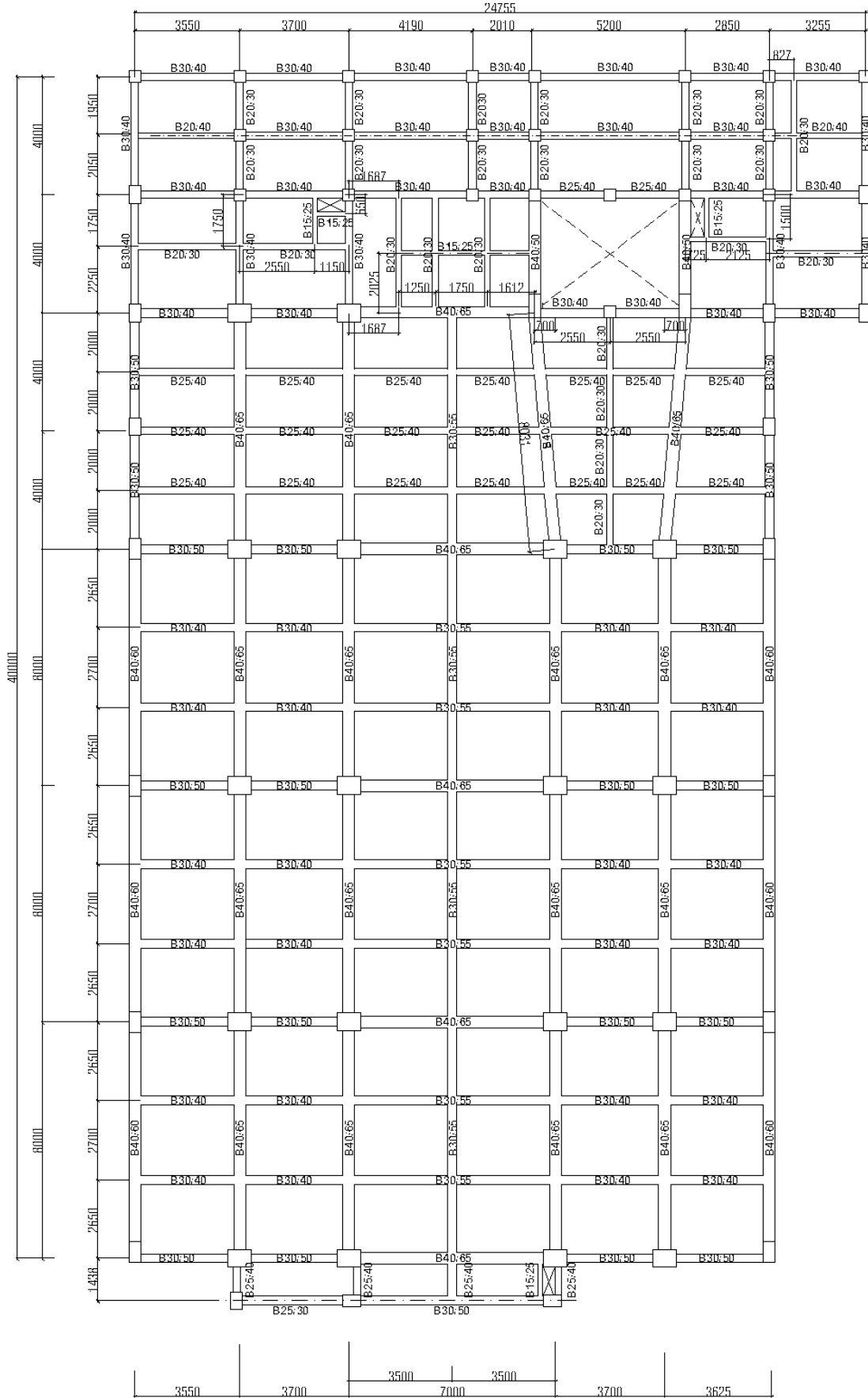
Gambar 3.11 : Denah kolom lantai 6 (DED proyek)

Tabel 3.2 : Dimensi kolom (DED proyek)

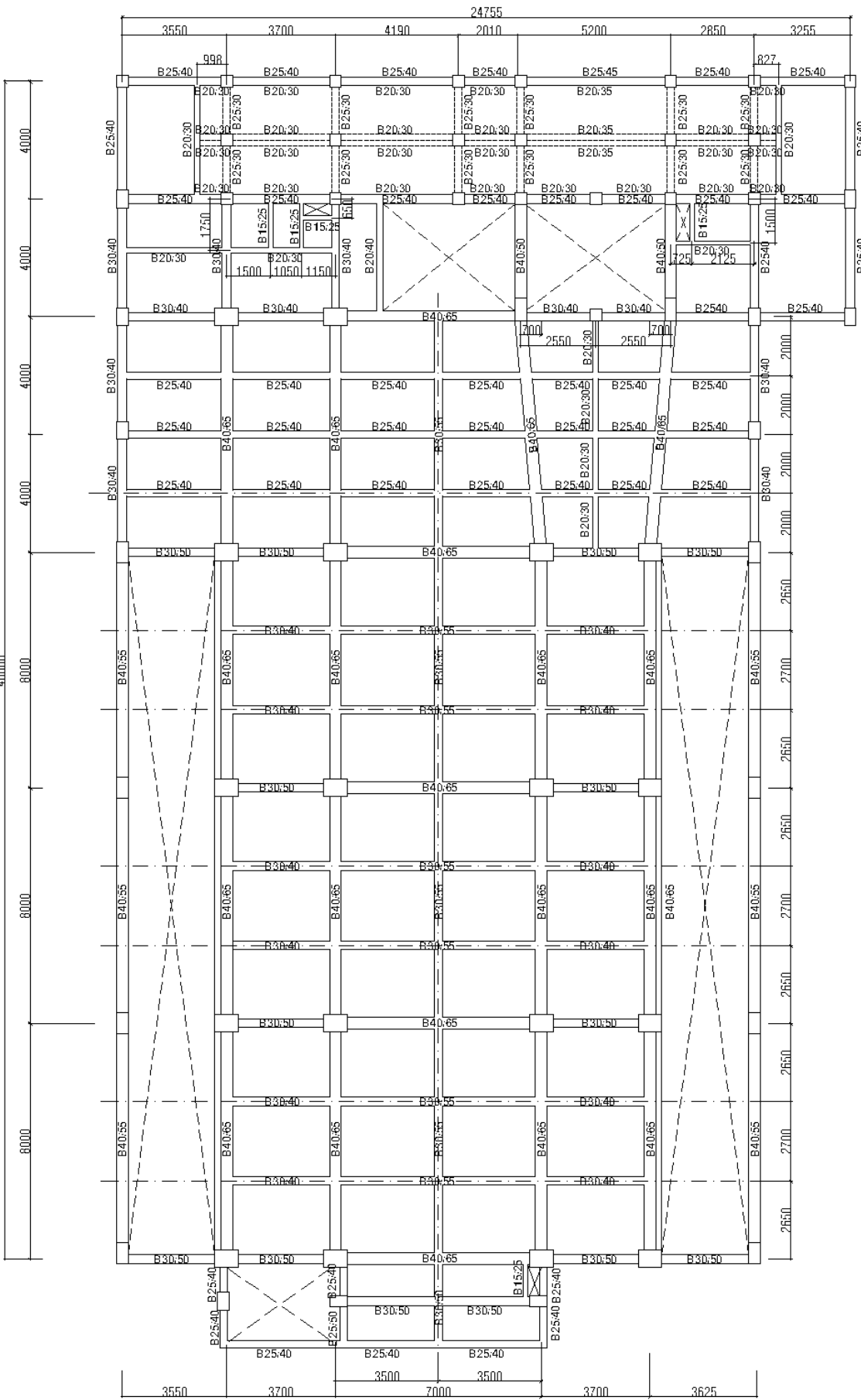
Index	Dimensi Kolom (cm)
K1	40x40
K2	40x60
K3	40x70
K4	40x80
K5	60x70
K6	60x80



### 3.2.3 Denah Balok

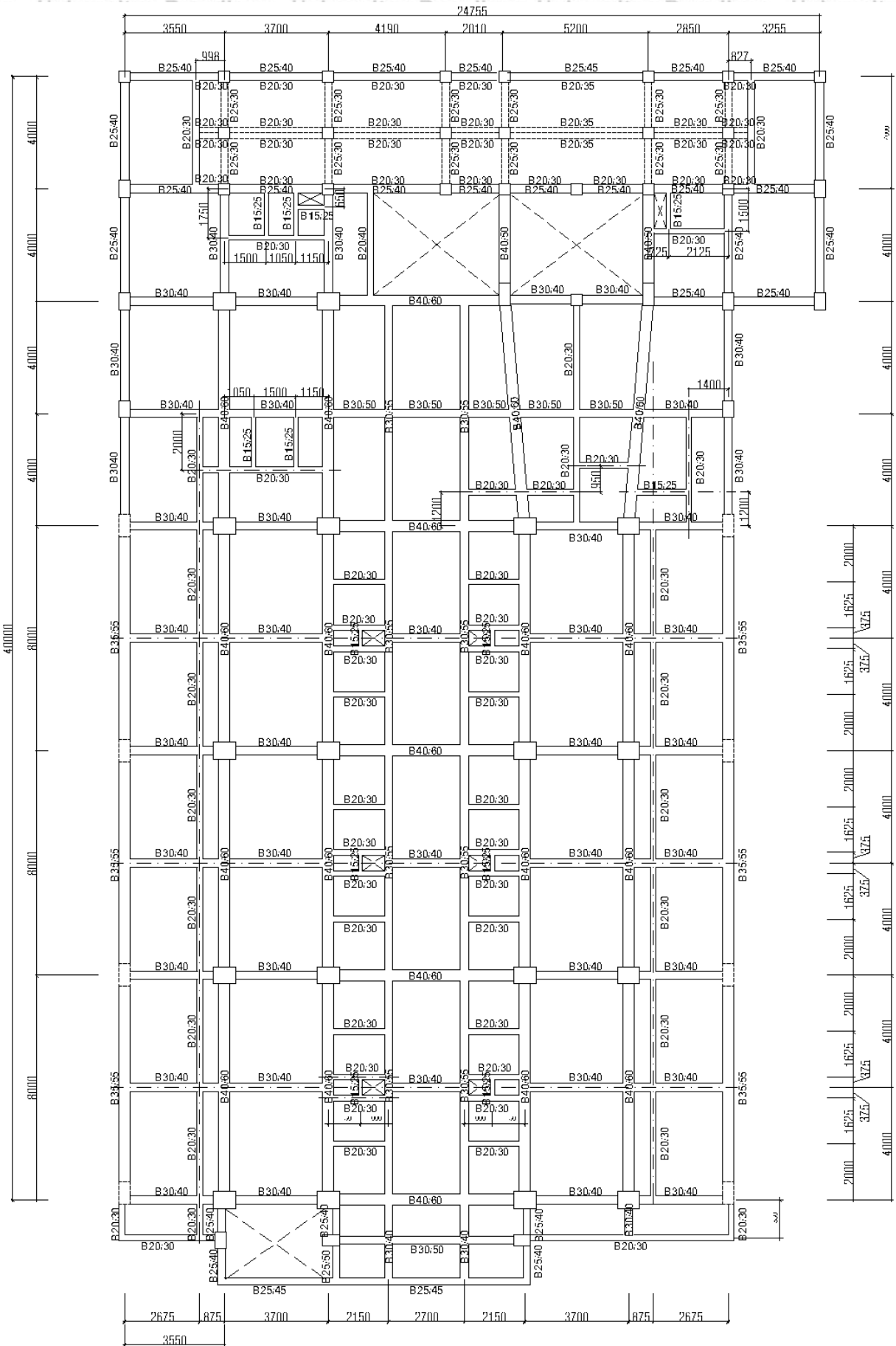


Gambar 3.12 : Denah balok lantai 1 (DED proyek)

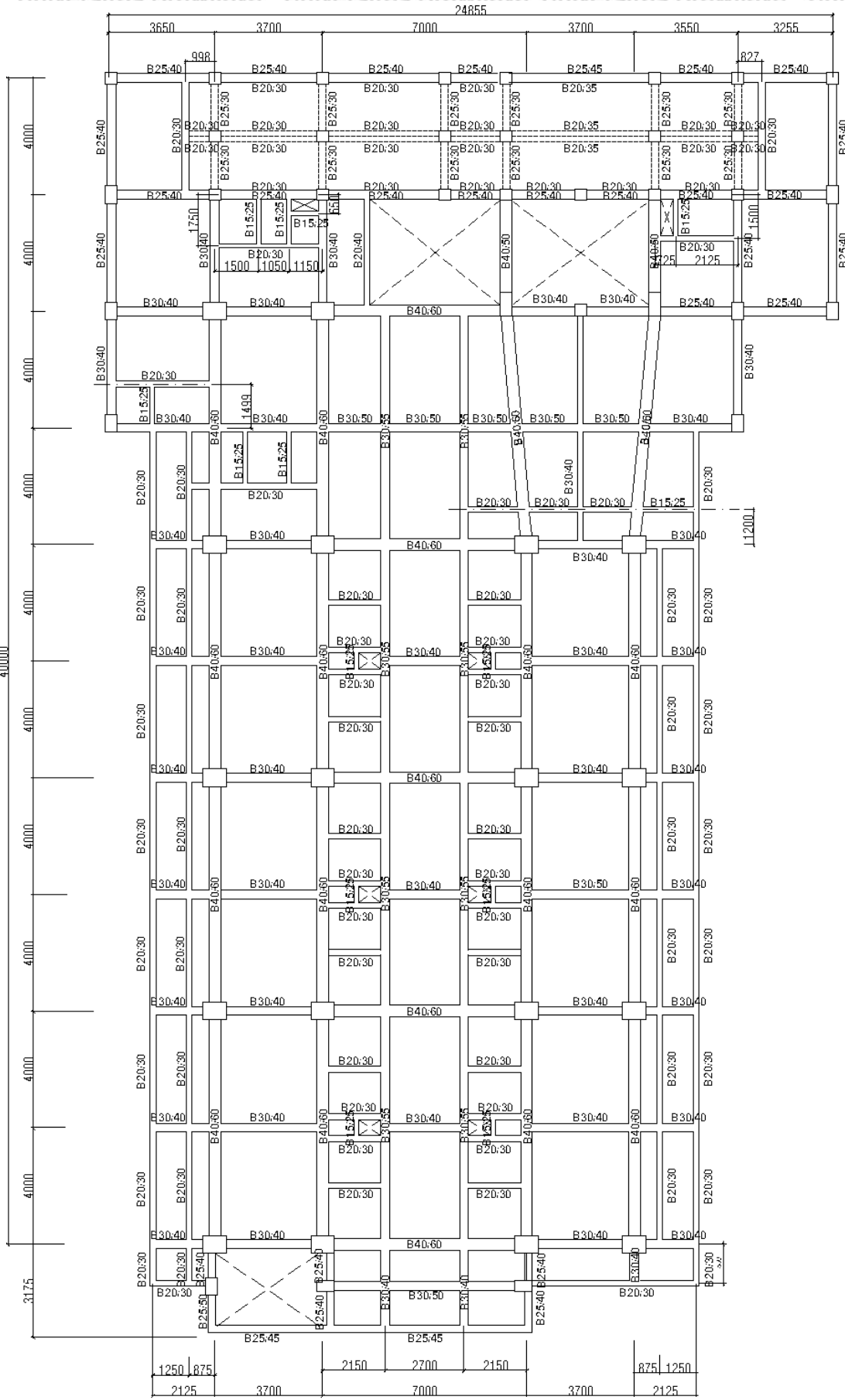


Gambar 3.13 : Denah balok lantai 2 (DED proyek)



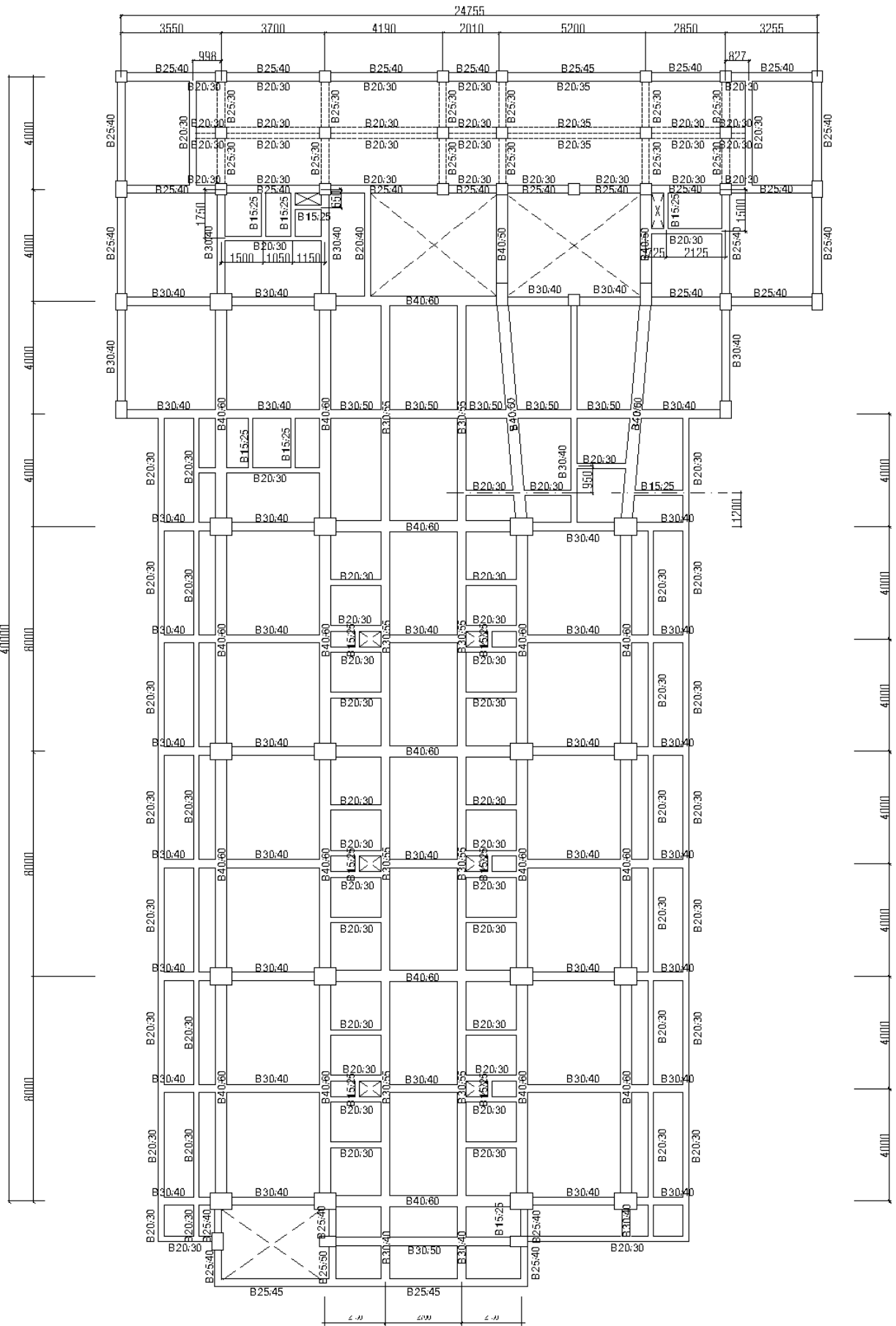


Gambar 3.14 : Denah balok lantai 3 (DED proyek)

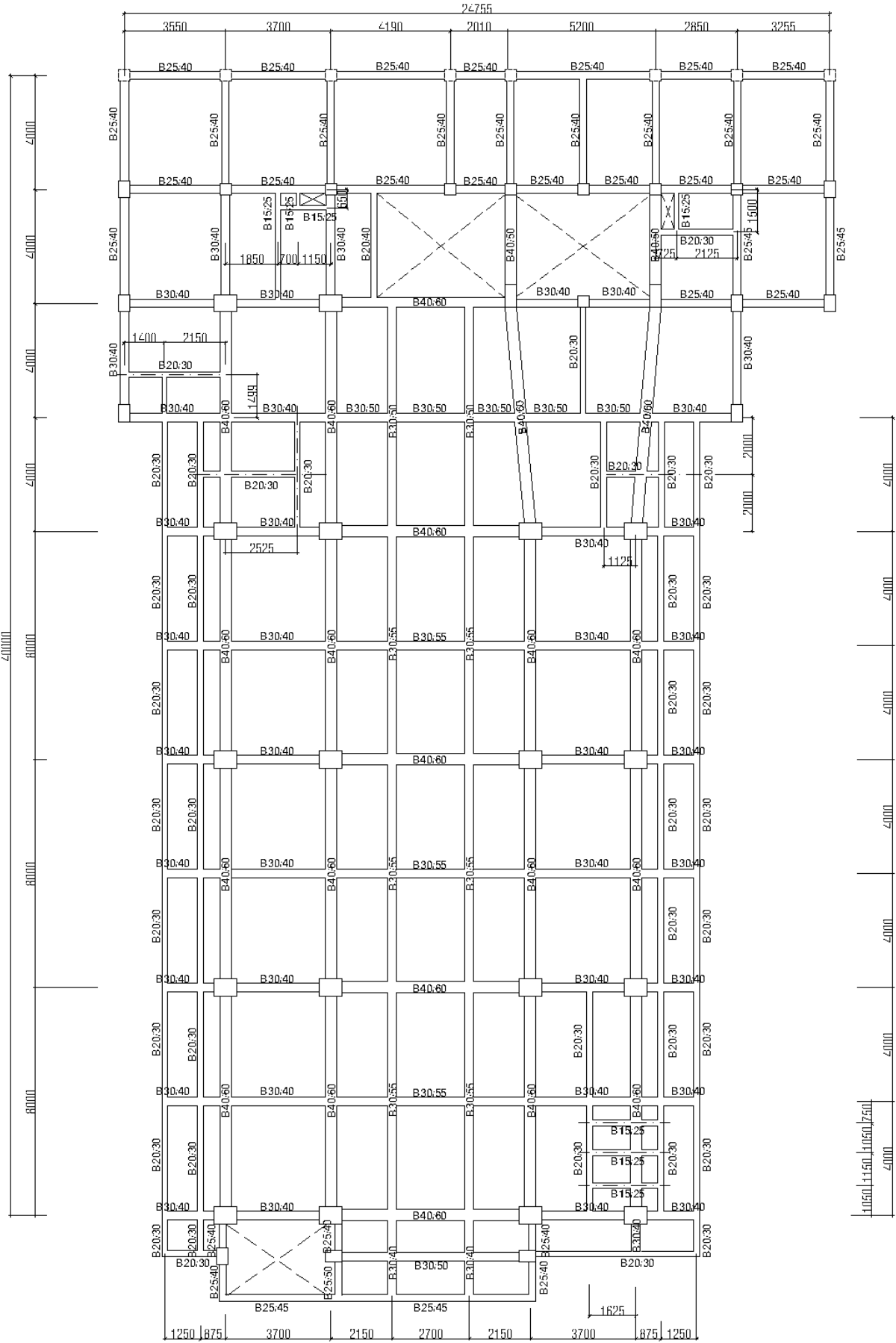


Gambar 3.15 : Denah balok lantai 4 (DED proyek)





Gambar 3.16 : Denah balok lantai 5 (DED proyek)



Gambar 3.17 : Denah balok lantai 6 (DED proyek)

**Tabel 3.3** : Dimensi balok (DED proyek)

Index	Dimensi Balok (cm)	Index	Dimensi Balok (cm)
B1	15x25	B7	25x50
B2	20x30	B8	30x40
B3	20x35	B9	30x50
B4	20x40	B10	30x55
B5	25x40	B11	40x60
B6	25x45	B12	40x65

### 3.2.4 Kriteria Desain Gedung

Tujuan utama pada proyek pembangunan ini ditujukan sebagai Gedung Rumah Sakit, dimana harus didesain dengan ketahanan gempa yang tinggi. Maka dari itu desain *performance level* pada gedung ini digunakan *Immidiate Occupancy*. Dimana struktur harus mampu menahan beban gempa yang besar, karena rumah sakit merupakan bangunan penting sebagai sarana penyelamat saat terjadi suatu bencana. Digunakan sistem perkuatan dinding geser agar dapat menambah kekuatan dan stabilitas dari gedung rumah sakit, dan memenuhi syarat kinerja Gedung *Immidiate Occupancy*.

## 3.3 Pembebanan Struktur

Desain pembebanan struktur mengacu pada SNI 1727:2013 “Pedoman Pembebanan Minimum untuk Perancangan Bangunan Rumah dan Gedung” dan ASCE 7-10 *Minimum Design Load for Building and Other Structure* untuk beban mati, beban hidup, dan beban mati tambahan. Respon gempa mengacu pada SNI 1726:2019 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung”.

### 3.3.1 Beban Mati

Beban mati merupakan berat sendiri elemen struktur dengan massa jenis dari beton bertulang sebesar  $2400 \text{ kg/m}^3$ . Beban mati dapat dicontohkan seperti kolom, balok, dan pelat. Selain itu juga ada beban mati tambahan yang merupakan elemen non-struktur pada sebuah bangunan. Berikut ini contoh beban mati tambahan, terlihat pada **Tabel 3.4**.

**Tabel 3.4** : Komponen beban mati tambahan

Komponen Pembebanan	Nilai Satuan
Lantai Keramik + Spesi	113 kg/m <sup>2</sup>
Ducting	20 kg/m <sup>2</sup>
Mekanikal dan Elektrikal	10 kg/m <sup>2</sup>
Plafon Langit-Langit	10 kg/m <sup>2</sup>
Lapisan waterproofing	5 kg/m <sup>2</sup>
Berat Penutup Atap	50 kg/m <sup>2</sup>
Dinding Bata Ringan	80 kg/m <sup>2</sup>
Dinding Partisi Gypsum	30 kg/m <sup>2</sup>

### 3.3.2 Beban Hidup

Berikut adalah nilai beban hidup yang digunakan dalam perencanaan mengacu pada SNI 1727:2013.

**Tabel 3.5** : Komponen beban hidup, (SNI 1727:2013)

Beban Hidup	Nilai
Ruang Operasi, Laboratorium	2,87 kN/m <sup>2</sup>
Ruang Pasien	1,92 kN/m <sup>2</sup>
Tempat Parkir	1,92 kN/m <sup>3</sup>
Ruang Rapat/Pertemuan	4,79 kN/m <sup>2</sup>
Koridor	3,83 kN/m <sup>2</sup>

### 3.3.3 Kombinasi Beban

Pada SNI 1727:2013, gaya gempa lateral terjadi secara dua arah. Berikut ini merupakan macam – macam kombinasi pembebanan.

**Tabel 3.6** : Komponen beban hidup, (SNI 1727:2013)

No.	Kombinasi Pembebanan
1	1,4D
2	1,2D + 1,6L
3	1,2D + 0,5L + 0,096EQV + 1,0EQY + 0,3EQX
4	1,2D + 0,5L + 0,096EQV + 1,0EQX + 0,3EQY
5	1,2D + 0,5L + 0,096EQV - 1,0EQY + 0,3EQX
6	1,2D + 0,5L + 0,096EQV - 1,0EQX + 0,3EQY
7	0,9D - 0,096EQV + 1,0EQY + 0,3EQX
8	0,9D - 0,096EQV + 1,0EQX + 0,3EQY
9	0,9D - 0,096EQV - 1,0EQY + 0,3EQX
10	0,9D - 0,096EQV - 1,0EQX + 0,3EQY

### 3.4 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 didapati hasil sebagai berikut.

#### 3.4.1 Data Umum Struktur

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

**Tabel 3.7** : Kategori resiko bangunan (SNI 1736-2019)

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"> <li>- Bangunan-bangunan monumental</li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- 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</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Tabel 3.8 : Faktor keutamaan gempa (SNI 1736-2019)

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

Tabel 3.9 : Faktor R, Cd,  $\Omega$  untuk sistem penahan gaya gempa (SNI 1736-2019)

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup>				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D <sup>e</sup>	E <sup>e</sup>	F <sup>f</sup>
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	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
<b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>								
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 <sup>g</sup>	TI <sup>g</sup>	TI <sup>g</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>h</sup>	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

### 3.4.2 Parameter Respon Spektrum Gempa Maksimum

- Menentukan  $S_s$  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	SBC - Batuan	$T_0$ (detik)	$T_s$ (detik)	$S_{ds}(g)$	$S_{d1}(g)$
		0.08	0.42	0.48	0.20
Rentang $T$ (s)	Value: 6				
PGA MCEG	0.3661 (g) bedrock				
$S_s$ MCEr	0.8053 (g) bedrock				
$S_1$ MCEr	0.3701 (g) bedrock				
TL	20 Detik				

Save

**Gambar 3.18 :** Hasil data untuk lokasi Gedung Rumah Sakit

Bhayangkara. Sumber : [RSA \(pu.go.id\)](http://RSA(pu.go.id))

Didapatkan data sebagai berikut :

- $S_s = 0,8054$
  - $S_1 = 0,3701$
- Penetapan faktor amplifikasi getaran periode pendek (0,2 detik dan 1 detik). Setelah menentukan nilai  $S_s$  dan  $S_1$ , maka faktor amplifikasi gempa ( $F_a$  dan  $F_y$ ) 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  $F_y$

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	$SS^{(a)}$					

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

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

3. Menghitung respon spektrum percepatan periode pendek ( $S_{ms}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{m1}$ ).

- $S_{ms} = F_a \times S_s = 0,9 \times 0,8054 = 0,72486$
- $S_{m1} = F_y \times S_1 = 0,8 \times 0,3701 = 0,29608$

4. Menghitung parameter percepatan spektral 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  $T_s$ )

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

### 3.4.3 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 respon percepatan desain ( $S_a$ ), harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.1)$$

2. Untuk periode lebih besar dari/atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari/atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain ( $S_a$ ),  $S_a = S_{DS}$ .

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

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.2)$$

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

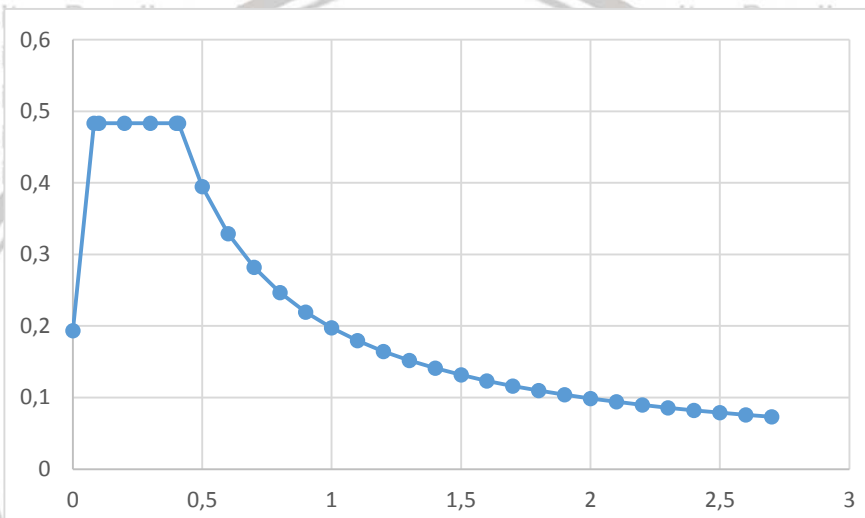
$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (3.3)$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh grafik spektrum desain yang selanjutnya digunakan dalam analisis ditampilkan pada **Gambar 3.19**:



**Tabel 3.12** : Hasil perhitungan koefisien situs  $F_x$

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 3.19** : Hasil kurva respon spektrum desain elastik (redaman 5%)

### 3.5 Menghitung Gaya Geser Dasar dengan Metode DDBD

Pada dasarnya metode DDBD merupakan struktur yang tidak didesain dengan karakteristik awal yaitu elastik, melainkan struktur didesain menggunakan karakteristik inelastik pada tingkat kinerja. Berikut ini merupakan langkah – langkah untuk menghitung gaya geser dasar dengan metode DDBD :

#### 1. Desain Perpindahan Tingkat

Ditentukan berdasarkan inelastik *mode shape* berdasarkan jumlah lantai dan tinggi masing – masing lantai. Simpangan desain struktur dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\delta_i = \frac{H_i}{H_n} \quad \rightarrow \text{Untuk } n \leq 4 \quad (3.4)$$



$$\delta_i = \frac{4}{3} \times \frac{H_i}{H_n} \times \left[ 1 - \frac{H_i}{H_n} \right] \rightarrow \text{Untuk } n \geq 4 \quad (3.5)$$

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

$$\Delta_i = \theta \times H_1 \rightarrow \text{Untuk lantai pertama (i = 1)} \quad (3.6)$$

$$\Delta_i = \delta_i \times \frac{\Delta_1}{\delta_1} \rightarrow \text{Untuk lantai - lantai berikutnya (i > 1)} \quad (3.7)$$

Dengan  $\theta$  sebagai simpangan desain pada tingkat kinerja

## 2. Desain Perpindahan SDOF

Desain perpindahan *Multiple Degree of Freedom* (MDOF) dikonversi menjadi sistem *Single Degree of Freedom* (SDOF). Dengan persamaan :

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad (3.8)$$

Keterangan :

$\Delta_d$  = Perpindahan maksimum desain SDOF (m)

$m_i$  = Massa pada titik ke-i (ton)

$\Delta_i$  = Perpindahan pada lantai ke-i (m)

## 3. Massa Efektif

Dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$M_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} \quad \text{Dimana : } M_e = \text{massa efektif (ton/m)} \quad (3.9)$$

## 4. Tinggi Efektif

Dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i \cdot h_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \quad \text{Dimana : } H_e = \text{tinggi efektif struktur (m)} \quad (3.10)$$

## 5. Desain Daktilitas Perpindahan (*Displacement Ductility*)

Ditentukan dengan karakteristik perpindahan saat leleh, yaitu dituliskan pada persamaan :

$$\mu = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} \quad \text{Dimana : } \mu = \text{daktilitas perpindahan, } \Delta_y = \text{perpindahan leleh} \quad (3.11)$$

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

$$\Delta_y = \theta_y H_e \quad \text{Dimana : } \theta_y = \text{simpangan leleh (yield drift) pada frame} \quad (3.12)$$

Simpangan leleh untuk rangka tingkat ke-i dipengaruhi oleh karakteristik geometri bangunan dan kekuatan elemen itu sendiri. Kekuatan elemen itu sendiri dipengaruhi oleh nilai regangan material, panjang, dan tinggi efektif balok :

Rangka beton :  $\theta_y = 0,5 \varepsilon_y \frac{L_b}{h_b}$  (3.13)

Rangka baja :  $\theta_y = 0,65 \varepsilon_y \frac{L_b}{h_b}$  (3.14)

Dimana :

$L_b$  = panjang bentang bersih balok pada rangka (m)

$h_b$  = tinggi efektif balok pada rangka (m)

$\varepsilon_y$  = regangan material tulangan pada balok ( $f_{ye}/E$ )

$f_{ye}$  = *yeild strength* tulangan 1,1  $f_y$  (Mpa)

6. Redaman Viskositas Ekuivalen

Nilai redaman viskositas ekuivalen pada beton bertulang dan baja dapat dihitung dengan persamaan :

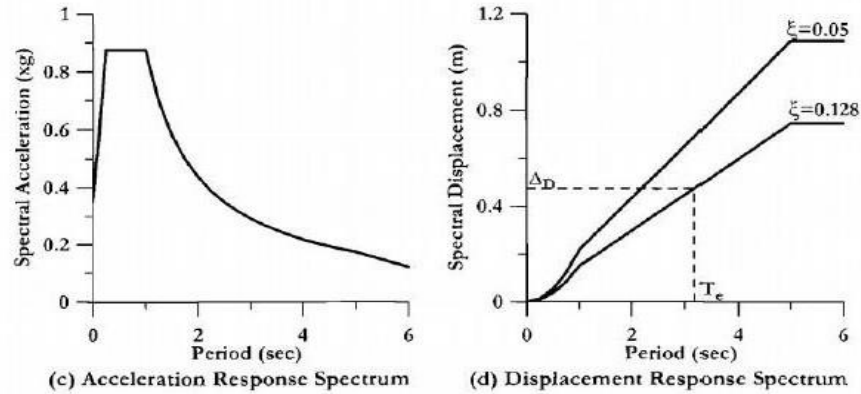
Rangka beton bertulang :  $\xi_F = 0,05 + 0,565 \left( \frac{\mu-1}{\mu.\pi} \right)$  (3.15)

Rangka baja :  $\xi_F = 0,05 + 0,577 \left( \frac{\mu-1}{\mu.\pi} \right)$  (3.16)

7. Periode Efektif

Periode efektif pada saat respon perpindahan limit dengan redaman inelastik dapat dicari nilainya dengan cara konversi respon spektrum desain ke grafik spektra perpindahan ( $S_d$ ) dan mengoreksi ke tingkat redaman viskositas ekuivalen ( $\xi_{eq}$ ). Pada grafik spektra ditarik nilai perpindahan rencana ( $\Delta_d$ ) sehingga nilai periode efektif sistem dapat diketahui.





**Gambar 3.20** : Respon spektrum desain dan perpindahan (Priestley et. Al, 2007)

Nilai spektrum perpindahan ( $S_d$ ) pada tingkat redaman viskositas ekuivalen harus dikalikan dengan faktor untuk tingkat redaman, dengan persamaan berikut:

$$S_d = \frac{T^2}{4\pi^2} S_a (g) \tag{3.17}$$

$$R_\xi = \left[ \frac{0,07}{0,02 + \xi} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{3.18}$$

Dimana :

$S_d$  = spectra displacaeement (m)

$S_a$  = spectra acceleration (g)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$R_\xi$  = faktor koreksi spektra perpindahan pada tingkat redaman

$T$  = periode getar fundamental (sec)

### 8. Kekakuan Efektif

Nilai kekakuan dapat dihitung dengan persamaan :

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} \tag{3.19}$$

Dimana :  $K_e$  = kekakuan efektif sistem (kN/m)

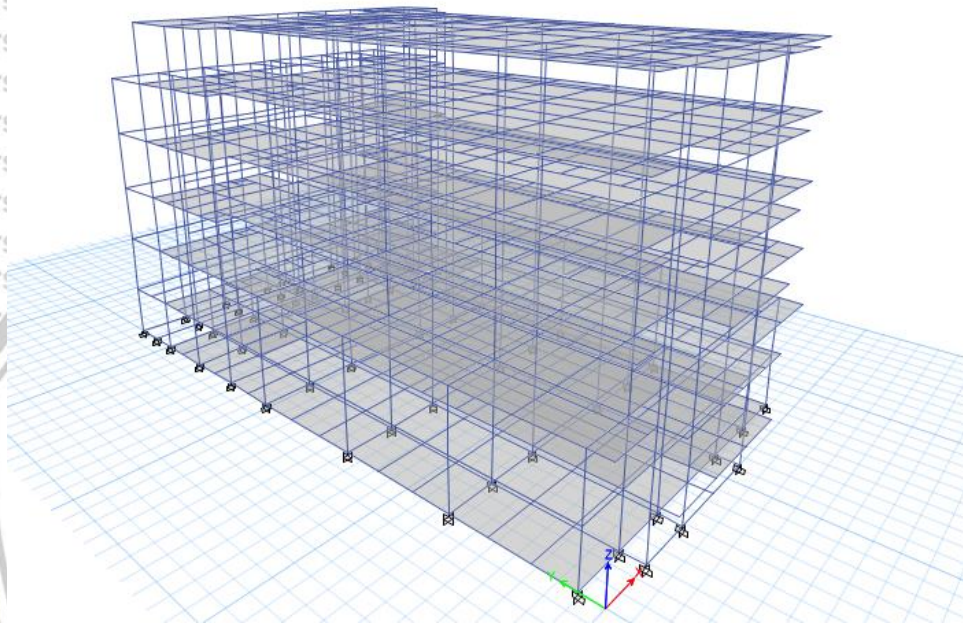
### 9. Gaya Geser Dasar

Nilai gaya geser dasar dan distribusi gaya tiap lantainya dapat dihitung dengan persamaan :

$$V_{Base} = K_e \Delta_d \tag{3.20} \quad F_i = Ft + 0,9V_{Base} \frac{(m_i \Delta_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} \tag{3.21}$$

### 3.6 Pemodelan Struktur Pada ETABS 2018

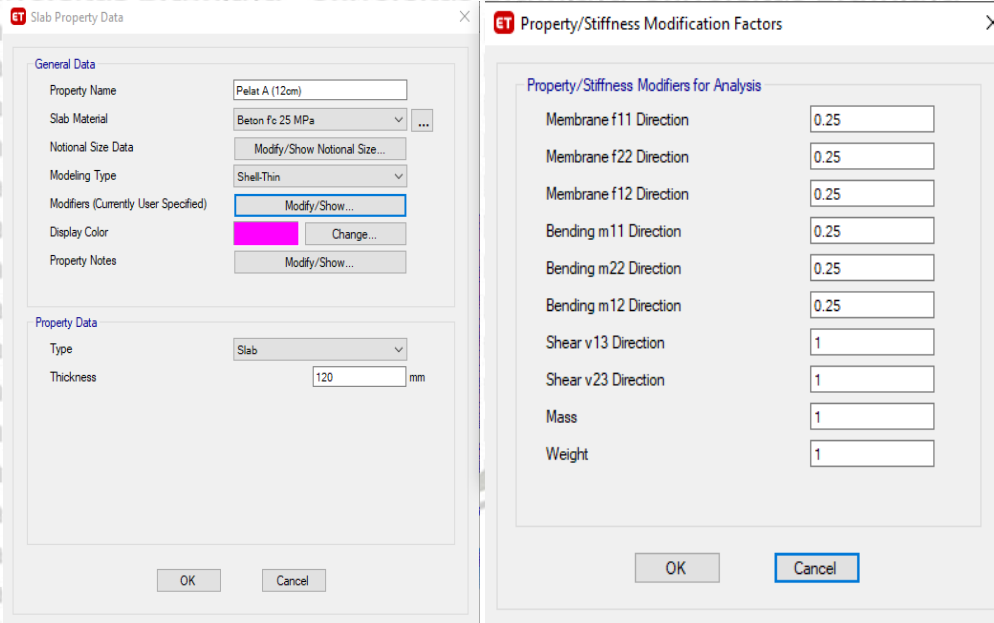
Pemodelan struktur pada penelitian ini menggunakan *software* ETABS 2018 V18.1.1 dengan keadaan tiga dimensi untuk mengetahui perilaku struktur. Elemen struktur seperti kolom, balok, dan pelat dimodelkan sesuai dengan mutu dan spesifikasi yang sudah tertera. Untuk elemen non-struktural seperti plafon, dinding mekanikal dan lainnya tidak akan dimodelkan dalam program, tetapi hanya akan menjadi beban untuk struktur utama (beban mati tambahan). Untuk pondasi, dimodelkan dengan tumpuan jepit. Pemodelan untuk elemen tersebut ada pada **Gambar 3.14**.



**Gambar 3.21** : Pemodelan gedung menggunakan ETABS

#### 3.6.1 Pemodelan Pelat Lantai

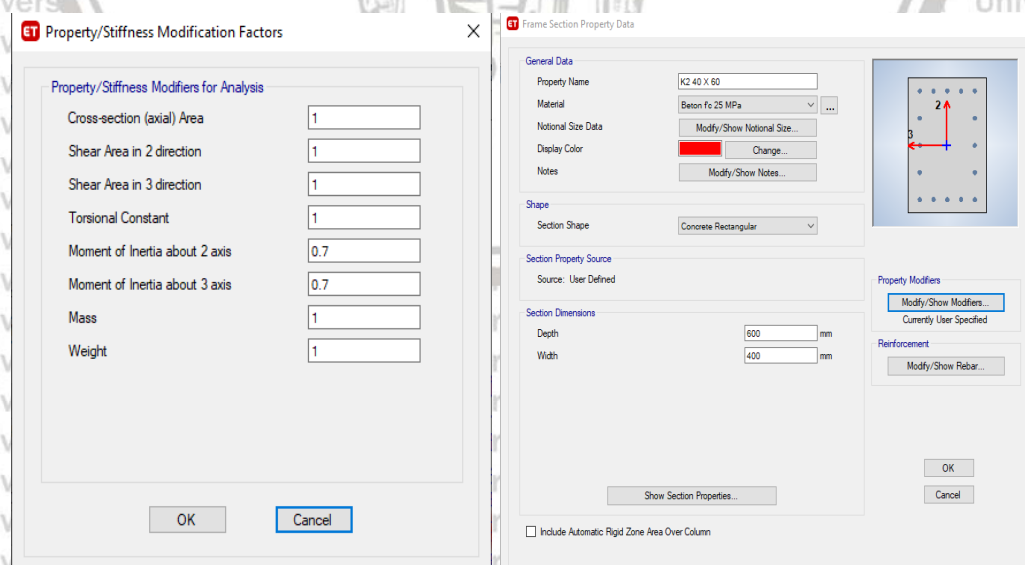
Pelat lantai pada kajian ini dibuat dengan data material 25 Mpa beton dan tipe model *shell-thin*, ketebalan pelat lantai sebesar 12 cm dan 15 cm dengan tipe *property* data yaitu *slab*. *Stiffness modifier* dibuat 0,25 untuk *bending* dan *membrane*. Pada program lantai didesain dengan *rigid*. Dapat dilihat pada **Gambar 3.15** untuk data yang dimasukkan.



Gambar 3.22 : Define data pelat pada ETABS

### 3.6.2 Pemodelan Kolom

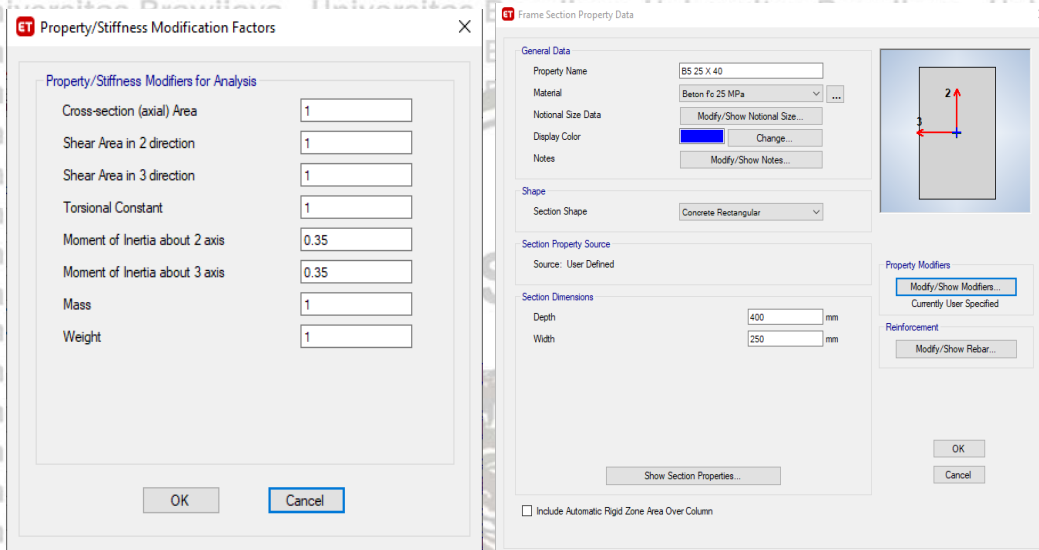
Kolom dibuat dengan data material beton 25 MPa untuk momen inersia axis 2 dan 3 (arah sumbu x dan arah sumbu y) dibuat dengan nilai 0,7. Torsi, massa, berat dibuat dengan faktor modifikasi 1. Untuk ukuran dimensi disesuaikan dengan masing-masing tipe. Untuk mutu baja tulangan yang digunakan yaitu 390 MPa (ulir) dan 240 MPa (polos). Pada program kolom didesain dengan *rigid*. Dapat dilihat pada Gambar 3.16 untuk data yang dimasukkan.



Gambar 3.23 : Define data kolom pada ETABS

### 3.6.3 Pemodelan Balok

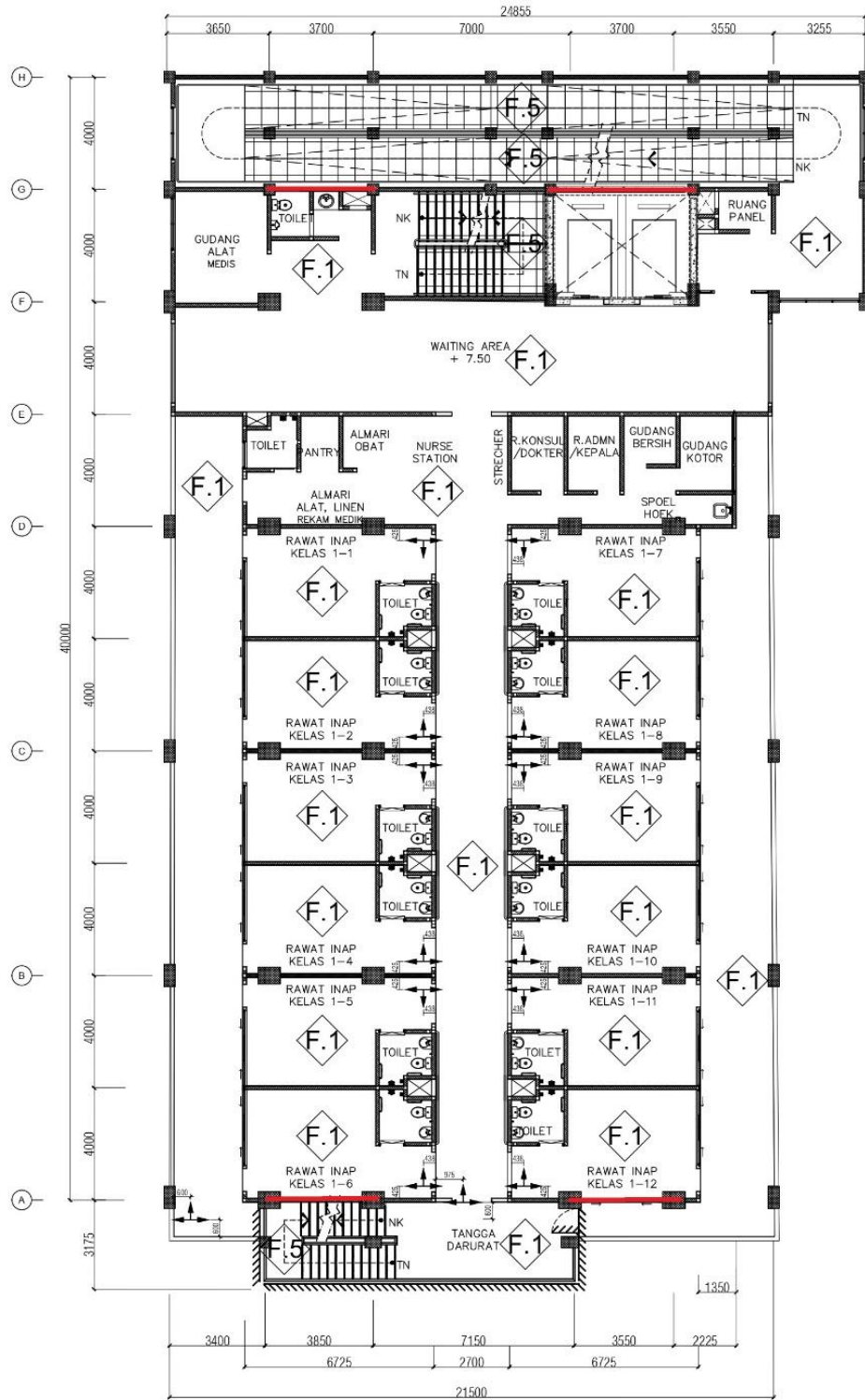
Balok dibuat dengan data material 25 MPa. Momen inersia axis 2 dan 3 (arah sumbu x dan arah sumbu y) dibuat dengan nilai 0,35. Torsi, massa, berat dibuat dengan faktor modifikasi 1. Untuk ukuran dimensi disesuaikan dengan masing-masing tipe. Untuk mutu baja tulangan yang digunakan yaitu 390 MPa (ulir) dan 240 MPa (polos). Pada program kolom didesain dengan *rigid*. Dapat dilihat pada **Gambar 3.17** untuk data yang dimasukkan.



**Gambar 3.24** : Define data balok pada ETABS

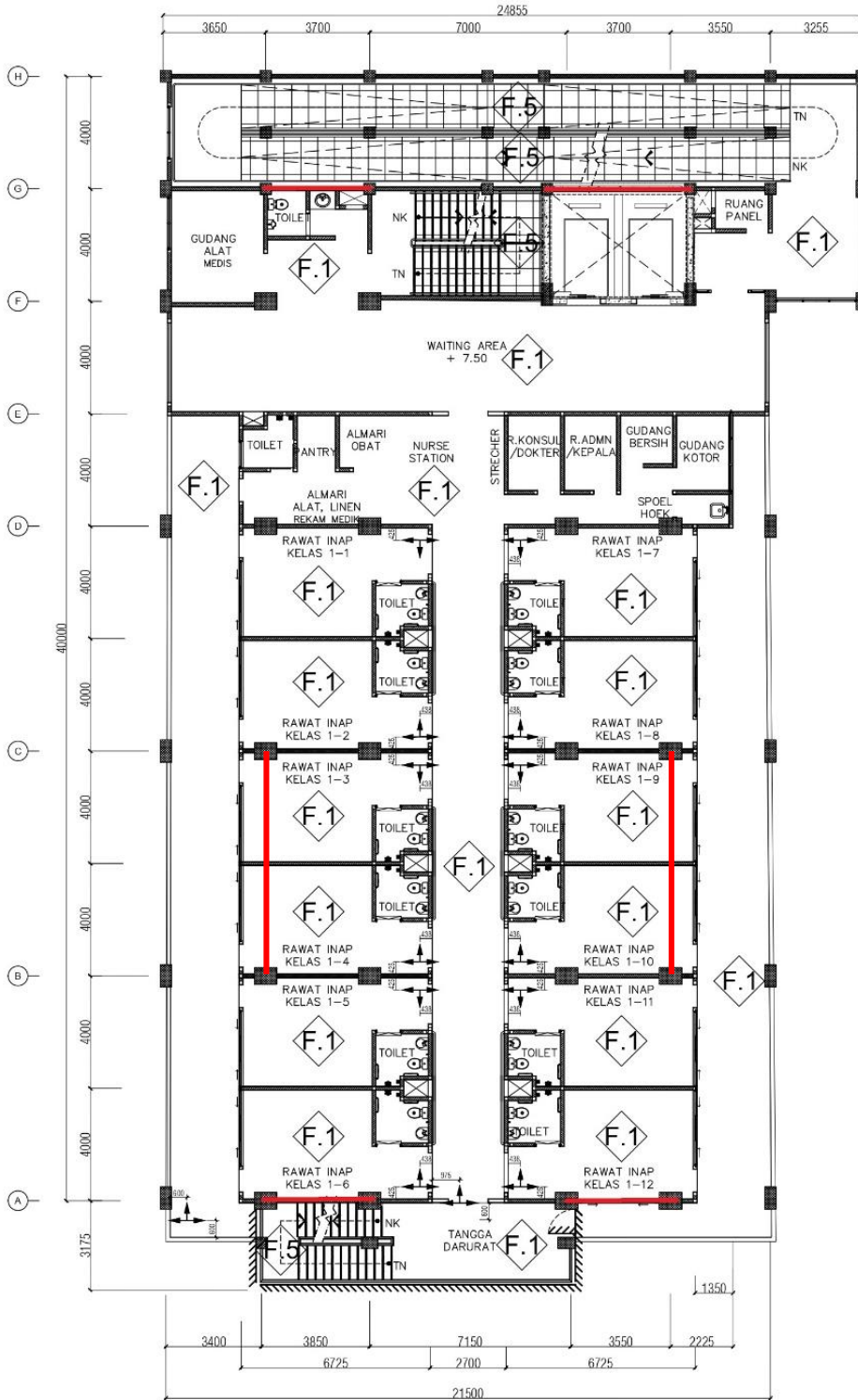
### 3.7 Konfigurasi Dinding Geser

Terdapat beberapa alternatif untuk perletakan dinding geser pada Gedung Rumah Sakit Bhayangkara ini. Dalam menentukan perletakannya harus memperhatikan beberapa aspek, terutama titik dimana terdapat *displacement* (perpindahan) paling besar. Untuk alternatif perletakannya dapat dilihat sebagai berikut:

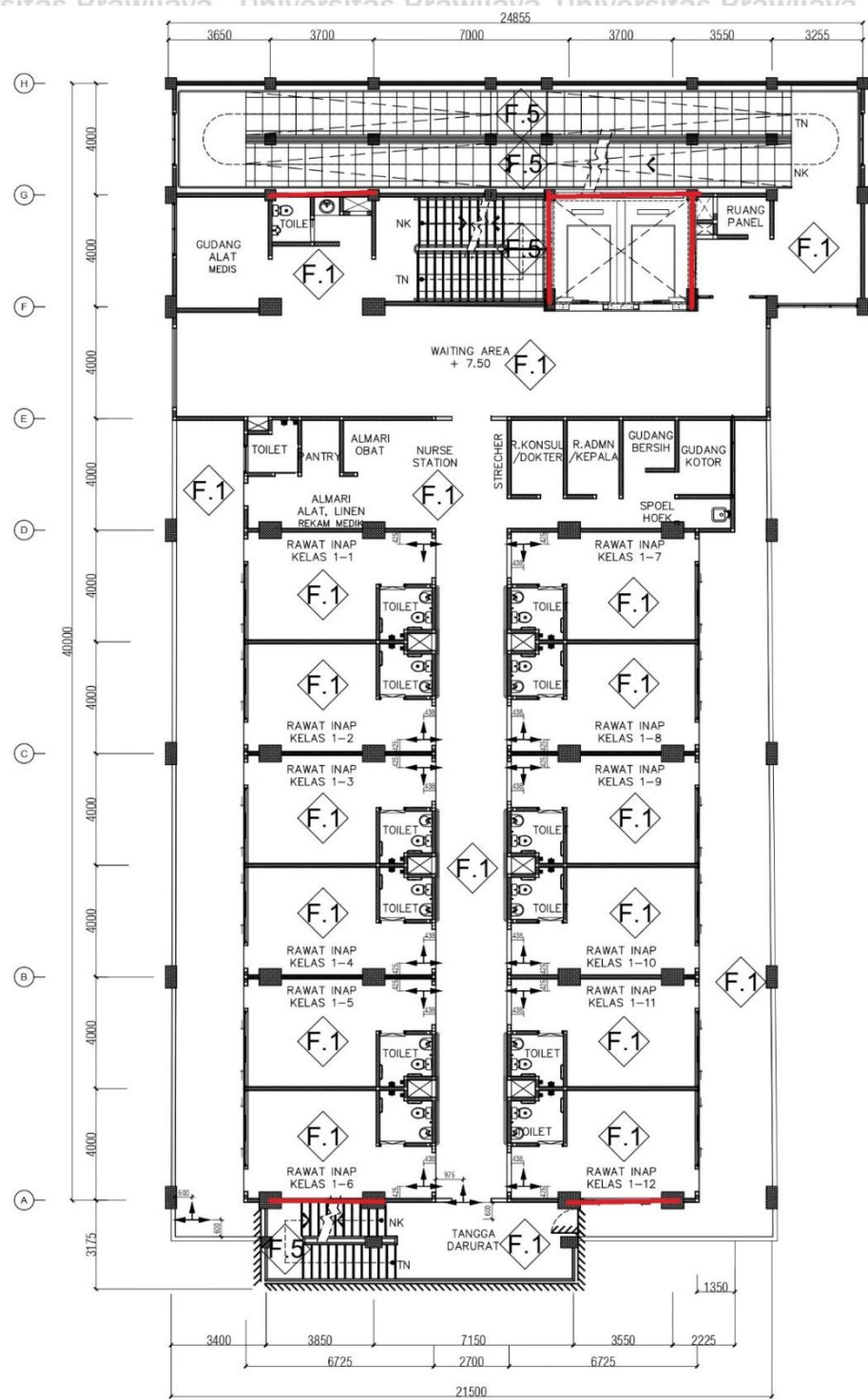


Gambar 3.25 : Tipe 1 perletakan dinding geser



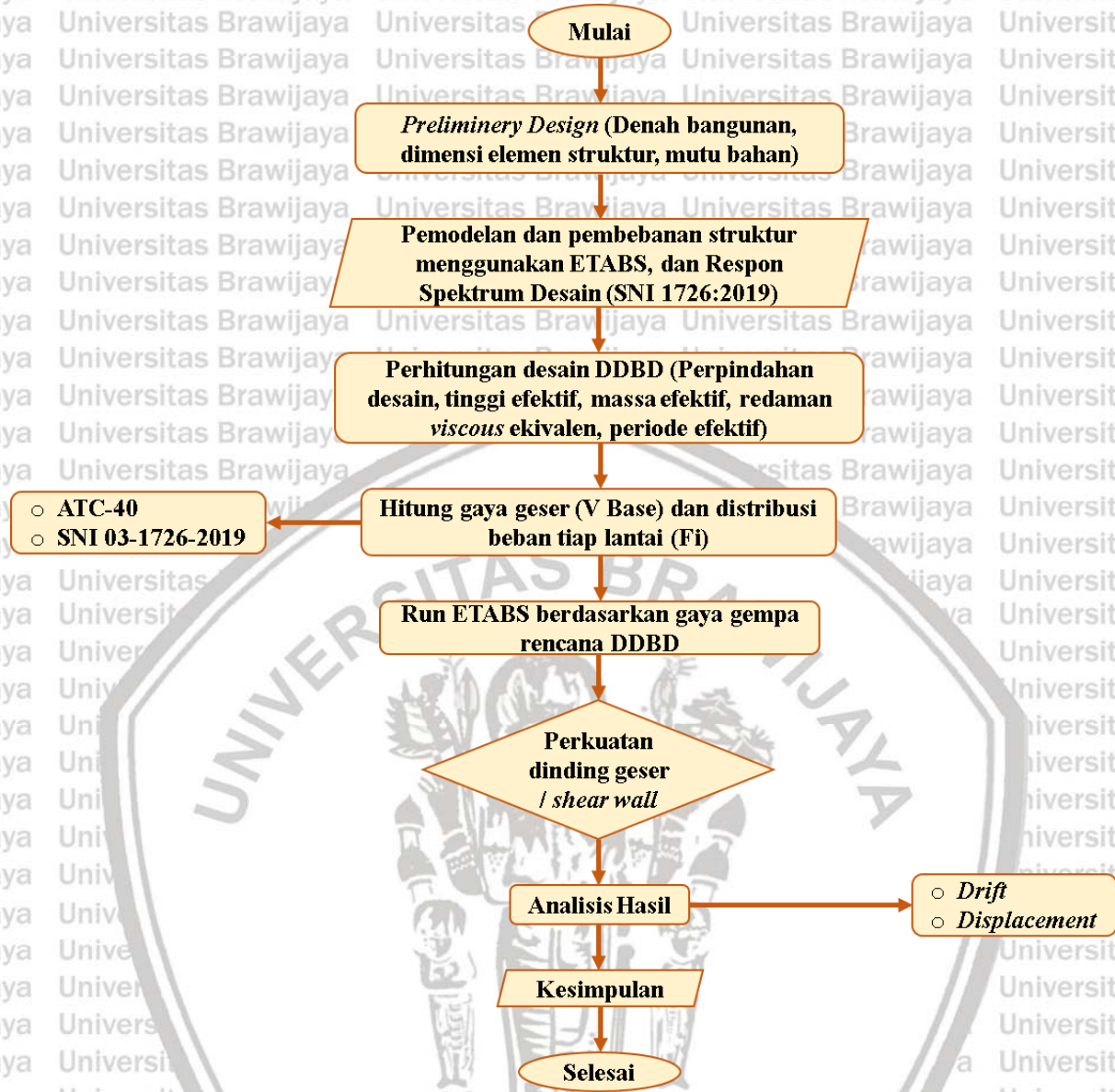


Gambar 3.26 : Tipe 2 perletakan dinding geser



Gambar 3.27 : Tipe 3 perletakan dinding geser

3.8 Diagram Alir



Gambar 3.28 : Diagram alir

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Berat Seismik Efektif

Dalam menghitung berat seismik efektif digunakan kombinasi pembebanan dengan 1,0D dan 0,5L. Dalam artian (D) adalah beban mati yang terdiri dari beban mati sendiri struktur dan beban mati tambahan. Sedangkan (L) adalah beban hidup. Dalam Gedung ini diperoleh kombinasi seperti pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4.1 : Berat Seismik Efektif (Kombinasi Beban)**

Level	DL (kN)	LL (kN)	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	8578,5214	7172,18	12164,61	1216,46
2	7649,86	4849,78	10074,76	1007,48
1	0	0	0	0

### 4.2 Desain Gaya Geser Dasar dengan Metode DBBD

Gaya geser dasar merupakan suatu gaya yang bekerja pada lantai dasar bangunan diakibatkan oleh berat seismik efektif. Data – data yang diperlukan diambil dari gambar DED (*Detailed Engineering Design*) pada gedung asli tanpa perkuatan (*Original Design*). Dalam penambahan perkuatan dinding geser ini, gedung direncanakan memiliki tingkat kinerja *Life Safety*. Dengan simpangan rencana menurut ATC (*Applied Technology Council*) –40 yaitu sebesar 0,02.

#### 4.2.1 Desain Perpindahan Tingkat

Dikarenakan jumlah lantai pada bangunan ini lebih dari 4 lantai, maka digunakan persamaan simpangan (3.5) sebagai berikut:

$$\delta_i = \frac{4}{3} \times \frac{H_i}{H_n} \times \left[ 1 - \frac{H_i}{H_n} \right]$$



Keterangan :

$\delta_i$  = Mode shape inelastic (lantai i)

$H_i$  = Tinggi lantai i (m)

$H_n$  = Tinggi lantai total (m)

Desain perpindahan rencana dihitung dengan persamaan (3.6) dan (3.7) seperti :

$$\Delta_i = \theta \times H_1 \quad \rightarrow \text{Untuk lantai pertama (i = 1)}$$

$$\Delta_i = \delta_i \times \frac{\Delta_1}{\delta_1} \quad \rightarrow \text{Untuk lantai - lantai berikutnya (i \geq 1)}$$

Dengan  $\theta$  sebagai simpangan desain pada tingkat kinerja yaitu immediate occupancy ( $\theta = 0,02$ ). Nilai dari  $\Delta_i$  dikalikan dengan faktor koreksi, sehingga persamaanya seperti berikut ini:

$$\begin{aligned} \omega_\theta &= 1,15 - 0,0034.H_n \\ &= 1,15 - (0,0034 \times 23,5) = 1,0701 > 1 \text{ (tidak mempengaruhi kombinasi)} \end{aligned}$$

**Tabel 4.2 : Desain Perpindahan Tingkat**

level	$H_i$ (m)	Mass $m_i$ (ton)	$\delta_i$	$\omega\theta$	$\Delta_i$ (m)	$m_i \cdot \Delta_i$	$m_i \cdot \Delta_i^2$	$m_i \cdot \Delta_i \cdot H_i$
Atap	23,5	282,273	1,0	1,07	0,366	103,350	37,840	2428,713
6	19,5	1091,550	0,877	1,07	0,321	350,442	112,509	6833,615
5	15,5	1125,710	0,734	1,07	0,269	302,698	81,394	4691,815
4	11,5	1125,710	0,573	1,07	0,210	236,026	49,487	2714,297
3	7,5	1216,461	0,392	1,07	0,143	174,404	25,004	1308,032
2	3,5	1007,476	0,191	1,07	0,070	70,523	4,937	246,832
1	0	0	0	1,07	0	0	0	0
Jumlah		5849,179				1237,442	311,171	18223,303

#### 4.2.2 Desain Perpindahan SDOF

Didapatkan desain perpindahan MDOF yang dikonversi menjadi sistem SDOF, yaitu dengan persamaan (3.8) sebagai berikut :

$$\Delta_d = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} = \frac{311,171}{1237,442} = 0,2515 \text{ m}$$



#### 4.2.3 Massa Efektif

Didapat massa efektif yang dihitung dengan persamaan (3.9) berikut ini:

$$M_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}{\Delta_d} = \frac{1237,442}{0,2515} = 4920,97 \text{ ton}$$

#### 4.2.4 Tinggi Efektif

Didapat tinggi efektif yang dihitung dengan persamaan (3.10) berikut ini:

$$H_e = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i h_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)} = \frac{18223,303}{1237,442} = 14,7266 \text{ m}$$

#### 4.2.5 Redaman Viskositas Ekuivalen

Simpangan leleh untuk rangka tingkat ke-i dipengaruhi oleh karakteristik geometri bangunan dan kekuatan elemen itu sendiri. Simpangan leleh pada arah x-x dan y-y dihitung dengan persamaan (3.13) dibawah ini:

$$\theta_y = 0,5 \varepsilon_y \frac{L_b}{h_b}$$

**Tabel 4.3 :** Simpangan leleh rangka arah x-x (melintang)

Elemen	Lb	Hb	M	(n)	$\theta_y$	$\Sigma M * \theta_y$	$\Sigma M$
Balok B5(25/40)	3,55	0,4	1	1	0,0095	0,0095	1
	3,7	0,4	1	1	0,0099	0,0099	1
	4,19	0,4	1	1	0,0112	0,0112	1
	2,01	0,4	1	1	0,0054	0,0054	1
	5,2	0,4	1	1	0,0139	0,0139	1
	2,85	0,4	1	1	0,0076	0,0076	1
	3,25	0,4	1	1	0,0087	0,0087	1
Jumlah						0,0664	7

**Tabel 4.4 :** Simpangan leleh rangka arah y-y (memanjang)

Elemen	Lb	Hb	M	(n)	$\theta_y$	$\Sigma M * \theta_y$	$\Sigma M$
Balok B9(30/55)	8	0,55	1	3	0,0156	0,0468	3
Balok B5(25/40)	4	0,4	1	2	0,0107	0,0215	2
Balok B3(30/40)	4	0,4	1	2	0,0107	0,0215	2
Balok B7(20/30)	1,438	0,3	1	1	0,0051	0,0051	1
Jumlah						0,0948	8

Nilai *yield displacement* dapat diketahui dari tabel diatas dengan menggunakan persamaan (3.12) :

$$\Delta_x = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \theta_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i)} \times He = \frac{0,0664}{7} \times 14,7164 = 0,1396$$

$$\Delta_y = \frac{\sum_{i=1}^n (m_i \theta_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i)} \times He = \frac{0,0948}{8} \times 14,7164 = 0,1746$$

Nilai *Displacement Ductility* juga dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (3.11) :

$$\mu_x = \frac{\Delta_d}{\Delta_x} = \frac{0,25121}{0,1395} = 1,8012 \text{ (Daktail Parsial)}$$

$$\mu_y = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} = \frac{0,25121}{0,1745} = 1,4403 \text{ (Daktail Parsial)}$$

Nilai redaman viskositas ekuivalen pada beton bertulang dapat diketahui dengan persamaan (3.15) :

$$\xi_{Fy} = 0,05 + 0,565 \left( \frac{\mu-1}{\mu.\pi} \right) = 0,13 \rightarrow 13\%$$

$$\xi_{Fx} = 0,05 + 0,565 \left( \frac{\mu-1}{\mu.\pi} \right) = 0,105 \rightarrow 10,5\%$$

#### 4.2.6 Periode Efektif

Periode efektif dihitung berdasarkan grafik *spectra displacement* ( $S_d$ ), lalu  $S_d$  dikonversikan menjadi *spectra acceleration* ( $S_a$ ) dengan menggunakan persamaan (3.17) berikut ini :

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

Digunakan faktor koreksi untuk redaman viskous ekivalen, dengan persamaan (3.18) berikut ini :

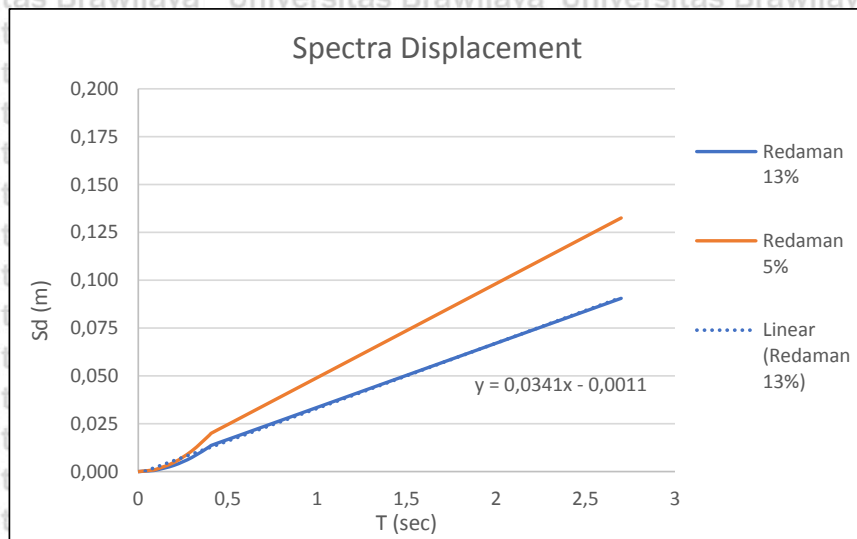
$$R_\xi = \left[ \frac{0,07}{0,02 + \xi} \right]^{1/2}$$

Perhitungan nilai periode efektif arah melintang dan memanjang dapat ditunjukkan pada tabel dan grafik berikut ini :

**Tabel 4.5** : Perhitungan Periode Efektif arah x-x (melintang)

T (Sec)	Sa (g)	Redaman 5% Sd (m)	Redaman 13 %		$\Delta d$ (m)
			$R_{\xi}$	Sd	
0	0,193	0	0,683	0	0,251
0,082	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
0,408	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





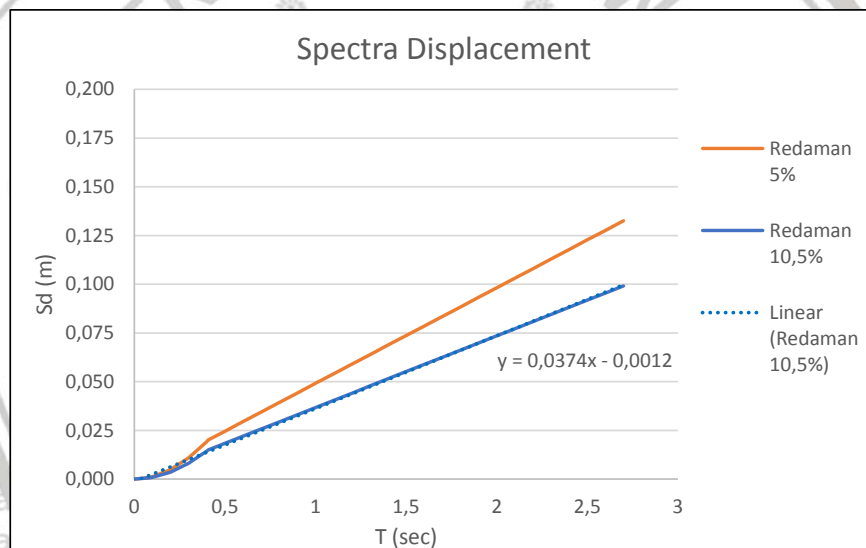
**Gambar 4.1** : Grafik Spectra Displacement arah x-x Redaman 13 %

Dari grafik Spectra Displacement diatas dapat diketahui nilai periode efektif ( $T_{ef}$ ), yaitu dengan cara substitusi persamaan  $y = 0,0341x - 0,0011$ , ( $y = \Delta_d$ ). Jadi nilai periode efektif ( $T_{ef}$ ) sebesar 7,4065 sec.

**Tabel 4.6** : Perhitungan Periode Efektif arah y-y (memanjang)

T (Sec)	Sa (g)	Redaman 5% Sd (m)	Redaman 10,5 %		$\Delta_d$ (m)
			$R_{\xi}$	Sd	
0	0,193	0	0,748	0	0,251
0,082	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
0,408	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 4.2 :** Grafik Spectra Displacement arah y-y Redaman 10,5 %

Dari grafik Spectra Displacement diatas dapat diketahui nilai periode efektif ( $T_{ef}$ ), yaitu dengan cara substitusi persamaan  $y = 0,0374x - 0,0012$ , ( $y = \Delta_d$ ). Jadi nilai periode efektif ( $T_{ef}$ ) sebesar 6,7557 sec.

### 4.2.7 Kekakuan Efektif

Nilai kekakuan efektif dapat diketahui dari persamaan (3.19) berikut ini :

$$K_{ex} = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 4698,25}{7,3992^2} = 3537,851 \text{ kN/m}$$

$$K_{ey} = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2} = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 4698,25}{6,749^2} = 4252,362 \text{ kN/m}$$

### 4.2.8 Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar pada metode DDBD ini dapat dihitung dengan persamaan (3.20) berikut ini:

$$V_{Base\ y} = K_e \Delta_d = 3384,392 \times 0,25121 = 889,6387 \text{ kN}$$

$$V_{Base\ x} = K_e \Delta_d = 4067,906 \times 0,25121 = 1069,31 \text{ kN}$$

Lalu distribusi gaya geser tiap lantainya dapat diketahui dengan persamaan (3.21) berikut ini:

$$F_i = F_t + 0,9V_{Base} \frac{(m_i \Delta_i)}{\sum_{i=1}^n (m_i \Delta_i)}$$

Keterangan :

$F_i = 0,1 \times V_{base}$  untuk tiap lantai

$F_t = 0$  untuk lantai selain atap (1-6)

**Tabel 4.7** : Distribusi gaya geser tiap lantai arah x-x (melintang)

Tingkat	H1 (m)	Mass mi (ton)	$\Delta_i$ (m)	$m_i \Delta_i$	Vbase (kN)	Fi (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

**Tabel 4.8** : Distribusi gaya geser tiap lantai arah y-y (memanjang)

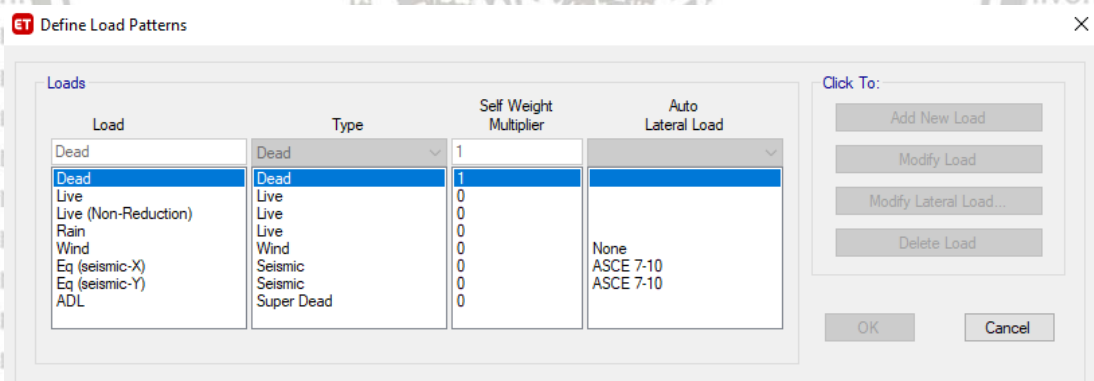
Tingkat	H1 (m)	Mass mi (ton)	$\Delta_i$ (m)	$m_i \Delta_i$	Vbase (kN)	Fi (kN)
Atap	23,5	282,273	0,366	103,350	1069,312	187,308
6	19,5	1091,550	0,321	350,442	1069,312	272,545
5	15,5	1125,710	0,269	302,698	1069,312	235,413
4	11,5	1125,710	0,210	236,026	1069,312	183,561
3	7,5	1216,461	0,143	174,404	1069,312	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		5849,179		1237,442		1069,312

### 4.3 Pembebanan Struktur

Pada analisis ini menerapkan beberapa jenis pembebanan, diantaranya dapat dilihat pada penjelasan dibawah ini :

#### 4.3.1 Pembebanan Mati

Pembebanan ini ditinjau dari berat sendiri struktur seperti kolom, balok, dan pelat lantai yang tercantum secara otomatis pada program ETABS. Dengan cara memasukkan *load patern* “*dead*” dan faktor *selfweight multiplier* sebesar 1,0 seperti pada gambar berikut ini:

**Gambar 4.3** : Input *Load Patern* pada program ETABS 18

#### 4.3.2 Pembebanan Mati Tambahan

Pembebanan berat sendiri struktur secara otomatis terhitung pada program ETABS, dimana dapat memperhatikan hal lain juga seperti dimensi dan mutu bahan. Dilain sisi perhitungan beban mati tambahan dilakukan secara manual baik beban dari pelat lantai maupun balok. Diantaranya dapat dilihat pada penjelasan berikut ini:

## a) Pembebanan Pelat Lantai

- Keramik + spesi :  $113 \text{ kg/m}^2$
- Ducting :  $20 \text{ kg/m}^2$
- Plafon langit-langit :  $10 \text{ kg/m}^2$
- Mekanikal + elektrikal :  $10 \text{ kg/m}^2$  +  
 $153 \text{ kg/m}^2 = 1,53 \text{ kN/m}^2$

## b) Pembebanan Balok

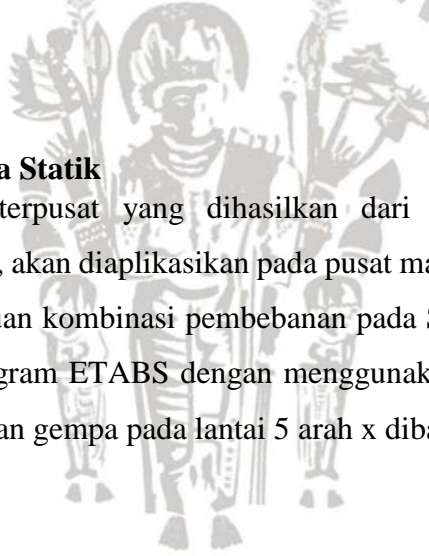
- Beban dinding bata ringan + partisi : berat dinding x tinggi dinding
- Berat jenis bata ringan + partisi :  $110 \text{ kg/m}^2$   
Untuk lantai 2-6 :  $110 \times 3,35 = 368,5 \text{ kg/m}^2 = 3,685 \text{ kN/m}^2$

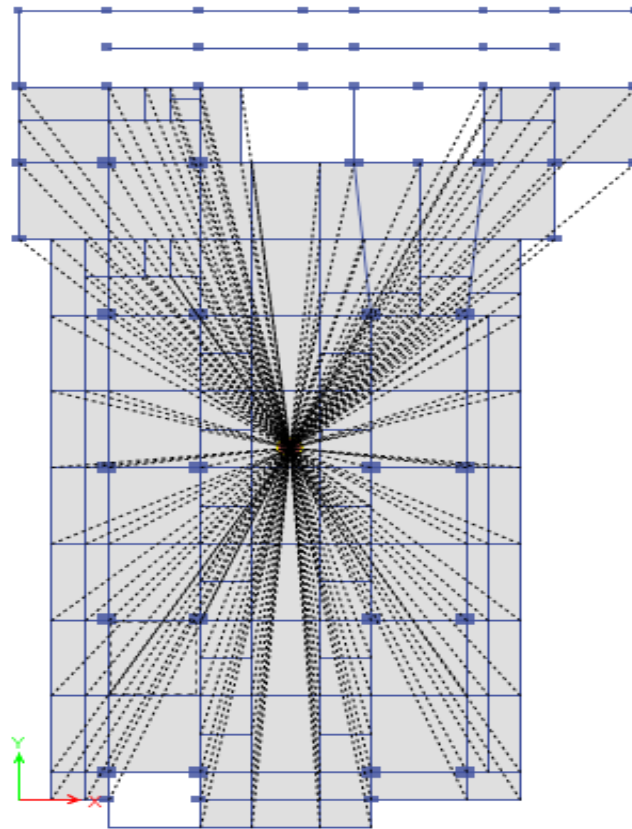
**4.3.3 Pembebanan Hidup**

Beban hidup dapat dihitung pada pelat lantai berupa luasan merata ( $\text{kg/m}^2$ ) yang diakibatkan oleh adanya beban dari pengguna gedung, termasuk peralatan dan perlengkapan yang ada.

**4.3.4 Pembebanan Gempa Statik**

Gaya-gaya gempa terpusat yang dihasilkan dari perhitungan metode *direct displacement based design*, akan diaplikasikan pada pusat massa tiap lantainya dari arah x maupun arah y dengan acuan kombinasi pembebanan pada SNI 1726-2019. Pusat massa dapat ditentukan pada program ETABS dengan menggunakan *diaphragm*. Dapat dilihat contoh pengaplikasian beban gempa pada lantai 5 arah x dibawah ini:





**Gambar 4.4** : Pengaplikasian beban gempa pada pusat massa lantai 5 arah x (Sumber : ETABS 2018)

#### 4.4 Hasil Analisis Struktur (*Original Design*)

Dari analisa *pushover* didapatkan kurva kapasitas yang hasilnya akan dievaluasi kinerjanya terhadap ATC-40. Berikut ini merupakan penjelasan dari hasil analisa *pushover* untuk arah x dan arah y:

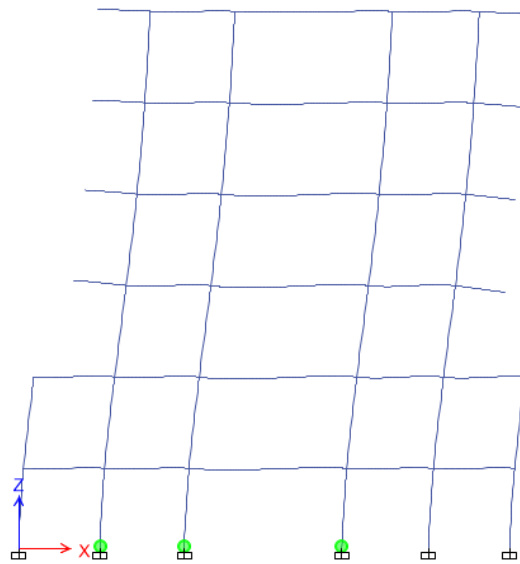
##### 4.4.1 Kapasitas Struktur Arah X

Setelah melalui proses *running* analisa *pushover* pada ETABS untuk arah x-x (melintang) didapatkan 4 step pola beban dorong hingga struktur mengalami keruntuhan. Dapat dilihat pada tabel berikut ini :

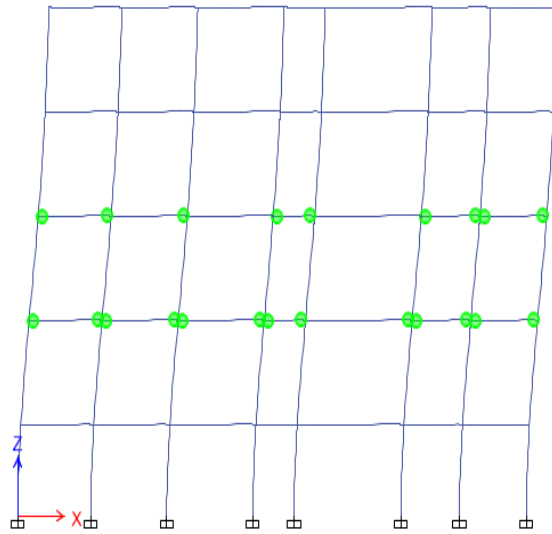
**Tabel 4.9** : Hasil beban dorong dan perpindahan *non-linear pushover* arah x-x (Sumber : ETABS 2018)

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	31,603	1789,814	1530	2	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	125,927	6538,791	1227	305	0	0	0	1532	0	0	0	1532
3	223,272	10514,44	1062	470	0	0	0	1525	5	0	2	1532
4	292,447	12590,59	1016	515	1	0	0	1454	67	2	9	1532

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai gaya dan nilai perpindahan yang terjadi pada setiap step. Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada step 3, dimana banyaknya elemen yang memasuki fase B-C. Kemudian pada step-step berikutnya jumlah elemen yang masuk meningkat seiring bertambahnya beban dorong (*base frame*), sehingga kondisi plastifikasi akan meningkat secara bertahap kemudian struktur mengalami keruntuhan. Berikut ini adalah gambaran pola munculnya sendi plastis dan tanda-tanda struktur akan mengalami keruntuhan:



**Gambar 4.5** : Pola sendi plastis pada *pushover* step 3 arah x-x (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.6** : Pola sendi plastis pada *pushover* step 4 arah x-x (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.7** : Kurva kapasitas gaya gempa dasar dengan perpindahan arah x-x (Sumber : ETABS 2018)

Pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** diatas, sendi plastis mulai terbentuk pada lantai dasar atau pondasi dan di ujung – ujung balok. Kemudian sendi plastis akan merambat ke atas, hingga struktur tersebut mengalami keruntuhan. Hal ini menandakan bahwa sendi plastis didesain sesuai dengan persyaratan.

Berdasarkan **Gambar 4.7**, digambarkan hubungan antara gaya gempa dasar dengan perpindahan untuk setiap *step* beban dorong yang diberikan, gambar tersebut dinamakan kurva kapasitas.



#### 4.4.2 Kapasitas Struktur Arah Y

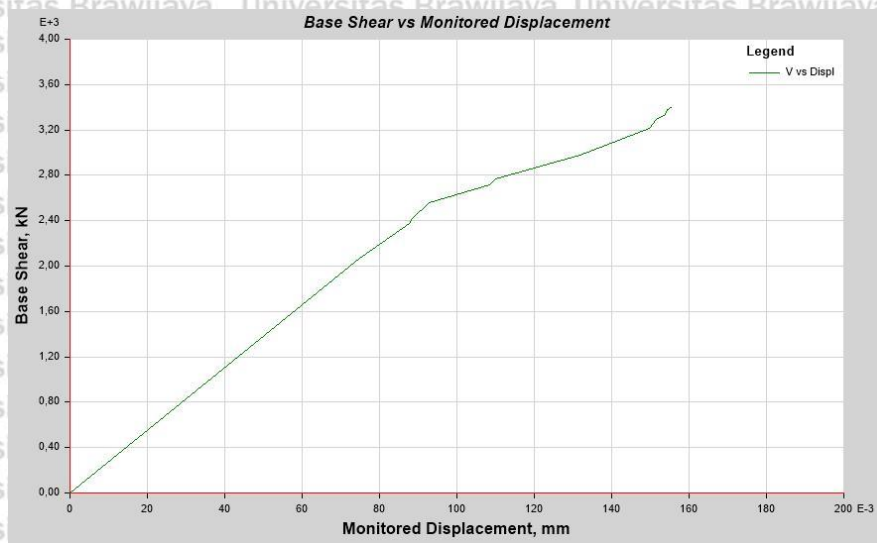
Setelah melalui proses *running* analisa *pushover* pada ETABS untuk arah y-y (memanjang) didapatkan 18 step pola beban dorong hingga struktur mengalami keruntuhan. Dapat dilihat pada tabel berikut ini :

**Tabel 4.10** : Hasil beban dorong dan perpindahan *non-linear pushover* arah y-y (Sumber : ETABS 2018)

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	2067,251	1530	2	0	0	0	1532	0	0	0	1532
2	0,088	2376,926	1520	12	0	0	0	1532	0	0	0	1532
3	0,088	2422,768	1514	18	0	0	0	1532	0	0	0	1532
4	0,093	2556,599	1503	29	0	0	0	1532	0	0	0	1532
5	0,109	2719,484	1488	44	0	0	0	1532	0	0	0	1532
6	0,11	2768,279	1485	47	0	0	0	1532	0	0	0	1532
7	0,132	2981,351	1478	54	0	0	0	1532	0	0	0	1532
8	0,15	3215,078	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	3335,612	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	3379,79	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
13	0,155	3387,948	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
14	0,155	3388,467	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
15	0,155	3393,814	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
16	0,155	3394,535	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
17	0,155	3395,429	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532
18	0,155	3397,628	1456	76	0	0	0	1532	0	0	0	1532

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai gaya dan nilai perpindahan yang terjadi pada setiap step. Elemen struktur tidak mengalami plastifikasi, sehingga sendi platis pada struktur tidak terbentuk.





**Gambar 4.8** : Kurva kapasitas gaya gempa dasar dengan perpindahan arah y-y (Sumber : ETABS 2018)

Berdasarkan **Gambar 4.8**, digambarkan hubungan antara gaya gempa dasar dengan perpindahan untuk setiap *step* beban dorong yang diberikan, dengan istilah kurva kapasitas. Dimana pada arah y-y ini struktur tidak mengalami plastifikasi, karena sendi plastis tidak terbentuk.

#### 4.4.3 Perbandingan Perpindahan dan Simpangan Lateral

Setelah mendapatkan perpindahan dan simpangan lateral arah x dan arah y, maka dibandingkan untuk mengetahui perilaku akhir dari struktur yang didesain. Nilai *drift* pada metode DDBD dan simpangan lateralnya dapat diketahui dengan rumus dibawah ini :

$$Drift = \left(1 - 0,5 \frac{H_i}{H_n}\right) \theta \tag{4.1}$$

$$Simpangan Lateral = \frac{\Delta_{rooftop}}{H_n} \tag{4.2}$$

Dimana:

$H_i$  = tinggi lantai ke-i (m)

$H_n$  = tinggi total bangunan (m)

$\theta$  = nilai simpangan lateral rencana (*Life Safety* = 0,02)

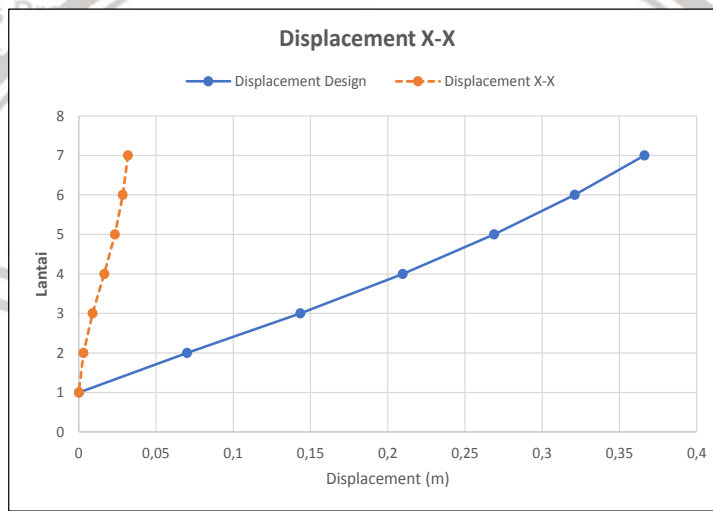
$\Delta_{rooftop}$  = perpindahan pada atap (m)



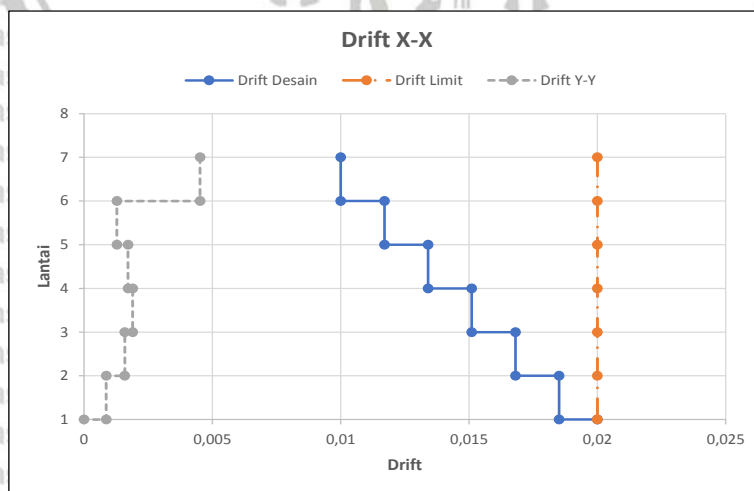
Sedangkan hasil perbandingan nilai *displacement* dan *drift* dari *original design* dapat dilihat dibawah ini :

**Tabel 4.11** : Perbandingan nilai *displacement* dan *drift* arah x-x

Lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,366132597	0,01	0,031773	0,00452
6	19,5	0,02	0,321049724	0,0117	0,028451	0,001276
5	15,5	0,02	0,268895028	0,0134	0,023349	0,001712
4	11,5	0,02	0,209668508	0,0151	0,016502	0,001892
3	7,5	0,02	0,143370166	0,0168	0,008933	0,001586
2	3,5	0,02	0,07	0,0185	0,003005	0,000859
1	0	0,02	0	0,02	0	0



**Gambar 4.9** : Grafik *story displacement* arah x-x



**Gambar 4.10** : Grafik *Inter story drift* arah x-x

Dari **Tabel 4.11** didapatkan hasil *displacement maximum* dari perbandingan antara analisis DDBD dengan analisis *pushover non-linier*. Terjadi penurunan nilai *displacement maximum* yang signifikan pada arah x-x, dengan nilai 0,3661 m untuk analisis DDBD dan 0,0318 m untuk analisis *pushover*. Selanjutnya dapat digambarkan kurva perbandingannya pada **Gambar 4.9** (*story displacement*) dan **Gambar 4.10** (*Inter story drift*). Untuk mengetahui nilai simpangan lateral pada arah x-x digunakan persamaan (4.2) seperti dibawah ini :

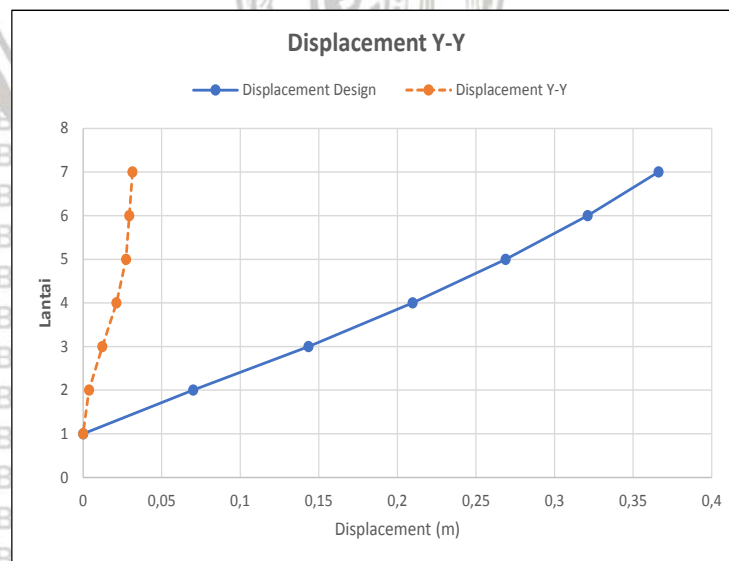
$$\text{Simpangan Lateral} = \frac{0,03177}{23,5} = 0,0014 = 0,14\% \text{ (Immidiata Occupancy)}$$

Dari nilai simpangan lateral arah x-x diatas, menunjukkan bahwa struktur bangunan telah dirancang dan diuji pada program ETABS dengan karakteristik kinerja berbasis *Immidiata Occupancy*.

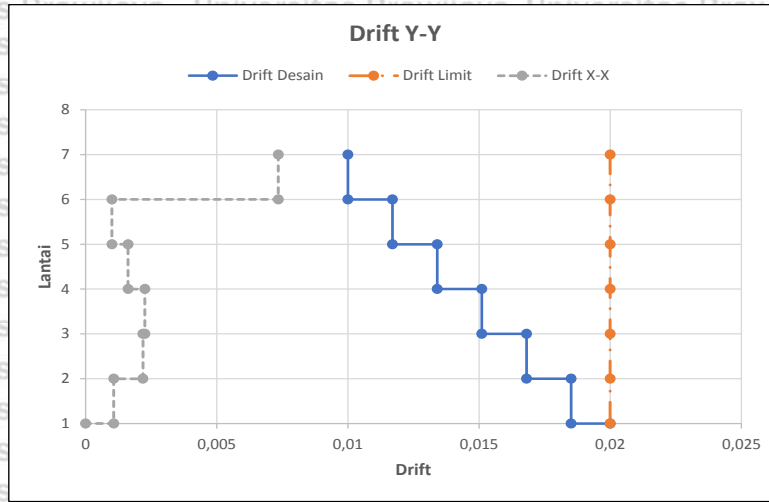
Selanjutnya hasil perbandingan nilai *displacement* dan *drift* dari *original design* dapat dilihat dibawah ini :

**Tabel 4.12** : Perbandingan nilai *displacement* dan *drift* arah y-y

Lantai	Hi (m)	Drift Limit	Design DDBD		Hasil PushOver analysis	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,366132597	0,01	0,031427	0,007346
6	19,5	0,02	0,321049724	0,0117	0,029383	0,001002
5	15,5	0,02	0,268895028	0,0134	0,027335	0,001617
4	11,5	0,02	0,209668508	0,0151	0,021222	0,002259
3	7,5	0,02	0,143370166	0,0168	0,012283	0,002185
2	3,5	0,02	0,07	0,0185	0,003746	0,00107
1	0	0,02	0	0,02	0	0



**Gambar 4.11** : Grafik *story displacement* arah y-y



Gambar 4.12 : Grafik Inter story drift arah y-y

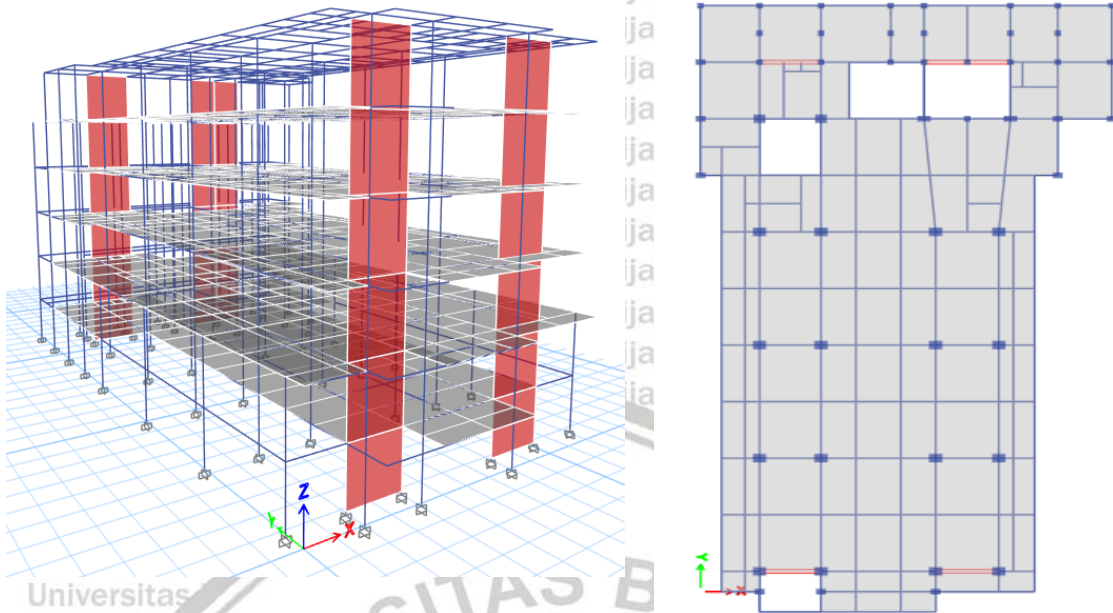
Dari Tabel 4.12 didapatkan hasil *displacement maximum* dari perbandingan antara analisis DDBD dengan analisis *pushover non-linier*. Terjadi penurunan nilai *displacement maximum* yang signifikan pada arah y-y, dengan nilai 0,3661 m untuk analisis DDBD dan 0,0314 m untuk analisis *pushover*. Selanjutnya dapat digambarkan grafik perbandingannya pada Gambar 4.11 (*story displacement*) dan Gambar 4.12 (*Inter story drift*). Untuk mengetahui nilai simpangan lateral pada arah y-y digunakan persamaan (4.2) seperti dibawah ini :

$$\text{Simpangan Lateral} = \frac{0,031427}{23,5} = 0,0013 = 0,13\% \text{ (Immidiata Occupancy)}$$

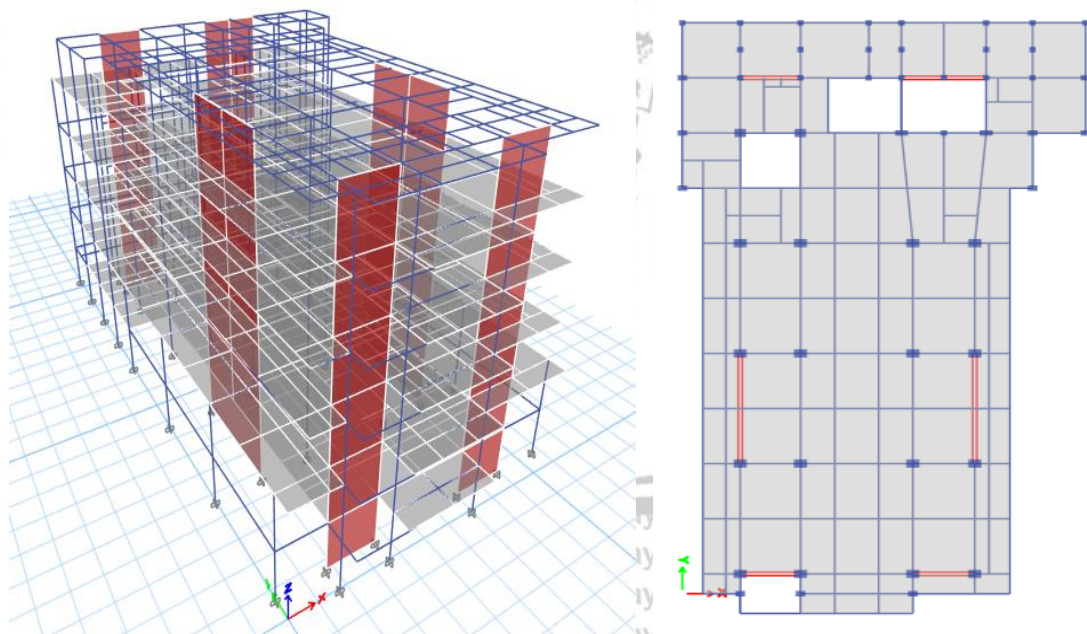
Dari nilai simpangan lateral arah y-y diatas, menunjukkan bahwa struktur bangunan telah dirancang dan diuji pada program ETABS dengan karakteristik kinerja berbasis *Immidiata Occupancy*.

#### 4.5 Pemodelan Struktur dengan Perkuatan Dinding Geser

Dinding geser merupakan salah satu jenis perkuatan yang diperlukan pada bangunan khususnya bertingkat tinggi. Perletakanya juga dapat berpengaruh terhadap kekuatan bangunan tersebut. Dalam kajian ini terdapat tiga model perletakan dinding geser yang dianalisis menggunakan *non-linier static pushover* yaitu Tipe 1, Tipe 2, dan Tipe 3. Dengan dibuatnya tiga tipe model ini, bertujuan untuk mengetahui variasi perletakan yang paling optimal. Berikut ini merupakan pemodelan perletakan dinding geser pada program ETABS. Pada pemodelan ini arah x merupakan bagian melintang bangunan, dan arah y merupakan bagian memanjang bangunan.

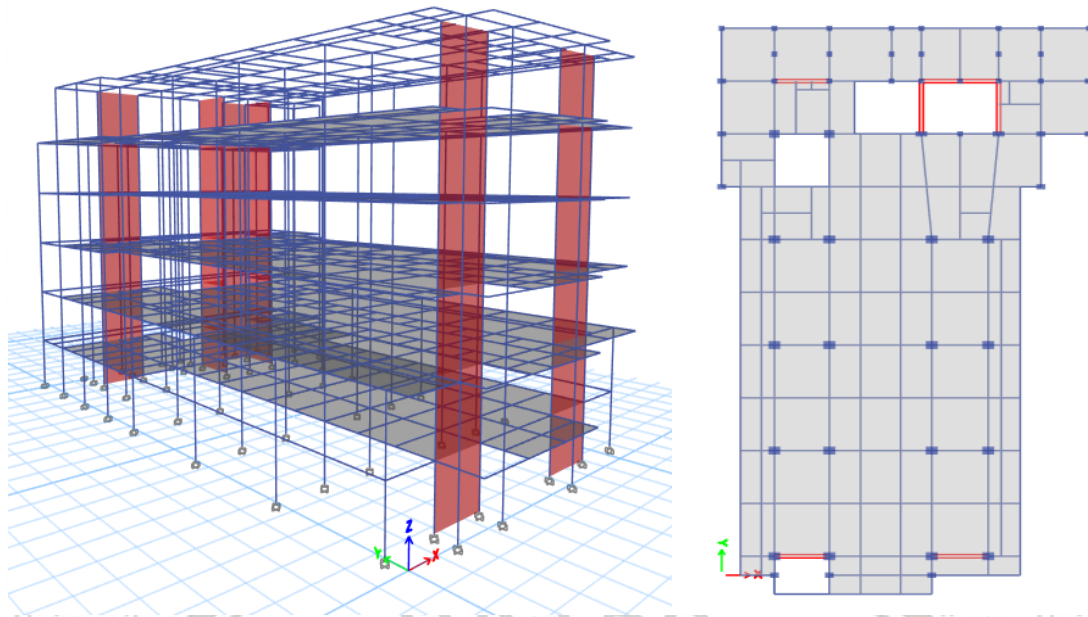


Gambar 4.13 : Pemodelan shear wall tipe 1 (Sumber : ETABS 2018)



Gambar 4.14 : Pemodelan shear wall tipe 2 (Sumber : ETABS 2018)





Gambar 4.15 : Pemodelan *shear wall* tipe 3 (Sumber : ETABS 2018)

#### 4.6 Hasil Analisis Perkuatan Dinding Geser

Dalam pemodelan perkuatan ini dianalisis dengan statik *non-linier pushover*. Maka didapatkan hasil analisis perkuatan dinding geser sebagai berikut ini :

##### 4.6.1 Tipe 1

Pada tipe 1 ini dinding geser (*shear wall*) dimodelkan ada 4 buah, dimana perletakannya pada sumbu x saja dengan memperhatikan bagian tangga dan lift. Hal ini bertujuan agar struktur lebih kuat dan tahan akibat gaya lateral, disamping itu sumbu x merupakan sumbu yang lemah dan rentan akan keruntuhan.

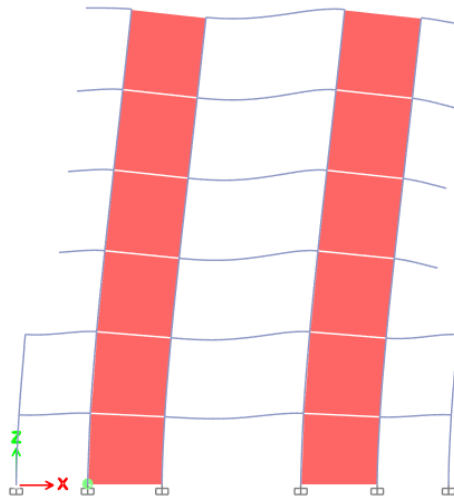
##### 4.6.1.1 Kurva Kapasitas Arah X

Tabel 4.13 : Hasil beban dorong dan perpindahan statik *non-linear pushover* arah x-x (Sumber : ETABS 2018)

Step	Monitored Displ (mm)	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1472	0	0	0	0	1472	0	0	0	1472
1	16,583	5584,352	1471	1	0	0	0	1472	0	0	0	1472
2	31,071	10453,23	1431	41	0	0	0	1468	2	1	1	1472

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai gaya dan nilai perpindahan yang terjadi pada setiap step. Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada step 2, dimana

banyaknya elemen yang memasuki fase B-C. Berikut ini adalah gambaran pola munculnya sendi plastis dan tanda-tanda struktur akan mengalami keruntuhan:



**Gambar 4.16** : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover step 2* arah x-x (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.17** : Kurva kapasitas arah x-x (Sumber : ETABS 2018)

Pada **Gambar 4.16** diatas, sendi plastis mulai terbentuk pada lantai dasar atau pondasi dan di ujung – ujung balok. Berdasarkan **Gambar 4.17**, digambarkan hubungan antara gaya gempa dasar dengan perpindahan untuk setiap *step* beban dorong yang diberikan, gambar tersebut dinamakan kurva kapasitas.

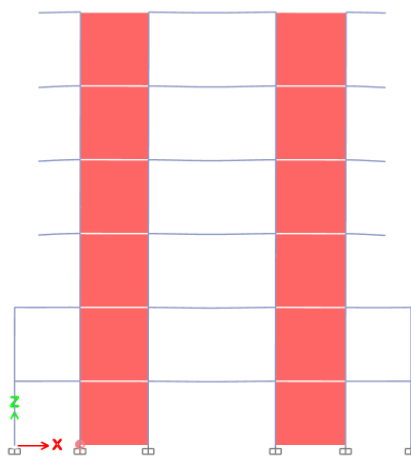


4.6.1.2 Kurva Kapasitas Arah Y

Tabel 4.14 : Hasil beban dorong dan perpindahan statik *non-linear pushover* arah y-y (Sumber : ETABS 2018)

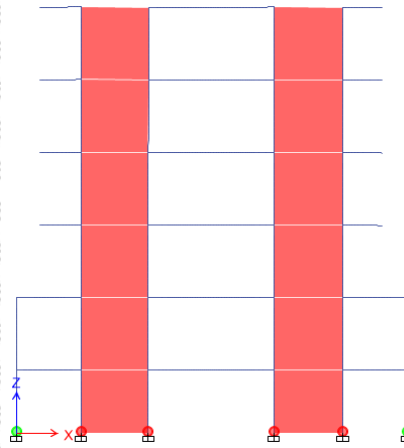
Step	Monitored Displ (mm)	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1472	0	0	0	0	1472	0	0	0	1472
1	0,415	2163,297	1471	1	0	0	0	1472	0	0	0	1472
2	1,523	7575,106	1224	247	1	0	0	1471	0	0	1	1472
3	1,527	7469,495	1224	247	0	0	1	1471	0	0	1	1472
4	1,786	8559,454	1178	290	1	0	3	1461	3	0	8	1472
5	1,832	8568,907	1171	297	0	0	4	1459	3	0	10	1472
6	1,948	9020,612	1152	311	5	0	4	1450	8	2	12	1472
7	1,951	9025,031	1149	314	5	0	4	1450	8	1	13	1472
8	1,951	9025,103	1149	314	5	0	4	1450	8	1	13	1472
9	1,951	9025,124	1149	314	5	0	4	1450	8	1	13	1472
10	1,951	9025,63	1149	314	5	0	4	1450	8	1	13	1472
11	1,951	9027,379	1149	314	5	0	4	1450	8	1	13	1472
12	1,978	9121,734	1147	315	6	0	4	1450	8	0	14	1472

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai gaya dan nilai perpindahan yang terjadi pada setiap step. Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada step 2, dimana banyaknya elemen yang memasuki fase B-C. Kemudian pada step-step berikutnya jumlah elemen yang masuk meningkat seiring bertambahnya beban dorong (*base frame*), sehingga kondisi plastifikasi akan meningkat secara bertahap kemudian struktur mengalami keruntuhan. Berikut ini adalah gambaran pola munculnya sendi plastis dan tanda-tanda struktur akan mengalami keruntuhan:

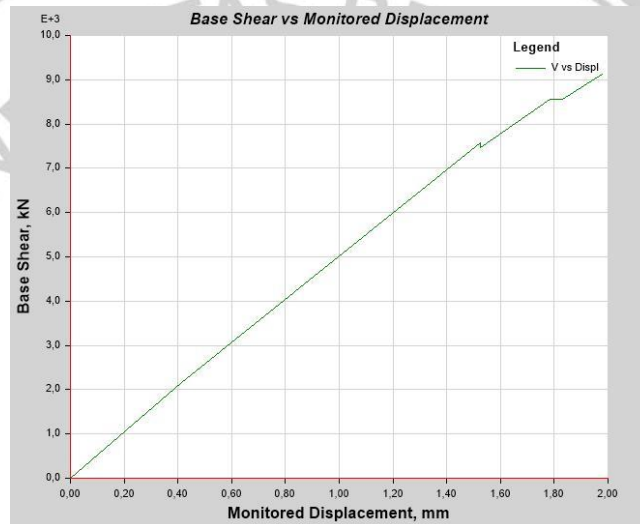


Gambar 4.18 : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover* step 2 arah y-y (Sumber : ETABS 2018)





**Gambar 4.19** : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover step* 12 arah y-y (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.20** : Kurva kapasitas arah y-y (Sumber : ETABS 2018)

Pada **Gambar 4.18** dan **Gambar 4.19** diatas, sendi plastis mulai terbentuk pada lantai dasar atau pondasi dan di ujung – ujung balok. Kemudian sendi plastis akan merambat ke atas, hingga struktur tersebut mengalami keruntuhan. Hal ini menandakan bahwa sendi plastis didesain sesuai dengan persyaratan.

**4.6.1.3 Perbandingan Displacement dan Drift**

**Tabel 4.15** : Perbandingan displacement dan drift arah x

lantai	Hi (m)	Drift Limit	DDBD Arah X		Pushover Arah X	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,2953	0,01	0,0181	0,0037
6	19,5	0,02	0,2448	0,0117	0,0146	0,0009
5	15,5	0,02	0,1943	0,0134	0,0139	0,0009
4	11,5	0,02	0,1438	0,0151	0,0114	0,0012
3	7,5	0,02	0,0935	0,0168	0,0074	0,0012
2	3,5	0,02	0,0435	0,0185	0,0027	0,0008
1	0	0,02	0	0,02	0	0

**Tabel 4.16** : Perbandingan displacement dan drift arah y

lantai	Hi (m)	Drift Limit	DDBD Arah Y		Pushover Arah Y	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,3661	0,01	0,0323	0,0075
6	19,5	0,02	0,3210	0,0117	0,03	0,001
5	15,5	0,02	0,2689	0,0134	0,028	0,0016
4	11,5	0,02	0,2097	0,0151	0,0217	0,0023
3	7,5	0,02	0,1434	0,0168	0,0125	0,0022
2	3,5	0,02	0,0700	0,0185	0,0038	0,0011
1	0	0,02	0	0,02	0	0

Dari **Tabel 4.15** didapatkan hasil *displacement maximum* dari perbandingan antara analisis DDBD dengan analisis *pushover non-linier*. Terjadi penurunan nilai *displacement maximum* yang signifikan pada arah x-x, dengan nilai 0,2953 m untuk analisis DDBD dan 0,0181 m untuk analisis *pushover*.

Dari **Tabel 4.16**, terjadi penurunan nilai *displacement maximum* yang signifikan juga pada arah y-y, dengan nilai 0,3661 m untuk analisis DDBD dan 0,0323 m untuk analisis *pushover*.

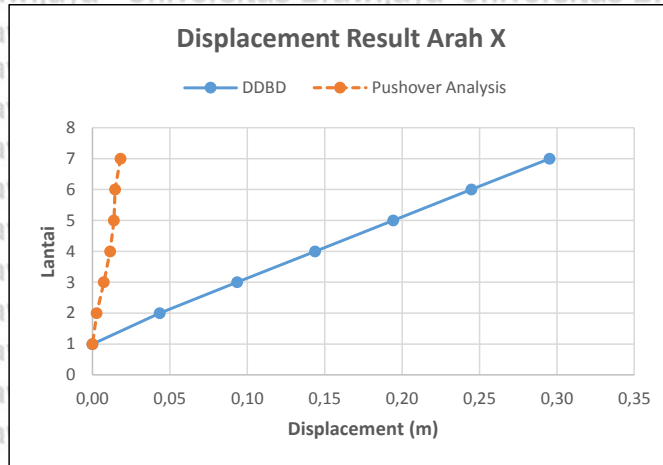
Untuk mengetahui nilai simpangan lateral pada arah x dan arah y digunakan persamaan (4.2) seperti dibawah ini :

$$\text{Simpangan Lateral} = \frac{0,0181}{23,5} = 0,0008 = 0,08\% \quad (\text{Arah x})$$

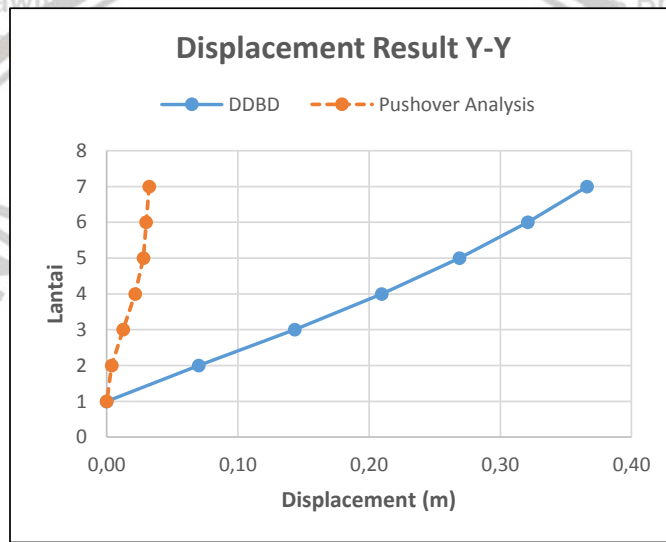
$$\text{Simpangan Lateral} = \frac{0,0323}{23,5} = 0,0014 = 0,14\% \quad (\text{Arah y})$$

Dari nilai simpangan lateral arah x dan arah y diatas, menunjukkan bahwa dengan adanya perkuatan dinding geser tipe 1 dapat meningkatkan performa bangunan. Dimana kinerja struktur bangunan berbasis *Immidiata Occupancy*.

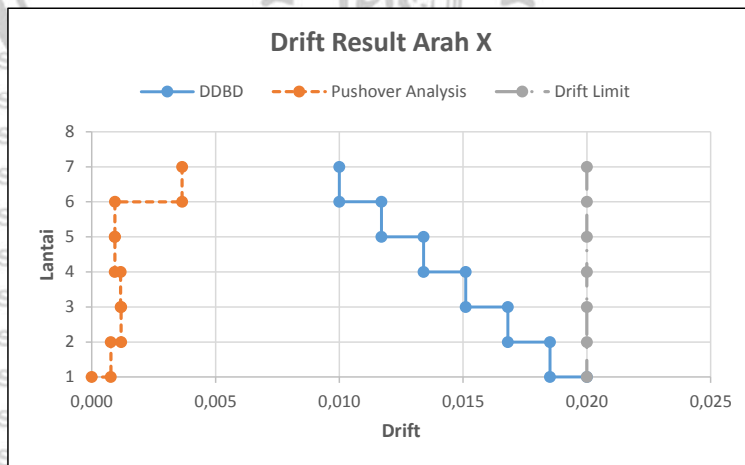




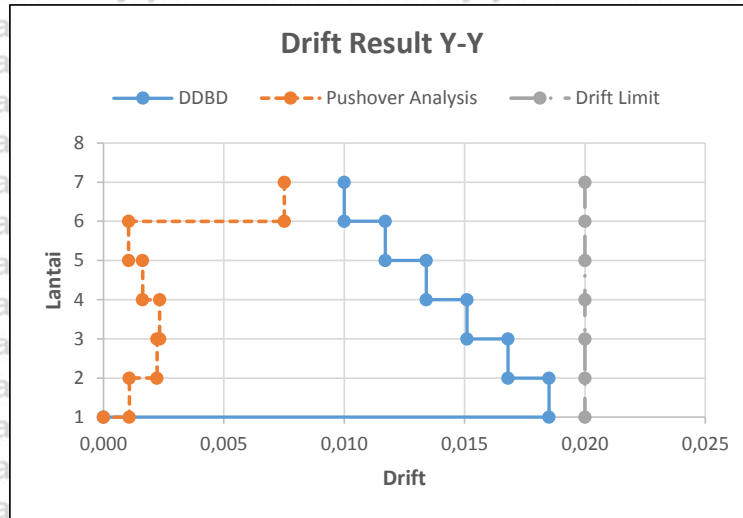
Gambar 4.21 : Grafik story displacement arah x



Gambar 4.22 : Grafik story displacement arah y



Gambar 4.23 : Grafik inter story drift arah x



Gambar 4.24 : Grafik *inter story drift* arah y

Dapat digambarkan grafik *story displacement* dan *Inter story drift* pada pemodelan dinding geser tipe 1 ini, dengan membandingkan analisis DDBD dan analisis *pushover*. Dicontohkan pada Gambar 4.21, Gambar 4.22, Gambar 4.23, dan Gambar 4.24.

#### 4.6.2 Tipe 2

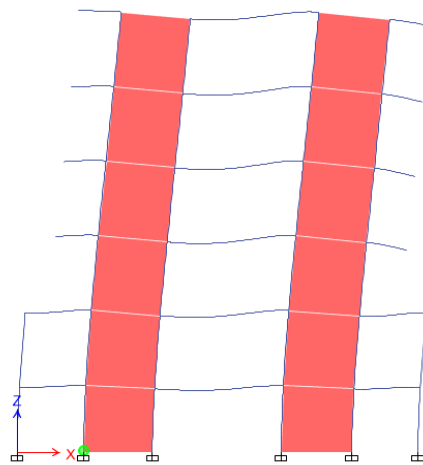
Pada tipe 2 ini dinding geser (*shear wall*) dimodelkan ada 6 buah, dimana perletakanya pada sumbu x dan sumbu y. Pada sumbu x diletakkan dibagian depan dan belakang bangunan, dengan memperhatikan bagian tangga dan lift. Sedangkan pada sumbu y diletakkan dibagian tengah bangunan, untuk menambah kekuatan bangunan tersebut.

##### 4.6.2.1 Kurva Kapasitas Arah X

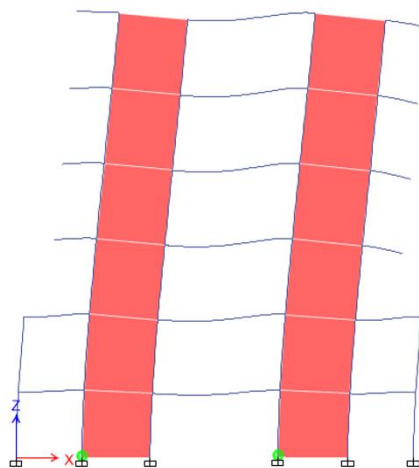
Tabel 4.17 : Hasil beban dorong dan perpindahan statik *non-linear pushover* arah x-x (Sumber : ETABS 2018)

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	1448	0	0	0	0	1448	0	0	0	1448
1	17,299	5747,358	1447	1	0	0	0	1448	0	0	0	1448
2	33,906	11115,32	1399	49	0	0	0	1443	3	1	1	1448
3	34,437	11198,66	1399	49	0	0	0	1443	3	1	1	1448
4	36,957	11971,71	1395	52	1	0	0	1441	5	1	1	1448
5	37,294	11982,29	1395	52	1	0	0	1440	5	1	2	1448
6	39,311	12595,18	1390	55	3	0	0	1440	5	0	3	1448
7	39,356	12603,32	1390	55	3	0	0	1440	4	1	3	1448
8	41,764	13337,85	1376	69	3	0	0	1440	4	0	4	1448

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai gaya dan nilai perpindahan yang terjadi pada setiap step. Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada step 2, dimana banyaknya elemen yang memasuki fase B-C. Kemudian pada step-step berikutnya jumlah elemen yang masuk meningkat seiring bertambahnya beban dorong (*base frame*), sehingga kondisi plastifikasi akan meningkat secara bertahap kemudian struktur mengalami keruntuhan. Berikut ini adalah gambaran pola munculnya sendi plastis dan tanda-tanda struktur akan mengalami keruntuhan:



**Gambar 4.25** : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover step 2* arah x-x (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.26** : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover step 5* arah x-x (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.27** : Kurva kapasitas arah x-x  
(Sumber : ETABS 2018)

Pada **Gambar 4.25** dan **Gambar 4.26** diatas, sendi plastis mulai terbentuk pada lantai dasar atau pondasi dan di ujung – ujung balok. Kemudian sendi plastis akan merambat ke atas, hingga struktur tersebut mengalami keruntuhan. Hal ini menandakan bahwa sendi plastis didesain sesuai dengan persyaratan.

**4.6.2.2 Kurva Kapasitas Arah Y**

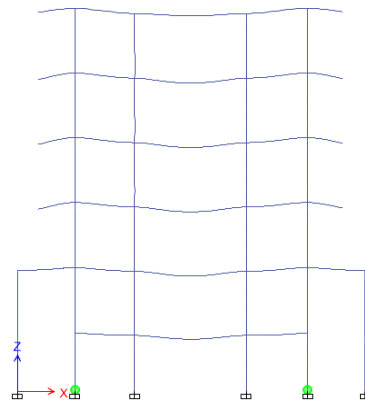
**Tabel 4.18** : Hasil beban dorong dan perpindahan statik *non-linear pushover* arah y-y (Sumber : ETABS 2018)

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	1448	0	0	0	0	1448	0	0	0	1448
1	0,138	10762,82	1446	2	0	0	0	1448	0	0	0	1448
2	0,156	12247,85	1444	3	1	0	0	1446	2	0	0	1448
3	0,199	12824,38	1444	2	2	0	0	1445	1	1	1	1448
4	0,256	17306,45	1440	5	3	0	0	1444	0	0	4	1448

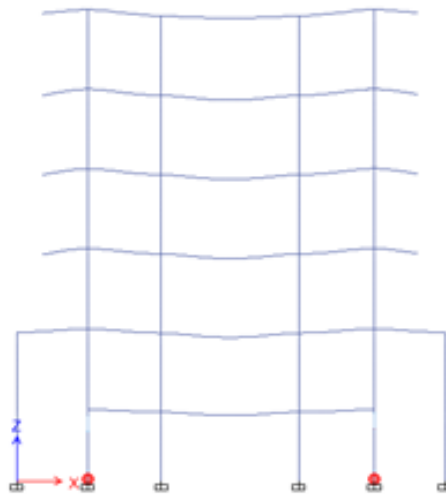
Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai gaya dan nilai perpindahan yang terjadi pada setiap step. Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada step 2, dimana banyaknya elemen yang memasuki fase B-C.



Berikut ini adalah gambaran pola munculnya sendi plastis dan tanda-tanda struktur akan mengalami keruntuhan:



**Gambar 4.28** : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover step 2* arah y-y (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.29** : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover step 3* arah y-y (Sumber : ETABS 2018)





**Gambar 4.30** : Kurva kapasitas arah y-y  
(Sumber : ETABS 2018)

Pada **Gambar 4.28** dan **Gambar 4.29** diatas, sendi plastis mulai terbentuk pada lantai dasar atau pondasi dan di ujung – ujung balok. Kemudian sendi plastis akan merambat ke atas, hingga struktur tersebut mengalami keruntuhan. Hal ini menandakan bahwa sendi plastis didesain sesuai dengan persyaratan.

**4.6.2.3 Perbandingan Displacement dan Drift**

**Tabel 4.19** : Perbandingan *displacement* dan *drift* arah x

lantai	Hi (m)	Drift Limit	DDBD Arah X		Pushover Arah X	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,2958	0,01	0,0181	0,0036
6	19,5	0,02	0,2452	0,0117	0,0146	0,0009
5	15,5	0,02	0,1946	0,0134	0,0138	0,0009
4	11,5	0,02	0,1441	0,0151	0,0114	0,0012
3	7,5	0,02	0,0937	0,0168	0,0073	0,0012
2	3,5	0,02	0,0436	0,0185	0,0027	0,0008
1	0	0,02	0	0,02	0	0



Tabel 4.20 : Perbandingan *displacement* dan *drift* arah y

lantai	Hi (m)	Drift Limit	DDBD Arah Y		Pushover Arah Y	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,3307	0,01	0,016	0,0031
6	19,5	0,02	0,2742	0,0117	0,0124	0,002
5	15,5	0,02	0,2176	0,0134	0,0204	0,0012
4	11,5	0,02	0,1611	0,0151	0,0253	0,0014
3	7,5	0,02	0,1048	0,0168	0,0198	0,0032
2	3,5	0,02	0,0488	0,0185	0,007	0,002
1	0	0,02	0	0	0	0

Dari Tabel 4.19 terjadi penurunan nilai *displacement maximum* yang signifikan juga pada arah x-x, dengan nilai 0,2958 m untuk analisis DDBD dan 0,0181 m untuk analisis *pushover*.

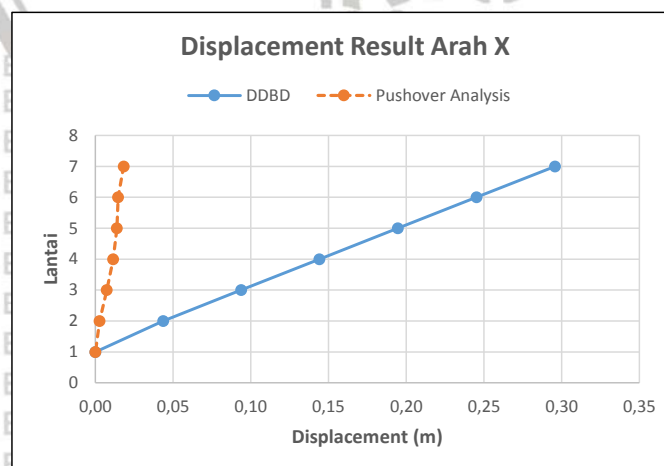
Dari Tabel 4.20, terjadi penurunan nilai *displacement maximum* yang signifikan juga pada arah y-y, dengan nilai 0,3307 m untuk analisis DDBD dan 0,016 m untuk analisis *pushover*.

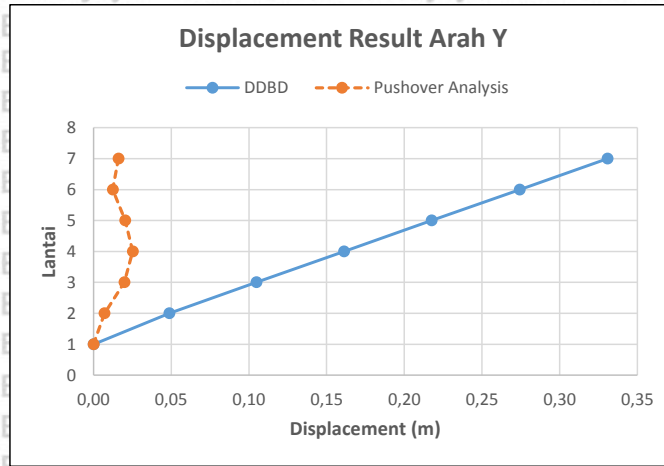
Untuk mengetahui nilai simpangan lateral pada arah x dan arah y digunakan persamaan (4.2) seperti dibawah ini :

$$\text{Simpangan Lateral} = \frac{0,0181}{23,5} = 0,0008 = 0,08\% \quad (\text{Arah x})$$

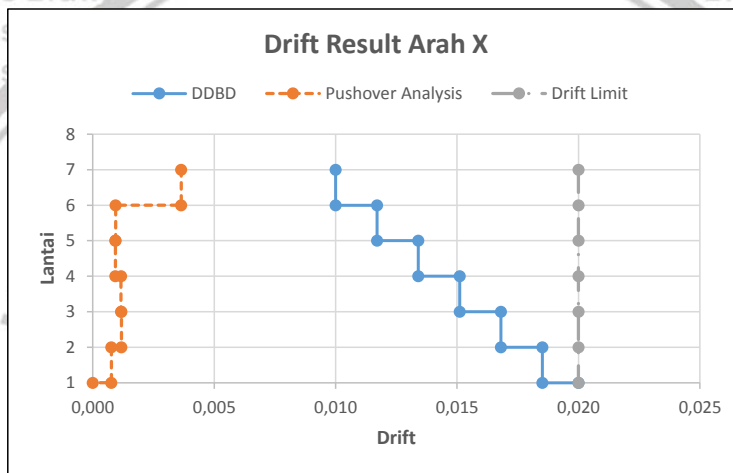
$$\text{Simpangan Lateral} = \frac{0,01604}{23,5} = 0,0007 = 0,07\% \quad (\text{Arah y})$$

Dari nilai simpangan lateral arah x dan arah y diatas, menunjukkan bahwa dengan adanya perkuatan dinding geser tipe 2 dapat meningkatkan performa bangunan. Dimana kinerja struktur bangunan berbasis *Immidiata Occupancy*.

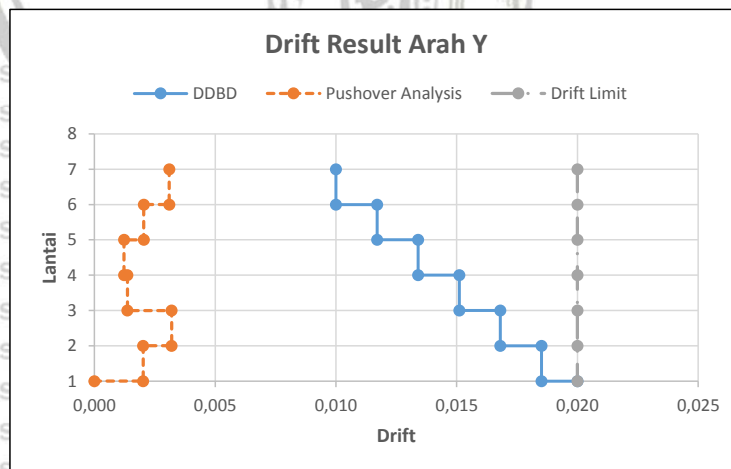
Gambar 4.31 : Grafik *story displacement* arah x



Gambar 4.32 : Grafik *story displacement* arah y



Gambar 4.33 : Grafik *inter story drift* arah x



Gambar 4.34 : Grafik *inter story drift* arah y

Dapat digambarkan grafik *story displacement* dan *Inter story drift* pada pemodelan dinding geser tipe 2 ini, dengan membandingkan analisis DDBD dan analisis *pushover*.

Dicontohkan pada **Gambar 4.31**, **Gambar 4.32**, **Gambar 4.33**, dan **Gambar 4.34**.

### 4.6.3 Tipe 3

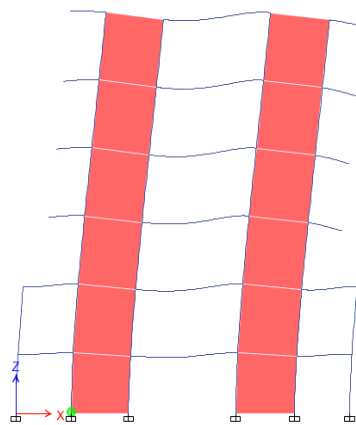
Pada tipe 3 ini dinding geser (*shear wall*) dimodelkan ada 6 buah, dimana perletakannya pada sumbu x dan sumbu y. Pada sumbu x diletakkan dibagian depan dan belakang bangunan, dengan memperhatikan bagian tangga dan lift. Sedangkan pada sumbu y diletakkan dibagian lift, untuk menambah kekuatan bangunan tersebut.

#### 4.6.3.1 Kurva Kapasitas Arah X

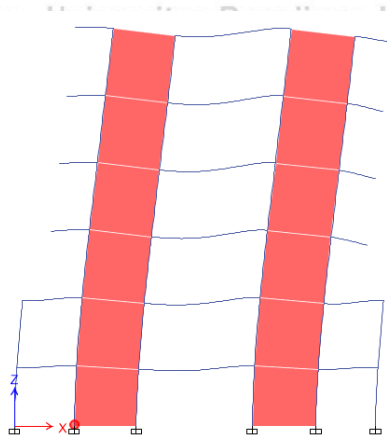
**Tabel 4.21** : Hasil beban dorong dan perpindahan statik *non-linear pushover* arah x-x (Sumber : ETABS 2018)

Step	Monitored Displ (mm)	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1448	0	0	0	0	1448	0	0	0	1448
1	25,946	8344,6	1446	2	0	0	0	1448	0	0	0	1448
2	32,682	10475,38	1441	7	0	0	0	1447	1	0	0	1448
3	33,388	10604,79	1441	7	0	0	0	1447	1	0	0	1448
4	33,625	10672,79	1440	8	0	0	0	1447	0	1	0	1448
5	33,862	10649,34	1440	7	1	0	0	1447	0	0	1	1448
6	37,92	11818,1	1435	12	1	0	0	1445	2	0	1	1448

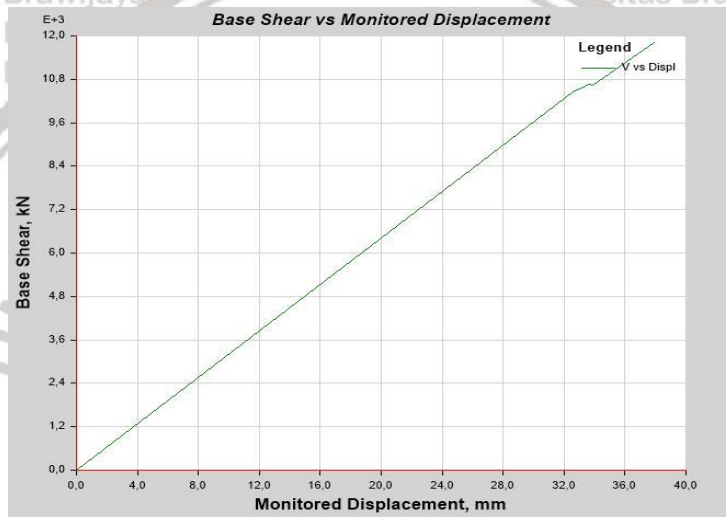
Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai gaya dan nilai perpindahan yang terjadi pada setiap step. Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada step 2, dimana banyaknya elemen yang memasuki fase B-C. Berikut ini adalah gambaran pola munculnya sendi plastis dan tanda-tanda struktur akan mengalami keruntuhan:



**Gambar 4.35** : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover step 2* arah x-x (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.36** : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover step 5* arah x-x (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.37** : Kurva kapasitas arah x-x (Sumber : ETABS 2018)

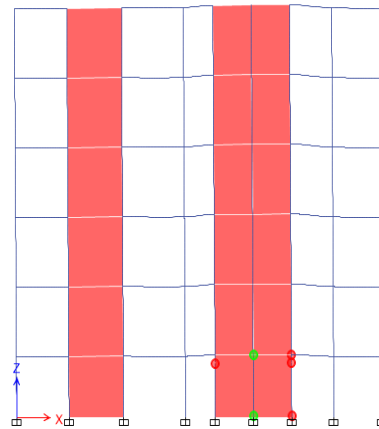
Pada **Gambar 4.35** dan **Gambar 4.36** diatas, sendi plastis mulai terbentuk pada lantai dasar atau pondasi dan di ujung – ujung balok. Kemudian sendi plastis akan merambat ke atas, hingga struktur tersebut mengalami keruntuhan. Hal ini menandakan bahwa sendi plastis didesain sesuai dengan persyaratan.

#### 4.6.3.2 Kurva Kapasitas Arah Y

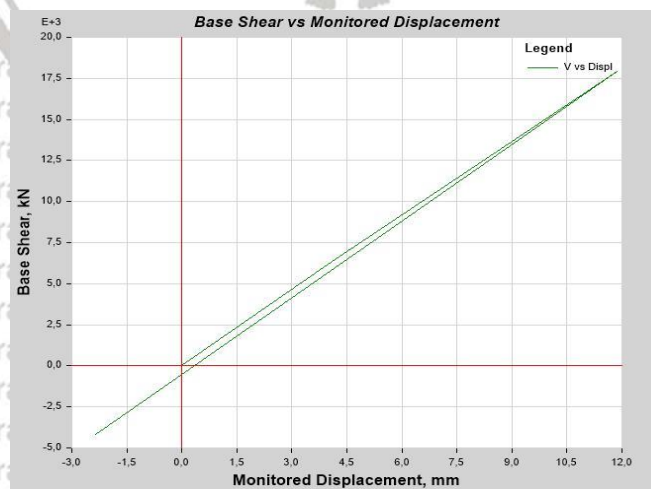
**Tabel 4.22** : Hasil beban dorong dan perpindahan statik *non-linear pushover* arah y-y (Sumber : ETABS 2018)

Step	Monitored Displ (mm)	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1448	0	0	0	0	1448	0	0	0	1448
1	4,092	6355,078	1447	1	0	0	0	1448	0	0	0	1448
2	11,872	17920,12	1249	197	2	0	0	1442	2	0	4	1448
3	-2,364	-4180,48	1249	197	2	0	0	1442	2	0	4	1448

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui nilai gaya dan nilai perpindahan yang terjadi pada setiap step. Elemen struktur mulai mengalami plastifikasi pada step 2, dimana banyaknya elemen yang memasuki fase B-C. Berikut ini adalah gambaran pola munculnya sendi plastis dan tanda-tanda struktur akan mengalami keruntuhan:



**Gambar 4.38** : Pola sendi plastis yang terbentuk pada *pushover step 3* arah y-y (Sumber : ETABS 2018)



**Gambar 4.39** : Kurva kapasitas arah y-y (Sumber : ETABS 2018)

Dari kurva kapasitas yang terbentuk pada arah y **Gambar 4.39**, menunjukkan nilai *base shear* dan *monitored displacement* berbalik arah. Hal ini dikarenakan penempatan dinding geser pada tipe ini menimbulkan adanya rotasi.

**4.6.3.3 Perbandingan Displacement dan Drift**

**Tabel 4.23** : Perbandingan *displacement* dan *drift* arah x

lantai	Hi (m)	Drift Limit	DDBD Arah X		Pushover Arah X	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,298	0,0100	0,026566	0,0024
6	19,5	0,02	0,247	0,0117	0,021205	0,0014
5	15,5	0,02	0,196	0,0134	0,01569	0,0014
4	11,5	0,02	0,145	0,0151	0,011347	0,0012
3	7,5	0,02	0,094	0,0168	0,007326	0,0013
2	3,5	0,02	0,044	0,0185	0,002896	0,0008
1	0	0,02	0	0,0200	0	0

**Tabel 4.24** : Perbandingan *displacement* dan *drift* arah y

lantai	Hi (m)	Drift Limit	DDBD Arah Y		Pushover Arah Y	
			Displacement (m)	Drift	Displacement (m)	Drift
7	23,5	0,02	0,319	0,0100	0,029963	0,0064
6	19,5	0,02	0,264	0,0117	0,02575	0,0016
5	15,5	0,02	0,210	0,0134	0,027452	0,0016
4	11,5	0,02	0,156	0,0151	0,025828	0,0021
3	7,5	0,02	0,101	0,0168	0,017316	0,0029
2	3,5	0,02	0,047	0,0185	0,005594	0,0016
1	0	0,02	0	0,0200	0	0

Dari **Tabel 4.23** terjadi penurunan nilai *displacement maximum* yang signifikan juga pada arah x-x, dengan nilai 0,2958 m untuk analisis DDBD dan 0,0181 m untuk analisis *pushover*.

Dari **Tabel 4.24**, terjadi penurunan nilai *displacement maximum* yang signifikan juga pada arah y-y, dengan nilai 0,3307 m untuk analisis DDBD dan 0,016 m untuk analisis *pushover*.

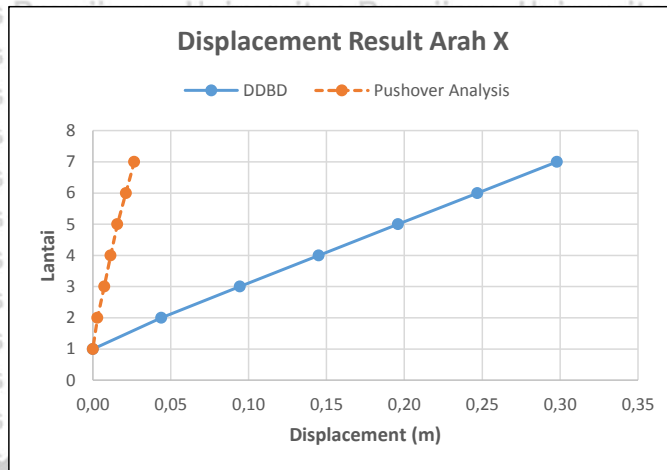
Untuk mengetahui nilai simpangan lateral pada arah x dan arah y digunakan persamaan (4.2) seperti dibawah ini :

$$\text{Simpangan Lateral} = \frac{0,0266}{23,5} = 0,0011 = 0,11\% \quad (\text{Arah x})$$

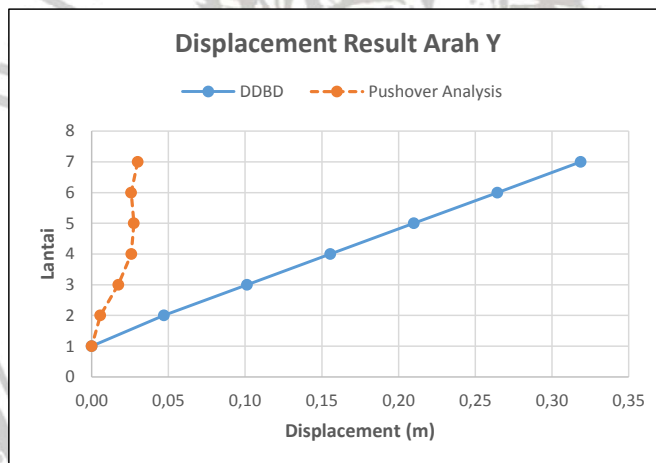
$$\text{Simpangan Lateral} = \frac{0,03}{23,5} = 0,0013 = 0,13\% \quad (\text{Arah y})$$



Dari nilai simpangan lateral arah x dan arah y diatas, menunjukkan bahwa dengan adanya perkuatan dinding geser tipe 3 dapat meningkatkan performa bangunan. Dimana kinerja struktur bangunan berbasis *Immidiata Occupancy*.

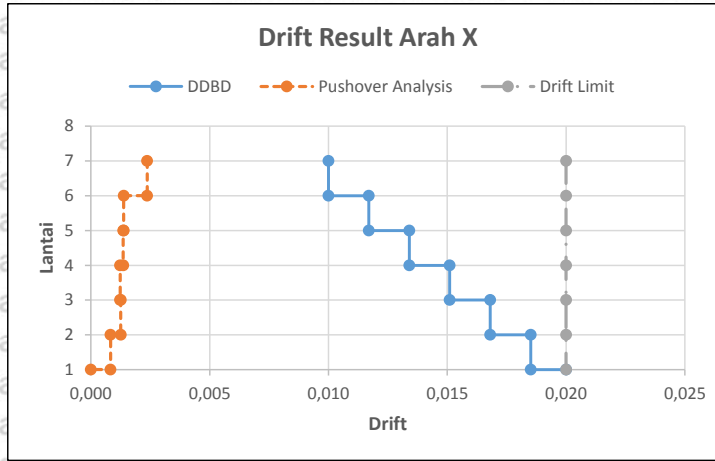


**Gambar 4.40** : Grafik *story displacement* arah x

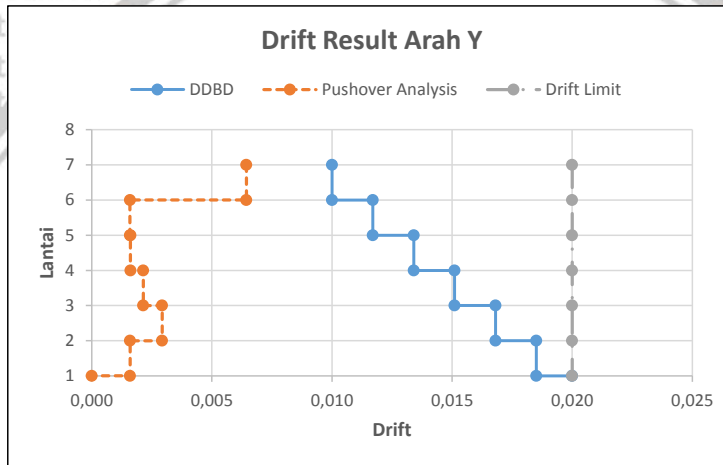


**Gambar 4.41** : Grafik *story displacement* arah y





Gambar 4.42 : Grafik *inter story drift* arah x



Gambar 4.43 : Grafik *inter story drift* arah y

Dapat digambarkan grafik *story displacement* dan *Inter story drift* pada pemodelan dinding geser tipe 3 ini, dengan membandingkan analisis DDBD dan analisis *pushover*. Dicontohkan pada Gambar 4.40, Gambar 4.41, Gambar 4.42, dan Gambar 4.43.

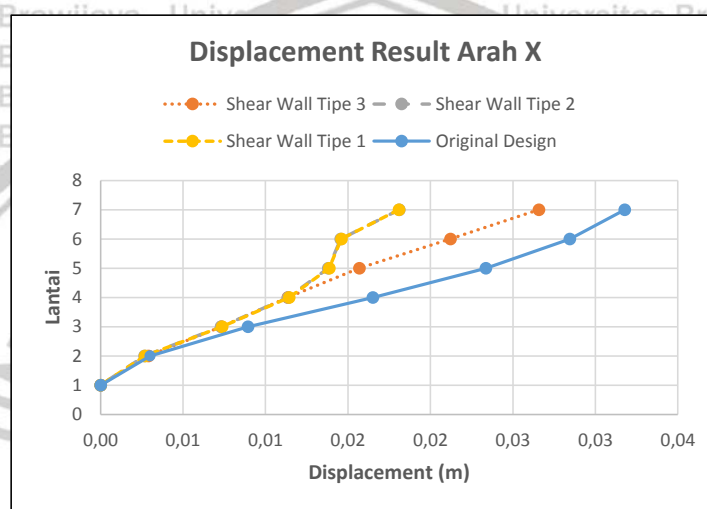
#### 4.7 Rekapitulasi Perbandingan *Original Design* dengan *Shear Wall*

Pada analisis *pushover non-linier* didapatkan hasil *Original Design* dan *Shear Wall* yang berbeda, antara nilai *story displacement* maupun nilai *inter story drift*. Berikut ini merupakan perbandingan nilai *Original Design* dan *Shear Wall* :

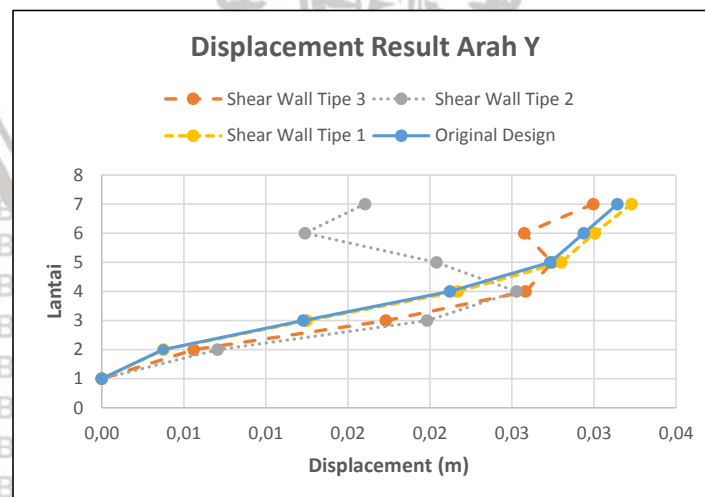
### 4.7.1 Rekapitulasi Story Displacement

Tabel 4.25 : Perbandingan *Story Displacement* arah x dan arah y

lantai	Hi (m)	DDBD		SW Tipe 1		SW Tipe 2		SW Tipe 3	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
7	23,5	0,03177	0,0314	0,0181	0,0323	0,0181	0,0160	0,0266	0,0300
6	19,5	0,02845	0,0294	0,0146	0,0300	0,0146	0,0124	0,0212	0,0258
5	15,5	0,02335	0,0273	0,0139	0,0280	0,0138	0,0204	0,0157	0,0275
4	11,5	0,0165	0,0212	0,0114	0,0217	0,0114	0,0253	0,0113	0,0258
3	7,5	0,00893	0,0123	0,0074	0,0125	0,0073	0,0198	0,0073	0,0173
2	3,5	0,00301	0,0037	0,0027	0,0038	0,0027	0,0070	0,0029	0,0056
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 4.44 : Kurva *Story Displacement* arah x



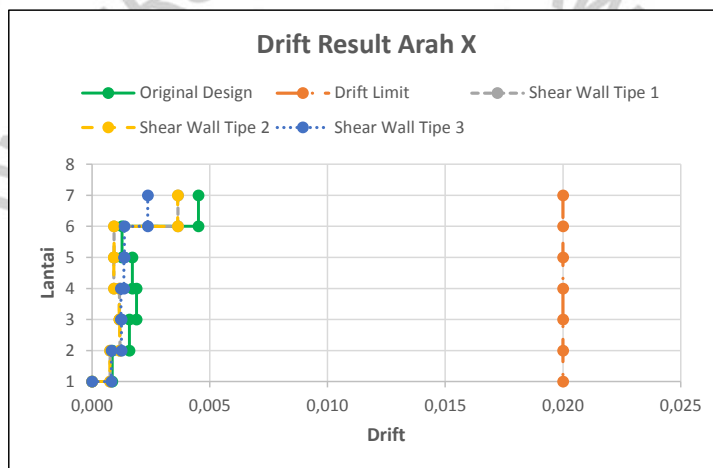
Gambar 4.45 : Kurva *Story Displacement* arah y

Dari hasil perbandingan pada **Tabel 4.25**, nilai *story displacement* terjadi penurunan antara *Original Design* dengan *Shear Wall*. Hal ini menandakan dengan adanya perkuatan dinding geser dapat membuat struktur menjadi lebih kuat dalam menahan gaya gempa. Dengan digambarkan pada grafik **Gambar 4.44** & **Gambar 4.45**.

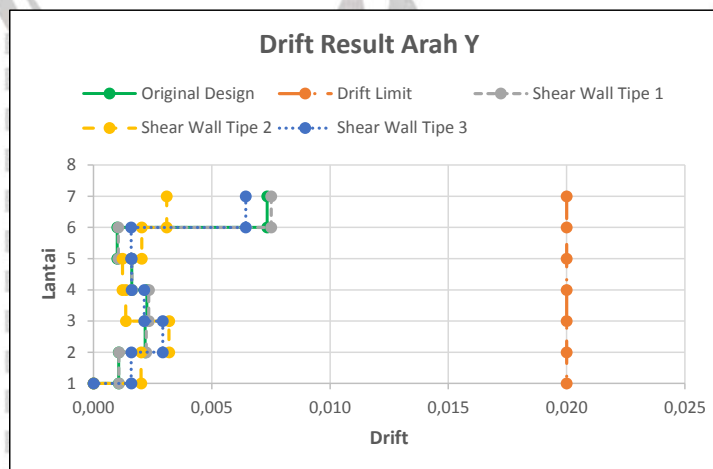
**4.7.2 Rekapitulasi Inter Story Drift**

**Tabel 4.26** : Perbandingan *Inter Story Drift* arah x dan arah y

lantai	Hi (m)	DDBD		SW Tipe 1		SW Tipe 2		SW Tipe 3	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
7	23,5	0,00452	0,0073	0,0037	0,0075	0,0036	0,0031	0,0024	0,0064
6	19,5	0,00128	0,0010	0,0009	0,0010	0,0009	0,0020	0,0014	0,0016
5	15,5	0,00171	0,0016	0,0009	0,0016	0,0009	0,0012	0,0014	0,0016
4	11,5	0,00189	0,0023	0,0012	0,0023	0,0012	0,0014	0,0012	0,0021
3	7,5	0,00159	0,0022	0,0012	0,0022	0,0012	0,0032	0,0013	0,0029
2	3,5	0,00086	0,0011	0,0008	0,0011	0,0008	0,0020	0,0008	0,0016
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0



**Gambar 4.46** : Kurva *Inter Story Drift* arah x



**Gambar 4.47** : Kurva *Inter Story Drift* arah y

Dari hasil perbandingan pada **Tabel 4.26**, nilai *Inter Story Drift* terjadi penurunan antara *Original Design* dengan *Shear Wall*. Hal ini menandakan dengan adanya perkuatan dinding geser dapat membuat struktur menjadi lebih kuat dalam menahan gaya gempa. Dengan digambarkan pada grafik **Gambar 4.46 & Gambar 4.47**.

**4.8 Persentase penurunan**

Setelah ditemukan perbandingan dari nilai *displacement* dan *Inter Story drift*, maka dapat dihitung persentase penurunannya. Dalam menentukan persentase penurunannya, nilai *displacement* dan *drift* pada struktur yang dipasang perkuatan akan dibandingkan dengan struktur tanpa perkuatan. Seperti yang dicontohkan dibawah ini :

**Tabel 4.27** : Persentase penurunan nilai *Story displacement*

Persentase (%)	Shear Wall		
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
Arah X	43,068	43,005	16,388
Arah Y	-2,752	48,958	4,658

**Tabel 4.28** : Persentase penurunan nilai *Inter Story Drift*

Persentase (%)	Shear Wall		
	Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
Arah X	19,2478	19,469	47,588
Arah Y	-2,246	57,855	12,360

Hasil analisis ini membuktikan bahwa struktur dengan perkuatan dinding geser tipe 2 merupakan optimasi yang paling efektif. Dengan persentase penurunan *displacement* maupun *drift* yang signifikan, seperti yang dicontohkan pada **Tabel 4.27** dan **Tabel 4.27**.



(lembar ini sengaja dikosongkan)



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dalam kajian ini mengacu pada RS. Bhayangkara Nganjuk sebagai objek analisis. Didapatkan hasil desain berdasarkan metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD), dan dimodelkan menggunakan metode *non-linier pushover* pada program ETABS. Terdapat beberapa kesimpulan dari hasil analisis ini, diantaranya sebagai berikut ini :

1. Dalam analisis ini dapat diketahui bahwa nilai simpangan lateral yang terjadi pada *Original Design* (OD) dan *Shear Wall* (SW) mengalami perubahan. Sesuai dengan prosedur ATC-40, kinerja struktur pada *Original Design* (OD) mencapai kondisi *Immediate Occupancy*. Dengan nilai simpangan lateral maksimum arah x dan arah y sebesar 0,0045 dan 0,0074.
2. *Shear Wall* (SW) tipe 1 kinerja struktur mencapai kondisi *Immediate Occupancy*, dengan nilai simpangan lateral maksimum pada arah x dan arah y sebesar 0,0037 dan 0,0075.
3. *Shear Wall* (SW) tipe 2 kinerja struktur mencapai kondisi *Immediate Occupancy*, dengan nilai simpangan lateral maksimum pada arah x dan arah y sebesar 0,0036 dan 0,0031.
4. *Shear Wall* (SW) tipe 3 kinerja struktur mencapai kondisi *Immediate Occupancy*, dengan nilai simpangan lateral maksimum pada arah x dan arah y sebesar 0,0024 dan 0,0064.
5. Dapat diambil kesimpulan bahwa nilai simpangan antar lantai mengalami penurunan, dari yang belum diberi perkuatan/OD dengan yang sudah diberi perkuatan/SW. Meskipun tingkat kinerja struktur pada OD maupun dengan SW sama-sama mencapai kondisi *Immediate Occupancy*, hal ini membuktikan bahwa penambahan perkuatan sangat mempengaruhi kekuatan struktur dalam menahan gaya lateral.
6. Jadi dinding geser dapat mempengaruhi penurunan nilai perpindahan lateral (*displacement*) pada struktur saat terjadinya gempa bumi.
7. Dengan menurunnya nilai *displacement* akibat pengaruh dinding geser ini, simpangan lateral (*drift*) yang dihasilkan akan menurun juga. Sehingga kekuatan dan kinerja struktur akan meningkat jika diberi perkuatan dinding geser.

8. Tingkat kinerja struktur mengalami kenaikan akibat adanya dinding geser. Sehingga hal ini telah sesuai dengan persyaratan pembangunan gedung untuk fungsi bangunan rumah sakit, yaitu didesain dengan kinerja *Immediate Occupancy*. Dikarenakan simpangan lateral yang dihasilkan tidak melebihi batas simpangan maksimum (*Immediate Occupancy* = 0,01).

## 5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang harus diperhatikan untuk analisis selanjutnya, yaitu sebagai berikut ini :

1. Diperlukan adanya data yang lengkap seperti denah struktur dan *Detail Engineering Design* (DED), agar dapat menghasilkan perilaku struktur yang sesuai dengan kondisi sebenarnya.
2. Diperlukan pemahaman yang baik dan referensi yang akurat mengenai metode *Direct Displacement Based Design* (DDBD) khususnya pekuatan sistem ganda, untuk mempermudah dalam menganalisis.
3. Diperlukan pemahaman dalam menjalankan program ETABS khususnya mengenai analisis dinamik *non-linier pushover*, guna dapat mengaplikasikan model struktur sesuai dengan kondisi riil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Pawirodikromo, Widodo. (2012). *Performance Based Seismic Design. 12<sup>th</sup> World Conference of Earthquake Engineering*. San Diego: University of California.
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building Volume 1*. Redwood City: Seismic Safety Commission State of California.
- Manalip H., E.J. Kumaat, dan F.I. Runtu. (2015). Penempatan Dinding Geser pada Bangunan Beton Bertulang Dengan Analisa *Pushover*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.5 No.1. Teknik Sipil UNSRAT Manado.
- Fauziah Lilik, M. D. J. Sumajouw, S. O. Dapas, dkk. (2013). Pengaruh Penempatan dan Posisi Dinding Geser Terhadap Simpangan Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa. Jurnal Sipil Statik Vol.1 No.7. Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *SNI 03-1727-2013 Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 03-1726-2019 Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987. *Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung (PPURG 1987)*, Bandung : Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Budio, S.P (2013). *Dinamika*. Malang: Universitas Brawijaya
- Priestly, M.J.N, Calvi, G.M., Kowalsky, M.J. (2007). *Displacement Based Seismic Design of Structures*. Pavia: IUSS Press.
- Ruang-sipil.com. (2020). *Dinding Geser*. <https://www.ruang-sipil.com/2019/09/dinding-geser.html> .Diakses pada 4 September 2021 pukul 19.27 WIB.



(lembar ini sengaja dikosongkan)





## LAMPIRAN

### 1. Struktur Tanpa Perkuatan (*Original Design*)

#### 1.1 Pembebanan Struktur

Lampiran 1.1 : Beban mati struktur lantai 2

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
<b>Berat Sendiri</b>							
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
<b>Beban mati tambahan</b>							
Keramik & Spesi Plafond					1,13		
					0,1		
Mekanikal elektrikal Ducting					0,1		
					0,2		
Dinding bata & partisi	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		-1,5	1	-86,29
	void 2	24,755	4		-1,5	1	-151,50
	void 3	3,55	24		-1,5	2	-260,71
<b>TOTAL</b>							<b>7649,86</b>

Lampiran 1.2 : Beban hidup lantai 2

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
<b>Beban hidup</b>							
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		-8,6	1	-486,168
	void 2	24,755	4		-8,6	1	-853,5524
	void 3	3,55	24		-8,6	2	-1468,848
<b>TOTAL</b>						:	<b>4849,7844</b>

Lampiran 1.3 : Beban mati struktur lantai 3

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
<b>Berat Sendiri</b>							
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

<b>Beban mati tambahan</b>							
Keramik & Spesi					1,13		
Plafond					0,1		
Mekanikal elektrikal					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 & partisi		273,16		3,35	1,1	1	1006,59
<b>TOTAL</b>							<b>8578,52</b>

### Lampiran 1.4 : Beban hidup lantai 3

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
<b>Beban hidup</b>							
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
<b>TOTAL</b>						:	<b>7172,18</b>

### Lampiran 1.5 : Beban mati struktur lantai 4 & 5

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
<b>Berat Sendiri</b>							
Pelat Lantai	Luasan 1	24,755	8	0,12	24	1	570,36
	Luasan 2	21,575	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
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

<b>Beban mati tambahan</b>							
Keramik & Spesi					1,13		
Plafond					0,1		
Mekanikal elektrikal					0,1		
Ducting					0,2		
Luasan 1	24,755	8			1,53	1	303,00
Luasan 2	21,575	4			1,53	1	131,58
Luasan 3	18,65	28			1,53	1	798,97
void	14,1	4			-1,53	1	-86,29
void 2	24,755	4			-1,53	1	-151,50
Dinding bata & partisi	313,51			3,35	1,1	1	1155,28
<b>TOTAL</b>							<b>8023,99</b>

**Lampiran 1.6 : Beban hidup lantai 4 & 5**

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
<b>Beban hidup</b>							
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	14,1	4			-8,62	1	-486,17
void 2	24,755	4			-8,62	1	-853,55
<b>TOTAL</b>							<b>6466,21</b>

**Lampiran 1.7 : Beban mati struktur lantai 6**

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
<b>Berat Sendiri</b>							
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
<b>Beban mati tambahan</b>							
Keramik & Spesi					1,13		
Plafond					0,1		
Mekanikal elektrikal					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 & partisi		201,125		3,35	1,1	1	741,15
<b>TOTAL</b>							<b>7682,40</b>

### Lampiran 1.8 : 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
<b>TOTAL</b>							<b>6466,2</b>

### Lampiran 1.9 : Beban mati atap

Komp. Beban	Ket.	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi (m)	q	Jumlah	Berat (Kn)
<b>Berat Sendiri</b>							
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 Mekanikal elektrik Ducting	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
<b>TOTAL</b>						<b>2822,73</b>

## 2. Perkuatan Dinding Geser Tipe 1

### 2.1 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur pada perkuatan dinding geser tipe 1 ini hampir sama dengan pembebanan tanpa perkuatan, hanya saja ada perbedaan sedikit. Pada pembebanan struktur dinding geser tipe 1 ini ditambahkan spesifikasi dinding gesernya, sehingga berat seismik efektifnya seperti berikut ini :

**Lampiran 2.1 : Berat seismik efektif**

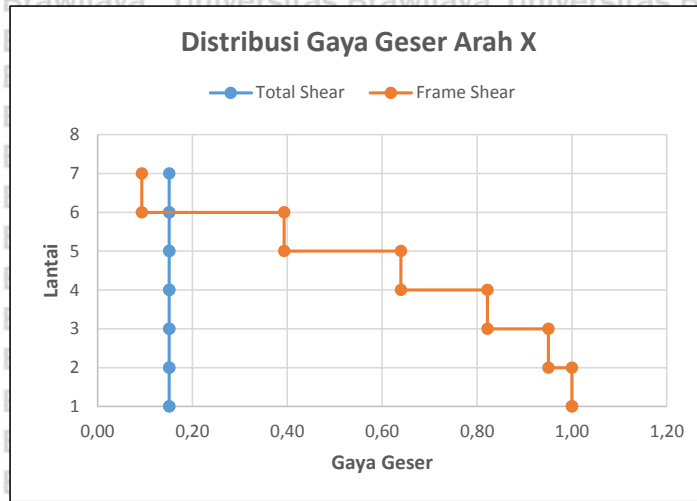
Level	DL (kN)	LL (kN)	1D + 0,5L (kN)	1D + 0,5L (ton)
Atap	2822,73	0	2822,73	282,27
6	7870,171	6466,21	11103,27	1110,33
5	8211,77	6466,21	11444,87	1144,49
4	8211,77	6466,21	11444,87	1144,49
3	8766,2974	7172,18	12352,39	1235,24
2	7837,64	4849,78	10262,53	1026,25
1	0	0	0	0

### 2.2 Overtuning Momen Relatif

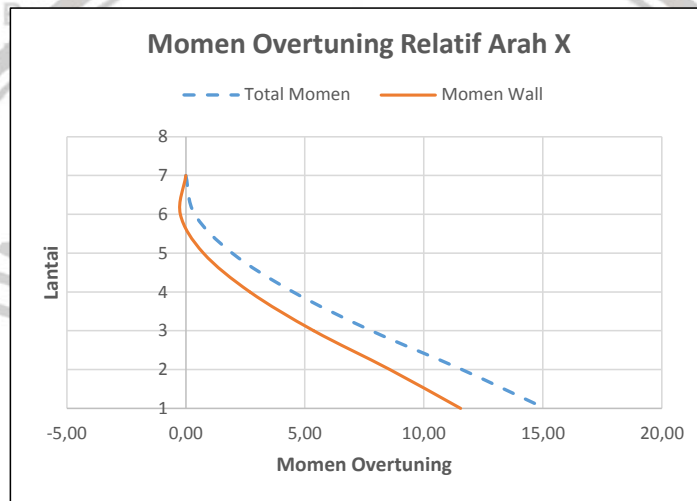
**Lampiran 2.2 : Overtuning Momen Relatif Arah X**

Tingkat	Tinggi Hi (m)	Mass mi (ton)	mi.Hi (ton.m)	Fi (rel)	Vt,i (rel)	Motm,i (rel)	Vf,i frame	Vw,i wall	Mw,i wall
7	23,5	282,273	6633,425	0,093	0,093	0	0,151	-0,058	0
6	19,5	1091,550	21285,222	0,300	0,393	0,3739	0,151	0,242	-0,2301
5	15,5	1125,710	17448,499	0,246	0,639	1,9476	0,151	0,488	0,73963
4	11,5	1125,710	12945,660	0,182	0,822	4,5049	0,151	0,671	2,69287
3	7,5	1216,461	9123,460	0,129	0,950	7,7918	0,151	0,799	5,37584
2	3,5	1007,476	3526,164	0,050	1	11,593	0,151	0,849	8,57308
1	0	0	0	0	1	15,093	0,151	0,849	11,5446
Jumlah		5849,179	70962,431	1					





Lampiran 2.3 : Distribusi Gaya Geser Arah X



Lampiran 2.4 : Grafik OMR Arah X

❖ Didapatkan  $H_{cf}$  sebesar 18,5509 m

### 2.3 Perpindahan Rencana

Lampiran 2.5 : Perpindahan Rencana Arah X

Tingkat	Tinggi Hi (m)	Mass mi (ton)	yi (m)	Di (m)
7	23,5	282,273	0,0042	0,295
6	19,5	1091,550	0,0033	0,245
5	15,5	1125,710	0,0023	0,194
4	11,5	1125,710	0,0014	0,144
3	7,5	1216,461	0,0006	0,094
2	3,5	1007,476	0,0002	0,043
1	0	0	0	0
Jumlah		5849,179		

### 3. Perkuatan Dinding Geser Tipe 2

#### 3.1 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur pada perkuatan dinding geser tipe 2 ini hampir sama dengan pembebanan tanpa perkuatan, hanya saja ada perbedaan sedikit. Pada pembebanan struktur dinding geser tipe 2 ini ditambahkan spesifikasi dinding gesernya, sehingga berat seismik efektifnya seperti berikut ini :

Lampiran 3.1 : Berat seismik efektif

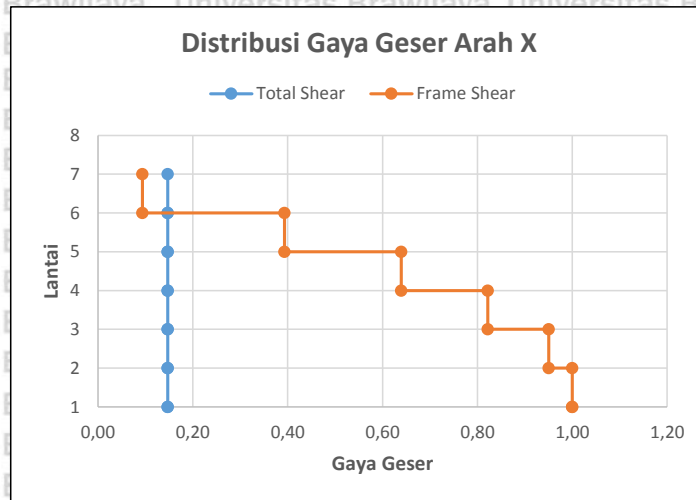
Level	DL (kN)	LL (kN)	1D + 0,5L (kN)	1D + 0,5L (ton)
Atap	2822,73	0	2822,73	282,27
6	8054,491	6466,21	11287,59	1128,76
5	8396,09	6466,21	11629,19	1162,92
4	8396,09	6466,21	11629,19	1162,92
3	8950,6174	7172,18	12536,71	1253,67
2	8021,96	4849,78	10446,85	1044,69
1	0	0	0	0

#### 3.2 Overtuning Momen Relatif

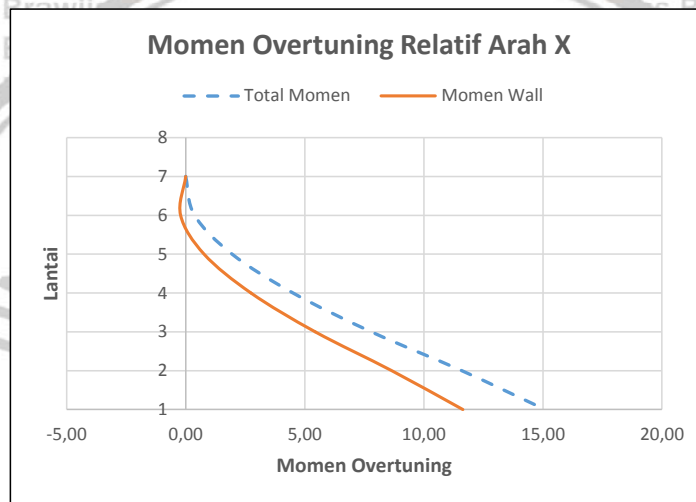
Lampiran 3.2 : Overtuning Momen Relatif Arah X

Tingkat	Tinggi Hi (m)	Mass mi (ton)	mi.Hi (ton.m)	Fi (rel)	Vt,i (rel)	Motm,i (rel)	Vf,i frame	Vw,i wall	Mw,i wall
7	23,5	282,273	6633,425	0,093	0,093	0	0,147	-0,054	0
6	19,5	1091,550	21285,222	0,300	0,393	0,3739	0,147	0,246	-0,2141
5	15,5	1125,710	17448,499	0,246	0,639	1,9476	0,147	0,492	0,7716
4	11,5	1125,710	12945,660	0,182	0,822	4,5049	0,147	0,675	2,7409
3	7,5	1216,461	9123,460	0,129	0,950	7,7918	0,147	0,803	5,4398
2	3,5	1007,476	3526,164	0,050	1	11,593	0,147	0,853	8,6531
1	0	0,000	0	0	1	15,093	0,147	0,853	11,639
Jumlah		5849,179	70962,431	1					





Lampiran 3.3 : Distribusi Gaya Geser Arah X

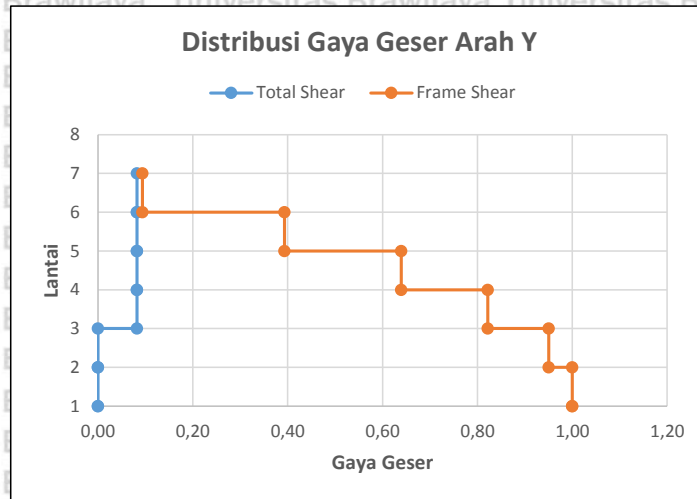


Lampiran 3.4 : Grafik OMR Arah X

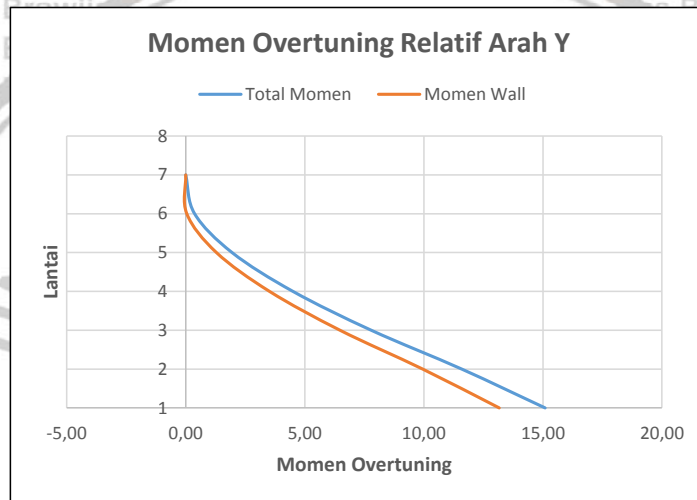
❖ Didapatkan  $H_{cf}$  untuk arah x sebesar 18,629 m

Lampiran 3.5 : Overtuning Momen Relatif Arah Y

Tingkat	Tinggi $H_i$ (m)	Mass $m_i$ (ton)	$m_i \cdot H_i$ (ton.m)	$F_i$ (rel)	$V_{t,i}$ (rel)	$M_{otm,i}$ (rel)	$V_{f,i}$ frame	$V_{w,i}$ wall	$M_{w,i}$ wall
7	23,5	282,273	6633,425	0,093	0,093	0	0,082	0,011	0
6	19,5	1091,550	21285,222	0,300	0,393	0,3739	0,082	0,311	0,0459
5	15,5	1125,710	17448,499	0,246	0,639	1,9476	0,082	0,557	1,2916
4	11,5	1125,710	12945,660	0,182	0,822	4,5049	0,082	0,740	3,5209
3	7,5	1216,461	9123,460	0,129	0,950	7,7918	0,082	0,868	6,4798
2	3,5	1007,476	3526,164	0,050	1	11,593	0,082	0,918	9,9531
1	0	0,000	0	0	1	15,093	0,082	0,918	13,166
Jumlah		5849,179	70962,431	1					



Lampiran 3.6 : Distribusi Gaya Geser Arah Y



Lampiran 3.7 : Grafik OMR Arah Y

❖ Didapatkan  $H_{ef}$  untuk arah y sebesar 23,5 m

### 3.3 Perpindahan Rencana

Lampiran 3.8 : Perpindahan Rencana Arah X

Tingkat	Tinggi Hi (m)	Mass mi (ton)	yi (m)	Di (m)
7	23,5	282,273	0,0042	0,296
6	19,5	1091,550	0,0033	0,245
5	15,5	1125,710	0,0023	0,195
4	11,5	1125,710	0,0014	0,144
3	7,5	1216,461	0,0006	0,094
2	3,5	1007,476	0,0002	0,044
1	0	0	0	0
Jumlah		5849,179		

**Lampiran 3.9 : Perpindahan Rencana Arah Y**

Tingkat	Tinggi Hi (m)	Mass mi (ton)	yi (m)	Di (m)
7	23,5	282,273	0,0043	0,3307
6	19,5	1091,550	0,0033	0,2742
5	15,5	1125,710	0,0023	0,2176
4	11,5	1125,710	0,0014	0,1611
3	7,5	1216,461	0,0007	0,1048
2	3,5	1007,476	0,0002	0,0488
1	0	0	0	0
Jumlah		5849,179		

**4. Perkuatan Dinding Geser Tipe 3**

**4.1 Pembebanan Struktur**

Pembebanan struktur pada perkuatan dinding geser tipe 3 ini hampir sama dengan pembebanan tanpa perkuatan, hanya saja ada perbedaan sedikit. Pada pembebanan struktur dinding geser tipe 3 ini ditambahkan spesifikasi dinding gesernya, sehingga berat seismik efektifnya seperti berikut ini :

**Lampiran 4.1 : Berat seismik efektif**

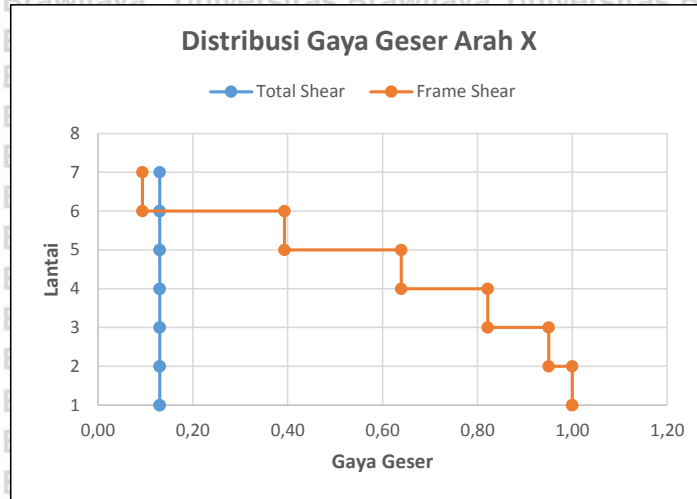
Level	DL (kN)	LL (kN)	1D + 0,5L (kN)	1D + 0,5L (ton)
Atap	2822,73	0	2822,73	282,27
6	7962,331	6466,21	11195,43	1119,54
5	8303,93	6466,21	11537,03	1153,70
4	8303,93	6466,21	11537,03	1153,70
3	8858,4574	7172,18	12444,55	1244,45
2	7929,80	4849,78	10354,69	1035,47
1	0	0	0	0

**4.2 Overtuning Momen Relatif**

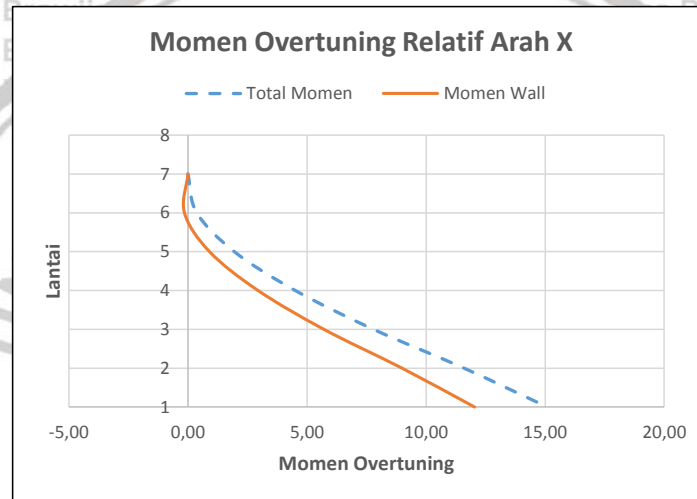
**Lampiran 4.2 : Overtuning Momen Relatif Arah X**

Tingkat	Tinggi Hi (m)	Mass mi (ton)	mi.Hi (ton.m)	Fi (rel)	Vt,i (rel)	Motm,i (rel)	Vf,i frame	Vw,i wall	Mw,i wall
7	23,5	282,273	6633,425	0,093	0,093	0	0,13	-0,037	0
6	19,5	1091,550	21285,222	0,300	0,393	0,3739	0,13	0,263	-0,1461
5	15,5	1125,710	17448,499	0,246	0,639	1,9476	0,13	0,509	0,9076
4	11,5	1125,710	12945,660	0,182	0,822	4,5049	0,13	0,692	2,9449
3	7,5	1216,461	9123,460	0,129	0,950	7,7918	0,13	0,820	5,7118
2	3,5	1007,476	3526,164	0,050	1	11,593	0,13	0,870	8,9931
1	0	0	0	0	1	15,093	0,13	0,870	12,038
Jumlah		5849,179	70962,431	1					





Lampiran 4.3 : Distribusi Gaya Geser Arah X



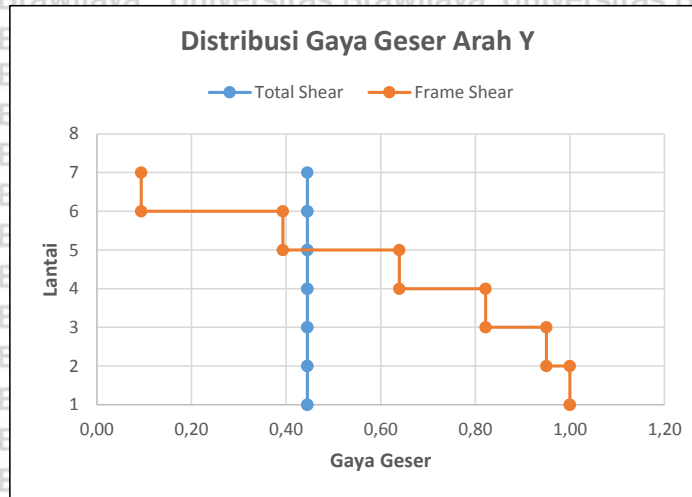
Lampiran 4.4 : Grafik OMR Arah X

❖ Didapatkan  $H_{cf}$  untuk arah x sebesar 18,945 m

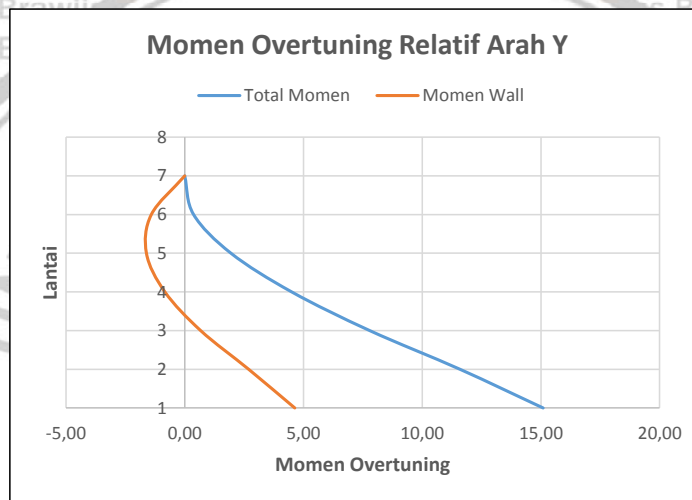
Lampiran 4.5 : Overtuning Momen Relatif Arah Y

Tingkat	Tinggi $H_i$ (m)	Mass $m_i$ (ton)	$m_i \cdot H_i$ (ton.m)	$F_i$ (rel)	$V_{t,i}$ (rel)	$M_{otm,i}$ (rel)	$V_{f,i}$ frame	$V_{w,i}$ wall	$M_{w,i}$ wall
7	23,5	282,273	6633,425	0,093	0,093	0	0,445	-0,352	0
6	19,5	1091,550	21285,222	0,300	0,393	0,3739	0,445	-0,052	-1,4061
5	15,5	1125,710	17448,499	0,246	0,639	1,9476	0,445	0,194	-1,6124
4	11,5	1125,710	12945,660	0,182	0,822	4,5049	0,445	0,377	-0,8351
3	7,5	1216,461	9123,460	0,129	0,950	7,7918	0,445	0,505	0,6718
2	3,5	1007,476	3526,164	0,050	1	11,593	0,445	0,555	2,6931
1	0	0	0	0	1	15,093	0,445	0,555	4,6356
Jumlah		5849,179	70962,431	1					





Lampiran 4.6 : Distribusi Gaya Geser Arah Y



Lampiran 4.7 : Grafik OMR Arah Y

❖ Didapatkan  $H_{cf}$  untuk arah y sebesar 9,3 m

### 4.3 Perpindahan Rencana

Lampiran 4.8 : Perpindahan Rencana Arah X

Tingkat	Tinggi $H_i$ (m)	Mass $m_i$ (ton)	$y_i$ (m)	$D_i$ (m)
7	23,5	282,273	0,0043	0,298
6	19,5	1091,550	0,0033	0,247
5	15,5	1125,710	0,0023	0,196
4	11,5	1125,710	0,0014	0,145
3	7,5	1216,461	0,0006	0,094
2	3,5	1007,476	0,0002	0,044
1	0	0	0	0
Jumlah		5849,179		

Lampiran 4.9 : Perpindahan Rencana Arah Y

Tingkat	Tinggi Hi (m)	Mass mi (ton)	yi (m)	Di (m)
7	23,5	282,273	0,0051	0,319
6	19,5	1091,550	0,0041	0,264
5	15,5	1125,710	0,0031	0,210
4	11,5	1125,710	0,0021	0,156
3	7,5	1216,461	0,0011	0,101
2	3,5	1007,476	0,0003	0,047
1	0	0,000	0	0
Jumlah		5849,179		

