

**TUGAS AKHIR**

**PERBANDINGAN ANALISIS DAN DESAIN MODEL  
2D DAN 3D PADA BANGUNAN BETON TAHAN  
GEMPA BERTINGKAT BANYAK DENGAN  
PENERAPAN FEMA P-751  
(*COMPARISON OF ANALYSIS AND DESIGN OF 2D  
AND 3D MODELS IN MULTI-STORY SEISMIC-  
RESISTANT CONCRETE BUILDINGS USING FEMA P-  
751 APPLICATION*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Raditya Firdaus  
17511155**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2024**

## TUGAS AKHIR

# PERBANDINGAN ANALISIS DAN DESAIN MODEL 2D DAN 3D PADA BANGUNAN BETON TAHAN GEMPA BERTINGKAT BANYAK DENGAN PENERAPAN FEMA P-751 (*COMPARISON OF ANALYSIS AND DESIGN OF 2D AND 3D MODELS IN MULTI-STORY SEISMIC- RESISTANT CONCRETE BUILDINGS USING FEMA P- 751 APPLICATION*))



Disusun oleh

**Raditya Firdaus**  
**17511155**

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 9 Januari 2024

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D.

NIP: 785110201

Penguji I

Elvis Saputra, S.T., MT.

NIP: 205111302

Penguji II

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.

NIP: 165111301

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yupalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.)

NIP: 095110101

## **PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI**

Saya dengan sungguh-sungguh menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang saya buat sebagai syarat untuk menyelesaikan program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, merupakan hasil karya pribadi saya. Apabila ada bagian tertentu dalam laporan Tugas Akhir yang saya ambil dari karya orang lain, saya telah dengan jelas mengacu pada sumbernya sesuai dengan norma, etika, dan pedoman penulisan ilmiah yang berlaku. Saya bersedia menerima sanksi yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik, jika di kemudian hari terbukti bahwa seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau terdapat tindakan plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, sesuai dengan ketentuan hukum yang berlaku.

Yogyakarta, Februari 2024

Yang membuat pernyataan,



Raditya Firdaus

(17511155)

## KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim. Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Analisis dan Desain Model 2D dan 3D Pada Bangunan Beton Tahan Gempa Bertingkat Banyak Dengan Penerapan FEMA P-751*. Tugas Akhir ini merupakan di antara persyaratan akademik dalam menyelesaikan program studi pada tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini penulis mengalami berbagai tantangan dan juga hambatan, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini Alhamdulillah dapat terselesaikan. Sebagai bentuk penghormatan, penulis ingin mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Widodo, MSCE., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I,
2. Bapak Elvis Saputra, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I,
3. Ibu Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji II,
4. Bapak dan Ibu penulis yang telah banyak membantu serta berkorban banyak hingga selesainya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, namun penulis berharap bahwa Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 13 Februari 2024

Penulis,



Raditya Firdaus

17511155

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Definisi Operasional	5
BAB II STUDI PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.1.1 Pribadi & Setiawan (2006)	6
2.1.2 Hermawan & Putra (2007)	7
2.1.1 Widyarini, Pithaloka, Sukamta, & Sabdono, (2013)	9
2.1.2 Perbandingan terhadap penelitian sebelumnya	10
2.1.3 Keaslian Penelitian	15
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Prinsip Desain Bangunan Tahan Gempa	16
3.2 Tahap Pertama : Analisis Struktur Untuk <i>Checking</i> Kinerja	16
3.2.1 Sistem Struktur	16

3.2.2	Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa	17
3.2.3	Klasifikasi Situs	17
3.2.4	Parameter Percepatan Gempa	17
3.2.5	Koefisien Situs dan Parameter Percepatan	18
3.2.6	Parameter Percepatan Spektral Desain	18
3.2.7	Kategori Desain Seismik	18
3.2.8	Pembebanan	19
3.2.9	Periode Fundamental Struktur	20
3.2.10	Gaya Geser Dasar Seismik $V$	21
3.2.11	Distribusi Vertikal Gaya Seismik $F_x$	22
3.2.12	Gaya Geser Tingkat	23
3.2.13	Momen Inersia Penampang	23
3.2.14	Ketidakteraturan Struktur	24
3.2.15	Simpangan Antar Tingkat ( <i>Drift</i> )	24
3.2.16	Efek P-Delta ( $P-\Delta$ <i>Effect</i> ) 2D dan 3D	26
3.3	Tahap Kedua : Analisis Struktur Untuk <i>Checking</i> Kinerja Final dan Untuk Desain	27
3.3.1	Pengaruh Beban Seismik	27
3.3.2	Faktor Redundansi	28
3.3.3	Beban Ortogonal	28
3.3.4	Kombinasi Beban Akibat Pengaruh Beban Ortogonal (	29
3.3.5	Torsi Tak Terduga	30
3.3.6	Spektrum Respons Desain	31
3.3.7	Analisis Spektrum Respons	32
3.3.8	Koefisien Modifikasi Respons $R$	33
3.3.9	Partisipasi Massa Ragam	33
3.3.10	Penskalaan Gaya dari Analisis Ekuivalen Statik	33
3.3.11	Penskalaan Simpangan	33
3.3.12	Simpangan Antar Tingkat ( <i>Drift</i> )	34
3.3.13	Efek P-Delta ( $P-\Delta$ <i>Effect</i> )	34
3.4	Desain Elemen Struktur	34

3.4.1	Desain Tulangan Pelat	34
3.4.2	Desain Tulangan Balok	37
3.4.3	Desain Tulangan Longitudinal Kolom	43
3.4.4	Desain Tulangan Geser Kolom	44
3.4.5	Desain Tulangan <i>Beam - Column Joint</i>	47
3.4.6	Desain Tulangan Fondasi	49
3.5	Biaya	53
BAB IV	METODE PENELITIAN	54
4.1	Lokasi Penelitian dan Data Struktur	54
4.2	Pemodelan Struktur	54
4.3	Metode Penelitian	56
BAB V	HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN	60
5.1	Konfigurasi Bangunan	60
5.2	Estimasi Awal Desain	60
5.3	Pembebanan	62
5.3.1	Beban Gravitasi	62
5.3.2	Beban Portal	64
5.4	Analisis Struktur Tahap 1	68
5.4.1	Kategori Risiko Bangunan dan Keutamaan Gempa	68
5.4.2	Klasifikasi Situs	68
5.4.3	Parameter Percepatan Gempa	68
5.4.4	Koefisien Situs dan Parameter Percepatan	69
5.4.5	Parameter Percepatan Spektral Desain	69
5.4.6	Kategori Desain Seismik	69
5.4.7	Pembebanan	69
5.4.8	Periode Fundamental Struktur	69
5.4.9	Gaya Geser Dasar Seismik	70
5.4.10	Distribusi Gaya Seismik (F) dan Gaya Geser Tingkat (V)	73
5.4.11	Momen Inersia Penampang	76
5.4.12	Ketidakteraturan Struktur 3D	76
5.4.13	Simpangan Antar Tingkat	79

5.4.14	Efek P-Delta	81
5.5	Analisis Struktur Tahap 2	82
5.5.1	Faktor Redundansi	82
5.5.2	Eksentrisitas Bawaan dan Eksentrisitas Tambahan	83
5.5.3	Partisipasi Massa	83
5.5.4	Spektrum Respons Desain	85
5.5.5	Penentuan Kombinasi Ragam	86
5.5.6	Skala Gaya Respons Spektrum	87
5.5.7	Skala Simpangan	90
5.5.8	Beban Ortogonal	90
5.5.9	Gaya Geser Tingkat	92
5.5.10	Simpangan Antar Tingkat	92
5.5.11	Efek P-Delta	94
5.6	Desain Elemen	95
5.6.1	Pelat	95
5.6.2	Balok	99
5.6.3	Kolom	113
5.6.4	Fondasi	125
5.7	Biaya	134
5.8	Siklus 2	139
5.9	Pembahasan Perbandingan	140
5.9.1	Perbandingan Gaya-gaya dan Momen-momen	140
5.9.2	Perbandingan Kinerja Struktur	147
5.9.3	Perbandingan Biaya	150
BAB VI KESIMPULAN		152
6.1	Kesimpulan	152
6.2	Saran	153
DAFTAR PUSTAKA		154
LAMPIRAN		156



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terhadap Penelitian Sebelumnya	11
Tabel 5.1 Detail Elevasi Tiap Tingkat Gedung	60
Tabel 5.2 Detail Dimensi Balok	61
Tabel 5.3 Berat Bangunan Model 3 Dimensi	72
Tabel 5.4 Berat Bangunan 2D	72
Tabel 5.5 Cek Kinerja Ketidakberaturan Torsi Arah $x$	78
Tabel 5.6 Cek Kinerja Ketidakberaturan Torsi Arah $y$	78
Tabel 5.7 Skala Gaya Respons Spektrum 3D	87
Tabel 5.8 Skala Gaya Respons Spektrum 2D A-3	89
Tabel 5.9 Skala Gaya Respons Spektrum 2D A-F	89
Tabel 5.10 Rekapitulasi Mn-Pn Kolom tingkat 1	119
Tabel 5.11 Daya Dukung Selimut	126
Tabel 5.12 Momen Guling Portal A-3	133

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Penentuan Nilai Periode	21
Gambar 3.2 Simpangan di Pusat Massa	25
Gambar 3.3 Penentuan Rasio Simpangan	26
Gambar 3.4 Pengaruh Beban Ortogonal	28
Gambar 3.5 Spektrum Respons Desain	32
Gambar 3.6 Torsi Tak Terduga	30
Gambar 3.7 Faktor Pembesaran Torsi, $A_x$	31
Gambar 3.8 Diagram Interaksi $M_n - P_n$	44
Gambar 3.9 Geser Desain Untuk Balok dan Kolom	46
Gambar 3.10 Tegangan <i>one way action</i>	50
Gambar 3.11 Tegangan <i>two way action</i>	51
Gambar 4.1 Denah Tingkat 1-11	55
Gambar 4.2 Model 2D pada A-3 (a.) dan A-F (b.)	56
Gambar 4.3 <i>Flowchart</i> Tahapan Analisis	59
Gambar 5.1 Detail Potongan Portal A-3	64
Gambar 5.2 Beban Titik Balok Induk Portal A-3	65
Gambar 5.3 Beban Titik Balok Anak Portal A-3	66
Gambar 5.4 Total Beban Mati Merata A-3	67
Gambar 5.5 Beban Hidup Merata	68
Gambar 5.6 Gaya Geser Tingkat Model 3 Dimensi	74
Gambar 5.7 Gaya Geser Tingkat Model 2 Dimensi A-3	75
Gambar 5.8 Gaya Geser Tingkat Model 2 Dimensi A-F	75
Gambar 5.9 Titik Acuan Ketidakberaturan Torsi Arah $x$	76
Gambar 5.10 Titik Acuan Ketidakberaturan Torsi Arah $y$	77
Gambar 5.12 Titik Acuan Simpangan Antar Tingkat 2D A-3	80
Gambar 5.13 Titik Acuan Simpangan Antar Tingkat 2D A-F	81
Gambar 5.14 Partisipasi Massa 100% 3D	84
Gambar 5.15 Partisipasi Massa 100% 2D A-3	84

Gambar 5.16 Respons Spektrum Desain	86
Gambar 5.17 Fx dan Vx pada 3D	88
Gambar 5.18 Fy dan Vy pada 3D	88
Gambar 5.19 Fx dan Vx pada 2D A-3	89
Gambar 5.20 Fy dan Vy pada 2D A-F	90
Gambar 5.21 Grafik Simpangan 3Dx dan 2D A-3	93
Gambar 5.22 Grafik Simpangan 3Dy dan 2D A-F	93
Gambar 5.23 Grafik P-Delta 3Dx dan 2D A-3 Tahap 2	94
Gambar 5.24 Grafik P-Delta 3Dy dan 2D A-F Tahap 2	94
Gambar 5.25 Momen Ultimate Balok Tingkat 1	100
Gambar 5.26 Penentuan $\phi$	104
Gambar 5.27 Gaya Geser Gravitasi	111
Gambar 5.28 Gaya Geser Gempa	111
Gambar 5.29 Gaya Geser Total	112
Gambar 5.30 Diagram Interaksi Mn-Pn	120
Gambar 5.31 Gaya Geser <i>Ultimate Under Gravity Load</i>	128
Gambar 5.32 Gaya Geser <i>Ultimate Under EQ Load</i>	129
Gambar 5.33 Gaya Geser Pondasi	131
Gambar 5.34 Gaya Aksial Pada Dasar Kolom	134
Gambar 5.35 Momen Balok Siklus 1	143
Gambar 5.36 Momen Balok 4 Siklus 2	144
Gambar 5.37 Perbandingan Momen Balok 3D Siklus 1 dan 2	144
Gambar 5.38 Perbandingan Momen Balok 2D Siklus 1 dan 2	145
Gambar 5.39 Perbandingan Gaya Geser Balok Tumpuan	146
Gambar 5.40 Gaya Aksial Kolom K1	146
Gambar 5.41 Simpangan x	147
Gambar 5.42 Simpangan y	148
Gambar 5.43 P-Delta x	149
Gambar 5.44 P-Delta y	149
Gambar 5.45 Perbandingan Simpangan Antar Penelitian	150

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Distribusi Vertikal Gaya Seismik dan Gaya Geser 3D	157
Lampiran 2 : Distribusi Vertikal Gaya Seismik dan Gaya Geser 2D	158
Lampiran 3 : Simpangan Antar Tingkat Analisis Struktur Tahap 1 3D	159
Lampiran 4 : Simpangan Antar Tingkat Analisis Struktur Tahap 1 2D	160
Lampiran 5 : P-Delta Efek Analisis Struktur Tahap 1 3D	161
Lampiran 6 : P-Delta Efek Analisis Struktur Tahap 1 2D	162
Lampiran 7 : Pusat Massa Bangunan	163
Lampiran 8 : Respons Spektrum	164
Lampiran 9 : Periode Getar Alami Model 3D	165
Lampiran 10 : Periode Getar Alami 2D	166
Lampiran 11 : Distribusi Vertikal Gaya Geser Terhadap Skala Gaya	167
Lampiran 12 : Simpangan Antar Tingkat Analisis Struktur Tahap 2 3D	168
Lampiran 13 : Simpangan Antar Tingkat Analisis Struktur Tahap 2 2D	169
Lampiran 14 : P-Delta Efek Analisis Struktur Tahap 2 3D	170
Lampiran 15 : P-Delta Efek Analisis Struktur Tahap 2 2D	171
Lampiran 16 : Rekapitulasi Desain Pelat	172
Lampiran 17 : Momen Ultimate Model 3D Balok Gempa Dari Kiri	173
Lampiran 18 : Momen Ultimate Balok 3D Gempa Dari Kanan	174
Lampiran 19 : Rekapitulasi Desain Balok 3D Siklus 1	175
Lampiran 20 : Rekapitulasi Desain Balok 2D Siklus 1	176
Lampiran 21: Rekapitulasi <i>Beam-Column Joint</i> 3D Siklus 1	177
Lampiran 22 : Rekapitulasi <i>Beam-Column Joint</i> 2D Siklus 1	178
Lampiran 23 : <i>Check Strong Column Weak Beam</i>	179
Lampiran 24 : Rekapitulasi Desain Kolom 3D Siklus 1	180
Lampiran 25 : Rekapitulasi Desain Kolom 2D Siklus 1	181
Lampiran 26 : Data <i>Borelog</i> Tanah Sedang	182
Lampiran 27 : Desain Fondasi Siklus 1	184
Lampiran 28 : AHSP Beton Mutu $F'c = 31,2$ Mpa (PERMEN PUPR 28-2016)	185
Lampiran 29 : AHSP Pembesian (PERMEN PUPR 28-2016)	186

Lampiran 30 : AHSP Bekisting Balok (PERMEN PUPR 28-2016)	187
Lampiran 31 : Rencana Anggaran Biaya 3D Siklus 1	188
Lampiran 32 : Rencana Anggaran Biaya 2D Siklus 1	189
Lampiran 33 : Cek Kinerja Ketidakberaturan Torsi 3D x Siklus 2	190
Lampiran 34 : Cek Kinerja Ketidakberaturan Torsi 3D y Siklus 2	191
Lampiran 35 : Desain Balok 3D Siklus 2	192
Lampiran 36 : Desain Balok 2D Siklus 2	193
Lampiran 37 : Desain Kolom 3D Siklus 2	194
Lampiran 38 : Desain Kolom 2D Siklus 2	195
Lampiran 39 : Desain Fondasi Siklus 2	196
Lampiran 40 : Rencana Anggaran Biaya 3D Siklus 2	197
Lampiran 41 : Rencana Anggaran Biaya 2D Siklus 2	198
Lampiran 42 : Perbandingan Gaya Antar Tingkat x	199
Lampiran 43 : Perbandingan Gaya Antar Tingkat y	200
Lampiran 44 : Perbandingan Siklus Gaya Antar Tingkat x	201
Lampiran 45 : Perbandingan Siklus Gaya Antar Tingkat y	202
Lampiran 46 : Perbandingan Gaya Geser Tingkat x	203
Lampiran 47 : Perbandingan Gaya Geser Tingkat y	204
Lampiran 48 : Perbandingan Siklus Gaya Geser Tingkat x	205
Lampiran 49 : Perbandingan Siklus Gaya Geser Tingkat y	206
Lampiran 50 : Perbandingan Momen Balok Siklus 1	207
Lampiran 51 : Perbandingan Momen Balok Siklus 2	208
Lampiran 52 : Perbandingan Momen Balok Antar Siklus Portal A-3	209
Lampiran 53 : Perbandingan Momen Balok Antar Siklus Portal A-F	210
Lampiran 54 : Perbandingan Gaya Geser Siklus 2	211
Lampiran 55 : Perbandingan Gaya Aksial Kolom 3D dengan 2D x	212
Lampiran 56 : Perbandingan Gaya Aksial Kolom 3D dengan 2D y	213
Lampiran 57 : Perbandingan Gaya Aksial Kolom Antar Siklus x	214
Lampiran 58 : Perbandingan Gaya Aksial Kolom Antar Siklus y	215
Lampiran 59 : Perbandingan Simpangan 3D dengan 2D Siklus 1	216
Lampiran 60 : Perbandingan Simpangan 3D dengan 2D Siklus 2	217

Lampiran 61 : Perbandingan Simpangan Antar Siklus 3D	218
Lampiran 62 : Perbandingan Simpangan Antar Siklus 2D	219
Lampiran 63 :Perbandingan P-Delta 3D dengan 2D Siklus 1	220
Lampiran 64 : Perbandingan P-Delta 3D dengan 2D Siklus 2	221
Lampiran 65 : Perbandingan P-Delta Antar Siklus 3D	222
Lampiran 66 : Perbandingan P-Delta Antar Siklus 2D	223
Lampiran 67 : Pengoperasian ETABS Model 3D Metode FEMA -751	224
Lampiran 68 : Gambar	224

## ABSTRAK

Perencanaan struktur bangunan tidak akan lepas terhadap proses analisis dan desain. Dalam proses analisis dan desain haruslah mengikuti *code* yang berlaku, di antaranya yaitu FEMA P-751. FEMA P-751 merupakan *code* prosedur dalam analisis dan desain struktur. Sementara itu, ada 2 pendekatan dalam memodelkan bangunan yaitu tampak 3D dan 2D. Terdapat beberapa penelitian yang telah membahas tentang analisis dan desain 3D dan 2D, namun memiliki keterbatasan yaitu pada *code* yang digunakan, metode dalam analisis struktur serta hanya menerapkan 1 siklus proses analisis dan desain saja. Dengan sebab tersebut, penelitian tentang analisis dan desain metode FEMA P-751 pada bangunan 3D dan 2D dengan menerapkan siklus dilakukan. Penelitian ini memiliki tujuan mengetahui perbedaan cek kinerja (simpangan antar tingkat dan efek P-Delta), perbedaan Gaya-gaya dalam hasil analisis serta perbandingan biaya.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: 1. Penentuan dimensi elemen, 2. Memodelkan struktur 3D dan 2D, 3. Cek kinerja tahap 1 dan tahap 2 siklus 1(S1), 4. Desain elemen siklus 1(S1), 5. Memodelkan ulang menggunakan dimensi baru, 6. Cek kinerja analisis struktur tahap 1 dan tahap 2 untuk siklus 2(S2), 7 Perbandingan Gaya-gaya analisis, 8. Perbandingan Kinerja Struktur, dan 8. Perbandingan Biaya.

Hasil dari penelitian ini di antaranya yaitu perbedaan gaya dan momen pada model 3D memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan 2D. Kemudian, Kinerja simpangan dan P-Delta pada model 3D lebih besar dibandingkan dengan model 2D, dengan selisih simpangan dan P-Delta berturut-turut pada siklus 1 dari analisis tahap 2 sebesar 40% dan 38%. Sementara itu, pada siklus 2 didapatkan bahwa selisih simpangan dan P-Delta berturut-turut yaitu sebesar . Kemudian, biaya anggaran pada model 2D didapati memiliki nilai yang lebih murah dari anggaran 3D dengan selisih Rp. 400.000.000,00 atau 7,55%.

**Kata Kunci:** Analisis dan Desain, FEMA P-751, Dua dan Tiga Dimensi (2D & 3D)

## **ABSTRACT**

*The planning of building structures is inseparable from the process of analysis and design. In the analysis and design process, it is necessary to adhere to applicable codes, including FEMA P-751. FEMA P-751 is a procedural code in structural analysis and design. Meanwhile, there are two approaches in modeling buildings, namely in 3D and 2D. Several studies have discussed the analysis and design in both 3D and 2D, but they have limitations, such as the codes used, methods in structural analysis, and only applying one cycle of analysis and design process. Therefore, a study on the analysis and design method of FEMA P-751 on 3D and 2D buildings applying cycles is conducted. This study aims to determine the differences in performance checks (displacement between levels and P-Delta effects), differences in forces in the analysis results, and cost comparisons.*

*The methods employed in this research are as follows: 1. Determination of element dimensions, 2. Modeling 3D and 2D structures, 3. Performance check in stage 1 and stage 2 of cycle 1 (S1), 4. Element design in cycle 1 (S1), 5. Remodeling using new dimensions, 6. Performance check of structural analysis in stage 1 and stage 2 for cycle 2 (S2), 7. Comparison of analysis forces, 8. Structural Performance Comparison, and 9. Cost Comparison.*

*The results of this study include differences in forces and moments in the 3D model, which are greater compared to the 2D model. Additionally, the performance of displacement and P-Delta in the 3D model is greater than in the 2D model, with respective differences in displacement and P-Delta in cycle 1 of stage 2 analysis being 40% and 38%. Meanwhile, in cycle 2, the differences in displacement and P-Delta are . Additionally, the budget cost for the 2D model is found to be cheaper than the 3D model, with a difference of Rp. 400,000,000.00 or 7.55%.*

**Keywords:** *Analysis and Design, FEMA P-751, Two and Three Dimensions (2D & 3D)*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Proses perancangan bangunan gedung bertingkat, biasanya akan dimodelkan langsung ke dalam bentuk tampilan tiga dimensi (3D). Tujuan dari pemodelan 3D tersebut adalah untuk memudahkan dalam membayangkan bentuk geometri bangunan, serta memberikan kemudahan bagi insinyur dalam menganalisis gaya yang terjadi setelah bangunan diberi beban. Namun, pemodelan bangunan dalam bentuk 3D ini membutuhkan waktu yang cukup lama untuk dilakukan. Sebaliknya, jika dibandingkan dengan pemodelan 3D, pemodelan 2D yang menganalisis perpotongan bangunan membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat. Oleh karena itu, analisis struktur dalam bentuk 2D dapat dijadikan alternatif pengganti pemodelan 3D. Di lain sisi, perlu diperhatikan bahwa pemodelan dalam bentuk 2D belum tentu mampu merepresentasikan kondisi nyata secara menyeluruh seperti dalam pemodelan 3D.

Dalam proses desain, penting untuk mematuhi pedoman (*code*) yang berlaku. Di Indonesia, terdapat berbagai pedoman yang membahas desain bangunan gedung bertingkat, antara lain: Standar Nasional Indonesia SNI 2847-(2019) yang mengatur persyaratan beton struktural untuk bangunan, SNI 1726-(2019) yang membahas desain struktur bangunan tahan gempa, dan SNI 1727-(2020) yang mengatur beban minimum untuk bangunan. Sementara itu, perlu diperhatikan bahwa kode-kode ini dapat mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Misalnya, sebelum tahun 2002, SNI 1726 belum mengatur tentang perlunya struktur dimodelkan dengan 3D yang beriringan dengan belum adanya ketentuan detail terkait ketidakberaturan. Kemudian pada tahun 2012, SNI 1726 mulai memasukkan ketentuan tentang perlunya struktur dimodelkan dengan 3D yang juga bersamaan dengan munculnya ketidakberaturan struktur. Sebuah penelitian yang dilakukan oleh Cornelis dkk. (2014) mencatat bahwa perbedaan antara SNI 1726-(2002) dan SNI 1726-(2012) juga terletak pada simpangan antar tingkat, gaya geser dasar, serta beban gempa dalam ekuivalen statik dan respons

spektrum. Salah satu temuan penelitian ini yaitu estimasi gaya gempa yang diestimasi berdasarkan SNI 1726-(2012) tidak selalu lebih besar daripada estimasi gaya gempa berdasarkan 1726-(2002). Perbedaan tersebut bergantung pada percepatan respon spektra yang ada di lokasi bangunan. Perlu diperhatikan kembali, dalam analisis dan desain struktur biasanya dilakukan dalam satu kali proses dan tidak berulang/siklus.

Pribadi & Setiawan (2006) telah melakukan penelitian mengenai desain struktur gedung bertingkat yang dengan bentuk gedung asimetri serta dianalisis secara 2D maupun 3D. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbedaan respons struktural (gaya aksial) antara model bangunan 2D dan 3D, serta perbedaan kebutuhan luas tulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan gaya aksial kolom antara hasil analisis 2D dan 3D cenderung lebih kecil pada model 2D. Selain itu, perbandingan kebutuhan luas tulangan antara model 2D dan 3D menunjukkan perbedaan yang kurang dari 1%. Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, yaitu menggunakan *code* lama yang belum memperhitungkan ketidakberaturan struktur pada analisis 3D, serta hanya menggunakan pembebanan gempa dalam bentuk ekuivalen statik.

Hermawan & Putra (2007) juga melakukan penelitian yang serupa yaitu tentang redesain struktur rangka baja yang dianalisis dalam model 2D dan 3D. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan momen dan gaya dari analisis struktural, serta berat dari desain struktur antara model 2D dan 3D. Dalam penelitian ini, ditemukan bahwa momen balok dalam analisis 2D lebih besar dibandingkan dengan analisis 3D, dengan rasio momen balok 2D/3D berkisar antara 1,04 hingga 1,16. Selain itu, hasil perbandingan berat struktur desain menunjukkan bahwa desain 2D memiliki berat yang lebih besar dibandingkan dengan analisis 3D, dengan rasio perbedaan 2D/3D berkisar antara 1,02 hingga 1,10. Penelitian ini juga memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya yaitu: penggunaan *code* yang sudah lama, penggunaan pembebanan gempa hanya dengan ekuivalen statik, dan belum memperhitungkan ketidakberaturan struktur.

Selain kedua penelitian sebelumnya, Widyarini dkk. (2013) juga melakukan studi analisis gedung bertingkat pada Hotel Holiday Inn Express menggunakan

metode 2D dan 3D. Tujuan dari studi ini antara lain adalah untuk membandingkan momen-momen dan gaya-gaya hasil analisis antara 2D dan 3D, untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dari kedua metode tersebut, serta membandingkan momen kapasitas yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa momen yang dihasilkan dari analisis struktur 2D cenderung lebih besar dibandingkan dengan analisis 3D, dengan yang perbedaan yang relatif kecil, sekitar  $\pm 7\%$ . Selain itu, studi ini juga mencatat beberapa kelebihan dan kekurangan yaitu dari segi proses *running analysis*, di mana analisis 2D dilakukan dengan waktu yang lebih singkat, yakni sekitar  $\pm 2$  detik dibandingkan dengan analisis 3D. Di lain sisi, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, seperti penggunaan *code* yang sudah lama dan belum mempertimbangkan ketidakberaturan struktur. Pada penelitian ini penulis dapatkan bahwa metode yang digunakan tidak lengkap tertulis pada jurnal, sehingga tidak dapat diketahui dengan jelas prosedur dalam penelitiannya.

Dalam penelitian-penelitian sebelumnya, masih diperlukan pengembangan lebih lanjut terkait perbedaan desain ketika menggunakan analisis struktur 2D dan 3D dengan menggunakan *code* yang baru. Namun, mengandalkan hanya dengan SNI saja masih belum cukup, karena SNI itu sendiri belum mencakup prosedur analisis struktur yang terstruktur. Sementara itu, saat ini sudah ada *code* yang menjelaskan analisis struktur secara prosedural, yaitu FEMA P-751-(2012). Dengan menggabungkan batasan dari SNI serta prosedur analisis dan desain struktur dari FEMA P-751, proses analisis dan desain yang dilakukan oleh seorang peneliti dapat menjadi lebih sempurna.. Oleh karena itu, untuk mengetahui seberapa besar perbedaan hasil analisis dan desain model 2D dan 3D pada bangunan beton tahan gempa bertingkat banyak perlu dilakukan penelitian menggunakan *code* yang terbaru, yaitu salah satunya FEMA P-751.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang sebelumnya dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut ini.

1. Bagaimana perbandingan gaya-gaya dalam yang dihasilkan menggunakan analisis secara 2D dengan analisis secara 3D ?.
2. Bagaimana perbandingan kinerja (*drift ratio* dan P-Delta) struktur yang terjadi?.
3. Bagaimana perbandingan hasil desain secara 2D dan 3D diukur berdasarkan biaya?.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, dapat dijelaskan bahwa tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk berikut.

1. Membandingkan gaya-gaya dalam hasil analisis struktur menggunakan ETABS antara analisis secara 2D dengan analisis secara 3D.
2. Membandingkan kinerja (Simpangan dan P-Delta) struktur yang terjadi baik pada desain secara 2D maupun 3D.
3. Memberikan perbandingan hasil desain secara 2D dan 3D diukur berdasarkan biaya.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Memberikan wawasan terhadap kualitas dari analisis struktur yang dianalisis secara 2D dan 3D.
2. Memberikan referensi beberapa metode analisis struktur.
3. Memberikan ilmu tentang penggunaan *software* ETABS.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Batasan-batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Struktur yang didesain adalah gedung perkantoran yang terletak di kota Yogyakarta daerah selatan, material strukturnya menggunakan beton bertulang.
2. Pembebanan struktur menggunakan pedoman Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2020).

3. Pembebanan gempa menggunakan pedoman Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 1726-2019).
4. Perhitungan Desain menggunakan pedoman Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019).
5. Pedoman dalam Analisis Harga Satuan Pekerjaan yaitu PERMEN PUPR 28-2016.
6. Metode Analisis Struktur menggunakan FEMA P-751.
7. Model struktur berupa imajiner dengan bentuk asimetris bertingkat 12.
8. Proses analisis dan desain struktur dilakukan dalam 2 kali siklus proses.
9. Pedoman dalam desain pelat beton PBI tahun 1971.
10. Beban Angin diabaikan.
11. Tangga diabaikan dalam kesatuan struktur, namun didesain secara terpisah.

### **1.6 Definisi Operasional**

Pemodelan 2 dimensi (2D) adalah sistem struktur yang memperlihatkan tinggi dan panjang atau berdasarkan kondisi horizontal dan vertikal, atau dalam sumbu X dan Y saja. Pemodelan struktur 2D ini biasa disebut portal. Beberapa contoh pengaplikasian dalam pemodelan 2D yaitu dalam perhitungan struktur kuda-kuda dan struktur jembatan rangka.

Pemodelan 3 dimensi (3D) adalah sistem struktur yang memperlihatkan struktur tinggi, panjang, dan lebar atau jika dalam sumbu X, Y, dan Z.

Perbandingan desain 2D dan 3D adalah membandingkan apabila desain dilakukan menggunakan tinjauan pemodelan 2D dengan desain yang dilakukan menggunakan tinjauan pemodelan 3D. (biaya, respon, gaya-gaya dalam).

## **BAB II STUDI PUSTAKA**

### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian ini akan tetap dilakukan peninjauan terhadap penelitian sebelumnya. Tujuan dari dilakukan peninjauan pustaka ini ada beberapa hal yaitu untuk memperlihatkan perkembangan dari topik penelitian, baik dalam permasalahan maupun metode pemecahan permasalahan; selain itu juga dapat melihat teori-teori yang digunakan peneliti dalam kegiatan penelitiannya. Setelah dilakukan peninjauan pustaka, maka akan terlihat jelas, apakah penelitian yang dilakukan penulis ini merupakan penelitian yang murni tanpa adanya plagiasi.

Penelitian yang akan dilakukan penulis adalah menyempurnakan dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Dari apa yang didapatkan oleh penulis, penelitian sebelumnya dilakukan menggunakan acuan-acuan yang lama, dimana acuan tersebut sudah diperbarui pada saat ini. Oleh karena itu, penelitian ini akan dirasa sempurna apabila diperlihatkan perbandingan-perbandingan dari apa yang akan dilakukan oleh peneliti terhadap penelitian sebelumnya.

#### **2.1.1 Pribadi & Setiawan (2006)**

Pada penelitian berjudul Perbandingan Respon Struktur Analisis Dua Dimensi (2D) dan Tiga Dimensi (3D) Serta Implikasi Desain Pada Gedung Asimetris yang dilakukan oleh Pribadi & Setiawan (2006) ini, lokasi bangunan terletak pada jenis tanah lunak dan berada di wilayah gempa 3. Fungsi dari bangunan ini ditujukan untuk pertokoan, restaurant, hotel. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui seberapa besar perbedaan respons pada bangunan asimetris apabila struktur tersebut dianalisis secara 2D dan 3D. Selain itu, penelitian ini juga untuk mengetahui perbedaan dalam kebutuhan luas tulangan yang juga apabila dianalisis secara 2D dan 3D.

Pedoman/*code* yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya: SNI 1726-2002, SKSNI T-15-03-1991-03, dan PBI 1987. Pemodelan dilakukan

menggunakan alat bantu *software* ETABS versi 8. Penelitian ini direncanakan menggunakan bangunan struktur beton bertulang dengan bentuk asimetris beritingkat 15. Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang. Dalam pembebanan gempa peneliti menggunakan metode statik ekuivalen yang mengacu pada Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung 2002. Ada beberapa tahapan yang dilakukan peneliti dalam melakukan analisis yaitu: estimasi awal dimensi, pemodelan menggunakan ETABS v8, pembebanan yang dihitung tanpa menggunakan *envelope method*, membandingkan langkah yang dilakukan antara 2D dengan 3D dengan adanya variasi, dan mendesain elemen struktur dengan anggapan daktilitas penuh.

Hasil analisis yang didapatkan dari penelitian ini yaitu nilai *displacement* terbesar dan terkecil berada pada bangunan portal yang terletak di tepi terluar struktur, searah dengan datangnya gempa. Pada *story* 14 ada perbedaan nilai momen balok yang signifikan antara analisis secara 2D dan 3D. Untuk momen balok yang terjadi antara *story* 1 sampai *story* 14 diakibatkan oleh beban gempa, sedangkan pada *story* 15 didominasi oleh beban gravitasi. Perbandingan respon struktur yang terjadi antara analisis secara 2D dan 3D ini didapatkan hasil yang relatif besar terutama pada gaya aksial kolom. Pada gaya aksial kolom, respon yang didapatkan dari analisis 3D ini lebih besar dibanding dengan analisis secara 2D. Luas tulangan yang dibutuhkan pada analisis 2D dan 3D mempunyai nilai yang sama dikarenakan momen respon yang didapatkan antara analisis 2D dan 3D hampir mendekati sama.

Seperti yang telah disebutkan pada pendahuluan latar belakang, terdapat beberapa hal yang perlu disempurnakan dalam penelitian ini, contohnya pada prosedur analisis ekuivalen statik yang dilakukan peneliti. Aturan yang digunakan oleh peneliti belum terdapat perhitungan ketidakberaturan, sehingga untuk penelitian selanjutnya diharuskan menggunakan aturan terbaru yang sudah mencantumkan perhitungan tersebut.

### **2.1.2 Hermawan & Putra (2007)**

Desain Portal Tribun Stadion Sleman Memakai Baja Dengan Analisis Struktur Portal Dua Dimensi (2D) dan Tiga Dimensi (3D) yang dilakukan oleh

Hermawan & Putra (2007) yaitu meredesain portal dari struktur Stadion Sleman sayap utara yang pada awalnya menggunakan struktur beton bertulang menjadi struktur baja. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mendapatkan momen serta gaya-gaya dalam dengan analisis secara dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D) lalu juga untuk membandingkan berat struktur dari bangunan yang didesain secara dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D).

Pedoman/*code* yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya: Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung 1987, AISC, dan PBI 1987. Untuk mendapatkan hasil analisis dari struktur Stadion Sleman ini menggunakan bantuan *software Structural Analytic Program 2000 (SAP 2000)* versi 7 dengan metode LRFD. Bangunan stadion ini memiliki tiga tingkat yang jika dijumlahkan tinggi total bangunan adalah 13,15 m. Sistem struktur yang digunakan adalah struktur rangka baja. Lokasi bangunan sendiri terletak di daerah Sleman yang berada di atas tanah lunak dengan wilayah gempa adalah tiga. Struktur bangunan dari Stadion Sleman sendiri merupakan bangunan simetris sehingga pada penelitian ini hanya ditinjau setengah bagian. Terdapat beberapa tahapan yang dilakukan dalam analisis dan desain pada penelitian ini yaitu: *preliminary design*, tahap pembebanan, Pemodelan secara 2D dan 3D, Perencanaan balok yang dianalisis secara 2D dan 3D, Perencanaan kolom, Perencanaan sambungan.

Hasil dari penelitian ini memperlihatkan bahwa momen perlu balok hasil dari analisis secara 2D lebih besar dibandingkan momen perlu balok hasil analisis secara 3D. Lalu ketinggian tingkat bangunan berbanding terbalik dengan momen, gaya aksial dan gaya geser, sehingga semakin tinggi tingkat bangunan maka momen dan gaya geser yang dihasilkan akan semakin menurun, begitu juga semakin rendah tingkat bangunan gaya aksial kolom yang akan semakin bertambah. Hasil perhitungan berat struktur baja yang dianalisis secara 2D lebih berat dibandingkan dengan hasil analisis secara 3D.

Pada penelitian ini masih perlu disempurnakan lagi yaitu, pada bagian analisis ekuivalen statik masih belum mencantumkan perhitungan ketidakberaturan, dikarenakan belum adanya aturan pada *code* yang diambil oleh peneliti. Selain itu, peneliti hanya menggunakan perhitungan ekuivalen statik saja,



tidak dengan analisis respon spektrum. Perbandingan yang dilakukan juga dirasa masih kurang variabel-variabel lain, agar dapat lebih menjelaskan perbedaan antara desain menggunakan pemodelan 2D dengan 3D.

### **2.1.1 Widyarini, Pithaloka, Sukamta, & Sabdono, (2013)**

Penelitian berjudul Studi Komparasi Antara Analisis Dua Dimensi (2D) dan Tiga Dimensi (3D) yang dilakukan oleh Widyarini et al. (2013) bertujuan untuk membandingkan output gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari pemodelan dengan bantuan *software* SAP 2000, lalu untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan dari analisis yang dilakukan secara 2D dan 3D, dan juga untuk menghitung momen kapasitas dari kedua pemodelan tersebut.

Penelitian ini dilakukan pada Hotel Holiday Inn Express Semarang, bangunan gedung yang memiliki tingkat 14 tingkat dan 2 *basement* dengan tinggi total gedung 53,3 meter. Metode yang digunakan dalam perbandingan adalah dengan membandingkan hasil output dari SAP 2000 yang berupa momen, gaya geser, dan gaya aksial dengan perhitungan secara manual yaitu metode *displacement*. Tahapan dalam penelitian itu yaitu modelling dan analisis bangunan menggunakan SAP 2000.

Pedoman/*code* yang digunakan dalam penelitian ini di antaranya: SNI 1726-2002, SKSNI T-15-03-1991-03, SNI 2847-2002. Dari perbandingan antara output SAP 2000 dengan metode *displacement* yang telah dilakukan, didapatkan bahwa rata-rata selisih dari perbandingan tersebut relatif kecil, yaitu pada perbandingan momen  $\pm 7\%$ , pada perbandingan gaya geser  $\pm 3\%$ , dan pada perbandingan gaya aksial  $\pm 5\%$ . Selain dari itu, juga didapatkan kelebihan dan kekurangan dari analisis secara 2D dan 3D yang salah satu di antaranya adalah : Sistem pembebanan pada pemodelan struktur 2D hanya dapat dilakukan secara *open frame*, dimana ini berbeda dengan pemodelan struktur 3D yang dapat dilakukan baik *open frame* maupun *shell*. Untuk perhitungan kapasitas momen pada kolom 501, gaya momen yang terjadi akibat beban gravitasi dan beban seismik menunjukkan bahwa momen kapasitas tersebut mampu memenuhi syarat yaitu dimana  $\sum Mc \geq 1,2 \sum Mg$ , dimana  $2.528.328.363,04 > 1.216.414.135,27$  Nmm pada kolom atas dan  $2.347.286.240,37 > 933.457.858,78$  Nmm pada kolom bawah.

Pada penelitian ini masih terdapat beberapa hal yang kurang, yaitu tidak adanya perhitungan ketidakberaturan dikarenakan belum diatur pada *code* yang diambil oleh peneliti SNI 1726 tahun 2002. Selain itu, penelitian ini hanya berupa analisis saja, tidak mendesain struktur dari awal. Karena penulis hanya mendapat penelitian yang dilakukan oleh Widyarini et al. (2013) berupa jurnal, sehingga data-data dan metode yang digunakan tidak sepenuhnya dicantumkan, seperti pembebanan gempa tidak jelas menggunakan statik ekuivalen ataukah respon spektrum. Sehingga penulis tidak dapat menjadikan pustaka penelitian ini sebagai tinjauan seutuhnya, hanya untuk mendapatkan referensi dan metode penelitian saja.

### **2.1.2 Perbandingan terhadap penelitian sebelumnya**

Pada penelitian yang akan dilakukan penulis ini akan dibandingkan dengan penelitian yang telah disebutkan sebelumnya, agar dapat terlihat jelas, perbandingan tujuan, metode-metode yang digunakan, dan acuan-acuan . Dengan dilakukannya perbandingan ini, diharap penelitian ini akan terlihat jelas bahwa tidak adanya duplikasi yang dilakukan oleh penulis. Untuk perbandingan penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terhadap Penelitian Sebelumnya**

		Penelitian Terdahulu		Penelitian Yang Akan Dilakukan
Aspek	Aam Hermawan, Syafrizal Putra	Galih Widyarini, Listia Dian Pithaloka, Sukamta, Parang Sabdono	Wahyu Pribadi, Habib Kodhim Setiawan	Raditya Firdaus
Judul	Desain Portal Tribun Stadion Sleman Memakai Baja Dengan Analisis Struktur Portal Dua Dimensi (2D) dan Tiga Dimensi (3D) 2007	Studi Komparasi Antara Analisis Dua Dimensi (2D) dan Tiga Dimensi (3D) Pada Struktur Gedung Bertingkat 14 Studi Kasus Hotel Holiday Inn Express Semarang	Perbandingan Respon Struktur Analisis Dua Dimensi dan Tiga Dimensi Serta Implikasi Desain Pada Gedung Asimetris 2006	Perbandingan Analisis dan Desain Model 2D dan 3D Pada Bangunan Beton Tahan Gempa Bertingkat Banyak Dengan Penerapan FEMA P-751
Tujuan	membandingkan berat struktur bangunan antara desain 2D dan desain 3D	Membandingkan BMD, SFD, dan NFD dengan metode <i>displacement</i> antara perhitungan secara 2D dan 3D Mengetahui kelebihan dan kekurangan antara analisis secara 2D dan 3D Mengetahui kapasitas elemen dari struktur	Mengetahui letak perbedaan respon struktur antara 2D dan 3D dan mengetahui seberapa besar perbedaan kebutuhan luas tulangan dari analisis 2D dan 3D	Membandingkan gaya-gaya dalam dari analisis yang dimodelkan secara dua dimensi (2D) dengan tiga dimensi (3D) Membandingkan kinerja. Membandingkan Biaya
Material Struktur	Baja	Beton Bertulang	Beton Bertulang	Beton Bertulang
Jenis Tanah	Lunak	-Tidak Diketahui	Lunak	Sedang

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Yang Akan Dilakukan Terhadap Penelitian Sebelumnya

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian Yang Akan Dilakukan
	Aam Hermawan, Syafrizal Putra	Galih Widyarini, Listia Dian Pithaloka, Sukamta, Parang Sabdono	Wahyu Pribadi, Habib Kodhim Setiawan	
Pedoman	<p>Pembebanan struktur berdasar Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1987</p> <p>Beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen sesuai Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung 1987.</p>	<p>Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002)</p> <p>Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2003)</p> <p>Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang: Berdasarkan (SKSNI T-15-1991-03)</p>	<p>Pembebanan struktur berdasar Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung 1987</p> <p>Beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen sesuai Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung 2002.</p> <p>Perencanaan elemen struktur menggunakan konsep desain kapasitas mengacu pada SKSNI T-15-03-1991-03</p>	<p>Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2019)</p> <p>Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)</p> <p>Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 1726-2019)</p> <p>Baja Tulangan Beton (SNI 2052:2017)</p> <p>SKSNI T-15-1991-03)</p> <p>FEMA P-751:2009</p>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Yang Akan Dilakukan Terhadap Penelitian Sebelumnya

		Penelitian Terdahulu		Penelitian Yang Akan Dilakukan
Aspek	Aam Hermawan, Syafrizal Putra	Galih Widyarini, Listia Dian Pithaloka, Sukamta, Parang Sabdono	Wahyu Pribadi, Habib Kodhim Setiawan	Raditya Firdaus
Metode Penelitian	Tahapan yang dilakukan dalam analisis dan desain pada penelitian ini yaitu: <i>preliminary design</i> , tahap pembebanan (beban gravitasi dan beban gempa), Pemodelan secara 2D dan 3D menggunakan SAP 2000, Perencanaan balok yang dianalisis secara 2D dan 3D, Perencanaan kolom, Perencanaan sambungan	Metode yang digunakan dalam perbandingan adalah dengan membandingkan hasil output dari SAP 2000 yang berupa momen, gaya geser, dan gaya aksial dengan perhitungan secara manual yaitu metode <i>displacement</i> . Tahapan dalam penelitian itu yaitu modelling dan analisis bangunan	Tahapan yang dilakukan peneliti dalam melakukan analisis yaitu: estimasi awal dimensi, pemodelan menggunakan ETABS v8, pembebanan yang dihitung tanpa menggunakan <i>envelope method</i> , membandingkan langkah yang dilakukan antara 2D dengan 3D dengan adanya variasi, dan mendesain elemen struktur dengan anggapan daktilitas penuh.	Metode yang akan digunakan yaitu mengestimasi awal dimensi, lalu pembebanan yang kemudian dimodelkan menggunakan ETABS, perbandingan hasil analisis 2D dan 3D dengan membandingkan gaya-gaya dalam, kinerja struktur, dan biaya.
Hasil Penelitian	Momen-momen dan gaya-gaya yang dihasilkan dari analisis dua dimensi (2D) lebih besar dibandingkan dengan analisis tiga dimensi (3D) dan Berat struktur baja hasil analisis dua dimensi (2D) lebih berat dibandingkan dengan hasil analisis tiga dimensi (3D) dengan nilai rasio berat struktur 2D/3D yaitu berkisar 1,02 sampai dengan 1,1	Perbandingan gaya-gaya dalam antara struktur 2D dan 3D dengan bantuan SAP 2000, rata2 selisih relatif kecil +- 7% namun pada beberapa elemen struktur yg terletak di tengah portal memiliki selisih yg besar, > 20%	Hasil analisis yang didapatkan dari penelitian ini yaitu nilai <i>displacement</i> terbesar dan terkecil berada pada bangunan portal yang terletak di tepi terluar struktur, searah dengan datangnya gempa. Perbandingan respon struktur yang terjadi antara analisis pada gaya aksial kolom, respon yang didapatkan dari analisis 3D ini lebih besar dibanding dengan analisis secara 2D	Perbandingan gaya-gaya dalam hasil analisis struktur secara 2D dan 3D Perbandingan kinerja Perbandingan biaya.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Yang Akan Dilakukan Terhadap Penelitian Sebelumnya

	Penelitian Terdahulu			Penelitian Yang Akan Dilakukan
Aspek	Aam Hermawan, Syafrizal Putra	Galih Widyarini, Listia Dian Pithaloka, Sukamta, Parang Sabdono	Wahyu Pribadi, Habib Kodhim Setiawan	Raditya Firdaus
Hal yang dilakukan	Menggunakan <i>software</i> SAP 2000 Pembebanan gempa tidak respon spektrum Mendesain bangunan yang sudah ada Tidak memberikan perbandingan kelebihan dan kekurangan antara analisis antara 2D dan 3D Tidak membandingkan respon struktur Memberikan perbandingan gaya-gaya dalam antara struktur 2D dan 3D Ketidakberaturan 3D belum terhitung	Menggunakan <i>software</i> SAP 2000 Tidak membandingkan berat dari hasil analisis secara 2D dan 3D Tidak membandingkan respon struktur Tidak mendesain, tetapi hanya menganalisis bangunan yang sudah ada Memberikan perbandingan antara struktur 2D dan 3D	Menggunakan <i>software</i> ETABS v8 Pembebanan gempa tidak menggunakan metode respon spektrum Mendesai bangunan baru berbentuk asimetris Tidak mendesain, tetapi hanya menganalisis bangunan yang sudah ada Memberikan perbandingan gaya-gaya dalam antara struktur 2D dan 3D	Menggunakan <i>software</i> ETABS Pembebanan gempa menggunakan Ekuivalen Statik dan Respon Spektrum Memberikan perbandingan gaya-gaya dalam antara struktur 2D dan 3D Memberikan kinerja struktur antara 2D dan 3D Memberikan perbandingan hasil desain secara 2D dan 3D diukur berdasarkan biaya Mendesain bangunan struktur baru Menghitung ketidakberaturan 3D

### 2.1.3 Keaslian Penelitian

Pada penelitian-penelitian terdahulu didapatkan bahwa, peneliti menggunakan *code* lama, yang pada saat ini sudah diperbaharui. Selain itu, penelitian-penelitian terdahulu menggunakan analisis ekuivalen statik saja, tidak dengan analisis respon spektrum. Variabel perbandingan penelitian terdahulu, tidak membandingkan desain jika diukur berdasarkan biaya.

Pada penelitian yang dilakukan penulis ini akan menggunakan *code* terbaru. Metode analisis yang digunakan adalah analisis ekuivalen statik dan analisis respon spektrum. Selain itu, variabel pembandingnya akan membandingkan desain struktur apabila diukur berdasarkan biaya.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian yang akan dilakukan merupakan penyempurnaan penelitian sebelumnya, sehingga keaslian penelitian dapat dipertanggung jawabkan.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Prinsip Desain Bangunan Tahan Gempa**

Karena pentingnya sebuah mendesain sebuah bangunan, maka bangunan dikelompokkan menurut performa bangunan dan kekuatan gempa. Pengelompokan tersebut disebut dengan Desain Filosofi seperti yang telah dijelaskan oleh Widodo (2012), dimana bangunan dalam menerima gempa terbagi menjadi 3 kondisi yaitu: ketika menerima gempa kecil, ketika menerima gempa menengah dan ketika menerima gempa kuat. Pada setiap kondisi tersebut memiliki syarat-syarat kerusakan yang berbeda.

Kemudian sesuai majunya perkembangan zaman, mulai dikenal prinsip Kolom Kuat Balok Lemah (*Strong Column Weak Beam*). Pada prinsip *SCWB* ini, balok pada bangunan didesain lebih lemah daripada kolom, sehingga apabila beban melebihi batas akan terjadi kerusakan pada ujung-ujung balok dan ujung-ujung kolom dasar atau dikenal dengan sendi-sendi plastik. Pada lokasi-lokasi sendi plastik itulah kemudian dilakukan desain tulangan sedemikian rupa sehingga menjadi lebih daktail.

Dalam melakukan analisis struktur sudah terdapat berbagai macam metode yang telah diteliti sebelumnya. Di antara metode dalam analisis struktur adalah Analisis Ekuivalen Statik dan Analisis Respons Spektrum. Salah satu *code* yang mengatur analisis struktur tersebut adalah FEMA 751. FEMA 751 dalam melakukan analisis membagi menjadi dua tahap yaitu: Tahap pertama adalah analisis untuk *checking* kinerja awal (dengan menggunakan Analisis Ekuivalen Statik) dan Tahap kedua adalah analisis gaya-gaya dalam untuk *checking* kinerja final dan untuk keperluan desain.

#### **3.2 Tahap Pertama : Analisis Struktur Untuk *Checking* Kinerja**

##### **3.2.1 Sistem Struktur**

SNI 1726 tahun 2019 menetapkan bahwa struktur sebuah bangunan gedung haruslah memiliki sistem pemikul gaya, baik itu vertikal maupun lateral. Sistem



ini dinamakan sistem pemikul gaya seismik. Pemilihan sistem struktur haruslah memenuhi batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang mana telah diatur pada SNI 1726 tahun 2019 Tabel 12. Pemilihan sistem struktur yang digunakan baik pada analisis struktur 2 dimensi maupun 3 dimensi bisa menggunakan sistem yang sama.

### **3.2.2 Kategori Risiko Bangunan dan Faktor Keutamaan Gempa**

Setiap bangunan akan dapat digolongkan sesuai dengan kategori kepentingan dari bangunan. Kategori risiko bangunan sudah dijelaskan dalam pasal 4.1.2 dan dirinci pada SNI 1726 tahun 2019 Tabel 3. Kemudian disebutkan bahwa setiap gempa memiliki pengaruh gempa rencana yang harus dikalikan terhadap suatu faktor. Faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada SNI 1726 tahun 2019 Tabel 3.2. Pemilihan baik kategori risiko maupun faktor keutamaan gempa yang digunakan pada analisis struktur 2 dimensi atau 3 dimensi dapat menggunakan hasil pemilihan yang sama.

### **3.2.3 Klasifikasi Situs**

Klasifikasi situs digunakan untuk menentukan nilai faktor amplifikasi-amplifikasi pada bangunan. Dalam klasifikasi situs terdapat beberapa kelas yaitu : kelas SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), dan SF (tanah khusus). Pembagian kelas situs dapat dilihat pada SNI 1726 tahun 2019 Tabel 5. Pemilihan kelas situs yang digunakan baik pada analisis struktur 2 dimensi maupun 3 dimensi bisa menggunakan kelas situs yang sama.

### **3.2.4 Parameter Percepatan Gempa**

Untuk menentukan respons spektral percepatan gempa (MCER) menggunakan Peta *Hazard* dengan periode 0,2 detik ( $S_s$ ) dan periode 1 detik ( $S_1$ ). Peta *hazard* dengan parameter gerak tanah  $S_s$  dan  $S_1$  ini sudah dirangkum dalam SNI 1726 tahun 2019 dalam memudahkan perencanaan. Pengambilan nilai  $S_s$  dan  $S_1$  yang digunakan baik pada analisis struktur 2 dimensi maupun 3 dimensi bisa menggunakan parameter yang sama. Peta parameter gerak tanah  $S_s$  dan  $S_1$  dapat

dilihat pada Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2017 yang dipilih sesuai lokasi bangunan berada.

### 3.2.5 Koefisien Situs dan Parameter Percepatan

Kelas situs yang telah didapatkan sebelumnya, kemudian akan digunakan untuk menentukan faktor amplifikasi. Faktor amplifikasi ini diperlukan untuk mendapatkan respons spektral percepatan gempa. Faktor amplifikasi yang digunakan berupa faktor amplifikasi getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). Ketentuan untuk menentukan faktor amplifikasi sudah tersedia dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada SNI 1726 tahun 2019 Tabel 6 untuk  $F_a$  dan Tabel 7 untuk  $F_v$ .

Kemudian parameter respons percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) harus ditentukan dengan perumusan sesuai SNI 1726-2019 pasal 6.2 berikut:

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3.2)$$

### 3.2.6 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek  $S_{DS}$  dan periode 1 detik  $S_{D1}$ , harus ditentukan dengan perumusan sesuai SNI 1726-2019 pasal 6.3 berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.4)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  adalah Parameter respons spektra percepatan desain pada periode pendek dan periode 1 detik;

### 3.2.7 Kategori Desain Seismik

Sebuah struktur haruslah direncanakan mempunyai suatu kategori desain seismik sesuai SNI 1726 tahun 2019 pasal 6.5. Kategori desain seismik memiliki 6 kategori di antaranya : A, B, C, D, E, dan F. Kategori desain seismik dapat

ditentukan berdasarkan kategori risiko struktur dan parameter respons. Kategori risiko struktur dibagi menjadi I, II, III, dan IV sesuai dengan kepentingan bangunan. Kategori desain seismik dapat dilihat pada SNI 1726-2019 Tabel 8 untuk periode pendek dan pada Tabel 9 untuk periode 1 detik.

### 3.2.8 Pembebanan

#### 1. Beban Gravitasi

Beban gravitasi pada umumnya terdiri dari 2 jenis yaitu beban mati dan beban hidup. Menurut McCormac (2001) Beban mati adalah beban yang mempunyai besaran konstan dan terletak pada satu posisi tertentu, dimana ini meliputi berat struktur yang ada termasuk semua bagian pelengkap yang terkait dengan struktur secara permanen. Sedangkan Beban hidup merupakan beban yang mempunyai besar tidak konstan serta letaknya dapat berubah-ubah. Dalam peraturan pembebanan SNI 2847 tahun 2019 telah menetapkan bahwa setiap ruangan dalam gedung memiliki beban dengan besaran yang berbeda tergantung pada fungsi ruangan tersebut.

#### 2. Beban Lateral

Beban lateral pada umumnya terdiri dari beban gempa, beban air, beban angin atau beban akibat ledakan. Dalam penelitian ini beban gempa yang akan dibahas lebih lanjut. Beban angin adalah getaran fluktuasi dari angin yang bekerja pada suatu bangunan dengan adanya tekanan positif dan tekanan negatif. Beban gempa menurut Widodo (2017) terjadi karena patahan akibat pergerakan kerak bumi yang tidak dapat tertahan lagi sehingga memunculkan energi ke segala arah. Energi ini menimbulkan getaran tanah yang kita kenal sebagai gempa bumi.

#### 3. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan mengikuti tahapan analisis dan desain sebagaimana disaksikan sebelumnya. Menurut FEMA P-751 :

##### a. Tahap 1 (Analisis dan *Checking* Kinerja Awal)

Kombinasi pembebanan adalah  $1,0 D + 0,5 L + E$ ,

##### b. Tahap 2 (Analisis, *checking* kinerja akhir, dan keperluan desain)

Kombinasi ini digunakan untuk mencari kuat desain yang sesuai atau dapat melebihi pengaruh dari beban-beban terfaktor. Dalam SNI 1727

tahun 2020 tentang Kombinasi-kombinasi beban dengan pengaruh beban seismik dapat dikombinasikan sesuai pasal 2.3.6 sebagai berikut:

$$1) \quad 1,2D + 1,0E + L + 0,2S \quad (3.5)$$

$$2) \quad 0,9D - 1,0E \quad (3.6)$$

Keterangan:

D, L,  $L_r$  berturut-turut adalah beban mati, beban hidup dan beban hidup atap. Sementara itu S, R, dan W berturut turut adalah beban salju, beban hujan dan beban angin. Sedangkan  $E_v$  dan  $E_h$  adalah pengaruh gaya seismik vertikal dan pengaruh gaya seismik horizontal.

### 3.2.9 Periode Fundamental Struktur

Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019, periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , dalam detik, periode yang digunakan baik pada analisis 2D dan 3D dapat menggunakan nilai yang sama sesuai dengan perumusan sebagai berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3.7)$$

Keterangan:

$C_t$  dan  $x$  adalah parameter periode pendekatan, sedangkan  $h_n$  adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur.

Dimana nilai  $T_a$  ini tidak boleh melewati persamaan yang ada sebagai berikut:

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

Keterangan:

$C_u$  adalah koefisien batas atas periode.

Nilai-nilai koefisien  $C_u$  dan parameter  $C_t$  dan  $x$  dapat dilihat pada SNI 1726-2019 Tabel 17 dan Tabel 18. Untuk menentukan periode yang digunakan, telah disebutkan di dalam FEMA 451 bahwa :

1. Jika  $T_c > C_u T_a$ , maka digunakan  $T = C_u T_a$ ,
2. Jika  $T_a < T_c < C_u T_a$ , maka digunakan  $T = T_c$ ,
3. Jika  $T_c < T_a$ , maka digunakan  $T = T_a$ .



a. Apabila  $T \leq T_L$ , maka nilai  $C_s$  max

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.12)$$

b. Apabila  $T > T_L$ , maka nilai  $C_s$  max

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.13)$$

2. Nilai  $C_s$  tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \quad (3.14).$$

### 3.2.11 Distribusi Vertikal Gaya Seismik $F_x$

Dalam penerapan beban gempa ekuivalen statik, beban horizontal didistribusikan pada setiap tingkat struktur. Widodo (2017) menyebutkan bahwa gaya horizontal tersebut bekerja pada pusat massa dan bersifat statis, sehingga besarnya serta letaknya tetap. Selanjutnya, gaya horizontal tersebut merepresentasikan efek dinamis dari beban yang sebenarnya terjadi, sehingga gaya horizontal tersebut dapat disebut sebagai gaya ekuivalen statik. Penting untuk diperhatikan bahwa dalam analisis 2D, gaya horizontal antar tingkat tidak ditempatkan pada pusat massa, tetapi pada tepi struktur. Hal ini disebabkan oleh perbedaan gaya geser dasar seismik antara analisis 2D dan 3D. Gaya seismik lateral,  $F_x$ , yang terjadi pada setiap tingkat harus ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.3 dari SNI 1726 tahun 2019 sebagai berikut:

$$F_{x2D} = C_{vx} \cdot V_{2D} \quad (3.15)$$

$$F_{x3D} = C_{vx} \cdot V_{3D} \quad (3.16)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (3.17)$$

Keterangan:

$C_{vx}$  dan  $V$  secara urut adalah Faktor distribusi vertikal dan Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (KN), sedangkan  $W_i$  dan  $W_x$  adalah Bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$ . Sementara itu,  $h_i$  dan  $h_x$  adalah tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$  (m). Terakhir  $k$  adalah eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai : untuk struktur dengan  $T \leq 0,5$  detik ,  $k = 1$ ; untuk struktur dengan  $T \geq 2,5$  detik ,  $k = 2$ ; dan untuk struktur dengan  $0,5 < T < 2,5$  detik ,  $k = 2$  atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

nilai  $k$  pada FEMA P-751 disebutkan dapat menggunakan rumus seperti pada berikut ini:

$$k = 0,75 + 0,5T \quad (3.18)$$

### 3.2.12 Gaya Geser Tingkat

Geser tingkat desain pada semua tingkat,  $V_x$  yang terjadi di setiap tingkat harus ditentukan berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.8.4 sebagai berikut:

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (3.19)$$

$$V_y = \sum_{i=1}^n F_i \quad (3.20)$$

Keterangan:

$F_i$  = bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) pada tingkat ke -  $i$  (KN).

### 3.2.13 Momen Inersia Penampang

Struktur yang mengalami beban berat seperti beban gempa akan terjadi kemungkinan adanya kondisi retak. Dimana pada kondisi retak ini momen inersia penampang berbeda dengan momen inersia utuhnya ( $I_g$ ). Oleh karena itu diperlukan reduksi dengan nilai yang sudah ditentukan pada SNI 2847 tahun 2019 Tabel 6.6.3.1.1(a) dan Tabel 6.6.3.1.1(b)).

Berdasarkan gaya-gaya yang telah dihitung sebelumnya, serta parameter-parameter yang telah didapatkan dapat diinput pada pemodelan struktur. Maka dilakukanlah analisis struktur tahap pertama untuk keperluan cek kinerja struktur. Mulai dari Ketidakberaturan, drift ratio dan P delta efek.

### 3.2.14 Ketidakberaturan Struktur

Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.3.2 bahwa dalam perencanaan, struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan kriteria yang tertera pada pasal tersebut. Klasifikasi yang disebutkan harus berdasarkan pada konfigurasi arah horizontal dan arah vertikal pada struktur.

Ketidakberaturan torsi terbagi menjadi Tipe 1a dan Tipe 1b sesuai dengan ketentuan yang telah dijelaskan pada FEMA 451B, yang mana apabila:  $\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}}$ , maka tidak terjadi ketidakberaturan, sedangkan  $1,2 \delta_{\text{avg}} \leq \delta_{\max} \leq 1,4 \delta_{\text{avg}}$ , maka terjadi ketidakberaturan torsi (Tipe 1a); dan  $\delta_{\max} > 1,4 \delta_{\text{avg}}$ , maka terjadi ketidakberaturan torsi berlebih (Tipe 1b).

Pada kategori desain seismik E atau F tidak diizinkan terjadi ketidakberaturan torsi berlebih (Tipe 1b). Ketidakberaturan hanya dapat terjadi pada analisis 3D sehingga tidak perlu melakukan cek ketidakberaturan pada analisis 2D.

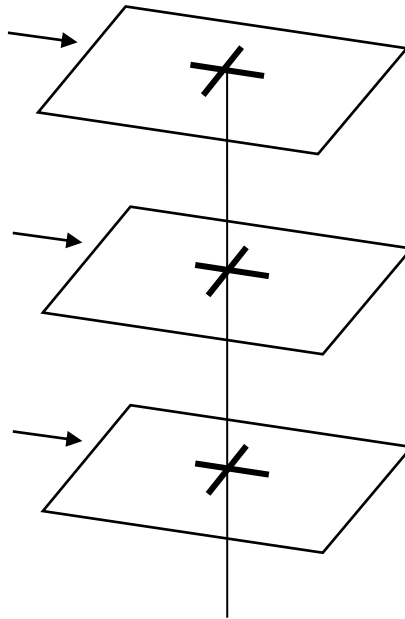
### 3.2.15 Simpangan Antar Tingkat (*Drift*)

Berdasarkan SNI 1726-2019, perhitungan simpangan terbagi menjadi 2 kondisi, yaitu:

1. Tidak Terdapat Ketidakberaturan Horizontal tipe 1a dan 1b atau ketidakberaturan torsi

Apabila struktur tidak memiliki ketidakberaturan torsi, maka dihitung sebagai selisih defleksi terbesar pada pusat massa di tingkat atas dan bawahnya segaris vertikal. Apabila tidak segaris vertikal maka diizinkan untuk dihitung pada dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Penentuan titik simpangan di pusat massa dapat dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.





**Gambar 3.2 Simpangan di Pusat Massa**

Berdasarkan SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.8.6 untuk menentukan defleksi di pusat massa pada tingkat ke-  $x$  dapat ditentukan sesuai persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.21)$$

Keterangan:

$\delta_x$ ,  $\delta_{xe}$ ,  $C_d$  dan  $I_e$  berturut-turut adalah Simpangan di tingkat - $x$ , Simpangan di tingkat- $x$  yang ditentukan dengan analisis elastik, Faktor pembesaran simpangan lateral, Faktor keutamaan gempa.

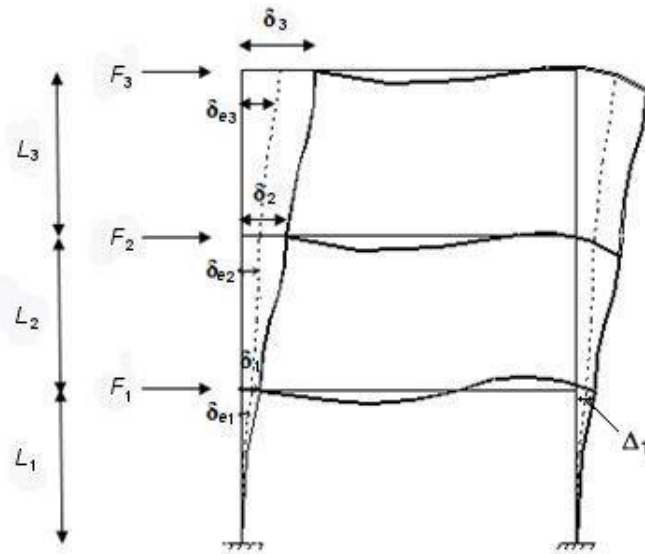
## 2. Terdapat Ketidakberaturan Torsi

Apabila struktur dengan kategori desain seismik C, D, E, atau F yang memiliki ketidakberaturan torsi, maka simpangan dihitung pada bagian salah satu tepi struktur segaris lurus secara vertikal. Penentuan simpangan antar tingkat dapat dilihat pada persamaan (3.22) dan Gambar 3.3 sebagai berikut.

$$\Delta = \frac{(\delta_{ei} - \delta_{ei-1}) \times C_d}{I_e} \leq \Delta_a \quad (3.22)$$

Keterangan:

$\Delta$ ,  $\Delta_a$  dan  $\delta_{ei} - \delta_{ei-1}$  berturut-turut adalah Simpangan antar tingkat, Simpangan antar tingkat izin, Defleksi elastik tingkat atas dengan tingkat di bawahnya.



**Gambar 3.3 Penentuan Rasio Simpangan**  
(sumber: SNI 1726-2019 Gambar 10)

Simpangan ( $\Delta$ ) pada persamaan sebelumnya tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ). Simpangan antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ) telah ditentukan pada pasal 7.12.1 Tabel 20 didasarkan atas tipe struktur dan kategori risiko dari struktur tersebut.

### 3.2.16 Efek P-Delta (*P- $\Delta$ Effect*) 2D dan 3D

Pengaruh P-Delta sudah diterangkan pada pasal 7.8.7 dimana pengaruh P-Delta tidak akan berpengaruh apabila nilai koefisien stabilitas ( $\theta$ ) bernilai sama atau kurang dari 0,10. Nilai koefisien stabilitas ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3.23)$$

Keterangan:

$P_x$ ,  $\Delta$ , dan  $I_e$  berturut-turut adalah beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat- $x$ , (kN); simpangan antar tingkat desain (mm), dan faktor keutamaan gempa. Sedangkan  $V_x$ ,  $h_{sx}$  dan  $C_d$  berturut-turut adalah gaya geser seismik yang

bekerja antara tingkat dan  $x - 1$  (kN), tinggi tingkat di bawah tingkat -  $x$  (mm), dan faktor pembesaran defleksi.

Dimana nilai koefisien stabilitas ( $\theta$ ) di tiap tingkatnya tidaklah boleh melebihi nilai koefisien stabilitas maks ( $\theta_{maks}$ ). Nilai koefisien stabilitas maks ( $\theta_{maks}$ ) ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\theta_{maks} = \frac{0,5}{\beta C_d} \quad (3.24)$$

Keterangan:

$\beta$  adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat dan  $x - 1$ , terdapat syarat dalam pengambilan nilai  $\beta$  yang disesuaikan pasal 7.8.7.

### 3.3 Tahap Kedua : Analisis Struktur Untuk *Checking* Kinerja Final dan Untuk Desain

Setelah cek kinerja yaitu ketidakberaturan (untuk analisis 3D), simpangan antar tingkat dan P-delta pada analisis ekuivalen statik sebelumnya memenuhi syarat, maka dapat dilanjutkan dengan analisis untuk desain. Prosedur analisis untuk desain adalah sebagai berikut.

#### 3.3.1 Pengaruh Beban Seismik

$$E = E_h \pm E_v \quad (3.25)$$

##### 1. Pengaruh Beban Seismik Horizontal, $E_h$

$$E_h = \rho Q_E \quad (3.26)$$

Keterangan:

$\rho$  adalah faktor redundansi dan  $Q_E$  adalah Pengaruh gaya seismik horizontal dari  $V$  atau  $V_p$ .

##### 2. Pengaruh Beban Seismik Vertikal, $E_v$

$$E_v = 0,2S_{Ds} D \quad (3.27)$$

### 3. Pengaruh Beban Seismik

$$E = \rho Q_E \pm 0,2 S_{DS} D \quad (3.28)$$

Kombinasi beban dengan mensubstitusi pengaruh beban seismik, persamaan (3.5) dan persamaan (3.6) ke dalam kombinasi beban dengan pengaruh beban seismik, maka didapatkan kombinasi berikut:

$$a. (1,2 + 0,2 S_{DS}) D + 1,0 \rho Q_E + L \quad (3.29)$$

$$b. (0,9 - 0,2 S_{DS}) D + 1,0 \rho Q_E \quad (3.30)$$

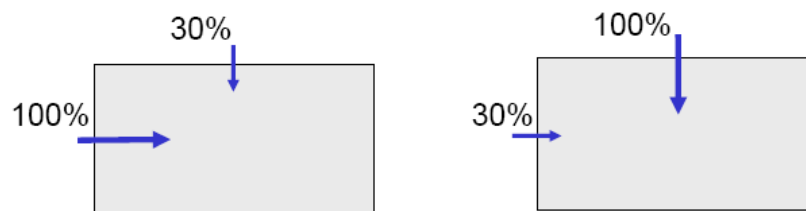
#### 3.3.2 Faktor Redundansi

Telah disebutkan pada SNI 1726 tahun 2019 pada pasal 7.3.4 bahwa faktor redundansi,  $\rho$ , harus digunakan pada masing-masing kedua arah ortogonal pada semua sistem struktur pemikul gaya seismik. Dimana terdapat beberapa ketentuan yang berlaku sebagai berikut ini.

1. Kondisi  $\rho$  bernilai 1,0, dimana terdapat beberapa syarat sesuai pasal 7.3.4.1,
2. Kondisi untuk kategori desain seismik D sampai F, dimana terdapat beberapa syarat pengambilan nilai  $\rho = 1,3$  atau  $\rho = 1,0$  sesuai pasal 7.3.4.2.

#### 3.3.3 Beban Ortogonal

Dalam SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.5.1 disebutkan bahwa pada struktur yang didesain untuk kategori desain seismik C sampai F harus dianalisis dengan kombinasi beban yang diterapkan 100% gaya untuk satu arah ditambah 30% gaya untuk arah tegak lurus nya. FEMA 451 B telah menggambarkan pengaruh beban ortogonal yang dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



**Gambar 3.4 Pengaruh Beban Ortogonal**  
(Sumber : FEMA 451B)

### 3.3.4 Kombinasi Beban Akibat Pengaruh Beban Ortogonal (

Kedua arah beban ortogonal sebelumnya kemudian akan dikombinasikan pada kombinasi beban dengan pengaruh beban seismik persamaan (3.5) dan (3.6). Kemudian persamaan kombinasi yang baru akan tampak sebagai berikut ini:

$$1. (1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_{(x+TT)} * 100\% + \rho E_y * 30\% + 1,0L \quad (3.31)$$

$$2. (1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_{(x+TT)} * 100\% + \rho E_y * 30\% + 1,0L \quad (3.32)$$

$$3. (1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_{(x+TT)} * 100\% - \rho E_y * 30\% + 1,0L \quad (3.33)$$

$$4. (1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_{(x+TT)} * 100\% - \rho E_y * 30\% + 1,0L \quad (3.34)$$

$$5. (1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_{(x-TT)} * 100\% + \rho E_y * 30\% + 1,0L \quad (3.35)$$

$$6. (1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_{(x-TT)} * 100\% + \rho E_y * 30\% + 1,0L \quad (3.36)$$

$$7. (1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_{(x-TT)} * 100\% - \rho E_y * 30\% + 1,0L \quad (3.37)$$

$$8. (1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_{(x-TT)} * 100\% - \rho E_y * 30\% + 1,0L \quad (3.38)$$

$$9. (1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_x * 30\% + \rho E_{(y+TT)} * 100\% + 1,0L \quad (3.39)$$

$$10. (1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_x * 30\% + \rho E_{(y+TT)} * 100\% + 1,0L \quad (3.40)$$

$$11. (1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_x * 30\% - \rho E_{(y+TT)} * 100\% + 1,0L \quad (3.41)$$

$$12. (1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_x * 30\% - \rho E_{(y+TT)} * 100\% + 1,0L \quad (3.42)$$

$$13. (1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_x * 30\% + \rho E_{(y-TT)} * 100\% + 1,0L \quad (3.43)$$

$$14. (1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_x * 30\% + \rho E_{(y-TT)} * 100\% + 1,0L \quad (3.44)$$

$$15. (1,2 + 0,2 S_{DS})D + \rho E_x * 30\% - \rho E_{(y-TT)} * 100\% + 1,0L \quad (3.45)$$

$$16. (1,2 + 0,2 S_{DS})D - \rho E_x * 30\% - \rho E_{(y-TT)} * 100\% + 1,0L \quad (3.46)$$

$$17. (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_{(x+TT)} * 100\% + \rho E_y * 30\% \quad (3.47)$$

$$18. (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_{(x+TT)} * 100\% + \rho E_y * 30\% \quad (3.48)$$

$$19. (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_{(x+TT)} * 100\% - \rho E_y * 30\% \quad (3.49)$$

$$20. (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_{(x+TT)} * 100\% - \rho E_y * 30\% \quad (3.50)$$

$$21. (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_{(x-TT)} * 100\% + \rho E_y * 30\% \quad (3.51)$$

$$22. (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_{(x-TT)} * 100\% + \rho E_y * 30\% \quad (3.52)$$

$$23. (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_{(x-TT)} * 100\% - \rho E_y * 30\% \quad (3.53)$$

$$24. (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_{(x-TT)} * 100\% - \rho E_y * 30\% \quad (3.54)$$

$$25. (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_x * 30\% + \rho E_{(y+TT)} * 100\% \quad (3.55)$$

$$26. (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_x * 30\% + \rho E_{(y+TT)} * 100\% \quad (3.56)$$

$$27. (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho E_x * 30\% - \rho E_{(y+TT)} * 100\% \quad (3.57)$$

$$28. (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho E_x * 30\% - \rho E_{(y+TT)} * 100\% \quad (3.58)$$

$$29. (0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho E_x * 30\% + \rho E_{(y-TT)} * 100\% \quad (3.59)$$

$$30. (0,9 - 0,2S_{DS})D - \rho E_x * 30\% + \rho E_{(y-TT)} * 100\% \quad (3.60)$$

$$31. (0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho E_x * 30\% - \rho E_{(y-TT)} * 100\% \quad (3.61)$$

$$32. (0,9 - 0,2S_{DS})D - \rho E_x * 30\% - \rho E_{(y-TT)} * 100\% \quad (3.62)$$

### 3.3.5 Torsi Tak Terduga

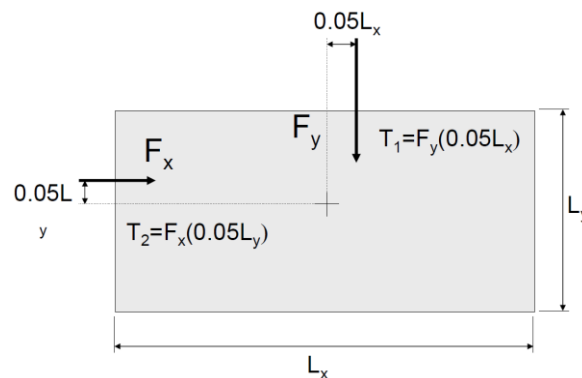
Telah dijelaskan pada SNI 1726 tahun 2019 bahwa struktur bangunan dengan analisis 3D juga harus menyertakan momen torsi tak terduga dalam perhitungan. Momen torsi bawaan akan ditambahkan dengan momen torsi tak terduga dengan asumsi jarak pada masing-masing arah sebesar 5%. Apabila jarak eksentrisitas diasumsikan pada arah sumbu X dan Y maka akan seperti pada Gambar 3.5 dengan persamaan sebagai berikut.

$$e_x = e_{0x} + (0,05 L_x A_x) \quad (3.63)$$

$$e_y = e_{0y} + (0,05 L_y A_y) \quad (3.64)$$

Keterangan:

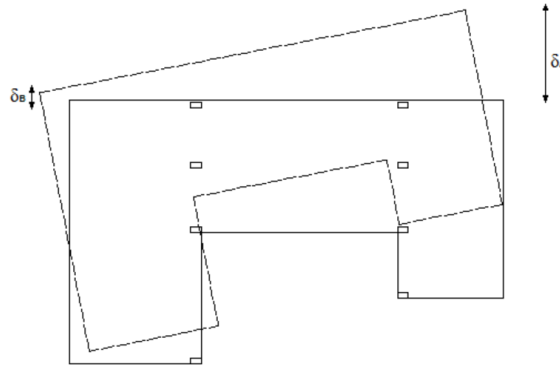
$e_{0x}$  &  $e_{0y}$  = Eksentrisitas bawaan.



**Gambar 3.5 Torsi Tak Terduga**  
(Sumber: FEMA 451B)

Pada persamaan (3.63) dan (3.64) sebelumnya terdapat pembesaran torsi tak terduga ( $A_x$ ) dimana pada struktur dengan kategori desain seismik C sampai F dengan ketidakberaturan torsi tipe 1a dan 1b harus mempunyai perbesaran torsi tak terduga yang dikalikan dengan momen torsi tak terduga ( $M_{ta}$ ) pada masing-masing tingkat. Faktor pembesaran torsi tak terduga ( $A_x$ ) ditentukan sesuai SNI

1726 tahun 2019 pasal 7.8.4.3 sesuai Gambar 3.6 dan menggunakan persamaan sebagai berikut.



**Gambar 3.6 Faktor Pembesaran Torsi,  $A_x$**   
(sumber: SNI 1726-2019 Gambar 9)

$$A_x = \left( \frac{\delta_{\max}}{1,2 \delta_{\text{avg}}} \right)^2 \quad (3.65)$$

$$\delta_{\text{avg}} = \frac{\delta_A + \delta_B}{2} \quad (3.66)$$

Keterangan:

$\delta_{\max}$  adalah perpindahan maksimum di tingkat  $x$  (dalam mm) yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$  (dalam mm) sedangkan  $\delta_{\text{avg}}$  adalah rata-rata perpindahan di titik-titik terjauh struktur di tingkat  $x$  yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$  (dalam mm).

### 3.3.6 Spektrum Respons Desain

Kurva respons spektrum yang didapatkan harus dikembangkan dan menggunakan acuan pada Gambar 3.7 serta mengikuti ketentuan sesuai SNI 1726-2019 pasal 6.4 yang ada di bawah ini :

1. Periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , maka spektrum respon percepatan desain  $S_a$ , harus menggunakan rumusan berikut ini:

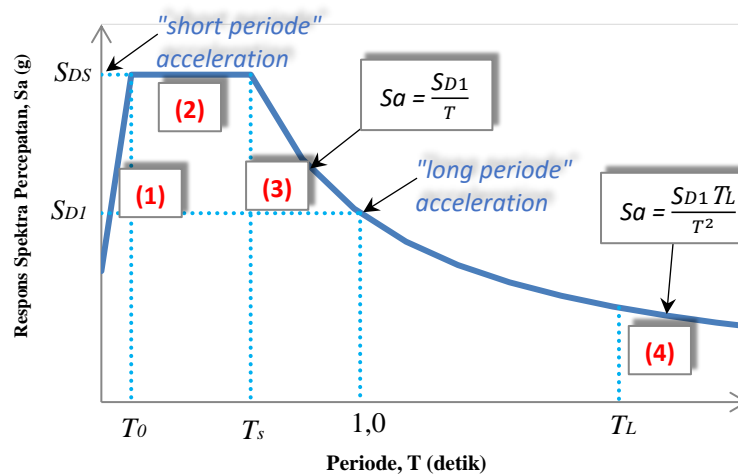
$$S_a = S_{DS} \cdot \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.67)$$

2. Periode yang lebih besar dari  $T_0$  tetapi lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$ , ( $T_0 < T \leq T_L$ ) maka spektrum respon percepatan desain  $S_a$  sama dengan  $S_{Ds}$ ;
3. Periode yang lebih besar dari  $T_s$  namun lebih kecil dari atau sama dengan  $T_L$  ( $T_s < T \leq T_L$ ), maka spektrum respon percepatan desain  $S_a$ , harus menggunakan rumusan berikut ini:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.68)$$

4. Periode yang lebih besar dari  $T_L$  ( $T > T_L$ ), maka spektrum respon percepatan desain  $S_a$ , harus menggunakan rumusan berikut ini:

$$S_a = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \quad (3.69)$$



**Gambar 3.7 Spektrum Respons Desain**  
(sumber: SNI 1726-2019 Gambar 3)

Keterangan:

$S_a$  adalah Respons spektra percepatan,  $T_L$  adalah peta transisi periode panjang, dan  $T$  adalah Periode getar fundamental struktur.

### 3.3.7 Analisis Spektrum Respons

Menurut Widodo (2017) respon spektrum adalah suatu spektrum yang menyajikan bentuk grafik atau plot dengan perbandingan antara periode getar struktur,  $T$  dengan respons-respons maksimum untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu. Respons spektrum dapat berupa elastik dan inelastik.



Widodo (2017) pernah menyebutkan bahwa Peta *Hazard* Indonesia termasuk kedalam kategori elastik respon spektrum. Dimana respons spektrum tersebut didasarkan atas respon elastik suatu struktur. Kemudian respon spektrum elastik tersebut diubah menjadi respons spektrum inelastik menggunakan Koefisien Modifikasi Respons (*Force Reduction Factor R*).

### 3.3.8 Koefisien Modifikasi Respons *R*

Prabowo & Lase (2016) mengatakan besarnya beban gempa yang timbul dari inersia massa struktur dapat direduksi menggunakan nilai Koefisien Modifikasi Respons, *R*, menjadi gempa rencana. Maka semakin besar nilai *R*, beban gempa rencana akan semakin kecil. Koefisien Modifikasi Respons, *R* sendiri sudah disinggung sebelumnya pada pembahasan pemilihan sistem struktur.

### 3.3.9 Partisipasi Massa Ragam

Dalam analisis spektrum respons ragam juga harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur seperti yang telah dijelaskan pada SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.9.1.1. Terdapat pengecualian, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang bernilai minimum untuk mencapai partisipasi massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual pada masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model.

### 3.3.10 Penskalaan Gaya dari Analisis Ekuivalen Statik

SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.9.1.4 menyebutkan bahwa apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam ( $V_t$ ) kurang dari 100% gaya geser ( $V$ ) yang dihitung melalui metode analisis ekuivalen statik, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan  $V/V_t$ .

### 3.3.11 Penskalaan Simpangan

Disebutkan dalam SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.9.1.4 bahwa apabila nilai  $V_t$  kurang dari  $C_s W$ , dengan  $C_s$  menggunakan persamaan berikut:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.70)$$

Maka hasil simpangan haruslah dikali dengan faktor persamaan berikut

$$F_s = \frac{C_s W}{V_t} \quad (3.71)$$

### 3.3.12 Simpangan Antar Tingkat (*Drift*)

Perhitungan Simpangan antar tingkat sudah dibahas sebelumnya pada sub bab 3.2.15. Disebutkan dalam FEMA 751B pasal 4.1.6.2 bahwa cek kinerja pada analisis respon spektrum yaitu simpangan dan efek P-Delta tidak perlu diskalakan dengan skala dari gaya geser dasar.

### 3.3.13 Efek P-Delta (*P- $\Delta$ Effect*)

Perhitungan P-delta efek sudah dibahas sebelumnya pada sub bab 3.2.16. Gaya-gaya batang yang merupakan produk antara gaya dalam menggunakan metode respon spektrum dapat diperoleh dengan dikali faktor skala atau dapat juga dilakukan analisis ulang. Faktor skala dapat menggunakan persamaan berikut.

$$Scale\ Factor = \frac{g + I_e}{R} \quad (3.72)$$

Keterangan:

$g$ ,  $I_e$ , dan  $R$  berturut-turut adalah Percepatan gravitasi ( $g=9,81$  m/s), Faktor keutamaan gempa dan Koefisien modifikasi respon.

Elemen struktur yang akan didesain yaitu elemen plat tingkat, balok, dan kolom. Pada penelitian ini akan menggunakan beton bertulang sebagai material struktur utama, sehingga yang akan dibahas hanya analisis untuk desain elemen struktur dengan beton bertulang saja.

## 3.4 Desain Elemen Struktur

### 3.4.1 Desain Tulangan Pelat

Pelat terbagi menjadi 2 jenis berdasarkan arah pembebebanannya, yaitu: pelat satu arah dan pelat dua arah. Berdasarkan SNI 2847 tahun 2019 suatu pelat akan dikategorikan sebagai pelat satu arah apabila rasio dari dua bentang (panjang dan pendek) suatu panel melebihi 2 ( $L_y / L_x > 2$ ). Sedangkan pelat akan

dikategorikan sebagai pelat dua arah apabila rasio dari dua bentang (panjang dan pendek) suatu panel kurang dari atau sama dengan 2 ( $L_y / L_x \leq 2$ ).

#### 1. Ketebalan Minimum

Ketebalan minimum yang disyaratkan untuk pelat satu arah mengacu pada SNI 2847 tahun 2019 pasal 7.3.1.1 Tabel 7.3.1.1. Pada pasal 8.3.1 disebutkan bahwa ketebalan minimum pelat dua arah yaitu terdapat untuk ketebalan minimum tanpa balok interior dengan rasio bentang maksimum 2 dengan ketebalan  $h$  tidak boleh kurang dari batasan dan memiliki nilai terkecil yaitu: pelat tanpa *drop panel* sesuai dengan pasal 8.2.4 tebalnya adalah 125 mm dan pelat dengan *drop panel* sesuai dengan pasal 8.2.4 tebalnya adalah 100 mm. Untuk ketebalan minimum dengan balok di antara tumpuan dapat dilihat pada SNI 2847-2019 Tabel 8.3.1.1 pelat tanpa balok interior dan SNI 2847-2019 Tabel 8.3.1.2 untuk pelat dengan balok di antara tumpuan pada seluruh sisinya.

#### 2. Momen *ultimate* dan Geser *ultimate* yang terjadi

Pada pelat satu arah perhitungan momen pendekatan telah dijelaskan pada pasal 6.5.2 Tabel 6.5.2 dimana nilai  $M_u$  akibat beban gravitasi, sedangkan untuk nilai  $V_u$  yang akibat beban gravitasi harus dihitung berdasarkan pasal 6.5.4 Tabel 6.5.4.

Pada pelat dua arah perhitungan momen pendekatan telah dijelaskan pada PBI tahun 1971 pada pasal 13.3 dimana metode ini perlu untuk menggunakan rasio bentang ( $L_y / L_x$ ).

$$M_u = 0,001 \times Q_u \times L_n^2 \times X \quad (3.73)$$

Dimana  $M_u$ ,  $Q_u$ ,  $L_n$ , dan  $X$  berturut-turut yaitu Momen Ultimate, Beban Ultimate, Panjang Pelat pada arah  $x$  atau  $y$ , dan koefisien momen sesuai pada tabel 13.3.1 PBI N-1971.

#### 3. Luas Tulangan Minimum,

Luas minimum tulangan lentur,  $A_{s,min}$  untuk pelat satu arah harus disediakan sesuai SNI 2847 tahun 2019 pasal 7.6.1.1 Tabel 7.6.11. Jika diperlukan tulangan geser maka Luas minimum tulangan geser,  $A_{v,min}$  untuk pelat satu arah harus disediakan sesuai SNI 2847 tahun 2019 pasal 9.6.3.3 Tabel 9.6.3.3.

#### 4. Kebutuhan Luas Tulangan

Dalam mencari kebutuhan luas tulangan perlu digunakan persamaan keseimbangan gaya-gaya horizontal yaitu: gaya desak beton dan gaya tarik tulangan baja. Prosedur untuk mencari kebutuhan luas tulangan adalah sebagai berikut:

- a. Mencari nilai tinggi efektif tekan beton,  $a$ .

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = C_c (d - a/2) \quad (3.74)$$

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (3.75)$$

Keterangan:

$M_n$  adalah Momen nominal balok beton (N.mm) sedangkan  $M_u$  adalah Momen *ultimate* balok beton (N.mm), didapatkan dengan Tabel 3.14 apabila pelat satu arah, untuk pelat dua arah menggunakan PBI 1971 Tabel 13.3.1. Sementara itu,  $\phi$  dan  $f'_c$  adalah Faktor reduksi dan kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>). Sedangkan  $d$ ,  $a$ , dan  $b$  berturut-turut adalah Tinggi efektif balok beton bertulang (mm), Tinggi efektif tekan beton (mm), Lebar balok beton (mm).

- b. Kemudian membandingkan gaya-gaya keseimbangan horizontal dengan persamaan berikut.

$$C_c = T_s \quad (3.76)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (3.77)$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y \quad (3.78)$$

$$A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \quad (3.79)$$

Keterangan:

$A_s$  adalah Luas tulangan beton (mm<sup>2</sup>) sedangkan  $f_y$  adalah Mutu Kuat tarik baja tulangan (N/mm<sup>2</sup>).

- c. Cek syarat tulangan

Kemudian cek syarat tulangan minimum

$$A_s > A_{s,min} \quad (3.80)$$

### 3.4.2 Desain Tulangan Balok

#### 1. Redistribusi momen

Paulay & Priestley (1992) dalam bukunya menyebutkan bahwa dari kedua kombinasi pembebanan yaitu kombinasi pembebanan gravitasi dan kombinasi pembebanan gempa, pembebanan gempa cenderung mendominasi pembebanan. Salah satu akibat dari dominasi pembebanan gempa adalah momen negatif maksimum yang besarnya bisa 2,5 kali dari momen positif maksimum. Sehingga dalam mendesain balok ukurannya bisa sangat besar. Oleh karena itu, diperlukan pengurangan pada momen negatif dan penambahan pada momen positif yang disebut dengan Redistribusi Momen.

Terdapat beberapa syarat dalam meredistribusi momen di antaranya yaitu: keseimbangan gaya-gaya lintang haruslah tetap sama ketika sebelum dan setelah redistribusi serta redistribusi momen tidak boleh lebih besar dari 30% momen aslinya.

#### 2. Desain tulangan lentur

Dalam mendesain balok maka persyaratan-persyaratan haruslah terpenuhi terlebih dahulu. Untuk dimensi balok terdapat batasan-batasan yang telah diatur pada SNI 2847 tahun 2019 pasal 18.6.2.1. Prinsip desain balok yang akan digunakan adalah memisah tulangan rangkap menjadi 2 bagian atau dinamakan proses dekomposisi. Tulangan rangkap ini akan didekomposisi menjadi tulangan sebelah dan tulangan kembar. Pada umumnya gaya-gaya dalam yang terjadi pada balok itu dominan momen lentur dan gaya geser, sedangkan gaya aksial relatif kecil sehingga dapat diabaikan. Prosedur desain balok adalah sebagai berikut:

##### a. Estimasi Balok

Estimasi awal balok induk menggunakan rumus sebagai berikut ini.

$$H_{balok} = 1/12 \cdot L_{balok} \quad (3.81)$$

$$B_{balok} = 1/2 \cdot H_{balok} \quad (3.82)$$

Sedangkan, Estimasi awal balok Anak menggunakan rumus sebagai berikut ini.

$$H_{balok} = 1/14 \cdot L_{balok} \quad (3.83)$$

$$B_{balok} = 1/2 \cdot H_{balok} \quad (3.84)$$

- b. Mencari rasio luas tulangan beton  $\rho_b$  dan nilai  $m$ . Untuk nilai  $\rho_b$  dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\rho_b = \frac{\beta_1}{m} \cdot \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \right) \quad (3.85)$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f'_c} \quad (3.86)$$

Keterangan:

$\rho_b$ ,  $\beta_1$ , dan  $m$  berturut-turut adalah Rasio luas tulangan dalam kondisi *balance*, Faktor yang didapatkan tergantung dari besarnya kuat tekan beton  $f'_c$ , dan Perbandingan antara kuat tarik baja  $f_y$ , dengan kuat tekan beton efektif. Sedangkan  $\varepsilon_c$  dan  $\varepsilon_y$  adalah regangan beton dan Regangan tulangan baja;

- c. Rasio tulangan yang akan dipakai adalah

$$\rho \leq 0,75 \rho_b \quad (3.87)$$

- d. Menghitung momen nominal dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (3.88)$$

Keterangan:

$M_n$ ,  $M_u$ , dan  $\phi$  berturut-turut adalah Momen nominal balok beton (N.mm), Momen *ultimate* balok beton (N.mm), dan Faktor reduksi kekuatan untuk kondisi lentur.

- e. Menghitung dimensi lebar balok  $b$ , dengan asumsi tinggi balok  $h$ , bernilai dua kali lebar balok. Maka dapat menggunakan persamaan:

$$b = \sqrt[3]{\frac{M_n}{4R}} \quad (3.89)$$

$$R = \rho \cdot f_y \cdot (1 - 1/2 \cdot (\rho \cdot m)) \quad (3.90)$$

Keterangan

$b$ ,  $R$ , dan  $\rho$  berturut-turut adalah lebar balok, properti bahan, dan rasio tulangan.

- f. Menghitung nilai momen tulangan tunggal  $M_1$ , serta nilai  $R_1$

$$M_1 = R_1 \cdot b \cdot h^2 \quad (3.91)$$

$$R_1 = C \cdot R \quad (3.92)$$

Keterangan

$M_1$ ,  $R_1$ , dan  $C$  berturut turut adalah momen tulangan tunggal, properti bahan tulangan sebelah, dan faktor pengali properti bahan yang dapat diambil antara 0,05 sampai 0,35.

- g. Menghitung nilai  $a$  dan  $c$

$$M_1 = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b (h - a/2) \quad (3.93)$$

$$c = \frac{a}{0,85} \quad (3.94)$$

Keterangan:

$a$  adalah tebal beton desak dan  $c$  adalah tinggi sumbu netral.

- h. Cek regangan desak baja tulangan

$$\varepsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \cdot \varepsilon_c > \varepsilon_y \quad (3.95)$$

Keterangan:

$\varepsilon'_s$ ,  $\varepsilon_c$ , dan  $\varepsilon_y$  berturut-turut adalah regangan desak baja tulangan sudah leleh, regangan desak beton dan regangan leleh baja.

- i. Menghitung kebutuhan luas tulangan  $A_{s1}$

$$A_{s1} = \frac{0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b}{f_y} \quad (3.96)$$

Keterangan:

$A_{s1}$  adalah kebutuhan luas tulangan sebelah.

- j. Menghitung momen tulangan  $M_2$

$$M_2 = M_n - M_1 \quad (3.97)$$

Keterangan:

$M_2$  adalah momen tulangan kembar.

k. Menghitung kebutuhan luas tulangan  $A_{s2}$

$$T_{s2} = \frac{M_2}{H-d'} \quad (3.98)$$

$$A_{s2} = \frac{T_{s2}}{f_y} \quad (3.99)$$

Keterangan:

$T_{s2}$ ,  $H$ , dan  $d'$  berturut-turut adalah kuat tarik baja kembar (N), Tinggi balok (mm), dan Jarak tepi balok dengan titik berat tulangan tekan (mm).

l. Mengecek batas minimum luas tulangan  $A_{s,min}$

$$1) \quad A_s > \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} \cdot b_w \cdot d \quad (3.100)$$

$$2) \quad A_s > \frac{1,4}{f_y} \cdot b_w \cdot d \quad (3.101)$$

Keterangan:

$b_w$  adalah lebar balok (mm) dan  $d$  adalah tinggi balok (mm).

m. Menghitung Momen Kapasitas, dengan mengacu pada persamaan gaya-gaya keseimbangan horizontal sebagai berikut ini.

$$T_s = C_c + C_s \quad (3.102)$$

Keterangan:

$T_s$ ,  $C_c$ , dan  $C_s$  berturut-turut adalah gaya tarik baja, gaya desak beton, dan gaya desak baja.

n. Menghitung nilai "a" dan "c" untuk Momen kapasitas Negatif

$$A_s \cdot (f_y \cdot \phi_0) = 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_y \quad (3.103)$$

Keterangan:

$\phi_0$  adalah *overstrength factor*



o. cek regangan desak baja tulangan

$$\varepsilon'_s = \frac{c - d'}{c} \cdot \varepsilon_c > \varepsilon_y \quad (3.104)$$

p. Menghitung momen kapasitas negatif

$$M_{kap}^- = C_c \cdot (h - a/2) + C_s \cdot (h - d') \quad (3.105)$$

Keterangan:

$M_{kap}^-$ ,  $C_c$ , dan  $C_s$  berturut-turut adalah momen kapasitas negatif, gaya desak beton, dan gaya desak baja. Sedangkan  $h$ ,  $a$ , dan  $d'$  berturut-turut adalah tinggi beton, tinggi desak beton dan tinggi efektif beton.

q. Menghitung nilai "a" dan "c" untuk Momen kapasitas positif

$$A_s' \cdot (f_y \cdot \phi) = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b + A_s \cdot \frac{a - \beta_1 \cdot d}{a} \cdot \varepsilon_c \cdot E_s \quad (3.106)$$

r. cek regangan desak baja tulangan lagi, menggunakan persamaan (3.104)

s. Menghitung momen kapasitas positif

$$M_{kap}^+ = C_c \cdot (h - a/2) + A_s \cdot f_s (h - d) \quad (3.107)$$

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s \quad (3.108)$$

Keterangan:

$M_{kap}^+$ ,  $f_s$ , dan  $E_s$  berturut-turut adalah momen kapasitas positif, tegangan tarik baja dan modulus elastisitas baja.

t. Cek syarat momen kapasitas positif

$$M_{kap}^+ > 50\% M_{kap}^- \quad (3.109)$$

u. Menghitung Gaya geser ultimit,  $V_u$

$$V_u = (1,2 \cdot V_D + V_L) + \frac{M_{kap}^+ + M_{kap}^-}{\ell_n} \quad (3.110)$$

Keterangan:

$V_u, V_D$ , dan  $V_L$  berturut-turut adalah gaya geser ultimate, gaya lintang akibat beban mati, dan gaya lintang akibat beban hidup. Sedangkan  $\ell_n$  adalah panjang bentang bersih.

- v. Mengetahui syarat desain kuat geser yaitu menggunakan persamaan

$$\phi V_n > V_u \quad (3.111)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.112)$$

$$V_c + V_s > \frac{V_u}{\phi} \quad (3.113)$$

Keterangan:

$V_n, V_c$ , dan  $V_s$  berturut-turut adalah gaya geser nominal, gaya lintang akibat beban mati, dan gaya lintang akibat beban hidup. Sedangkan  $\phi$  adalah reduksi kekuatan geser.

- w. Menghitung gaya geser yang diterima tulangan geser

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (3.114)$$

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot h}{s} \quad (3.115)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot h \quad (3.116)$$

Keterangan:

$A_s, h$ , dan  $b$  berturut-turut adalah kebutuhan luas tulangan, tinggi balok dan tebal balok.

- x. Apabila didapatkan  $V_E < \frac{V_u}{2}$ , maka nilai  $V_c = 0$ , maka persamaan gaya geser yang diterima sengkang menjadi sebagai berikut.

$$V_s \geq \frac{V_u}{\phi} \quad (3.117)$$

- y. Cek Syarat kebutuhan minimum tulangan geser,  $A_{v,min}$ , sesuai SNI 2847 pasal 9.6.3.3 Tabel 9.6.3.3
- z. Cek syarat jarak minimum tulangan geser,  $s$ , SNI 2847 pasal 18.6.4.4.

### 3.4.3 Desain Tulangan Longitudinal Kolom

Pada tahapan estimasi yang dilakukan sebelum desain, kolom dapat diestimasi menggunakan persamaan (3.118) sebagai berikut.

$$\frac{P_u}{A_g \cdot f'_c} \leq 0,3 \quad (3.118)$$

Dimana  $P_u$ ,  $A_g$ , dan  $f'_c$  berturut-turut yaitu beban ultimate yang diterima kolom, luasan kolom, dan mutu beton pada kolom.

Kemudian dalam mendesain tulangan kolom longitudinal ada beberapa metode yang dapat digunakan, di antaranya yaitu metode numerik, metode analitik dan metode grafik menggunakan diagram interaksi  $M_n - P_n$ . Metode yang akan dibahas lebih lanjut dalam mendesain kolom pada penelitian ini adalah metode grafik menggunakan diagram interaksi  $M_n - P_n$ . Diagram interaksi  $M_n - P_n$  adalah diagram yang memberikan hubungan antara beban aksial  $P_n$ , dengan momen lentur  $M_n$ . Di dalam diagram interaksi  $M_n - P_n$  terdapat beberapa perilaku yang terjadi. Perilaku-perilaku tersebut yaitu:

1. Desak Murni (*Purely Compression*)

Pada kondisi desak murni, beban yang terjadi adalah murni beban aksial, sehingga nilai eksentrisitas yang terjadi bernilai 0 ( $e = 0$ ) dan tidak mengalami momen.

2. Keruntuhan Desak (*Compression Failure*)

Kondisi runtuh desak terjadi apabila beban aksial yang terjadi melebihi beban pada kondisi *balance* ( $P > P_b$ ) atau eksentrisitas yang terjadi lebih kecil dari eksentrisitas pada kondisi *balance* ( $e < e_b$ ).

3. Seimbang (*Balance*)

Kondisi seimbang terjadi apabila beban aksial  $P_b$  terjadi pada penampang, sehingga menimbulkan regangan sebesar 0,003 pada serat tekan beton serta bersamaan dengan tulangan baja mengalami leleh.

4. Rusak Tarik (*Tension Failure*)

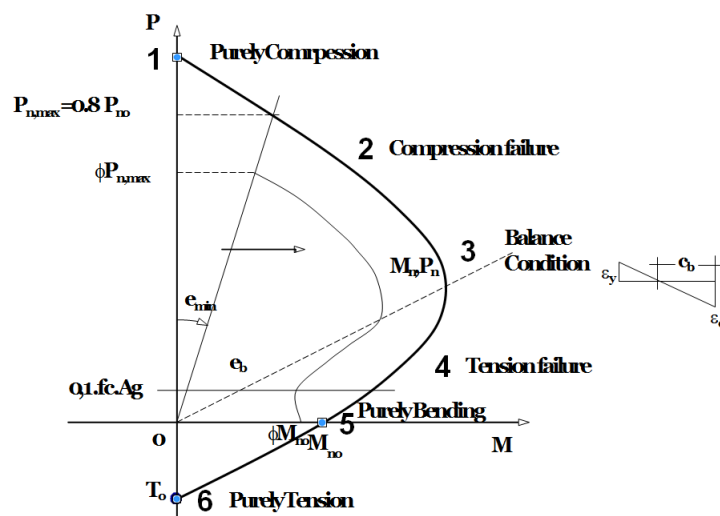
Kondisi runtuh tarik terjadi apabila beban aksial yang terjadi lebih kecil beban pada kondisi *balance* ( $P < P_b$ ) atau eksentrisitas yang terjadi melebihi eksentrisitas pada kondisi *balance* ( $e > e_b$ ).

5. Lentur Murni (*Purely Bending*)

Pada kondisi lentur murni, nilai eksentrisitas yang terjadi sudah sangat besar sehingga menimbulkan momen yang juga besar. Beban aksial yang terjadi disini relatif kecil sehingga dapat diabaikan.

6. Tarik Murni (*Purely Tension*)

Apabila perilaku sebelumnya dihubungkan maka akan menjadi diagram interaksi  $M_n - P_n$  sebagaimana Gambar 3.8 sebagai berikut.



**Gambar 3.8 Diagram Interaksi  $M_n - P_n$**

### 3.4.4 Desain Tulangan Geser Kolom

Tulangan geser kolom harus didesain berdasarkan daerahnya yaitu : tulangan geser pada daerah sendi plastis dan tulangan geser di luar sendi plastis. Untuk menentukan luas tulangan geser pada daerah sendi plastis mengacu pada *code* SNI 2847 tahun 2019 pasal 18.7.5. Dalam mendesain luas tulangan geser pada daerah sendi plastis terdapat 2 kondisi sebagaimana pasal 18.7.5.4 yaitu:

1.  $P_u \leq 0,3 \cdot A_g \cdot f'_c$  dan  $f'_c \leq 70$  MPa.
2.  $P_u > 0,3 \cdot A_g \cdot f'_c$  atau  $f'_c > 70$  MPa.

Apabila kondisi sesuai dengan kondisi pertama maka untuk mencari luas tulangan digunakan persamaan terbesar antara persamaan (3.119) dan (3.120). Apabila kondisi sesuai dengan kondisi kedua maka untuk mencari luas tulangan

digunakan persamaan terbesar antara persamaan (3.119), (3.120) dan (3.121), sebagaimana persamaan berikut ini.

$$\frac{A_{sh}}{S} = 0,3 \cdot \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{b_c \cdot f'_c}{f_y} \right) \quad (3.119)$$

$$\frac{A_{sh}}{S} = 0,09 \cdot \left( h_c \cdot \frac{f'_c}{f_y} \right) \quad (3.120)$$

$$\frac{A_{sh}}{S} = 0,2 \cdot k_f \cdot k_n \cdot \left( \frac{b_c \cdot P_u}{f_y h \cdot A_{ch}} \right) \quad (3.121)$$

Keterangan:

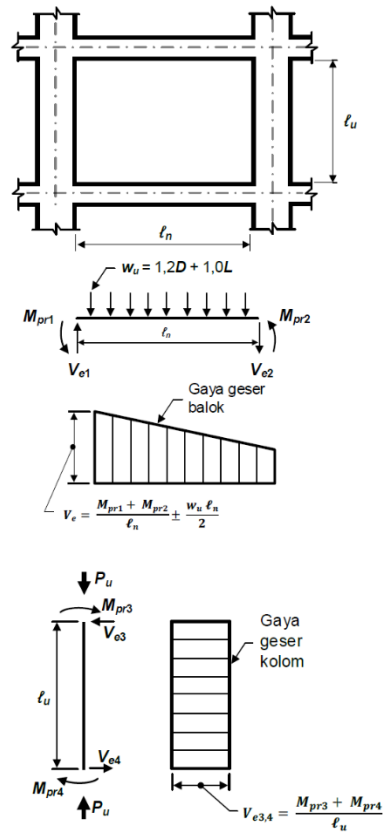
$A_{sh}$  dan  $s$  adalah luas tulangan geser dan spasi tulangan.  $A_g$  dan  $A_{ch}$  adalah luas penampang kolom dan luas penampang kolom terkekang.  $b_c$  dan  $h_c$  adalah lebar penampang kolom dan tinggi penampang kolom.  $f'_c$ ,  $f_y$  dan  $f_{yh}$  berturut-turut adalah kuat tekan beton, kuat tarik baja tulangan dan kuat tarik baja tulangan geser.  $k_f$  dan  $k_n$  adalah faktor kekuatan beton dan faktor keefektifan pengekanan.

Tulangan geser harus memenuhi persyaratan 18.7.5.2 dan untuk spasi tulangan sebagaimana telah ditentukan batas minimal pada pasal 18.7.5.3. Untuk menentukan nilai  $k_f$  dan  $k_n$  dapat menggunakan rumus yang telah ada yaitu pada pasal 18.7.5.4a untuk  $k_f$  dan 18.7.5.4b untuk  $k_n$ . Panjang daerah sendi plastis pada kolom ( $L_o$ ) tidak boleh kurang dari syarat pada pasal 18.7.5.1.

Desain kuat geser kolom dalam pengaplikasian pasal 18.6.5 yaitu sesuai Gambar 3.9. Perhitungan desain dapat menggunakan langkah sebagai berikut:

$$1. \quad M_{pr1} = 0,5 (M_{pr1}^+ + M_{pr1}^-) \text{ dan } M_{pr2} = 0,5 (M_{pr2}^+ + M_{pr2}^-) \quad (3.122)$$

$$2. \quad V_{e2} = \left( \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{H_n} \right) \quad (3.123)$$



**Gambar 3.9 Geser Desain Untuk Balok dan Kolom**

3. Menurut pasal 18.7.6.2 apabila  $V_e > 0,5 P_u$ , maka nilai  $V_c = 0$ , sedangkan apabila  $V_e < 0,5 P_u$ , maka nilai  $V_c$  menggunakan persamaan berikut ini

$$V_c = \left\{ 1 + \frac{N_{u,k}}{14 \cdot A_g} \right\} \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \cdot b \cdot h \quad (3.124)$$

4. Maka nilai  $V_s$ , dapat menggunakan persamaan berikut.

$$V_s = \frac{V_e}{\phi} - V_c \quad (3.125)$$

5. Menghitung spasi,  $s$  dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$s = \frac{A_v \cdot f_y h \cdot h}{V_s} \quad (3.126)$$

### 3.4.5 Desain Tulangan *Beam - Column Joint*

*Beam - Column Joint* merupakan daerah yang sangat penting bagi struktur. Sebagaimana telah diketahui bahwa beban akan disalurkan dari balok ke kolom melalui *joint* yang tetap berbentuk siku. Dalam mendesain tulangan pada *joint* balok-kolom itu menggunakan prosedur yang sama dengan desain tulangan geser kolom sebagaimana yang telah ditentukan pada SNI 2847 pasal 18.7.5.4. Prosedur perhitungan tulangan pada *beam-column joint* adalah sebagai berikut.

1. Menghitung Gaya aksial kolom baik dalam bagian kiri maupun kanan

Kolom dalam bagian kiri

$$V_{col \leftrightarrow} = \frac{0.7 \cdot \left\{ \frac{\ell_{bi}}{\ell_{bn}} \cdot M_{kap,i} + \frac{\ell_{ba}}{\ell_{bn}} \cdot M_{kap,a} \right\}}{\frac{1}{2} \cdot (h_a + h_b)} \quad (3.127)$$

Kolom dalam bagian kanan

$$V_{col \leftrightarrow} = \frac{0.7 \cdot \left\{ \frac{\ell_{ba}}{\ell_{bna}} \cdot M_{kap,a} + \frac{\ell_{bi}}{\ell_{bni}} \cdot M_{kap,i} \right\}}{\frac{1}{2} \cdot (h_a + h_b)} \quad (3.128)$$

Keterangan:

$V_{col \leftrightarrow}$ ,  $M_{kap,i}$ ,  $M_{kap,a}$  berturut-turut adalah gaya lintang kolom, momen kapasitas negatif dan momen kapasitas positif.  $\ell_{ba}$ ,  $\ell_{bi}$ , dan  $\ell_{bn}$  berturut-turut adalah panjang balok pada momen positif, panjang balok pada momen negatif, dan panjang balok bersih. Sedangkan  $h_a$  dan  $h_b$  berturut-turut adalah tinggi kolom atas dan tinggi kolom bawah.

2. Menghitung gaya geser

$$T_{s,i} = \frac{0,7 \cdot M_{kap,i}}{z_i} \quad (3.129)$$

$$C_{c,a} = \frac{0,7 \cdot M_{kap,a}}{z_a} \quad (3.130)$$

$$V_{jh} = T_{s,i} + C_{c,a} + V_{col} \quad (3.131)$$

Keterangan:

$T_{s,i}$  dan  $C_{c,a}$  berturut-turut adalah gaya tarik baja dan gaya desak beton.  $V_{jh}$  dan  $V_{col}$  berturut-turut adalah gaya geser *joint* horizontal dan gaya lintang kolom.

3. cek tegangan geser

$$\tau_{jh} = \frac{V_{jh}}{h_{tc} \cdot b_{ba}} \quad (3.132)$$

untuk joint yang terkekang balok di keempat sisinya

$$\tau_{jh.maks} = 1,7 \cdot \lambda \sqrt{f'c} \quad (3.133)$$

untuk joint yang terkekang balok di ketiga sisinya

$$\tau_{jh.maks} = 1,2 \cdot \lambda \sqrt{f'c} \quad (3.134)$$

Keterangan:

$\tau_{jh}$  dan  $\tau_{jh.maks}$  berturut-turut adalah tegangan geser horizontal dan tegangan geser maksimum horizontal. Sedangkan  $h_{tc}$ , dan  $b_{ba}$  berturut-turut adalah tinggi penampang kolom dan lebar penampang kolom.

4. Menghitung gaya geser untuk beton dan untuk sengkang

$$\frac{N_{u,k}}{A_g} > 0,1 f'c \quad (3.135)$$

$$V_{ch} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{N_{u,k}}{A_g} - 0,1 f'c} \cdot b_{ba} \cdot h_{tc} \quad (3.136)$$

$$V_{sh} = V_{jh} - V_{ch} \quad (3.137)$$

Keterangan:

$V_{ch}$  dan  $V_{sh}$  berturut-turut adalah gaya geser horizontal beton dan gaya geser sengkang horizontal.

5. Menentukan luas tulangan sengkang horizontal,  $A_{sh}$

$$A_{sh} = \frac{V_{sh}}{f_y} \quad (3.138)$$

6. Menghitung gaya geser vertikal,  $V_{jv}$



$$V_{jv} = \frac{h_b}{h_c} V_{jh} \quad (3.139)$$

Keterangan:

$h_b$  dan  $h_c$  berturut-turut adalah tinggi tampang balok dan tinggi tampang kolom.

7. Menghitung gaya geser untuk beton dan untuk sengkang vertikal

$$V_{cv} = \frac{A_{sk'}}{A_{sk}} \cdot V_{jh} \cdot \left\{ 0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f'c} \right\} \quad (3.140)$$

$$V_{sv} = V_{jv} - V_{cv} \quad (3.141)$$

Keterangan:

$V_{cv}$ ,  $V_{jv}$  dan  $V_{sv}$  berturut-turut adalah gaya geser vertikal beton, gaya geser *joint* vertikal, dan gaya geser sengkang vertikal.

8. Menghitung luas tulangan sengkang vertikal,  $A_{sv}$

$$A_{sv} = \frac{V_{sv}}{f_y} \quad (3.142)$$

### 3.4.6 Desain Tulangan Fondasi

Fondasi pada umumnya adalah struktur bawah dari bangunan yang berfungsi menyalurkan beban dari kolom atau struktur atas ke tanah dukung. Fondasi diklasifikasikan berdasarkan jenisnya menjadi 2 yaitu: fondasi dangkal (*shallow foundation*) dan fondasi dalam (*deep foundation*). Dalam menentukan jenis fondasi dapat ditentukan berdasarkan beban yang diterima atau kedalaman lokasi tanah stabil di bawahnya. Apabila beban yang diterima besar atau lokasi tanah dukungnya sangat dalam maka dapat menggunakan fondasi dalam. Fondasi dalam terdiri dari tiang pancang (*pile*) dan *pile cap*. Dalam mendesain perkuatan fondasi yang didesain adalah pada perkuatan *pile cap*. Prosedur desain tulangan *pile cap* adalah sebagai berikut.

1. Menghitung Gaya tarik baja

$$M_n = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b \cdot (h_p - a/2) \quad (3.143)$$

Keterangan:

$M_n$  dan  $f'_c$  berturut-turut adalah momen nominal dan kuat tekan beton. Sementara itu,  $a$ ,  $b$ , dan  $h_p$  berturut-turut adalah tinggi desak beton, lebar fondasi per meter, dan tinggi rata-rata *pile cap*.

Maka, didapatkan nilai  $a$ , kemudian mencari gaya tarik baja,  $T_s$

$$T_s = 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \quad (3.144)$$

2. Menghitung kebutuhan luas tulangan,  $A_s$

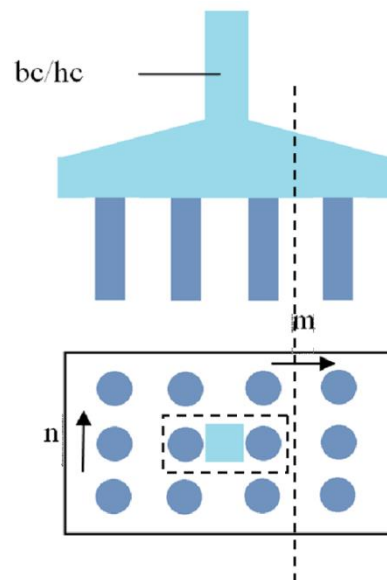
$$A_s = \frac{T_s}{f_y} \quad (3.145)$$

$$s = \frac{b \cdot A_d}{A_s} \quad (3.146)$$

Keterangan:

$A_s$  dan  $A_d$  berturut-turut adalah kebutuhan luas tulangan dan luas 1 buah tulangan. Sementara,  $s$  adalah jarak sengkang.

3. Kontrol tegangan aksi satu arah (*one way action*)



**Gambar 3.10** Tegangan *one way action*

- a. Gaya geser dari gaya aksial *pile*

$$V_{u1} = n \cdot V_u \quad (3.147)$$

$$V_n = \frac{V_{u1}}{\phi} \quad (3.148)$$

Keterangan:

$V_{u1}$ ,  $V_u$ , dan  $V_n$  berturut-turut adalah gaya aksial ultimate *one way action*, gaya aksial ultimate, dan gaya aksial nominal.

b. Tegangan geser

$$\tau = \frac{V_n}{h_p \cdot b} \quad (3.149)$$

$$\tau_{maks} = 2 \cdot \sqrt{f'c} \quad (3.150)$$

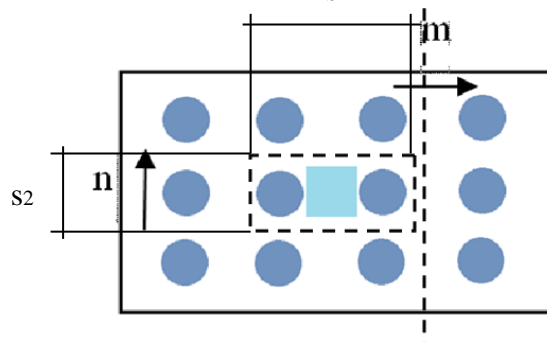
$$\tau < \tau_{maks} \quad (3.151)$$

Keterangan:

$\tau$  dan  $\tau_{maks}$  berturut-turut adalah tegangan geser *one way action* dan tegangan geser maksimum *one way action*.

Apabila persamaan (3.151) sesuai, maka tegangan geser *pile cap* untuk satu arah aman

4. Kontrol tegangan aksi dua arah (*two way action*)



**Gambar 3.11 Tegangan *two way action***

a. Gaya geser aksial dari *pile* (di luar batas kontrol)

$$s1 = h_c + h_p \quad (3.152)$$

$$s2 = b_c + h_p \quad (3.153)$$

$$V_{n2} = n \cdot \sum V_u \quad (3.154)$$

Keterangan:

$s_1$  dan  $s_2$  berturut-turut adalah batas kontrol sisi arah  $m$  dan batas kontrol sisi arah  $n$ .  $h_c$  dan  $b_c$  berturut-turut adalah tinggi tampang kolom dan lebar tampang kolom.  $V_{n2}$  adalah gaya aksial kolom nominal *two way action*.

b. Tegangan geser

$$k = 2 \cdot (s_1 + s_2) \quad (3.155)$$

$$\tau = \frac{V_n}{k \cdot h_p} \quad (3.156)$$

$$\tau_{maks1} = \left\{ 2 + \frac{4}{\beta_c} \right\} \cdot \sqrt{f'c} \quad (3.157)$$

$$\tau_{maks2} = \left\{ \frac{\alpha_s + h_p}{\beta_c} + 2 \right\} \cdot \sqrt{f'c} \quad (3.158)$$

$$\tau_{maks3} = 4 \cdot \sqrt{f'c} \quad (3.159)$$

Apabila nilai  $\tau$  lebih kecil dari ketiga salah satu persamaan  $\tau_{maks}$ , maka tegangan geser *pile cap* untuk dua arah aman.

5. Kestabilan terhadap gaya geser

Hubungan antara *pile* dan *pile cap* perlu dilakukan kontrol kestabilan akan terjadinya patah menggunakan persamaan berikut

$$\tau_{p.g} = \frac{\sum_{j=1}^k V_{n,j}}{\sum_{j=1}^k (m.n) \cdot A_p} < 2 \cdot \sqrt{f'c} \quad (3.160)$$

Keterangan:

$\tau_{p.g}$ ,  $V_{n,j}$ , dan  $A_p$  berturut-turut adalah tegangan geser antara *pile* dengan *pile cap*, gaya geser nominal setiap *pile cap*, dan luas tampang *pile*. Sementara  $m$  dan  $n$  berturut-turut adalah jumlah *pile* dalam kolom dan jumlah *pile* dalam baris.  $j$  adalah notasi setiap *pile cap*.

6. Kestabilan terhadap momen guling

Momen guling terjadi akibat momen-momen yang ditimbulkan oleh gaya horizontal gempa ekuivalen statik dan momen-momen yang ditimbulkan oleh

gaya aksial kolom. Kestabilan momen guling dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\sum_{j=1}^k P_{c,j} \cdot L_j < \sum_{i=1}^n F_i \cdot h_i \quad (3.161)$$

Keterangan:

$P_{c,j}$ ,  $L_j$ , dan  $j$  berturut-turut adalah tekanan tiap fondasi searah  $j$ , jarak fondasi dari ujung bangunan searah  $j$ , dan notasi jumlah fondasi.  $F_i$ ,  $h_i$ , dan  $i$  berturut-turut adalah gaya horizontal akibat gempa ekuivalen statik tiap tingkat -  $i$ , tinggi tiap tingkat-  $i$ , dan notasi jumlah tingkat.

### 3.5 Biaya

Dalam perencanaan suatu bangunan tak lepas dengan salah satu aspek pembangunan yaitu biaya. Estimasi biaya ini akan mengontrol perencana agar tidak mendesain bangunan menjadi terlalu mahal sehingga berlebihan atau terlalu murah sehingga tidak mampu menahan beban-beban yang mengenainya. Oleh karena itu, diperlukan rencana anggaran biaya dalam perencanaan suatu bangunan. Ibrahim (1993) berpendapat bahwa RAB (Rencana Anggaran Biaya) adalah perhitungan untuk mengetahui banyaknya biaya langsung dan tidak langsung yang diperlukan. Biaya langsung adalah semua biaya yang berkaitan dengan proyek secara nyata/fisik, sedangkan biaya tidak langsung adalah biaya seluruh biaya yang menunjang proyek secara tidak langsung.

Sebelum perhitungan RAB, ada perhitungan yang perlu dilakukan terlebih dahulu yaitu Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Analisis harga satuan pekerjaan adalah hasil perhitungan dari analisis harga satuan bahan ditambah analisis harga satuan upah. Pedoman yang digunakan dalam AHSP yaitu PERMEN PUPR 28-2016. Sehingga dapat disimpulkan untuk mendapatkan RAB menggunakan persamaan berikut.

$$\text{RAB} = \sum(\text{Volume} \times \text{Harga Satuan Pekerjaan}) \quad (3.162)$$

## **BAB IV METODE PENELITIAN**

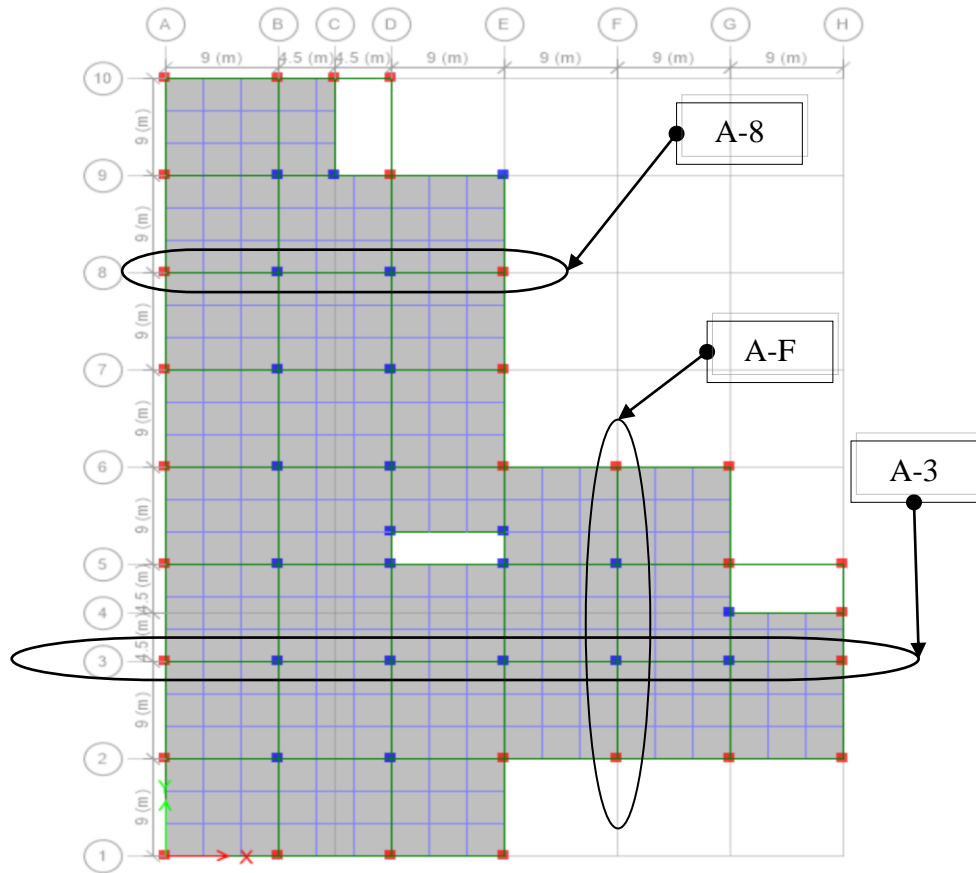
### **4.1 Lokasi Penelitian dan Data Struktur**

Lokasi bangunan direncanakan berada di Kota Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan jenis tanah yaitu Tanah Sedang (SD). Sementara itu, data struktur yang digunakan berupa parameter berikut: kekuatan beton ( $f'c$ ) yang digunakan adalah 35 MPa, sementara kekuatan baja ( $f_y$ ) tulangan pokok dan sengkang berurut-turut sebesar 420 MPa dan 300 MPa. Beban yang digunakan untuk analisis dan desain struktur mengacu pada standar SNI 1727-(2020) sebagai pedoman pembebanan gravitasi dan SNI 1726-(2019), termasuk beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Selanjutnya, bangunan ini dirancang sebagai gedung perkantoran.

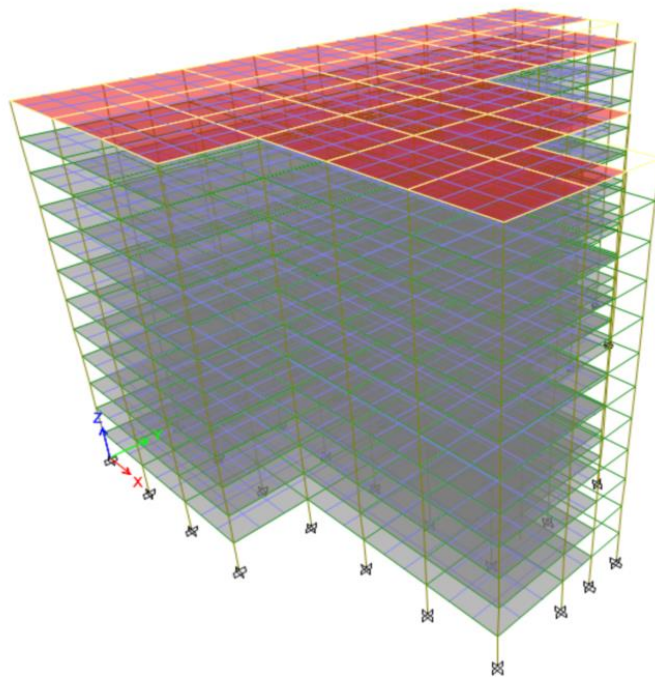
### **4.2 Pemodelan Struktur**

Program yang digunakan dalam pemodelan struktur yaitu *software* ETABS. Program ETABS memiliki keunggulan dibandingkan program pemodelan lain di antaranya yaitu memiliki optimasi yang lebih untuk jenis bangunan gedung contohnya memiliki opsi untuk mengeluarkan simpangan pada pusat massa. Selain itu, dapat mengeluarkan hasil gaya geser dari beban respons spektrum.

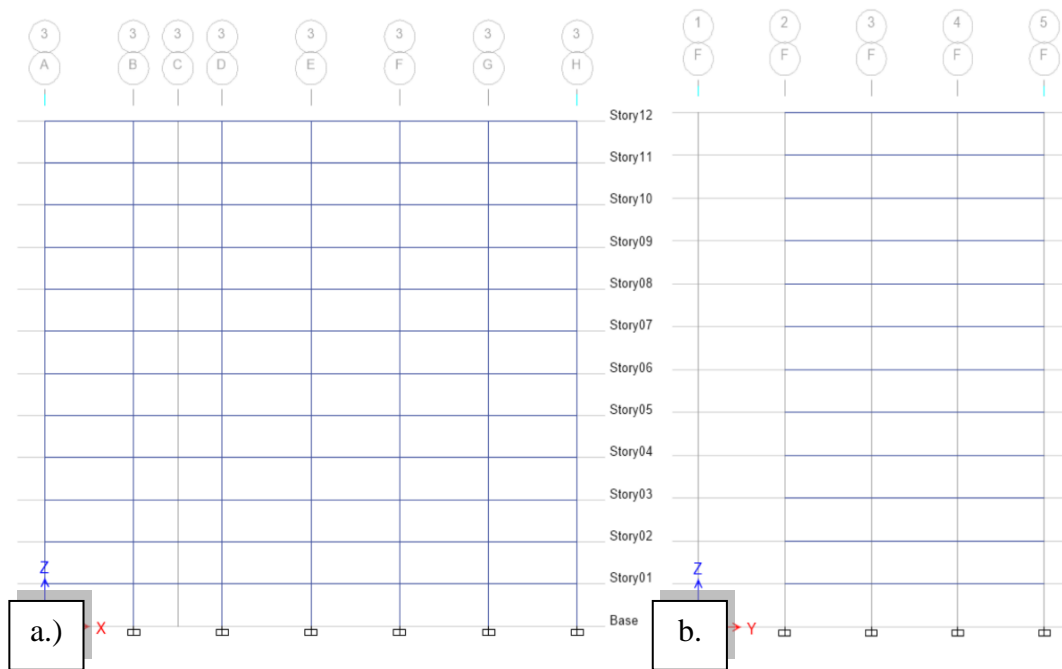
Bangunan yang akan didesain adalah bangunan imajiner dengan menggunakan struktur beton bertulang bertingkat 12 yang memiliki bentuk asimetris. Model 2D yang ditampilkan dalam perhitungan akan diambil Portal A-3 dan A-F. Pemilihan portal 2D ini diambil berdasarkan kemungkinan terjadinya perbedaan kinerja pada masing-masing arah. Pada arah x diambil portal A-3 dan A-8 yang memiliki perbedaan jumlah bentang terbesar, sedangkan pada arah y diambil portal A-F yang memiliki jumlah bentang dan portal paling sedikit di arahnya, tanpa adanya pengaruh tangga dan lift. Untuk model bangunan yang didesain dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 sebagai berikut.



**Gambar 4.1 Denah Tingkat 1-11**



**Gambar 4.2 Model 3D**



**Gambar 4.3 Model 2D pada A-3 (a.) dan A-F(b.)**

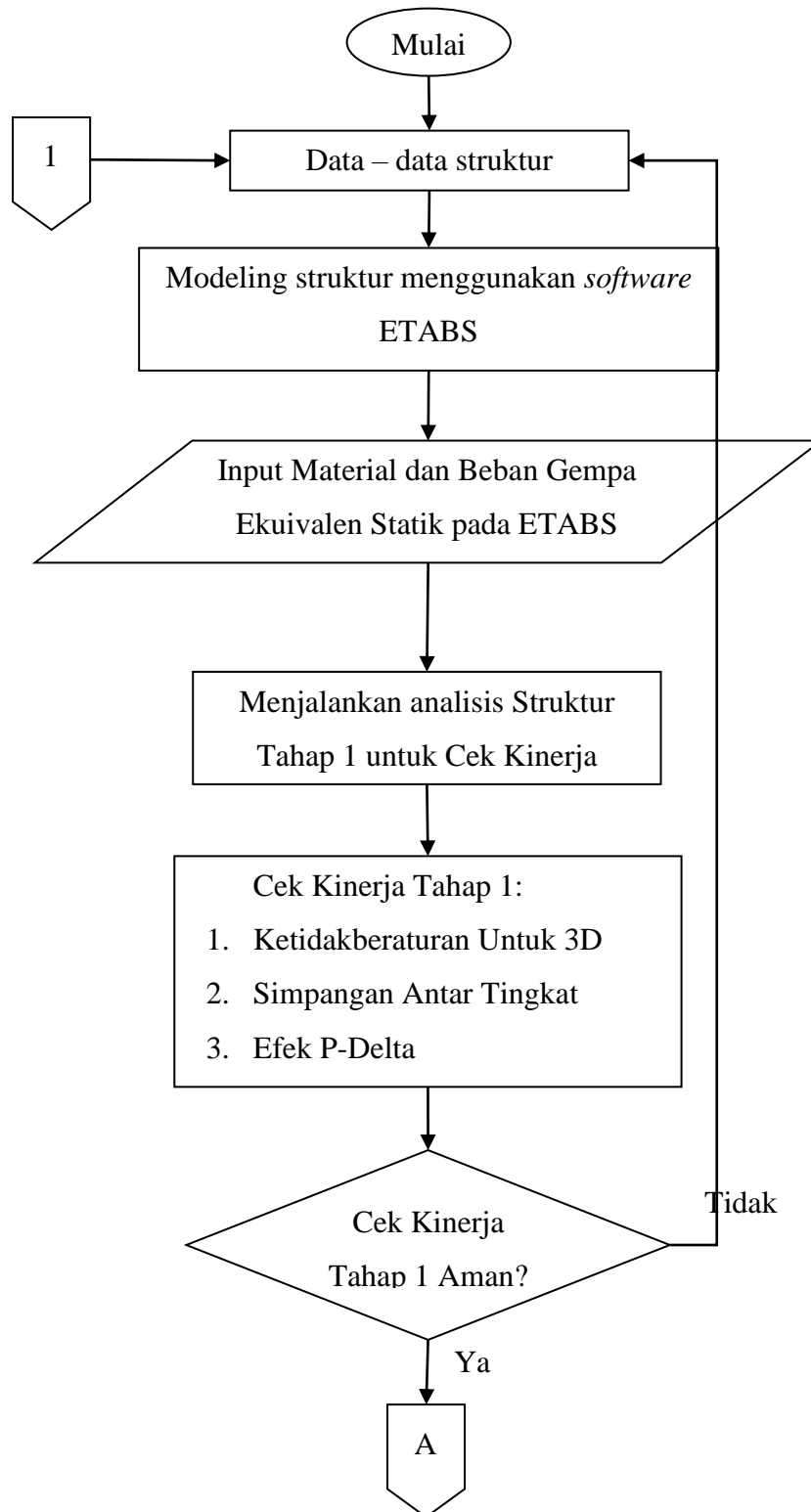
### 4.3 Metode Penelitian

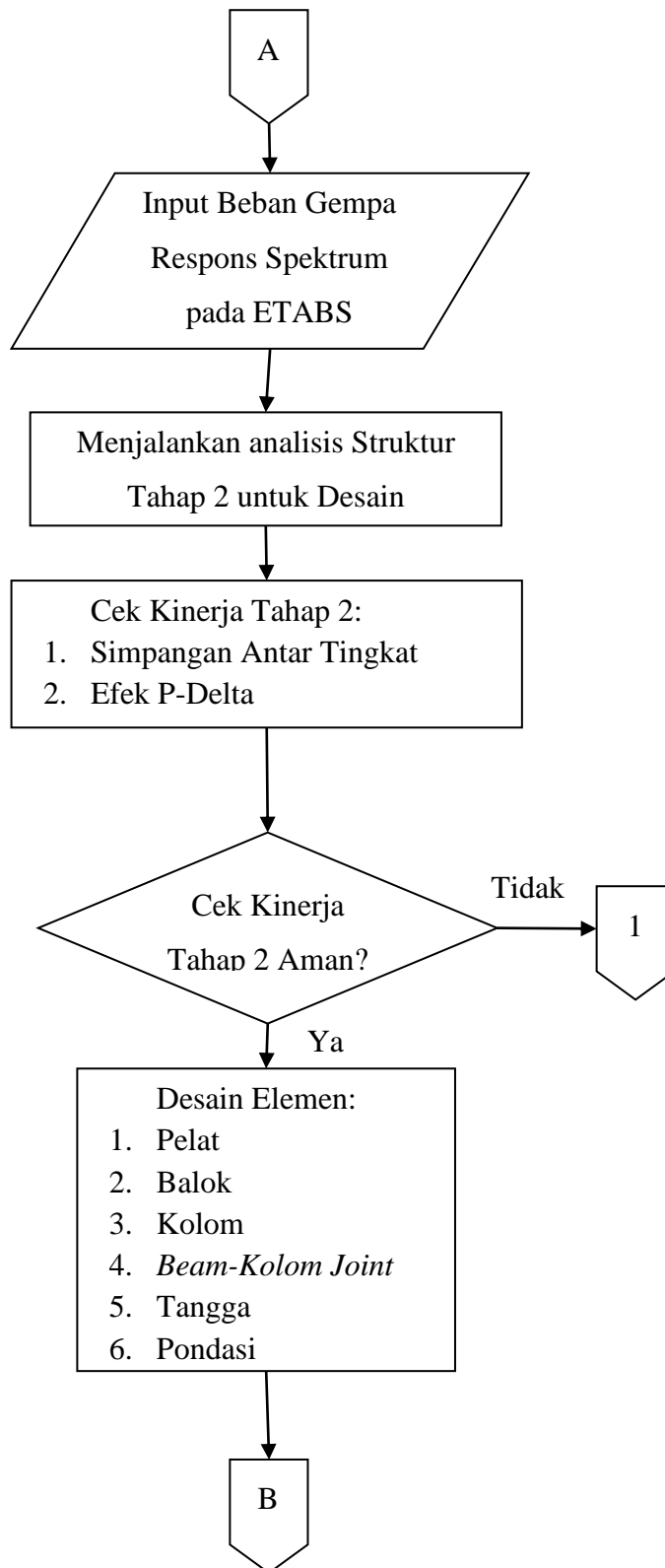
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut.

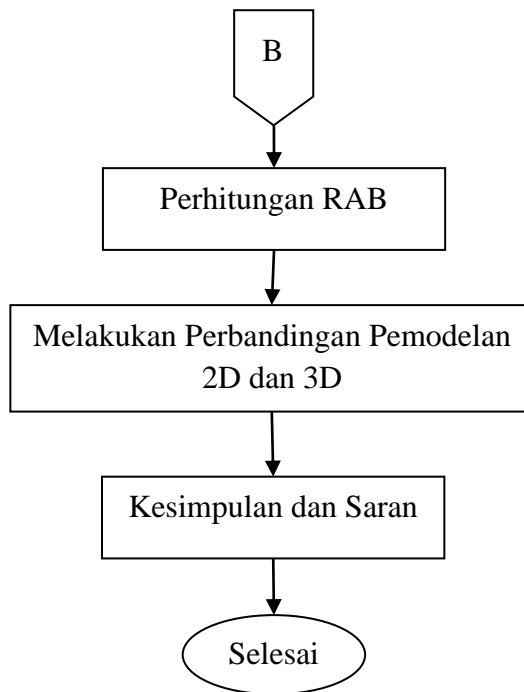
1. Pengumpulan data- data struktur.
2. Modeling menggunakan *software* ETABS mulai dari fondasi hingga pelat.
3. Menganalisis struktur tahap 1 sesuai pembahasan 3.2 dengan pemodelan struktur 2D dan 3D.
4. Mengecek kinerja struktur tahap 1 sesuai pembahasan 3.2.14 sampai 3.2.16.
5. Menganalisis struktur tahap 2 sesuai pembahasan 3.3 untuk keperluan desain.
6. Mengecek kinerja struktur tahap 2 sesuai pembahasan 3.3.12 hingga 3.3.13,
7. Mendesain elemen struktur sesuai pembahasan 3.4.
8. Menghitung RAB sesuai sub bab 3.5.
9. Melakukan siklus ulang analisis dan desain struktur.
10. Membandingkan beberapa variabel untuk pemodelan struktur 2D dan 3D.

Tahap-tahapan tadi dapat diringkas menjadi bentuk *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.









**Gambar 4.4** *Flowchart Tahapan Analisis*

## **BAB V**

### **HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Konfigurasi Bangunan**

Bangunan yang akan dianalisis adalah bangunan berbentuk T dengan sisi terpanjang 81 m dan terlebar 56 m, sedangkan tinggi keseluruhan dari bangunan adalah 37 m. Oleh karena adanya beberapa tonjolan pada denah dan melebihi 25% dari sisi terpanjang bangunan maka bangunan ini termasuk bangunan ireguler. Detail dari elevasi tiap tingkat pada gedung ini dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

**Tabel 5.1 Detail Elevasi Tiap Tingkat Gedung**

Tingkat	Tinggi tiap tingkat (m)	Elevasi (m)
Tingkat 12	4	48
Tingkat 11	4	44
Tingkat 10	4	40
Tingkat 9	4	36
Tingkat 8	4	32
Tingkat 7	4	28
Tingkat 6	4	24
Tingkat 5	4	20
Tingkat 4	4	16
Tingkat 3	4	12
Tingkat 2	4	8
Tingkat 1	4	4
Tingkat Dasar		0

#### **5.2 Estimasi Awal Desain**

Untuk kebutuhan analisis struktur pada masing-masing elemen struktur akan dimulai dengan estimasi awal desain agar dapat mempermudah perhitungan. Setelah hasil analisis keluar, dimensi yang sesuai dengan beban asli yang bekerja baru dapat ditentukan. Untuk estimasi elemen struktur dimulai dari :

1. Estimasi Dimensi Balok

Terdapat tiga jenis balok yang digunakan dalam hal ini, diklasifikasikan berdasarkan panjangnya, yaitu sebagai berikut:

- a. Balok 1, dengan panjang  $L_{balok} = 9000$  mm,
- b. Balok 2, dengan panjang  $L_{balok} = 4000$  mm,
- c. Balok 3, dengan panjang  $L_{balok} = 5000$  mm.

Dari ketiga jenis balok tersebut maka dapat diestimasi dimensi awal menggunakan persamaan (3.81) dan (3.82) sebagai berikut ini.

- a. Balok Induk (servis)

$$H_{balok} = 1/12 \cdot 9000 = 750 \text{ mm, digunakan } 850 \text{ mm}$$

$$B_{balok} = 1/2 \cdot 750 = 375 \text{ mm, digunakan } 400 \text{ mm}$$

Jadi balok induk 1 ini digunakan dimensi  $H_{balok} = 850$  mm dan  $B_{balok} = 400$  mm.

Sementara itu, pada tingkat atap balok diambil 0,8 kali dari balok induk. Dimensi balok secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut.

**Tabel 5.2 Detail Dimensi Balok**

Kode	$H_{balok}$ (m)	$B_{balok}$ (m)
B1	0,85	0,40
R1	0,70	0,35

## 2. Estimasi Dimensi Kolom

Karena menggunakan prinsip Kolom Kuat Balok Lemah maka dimensi kolom diambil  $H_{kolom} = B_{kolom} \geq H_{balok \text{ terbesar}}$ , dengan kolom berbentuk persegi. Dimana pada kolom ini akan digunakan mutu beton  $f'c$  sebesar 35 MPa atau  $357 \text{ kg/cm}^2$ , kemudian luas ruangan dengan sisi kali sisinya yaitu  $9 \times 9$  sebesar  $81 \text{ m}^2$ , maka berat yang dihasilkan sebesar

- a. Berat/m<sup>2</sup>  $= 1,1 \times 81 = 89,1 \text{ KN}$
- b. Berat (11 Tingkat)  $= 11 \times 89,1 = 1069,2 \text{ KN}$
- c. Berat atap  $= 0,6 \times 89,1 = 53,46 \text{ KN}$
- d. Berat (11 Tingkat + atap)  $= 1033,56 \text{ KN} = 1033560 \text{ Kg}$

$$e. A_g = \frac{P_u}{0,3 \times f'c} = \frac{1033560}{0,3 \times 357} = 9650,42 \text{ cm}^2$$

$$f. B = H = 98,24 \text{ cm}$$

Sehingga dipakai  $H_{kolom} = B_{kolom} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$

### 3. Estimasi Tebal Plat

Untuk tebal pelat tingkat diestimasi antara 120 mm s.d 150 mm, Pada kasus ini karena struktur bangunan adalah gedung bertingkat tinggi maka digunakan tebal pelat  $H_{pelat} = 150 \text{ mm}$ . Sedangkan untuk dak atap, menggunakan  $H_{pelat} = 100 \text{ mm}$ .

## 5.3 Pembebanan

### 5.3.1 Beban Gravitasi

Pembebanan yang digunakan pada model struktur diambil berdasarkan jenis bangunan dan fungsinya. Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan 3.2.8, bahwa beban yang akan dimasukkan ke dalam model adalah beban gravitasi dan beban lateral/ gempa. Beban gravitasi ini berupa beban mati dan beban hidup. Selain itu juga terdapat beban mati tambahan semisal berat dinding dan berat *finishing*. Untuk detail perhitungan beban mati tambahan adalah sebagai berikut:

#### 1. Beban Tingkat Servis

Material beserta beratnya yang digunakan pada tingkat servis ini berupa Urugan Pasir ( $0,05\text{m} \times 16 \text{ KN/m}^3$ ) =  $0,8 \text{ KN/m}^2$ , Mortar Spesi ( $0,03\text{m} \times 21 \text{ KN/m}^3$ ) =  $0,63 \text{ KN/m}^2$ , Keramik ( $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ ) =  $0,17 \text{ KN/m}^2$ , Plafon =  $0,09 \text{ KN/m}^2$ , Rangka Plafon =  $0,05 \text{ KN/m}^2$ , Partisi =  $0,48 \text{ KN/m}^2$ , dan terakhir Plumbing dan Elektrikal =  $0,3 \text{ KN/m}^2$ . Sehingga berat total beban pada tingkat servis yaitu  $2,52 \text{ KN/m}^2 = 0,252 \text{ T/m}^2$

#### 2. Beban Atap

Material beserta beratnya yang digunakan pada tingkat servis ini berupa Mortar Spesi ( $0,3\text{m} \times 21 \text{ KN/m}^3$ ) =  $0,63 \text{ KN/m}^2$ , *Water Proof* ( $0,02\text{m} \times 20,6 \text{ KN/m}^3$ ) =  $0,412 \text{ KN/m}^2$ , Plafon =  $0,09 \text{ KN/m}^2$ , Rangka Plafon =  $0,05 \text{ KN/m}^2$ , dan terakhir Plumbing dan Elektrikal =  $0,3 \text{ KN/m}^2$ . Sehingga berat total beban pada tingkat servis yaitu  $1,482 \text{ KN/m}^2 = 0,148 \text{ T/m}^2$

### 3. Berat Dinding Perimeter

Berat jenis dinding yang digunakan  $\gamma_{\text{Dinding}} = 2,5 \text{ KN/m}^2$ , tinggi tiap tingkat sebesar 4 m, kemudian tinggi balok  $H_{\text{Balok}} = 0,85 \text{ m}$ . Maka berat dinding dapat yaitu:

$$\text{Berat Jenis} = 2,5 \times (4 - 0,85/2 - 0,85/2) = 7,88 \text{ KN/m} = 0,787 \text{ T/m}$$

### 4. Beban Hidup

Beban hidup yang digunakan ada 2 jenis yaitu: 1. Tingkat Servis (Ruang Kantor) =  $0,24 \text{ T/m}^2$  dan 2. Tingkat Atap =  $0,1 \text{ T/m}^2$ .

### 5. Beban Tangga

Tangga yang digunakan memiliki panjang ruang 5 m, lebar ruang 4,5 m, serta tinggi ruang 4 m. Lebar tangga sendiri diambil sebesar 200 cm. Optrede (s) pada tangga diambil sebesar 17 cm sedangkan antrede (a) sebesar 30 cm. Apabila dilakukan pemeriksaan dengan syarat  $2s + a$  maka didapatkan  $2 * (17) + 30 = 64 \text{ cm}$ . Dimana nilai tersebut lebih besar dari 59 cm dan lebih kurang dari 65 cm. Sehingga desain anak tangga dapat dipakai.

Selanjutnya, tinggi ruang tangga didapatkan sebesar 400 cm sedangkan optrede sebesar 17 cm, sehingga didapatkan seluruh anak tangga yang digunakan berjumlah 23 anak tangga. Panjang satu tangga dengan antrede sebesar 30 cm serta jumlah anak tangga yaitu 23, didapatkan sebesar  $23/2 * 30 = 345 \text{ cm}$ . Perhitungan lebar bordes didapatkan dari (panjang ruang – panjang tangga)+antrede, dimana nilainya yaitu  $(5 - 3,45)+0,3 = 1,85 \text{ m}$ .

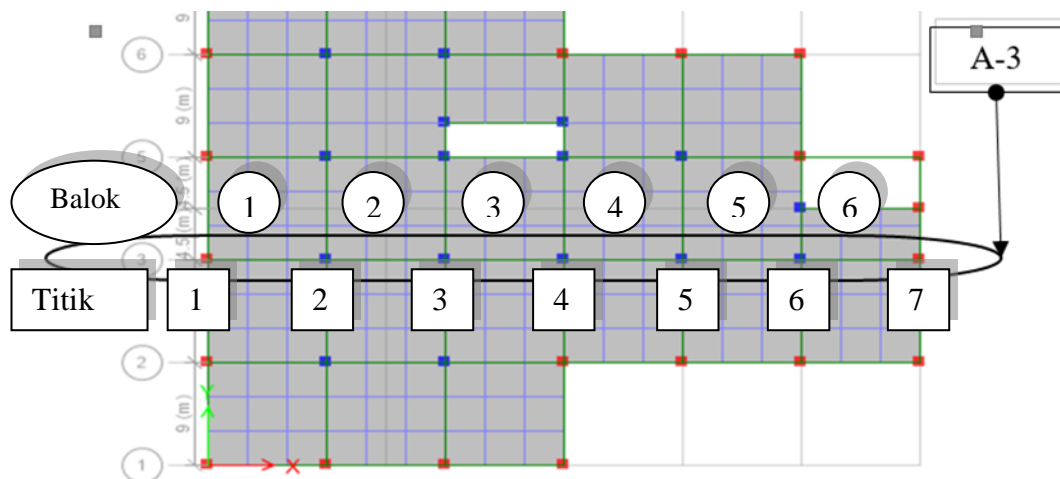
Setelah tinggi dan panjang dari tangga didapatkan, maka dapat dihitung panjang miring dari tangga. Dimana sudut kemiringan dapat dihitung menggunakan  $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{s}{a} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{17}{30} \right) = 29,5$ . Kemudian panjang miring

dapat dihitung menggunakan rumus *pythagoras*  $\sqrt{H^2 + L^2}$  dimana nilainya  $\sqrt{3,45^2 + 2^2} = 3,98 \text{ m}$ . Sehingga panjang total pelat didapatkan yaitu  $3,98 + 3,45 + 3,98 = 5,84 \text{ m}$ .

SNI 2847 mencantumkan bahwa tebal pelat dapat dihitung dengan  $L/24$  yang mana nilai tersebut yaitu  $5840/24 = 243,2 \text{ mm}$ . Sehingga tebal pelat digunakan 250 mm atau 0,25 m.

### 5.3.2 Beban Portal

Beban portal yang perlu *diinput* selain beban gempa ke dalam model adalah beban titik dan beban merata. Beban titik ini berupa beban mati dari elemen yang mengelilingi titik sambungan yaitu berupa beban mati balok. Sedangkan beban merata berupa beban yang ada di pelat, baik itu beban mati pelat itu sendiri, beban mati tambahan, dan beban hidup. Sebelum melakukan perhitungan perlu untuk mengetahui elemen-elemen sekitar dari yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



**Gambar 5.1 Detail Potongan Portal A-3**

Karena pembebanan pada Portal A-3 dan Portal A-F akan serupa, maka akan ditunjukkan satu contoh perhitungan pembebanan saja pada Portal A-3 sebagai berikut:

#### 1. Beban Titik Dari Balok Induk

Berat jenis beton yang digunakan  $0,24 \text{ T/m}^2$ , berat jenis dinding  $0,813 \text{ T/m}$ ,  $H_{\text{balok servis}} = 0,85 \text{ m}$ ,  $B_{\text{balok servis}} = 0,4 \text{ m}$ ,  $H_{\text{balok atap}} = 0,55 \text{ m}$ , dan  $B_{\text{balok atap}} = 0,35 \text{ m}$ , kemudian panjang  $1/2L_{\text{balok}} = 1/2 \times 8 \text{ m} = 4 \text{ m}$ .

- a. Pembebanan Titik Pada Tingkat Servis, dimana titik 1 sampai 7 memiliki kemiripan yaitu:

- 1) Titik 1 s.d Titik 7  $= (0,24 \times 0,85 \times 0,4 \times 4) \times 2 = 0,653 \text{ T}$

- a. Pembebanan Titik Pada Tingkat Atap, dimana titik 1 sampai 7 memiliki kemiripan yaitu:

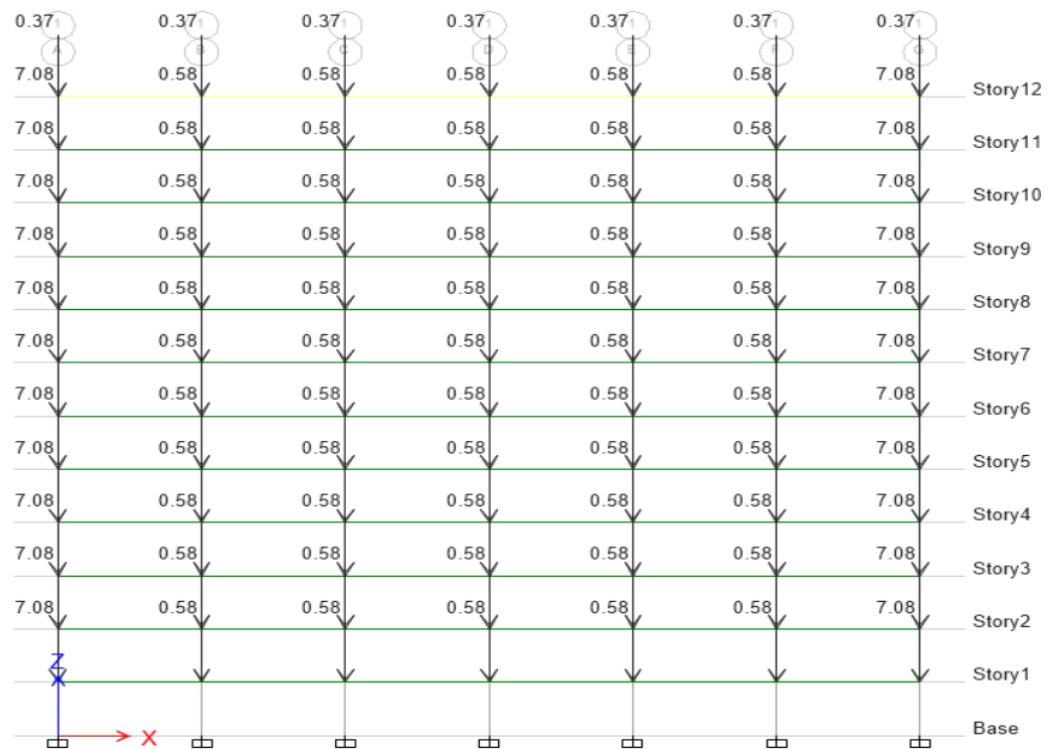


$$1) \text{ Titik 1 s.d Titik 7} = (0,24 \times 0,70 \times 0,35 \times 4) \times 2 = 0,47 \text{ T}$$

b. Pembebanan Titik Dinding, dimana terletak pada titik 1 dan titik 7 saja

$$1) \text{ Titik 1 \& Titik 7} = (0,787 \times 4) \times 2 = 6,3 \text{ T}$$

Hasil dari Input Beban Titik dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut



**Gambar 5.2 Beban Titik Balok Induk Portal A-3**

## 2. Beban Titik Dari Balok Anak

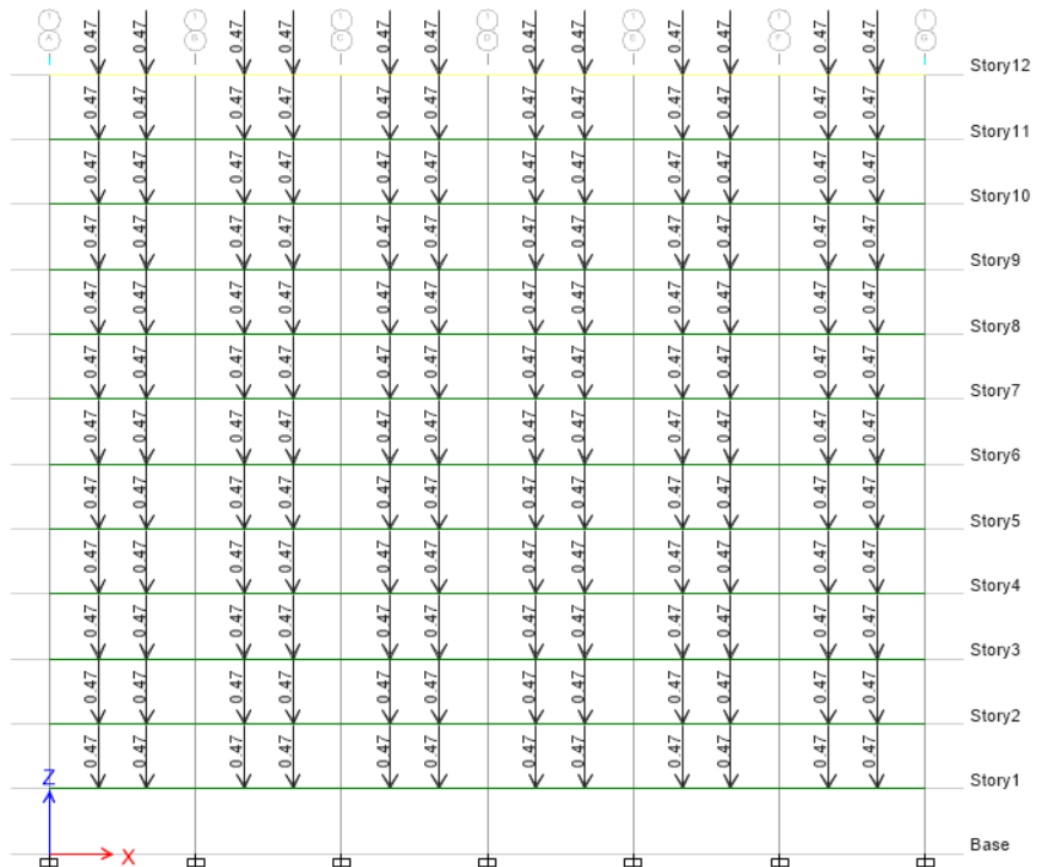
Tinggi balok yang digunakan pada balok anak  $H_{balok\ anak} = 0,65$  m dan lebar balok anak  $B_{balok\ anak} = 0,35$  m, panjang setengah balok anak

$$L_{balok} = L_{balok\ bersih} - \left( \frac{B_{balok\ induk}}{2} + \frac{B_{balok\ induk}}{2} \right) = \left( \frac{9}{2} + \frac{0,4}{2} \right) = 4,3 \text{ m}$$

Kemudian jumlah balok anak dalam satu tumpuan balok yaitu berjumlah 2, lalu jarak antar balok anak sebesar 3m. Maka beban titik balok anak yaitu:

$$P = (0,24 \times 4,3 \times 0,65 \times 0,35) \times 2 = 0,469 \text{ T}$$

Hasil dari input beban titik balok anak dapat dilihat pada sebagai berikut.



**Gambar 5.3 Beban Titik Balok Anak Portal A-3**

3. Beban Mati Merata Dari Pelat (Luas Tributari)

Tebal pelat servis dan tebal pelat atap berturut-turut yaitu 0,125 m dan 0,1 m. Kemudian panjang  $1/2L_{pelat} = 1/2 \times 8 = 4$  m. Maka beban mati merata pelat yaitu:

a. Pada Tingkat Servis, dimana pada balok 1 hingga balok 6 sama yaitu:

$$1) \text{ Balok 1 s.d balok 6} = (0,24 \times 0,12 \times 4) \times 2 = 0,23 \text{ T/m}$$

b. Pada Tingkat Atap, dimana pada balok 1 hingga balok 6 sama yaitu:

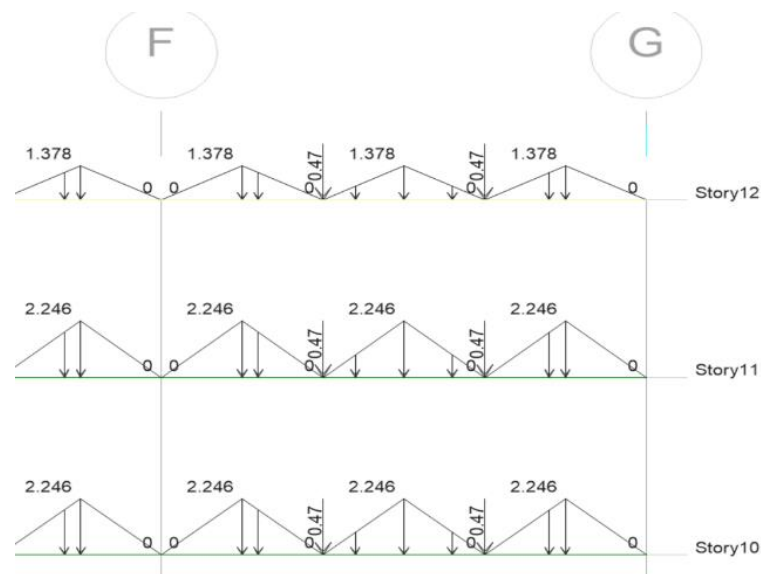
$$1) \text{ Balok 1 s.d balok 6} = (0,24 \times 0,1 \times 4,5) \times 2 = 0,192 \text{ T/m}$$

4. Beban Mati Tambahan Merata

Telah didapatkan sebelumnya bahwa Beban *Finishing Servis* =  $0,252 \text{ T/m}^2$  dan Beban *Finishing Atap* =  $0,148 \text{ T/m}^2$ . Maka beban mati tambahan merata yaitu:

- a. Pada Tingkat Servis, dimana pada balok 1 hingga balok 6 sama yaitu:  
Balok 1 s.d balok 6 =  $(0,252 \times 4) \times 2 = 0,202 \text{ T/m}$
- b. Pada Tingkat Atap, dimana pada balok 1 hingga balok 6 sama yaitu: Balok 1 s.d balok 6 =  $(0,148 \times 4) \times 2 = 0,192 \text{ T/m}$

Pada Gambar 5.4 sebagai berikut dapat terlihat beban mati merata pada tingkat 12 yang mana sebagai tingkat atap, kemudian tingkat 11 hingga 10 yang serupa hingga tingkat 1..



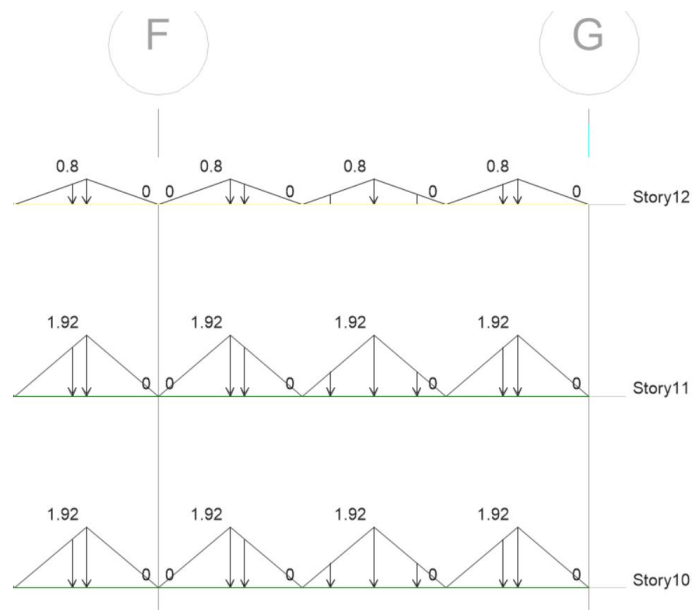
**Gambar 5.4 Total Beban Mati Merata A-3**

#### 5. Beban Merata Hidup

Telah didapatkan sebelumnya bahwa Beban Hidup =  $0,24 \text{ T/m}^2$  dan Beban Hidup Atap =  $0,1 \text{ T/m}^2$ . Maka beban merata hidup yaitu:

- a. Pada Tingkat Servis, dimana pada balok 1 hingga balok 6 sama yaitu:  
Balok 1 s.d Balok 6 =  $(0,24 \times 4) \times 2 = 1,92 \text{ T/m}$
- b. Pada Atap, dimana pada balok 1 hingga balok 6 sama yaitu: Balok 1 s.d Balok 6 =  $(0,1 \times 4) \times 2 = 0,8 \text{ T/m}$

Pada Gambar 5.5 berikut ini memperlihatkan beban hidup merata yang di *input* pada tingkat 12, dimana pada tingkat 12 ini difungsikan sebagai atap, kemudian pada tingkat 11 dan 10, dimana pada tingkat tersebut merepresentasikan hingga tingkat 1.



**Gambar 5.5** Beban Hidup Merata

## 5.4 Analisis Struktur Tahap 1

### 5.4.1 Kategori Risiko Bangunan dan Keutamaan Gempa

Bangunan ini akan dimanfaatkan sebagai gedung perkantoran, oleh karena itu berdasarkan pada SNI 1726-2019 kategori risiko pada bangunan ini termasuk pada kategori risiko II. Kemudian setelah kategori risiko didapatkan, maka akan diperoleh faktor keutamaan gempa yaitu adalah 1,0.

### 5.4.2 Klasifikasi Situs

Bangunan yang akan diteliti ini direncanakan akan dibangun pada daerah Bantul, pada Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang memiliki jenis tanah di bawahnya yaitu jenis tanah sedang. Oleh karena itu, berdasarkan SNI 1726-2019 situs tanah pada daerah ini termasuk klasifikasi situs SD.

### 5.4.3 Parameter Percepatan Gempa

Untuk mendapatkan parameter percepatan gempa dapat menggunakan peta gempa yang telah disebutkan sebelumnya pada sub bab 3.2.4. Maka dari peta tersebut didapatkanlah nilai  $S_s$  yaitu sebesar 1,3g dan  $S_1$  yaitu sebesar 0,5g. Sedangkan nilai periode panjang yang didapatkan dari SNI 1726-2019 yaitu sebesar 20 detik.

#### 5.4.4 Koefisien Situs dan Parameter Percepatan

Berdasarkan nilai  $S_s$  dan  $S_{s1}$ , maka berdasarkan SNI 1726-2019 diperoleh nilai  $F_a$  yaitu sebesar 1,0 dan nilai  $F_v$  yaitu sebesar 1,5. Kemudian dapat dihitung parameter respons percepatan pada periode pendek (SMS) dan periode 1 detik (SM1) yaitu menggunakan persamaan (3.1) dan (3.2). Maka nilai  $S_{MS} = F_a \times S_s = 1,0 \times 1,3 = 1,3 \text{ g}$  dan nilai  $S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,5 \times 0,5 = 0,75 \text{ g}$ .

#### 5.4.5 Parameter Percepatan Spektral Desain

Nilai Parameter Percepatan Spektral Desain Periode Pendek ( $S_{DS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) harus menggunakan persamaan (3.3) dan (3.4). Perhitungan  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  adalah sebagai berikut.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,3 = 0,867 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,75 = 0,5 \text{ g}$$

#### 5.4.6 Kategori Desain Seismik

Parameter yang diperlukan dalam menentukan kategori desain seismik ialah nilai  $S_{DS}$ ,  $S_{D1}$ , dan kategori risiko bangunan. Berdasarkan apa yang telah diperoleh sebelumnya didapatkan bahwa nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  berturut-turut adalah 0,867 dan 0,5 serta kategori risiko bangunan yaitu II. Sehingga dapat ditentukan bahwa kategori desain seismik termasuk kategori D.

#### 5.4.7 Pembebanan

Pada analisis tahap 1 ini akan digunakan kombinasi pembebanan sesuai FEMA P-751 yaitu  $1,0 D + 0,5 L + 1,0 E$ .

#### 5.4.8 Periode Fundamental Struktur

Prosedur dalam menentukan periode struktur adalah sebagai berikut.

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0,0466 \times 48^{0,9} = 1,52 \text{ detik}$$

$$T_{a \max} = C_u \times T_a = 1,4 \times 1,52 = 2,126 \text{ detik}$$

##### 1. 2 Dimensi (A-3)

Didapatkan dari hasil analisis struktur program nilai periode struktur pada portal A-3 yaitu 0,966 detik. Dimana periode tersebut masih kurang dari nilai  $T_a$ , sehingga dipakailah periode sebesar 1,52 detik

## 2. 2 Dimensi (A-F)

Didapatkan dari hasil analisis struktur program nilai periode struktur pada portal A-F yaitu 1,443 detik. Dimana periode tersebut masih kurang dari nilai  $T_a$ , sehingga dipakailah periode sebesar 1,52 detik

## 3. 3 Dimensi

Didapatkan dari hasil analisis struktur program nilai periode struktur pada model 3D arah x dan y berturut-turut yaitu 1,908 detik dan 1,797 detik. Dimana periode tersebut masih kurang dari nilai  $T_{a \max}$  namun masih lebih besar dari nilai  $T_a$ . sehingga dipakailah periode hasil analisis struktur tersebut.

### 5.4.9 Gaya Geser Dasar Seismik

Dari hasil perhitungan periode fundamental yang telah dilakukan sebelumnya maka dapat dilakukan perhitungan gaya geser dasar seismik dengan prosedur sebagai berikut.

#### 1. Menghitung Nilai $C_s$

##### a. 3 Dimensi

Didapatkan dari pembahasan sebelumnya:

$$T \text{ sumbu } x = 1,908 \text{ detik} < T_L = 20 \text{ detik},$$

$$T \text{ sumbu } y = 1,797 \text{ detik} < T_L = 20 \text{ detik},$$

Maka, nilai  $C_s$  menggunakan rumus berikut.

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \text{sumbu } x = \frac{0,867}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,108 \\ &= \text{sumbu } y = \frac{0,867}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,108 \end{aligned}$$

Nilai  $C_s$  tidaklah melebihi rumus (3.12) sebagaimana berikut.

$$\begin{aligned} C_{s \max} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \text{sumbu } x = \frac{0,5}{1,908 \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,033 \\ &= \text{sumbu } y = \frac{0,5}{1,797 \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,035 \end{aligned}$$

Begitu juga nilai  $C_s$  tidaklah kurang dari rumus (3.14) sebagaimana berikut.

$$C_{s \min} = 0,044 \cdot S_{Ds} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,867 \cdot 1 = 0,0381 > 0,01$$

Maka nilai  $C_s$  yang akan dipakai

$$C_s \min \leq C_s \leq C_s \max$$

$$0,0381 < 0,108 > 0,035$$

$$C_s \text{ x pakai} = 0,0381$$

$$C_s \text{ y pakai} = 0,0381$$

Menurut FEMA 751 apabila nilai  $C_s \max < C_s \min$  maka yang digunakan adalah  $C_s \min$ . Namun pada simpangan yang terjadi perlu dikalikan dengan  $C_s / C_s \min$ .

b. 2 Dimensi (A-3)

Didapatkan dari dari pembahasan sebelumnya nilai periode struktur  $T = 1,519$  detik  $< T_L = 20$  detik, Kemudian nilai  $C_s = 0,108$ ,  $C_s \max = 0,0412$ , dan  $C_s \min = 0,0381$ . Maka nilai  $C_s$  yang akan dipakai  $C_s \text{ pakai} = 0,0412$ .

c. 2 Dimensi (A-F)

Didapatkan dari dari pembahasan sebelumnya nilai periode struktur  $T = 1,443$  detik  $< T_L = 20$  detik, Kemudian nilai  $C_s = 0,108$ ,  $C_s \max = 0,0412$ , dan  $C_s \min = 0,0381$ . Maka nilai  $C_s$  yang akan dipakai  $C_s \text{ pakai} = 0,0412$ .

2. Berat Bangunan

Data berat diklasifikasikan berdasarkan jenis bebannya yaitu : beban mati (*Dead*), beban mati tambahan (*Additional Dead Load*), dan beban hidup (*Live Reduction and Live Non Reduction*). Data dari total berat bangunan 3D merupakan berat total seluruh bangunan yang dapat dilihat pada Tabel 5.3, sedangkan untuk bangunan portal 2D A-3 serta A-F pada Tabel 5.4 sebagai berikut.

**Tabel 5.3 Berat Bangunan Model 3 Dimensi**

Tingkat	Elevasi	h	Berat
	(m)	(m)	Ton
12	48.0	4.00	2003
11	44.0	4.00	2598
10	40.0	4.00	2598
9	36.0	4.00	2598
8	32.0	4.00	2598
7	28.0	4.00	2598
6	24.0	4.00	2598
5	20.0	4.00	2598
4	16.0	4.00	2598
3	12.0	4.00	2598
2	8.0	4.00	2598
1	4.0	4.00	2598
Total		48.00	30580

**Tabel 5.4 Berat Bangunan 2D**

A-3				A-F			
Tingkat	Elevasi	h	Berat (W)	Tingkat	Elevasi	h	Berat (W)
	(m)	(m)	Ton		(m)	(m)	Ton
12	48.0	4.00	147.014	12	48.0	4.00	79.481
11	44.0	4.00	206.126	11	44.0	4.00	115.428
10	40.0	4.00	206.126	10	40.0	4.00	115.428
9	36.0	4.00	206.126	9	36.0	4.00	115.428
8	32.0	4.00	206.126	8	32.0	4.00	115.428
7	28.0	4.00	206.126	7	28.0	4.00	115.428
6	24.0	4.00	206.126	6	24.0	4.00	115.428
5	20.0	4.00	206.126	5	20.0	4.00	115.428
4	16.0	4.00	206.126	4	16.0	4.00	115.428
3	12.0	4.00	206.126	3	12.0	4.00	115.428
2	8.0	4.00	206.126	2	8.0	4.00	115.428
1	4.0	4.00	206.126	1	4.0	4.00	115.428
Total		48.00	2414	Total		48.00	1349

Maka total dari masing-masing model yaitu:

Total Berat Bangunan 3 Dimensi ( $W_{3D}$ ) = 30580 Ton

Total Berat Bangunan 2 Dimensi( $W_{2D A-3}$ )= 2414 Ton

Total Berat Bangunan 2 Dimensi( $W_{2D A-F}$ )= 1349 Ton

### 3. Menghitung Gaya Geser Dasar

$$V_{3D} = \text{sumbu } x = 0,0381 \times 30580 = 1166,13 \text{ T}$$



$$= \text{sumbu } y = 0,0381 \times 30580 = 1166,13 \text{ T}$$

$$V_{2D \text{ A-3}} = 0,0412 \times 2414 = 99,354 \text{ T}$$

$$V_{2D \text{ A-F}} = 0,0381 \times 1349 = 55,520 \text{ T}$$

#### 5.4.10 Distribusi Gaya Seismik (F) dan Gaya Geser Tingkat (V)

Pada perhitungan gaya geser dasar didapatkan bahwa pada 3D sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  bernilai sama, maka distribusi gaya horizontal pada masing-masing tingkat akan bernilai sama, sehingga akan cukup diringkas pada satu tabel saja. Dalam perhitungan distribusi vertikal gaya seismik diperlukan nilai  $K$ . Dimana dalam pembahasan 3.2.11 sebelumnya bahwa penentuan nilai  $K$  diperoleh dari hasil periode ( $T$ ). Oleh sebab itu, perhitungan distribusi vertikal gaya seismik akan sebagaimana berikut.

##### 1. Penentuan nilai $k$

###### a. 3 Dimensi

$$T = \text{sumbu } x = 1,908 \text{ detik, posisinya } 0,5 < T < 2,5$$

$$= \text{sumbu } y = 1,797 \text{ detik, posisinya } 0,5 < T < 2,5$$

maka nilai  $k$  ditentukan menggunakan interpolasi linear seperti berikut ini.

$$k_{\text{sumbu } x} = 1 - \frac{1,908-0,5}{2,5-0,5} \times (2 - 1) = 1,704$$

$$k_{\text{sumbu } y} = 1 - \frac{1,797-0,5}{2,5-0,5} \times (2 - 1) = 1,649$$

###### b. 2 Dimensi A-3

Dengan cara yang sama didapatkan nilai  $k$  pada 2D A-3 yaitu 1,509.

###### c. 2 Dimensi A-F

Dengan cara yang serupa maka didapatkan  $k$  2D A-3F yaitu 1,509.

##### 2. Perhitungan Distribusi Gaya Seismik Horizontal dan Gaya Geser Tingkat

###### a. 3 Dimensi

Diketahui bahwa tinggi tingkat 11 yaitu 48m serta beratnya sebesar 2598T.

$$Wh^{k_{11}} = 2598 \times 48^{1,704} = 1640871$$

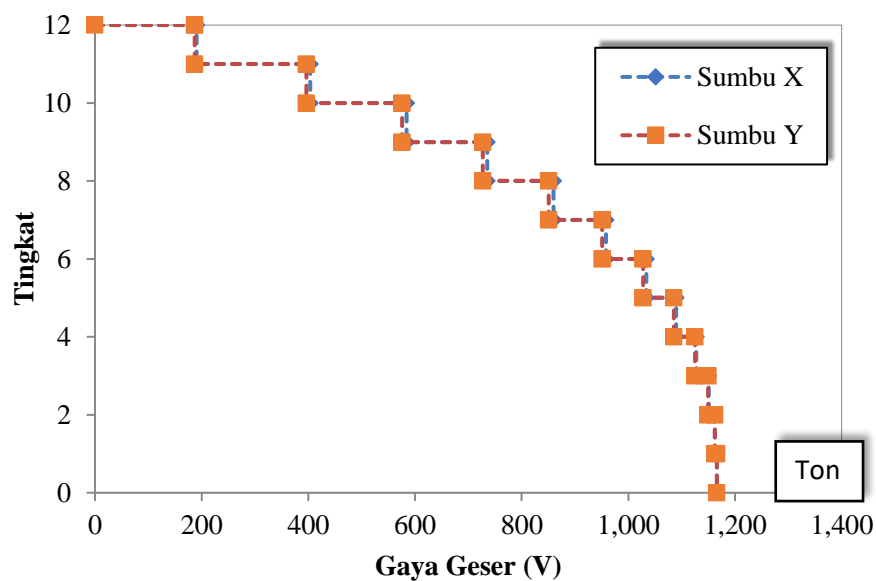
$$\sum Wh^k = 8983689$$

$$\frac{Wh^{k_{11}}}{\sum Wh^k} = \frac{1640871}{8983689} = 0,183$$

$$F_{x11} = 0,183 \times 1166,134 = 213 \text{ T}$$

$$V_{x11} = V_{x12} + F_{x11} = 190,5 + 213 = 403,5 \text{ T}$$

Pada kasus 3D ini karena nilai periode serta gaya geser seismic yang serupa, maka distribusi vertikal gaya akan juga mendapatkan hasil yang sama, sehingga pada hal ini detail hasil akan ditampilkan satu saja. Hasil perhitungan dari distribusi vertikal gaya seismic dan gaya geser tingkat untuk 3 Dimensi sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  ditampilkan ke dalam Lampiran 1. Dari hasil perhitungan gaya geser tingkat 3 dimensi dapat dibentuk grafik sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.

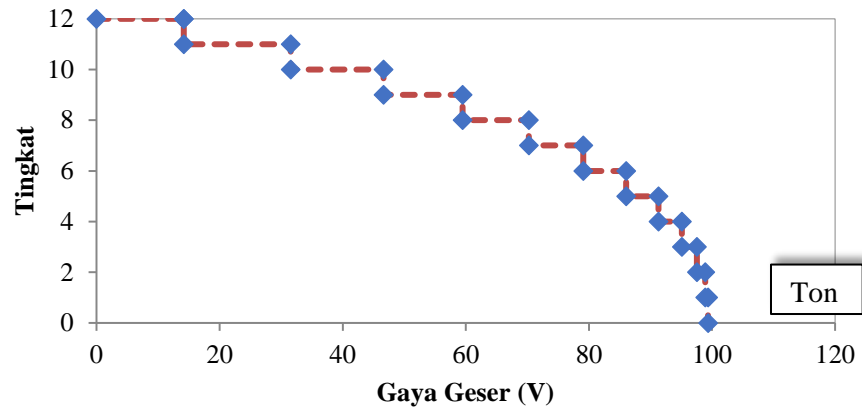


**Gambar 5.6 Gaya Geser Tingkat Model 3 Dimensi**

Grafik pada Gambar 5.6 memperlihatkan bahwa gaya geser tingkat akan semakin besar seiring turunnya tingkat pada bangunan. Kemudian dapat terlihat bahwa, gaya geser pada sumbu  $x$  dan sumbu  $y$  berhimpitan, karena menggunakan gaya seismic yang serupa.

b. 2 Dimensi A-3

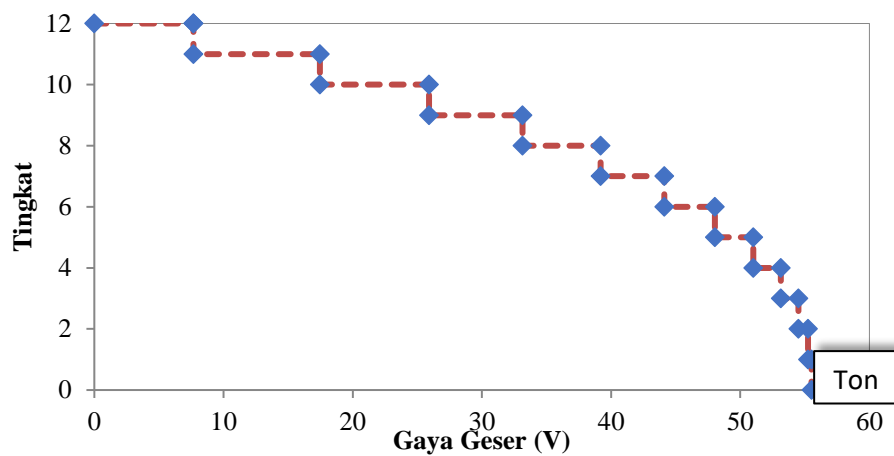
Hasil perhitungan dari distribusi vertikal gaya seismic dan gaya geser tingkat untuk 2 Dimensi ditampilkan ke dalam Lampiran 2. Dari hasil perhitungan gaya geser tingkat 2 dimensi A-3 dapat dibentuk grafik sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



**Gambar 5.7 Gaya Geser Tingkat Model 2 Dimensi A-3**

c. 2 Dimensi A-F

Hasil perhitungan dari distribusi vertikal gaya seismik dan gaya geser tingkat untuk 2D A-F ditampilkan sebagaimana sama dengan portal 2D A-3 yaitu ke dalam Lampiran 2. Dari hasil perhitungan gaya geser tingkat 2D A-F dapat dibentuk grafik sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



**Gambar 5.8 Gaya Geser Tingkat Model 2 Dimensi A-F**

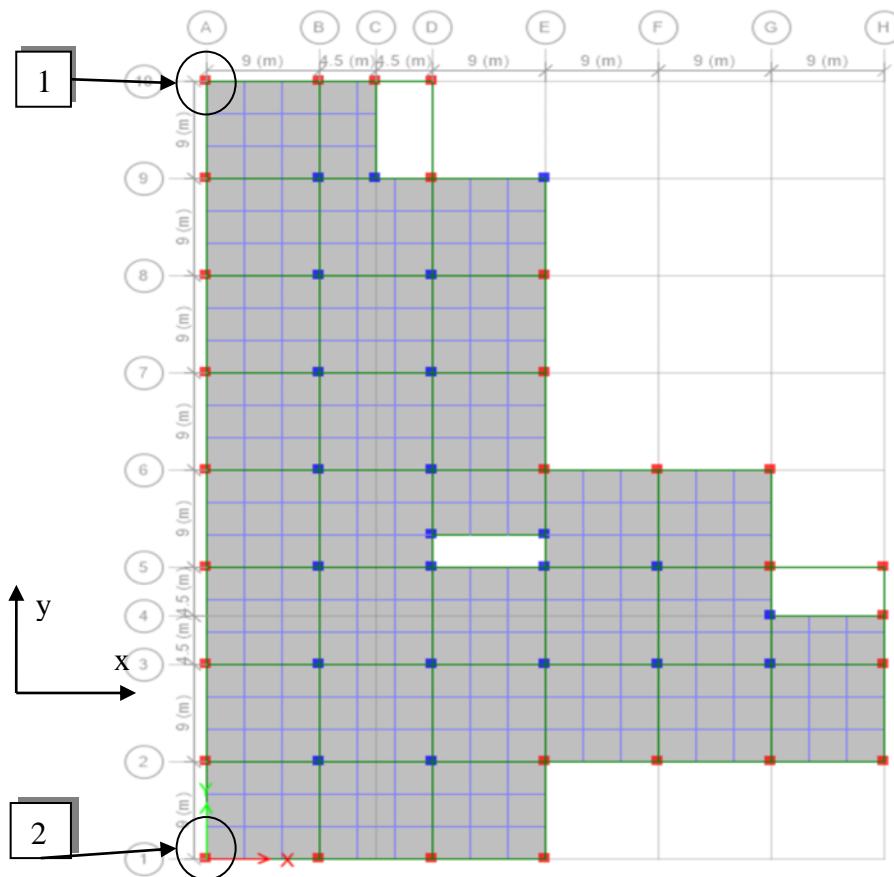
Berdasarkan Gambar 5.6, Gambar 5.7, dan Gambar 5.8, terlihat bahwa gaya geser tingkat pada 3D lebih besar dibandingkan dengan pada 2D. Hal ini disebabkan karena berat struktur serta beban yang diterima oleh 3D lebih besar daripada 2D, sehingga menyebabkan gaya geser pada tingkat dasar ikut membesar.

#### 5.4.11 Momen Inersia Penampang

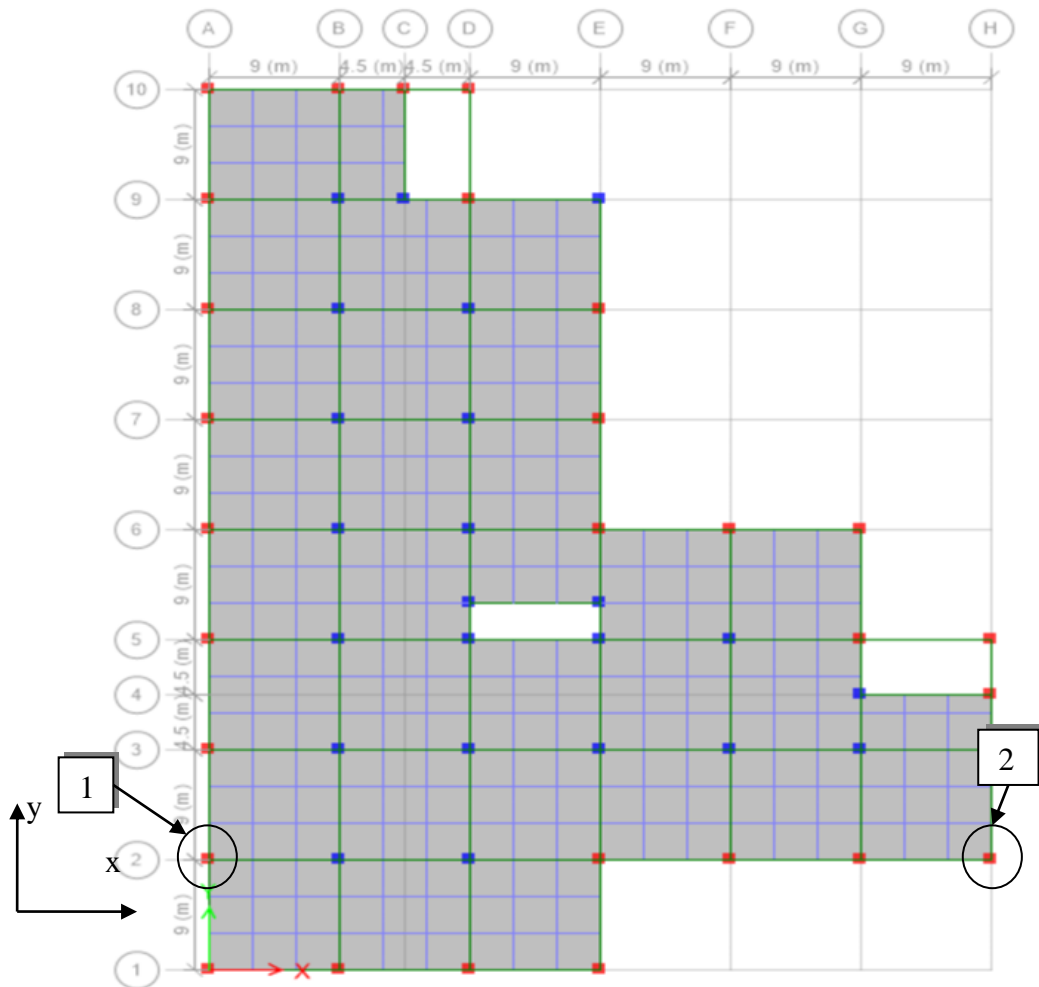
Momen inersia diambil berdasarkan pada pembahasan 3.2.13 sebelumnya. Momen inersia yang digunakan pada masing-masing elemen struktur yaitu: Balok  $T = 0,70 I_g$ , Kolom =  $0,70 I_g$  serta Pelat dan Dak =  $0,25 I_g$ .

#### 5.4.12 Ketidakberaturan Struktur 3D

Dalam perhitungan ketidakberaturan torsi terdapat beberapa titik acuan yang digunakan, baik arah x maupun y. Titik-titik acuan dalam arah x dan y dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 sebagai berikut.



Gambar 5.9 Titik Acuan Ketidakberaturan Torsi Arah x



**Gambar 5.10 Titik Acuan Ketidakberaturan Torsi Arah y**

Perhitungan pada ketidakberaturan struktur akan terlihat seperti contoh tingkat 12 berikut.

1. Tingkat 12 memiliki *displacement* pada titik 1 dan 2 berturut-turut sebesar  $\delta_1 = 0,056$  m dan  $\delta_2 = 0,045$  m
2. Tingkat 11 memiliki *displacement* pada titik 1 dan 2 berturut-turut sebesar  $\delta_1 = 0,053$  m dan  $\delta_2 = 0,043$  m
3.  $\Delta_1 = 0,056 - 0,053 = 0,0024$  m
4.  $\Delta_2 = 0,045 - 0,043 = 0,0020$  m
5.  $\Delta_{avg} = \frac{0,0024 + 0,0020}{2} = 0,0022$  m
6.  $\Delta_{max} = 0,0024$  m

$$7. \quad \Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}} = \frac{0,0024}{0,0022} = 1,096 > 1,2$$

Berdasarkan hasil perhitungan  $\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$  dengan nilai 1,101 dimana masih kurang dari nilai 1,2 dapat diketahui bahwa pada tingkat 12 ini tidak terjadi ketidakberaturan baik 1a maupun 1b. Hasil dari pemeriksaan lengkap ketidakberaturan pada arah  $x$  dan arah  $y$  disajikan dalam Tabel 5.5 Tabel 5.6 dan sebagai berikut.

**Tabel 5.5 Cek Kinerja Ketidakberaturan Torsi Arah  $x$**

<i>Level</i>	$\delta 1$ (m)	$\delta 2$ (m)	$\Delta 1$ (m)	$\Delta 2$ (m)	$\Delta_{\text{Avg}}$ (m)	$\Delta_{\text{max}}$ (m)	$\Delta_{\text{max}}/\Delta_{\text{Avg}}$	<i>Check</i>
12	0.056	0.045	0.0024	0.0020	0.0022	0.0024	1.096	<i>Safe</i>
11	0.053	0.043	0.0029	0.0024	0.0026	0.0029	1.097	<i>Safe</i>
10	0.051	0.041	0.0036	0.0030	0.0033	0.0036	1.100	<i>Safe</i>
9	0.047	0.038	0.0044	0.0036	0.0040	0.0044	1.105	<i>Safe</i>
8	0.043	0.034	0.0051	0.0041	0.0046	0.0051	1.109	<i>Safe</i>
7	0.037	0.030	0.0057	0.0045	0.0051	0.0057	1.112	<i>Safe</i>
6	0.032	0.025	0.0061	0.0048	0.0055	0.0061	1.115	<i>Safe</i>
5	0.026	0.021	0.0063	0.0050	0.0057	0.0063	1.116	<i>Safe</i>
4	0.019	0.016	0.0063	0.0050	0.0057	0.0063	1.116	<i>Safe</i>
3	0.013	0.011	0.0059	0.0047	0.0053	0.0059	1.112	<i>Safe</i>
2	0.007	0.006	0.0048	0.0039	0.0044	0.0048	1.103	<i>Safe</i>
1	0.002	0.002	0.0023	0.0019	0.0021	0.0023	1.085	<i>Safe</i>

**Tabel 5.6 Cek Kinerja Ketidakberaturan Torsi Arah  $y$**

<i>Level</i>	$\delta 1$ (m)	$\delta 2$ (m)	$\Delta 1$ (m)	$\Delta 2$ (m)	$\Delta_{\text{Avg}}$ (m)	$\Delta_{\text{max}}$ (m)	$\Delta_{\text{max}}/\Delta_{\text{Avg}}$	<i>Check</i>
12	0.048	0.042	0.0020	0.0018	0.0019	0.0020	1.054	<i>Safe</i>
11	0.046	0.040	0.0025	0.0022	0.0023	0.0025	1.056	<i>Safe</i>
10	0.043	0.038	0.0031	0.0028	0.0029	0.0031	1.059	<i>Safe</i>
9	0.040	0.035	0.0038	0.0033	0.0035	0.0038	1.063	<i>Safe</i>
8	0.037	0.032	0.0043	0.0038	0.0041	0.0043	1.066	<i>Safe</i>
7	0.032	0.028	0.0048	0.0042	0.0045	0.0048	1.069	<i>Safe</i>
6	0.027	0.024	0.0052	0.0045	0.0048	0.0052	1.071	<i>Safe</i>
5	0.022	0.019	0.0054	0.0047	0.0050	0.0054	1.073	<i>Safe</i>
4	0.017	0.015	0.0054	0.0047	0.0050	0.0054	1.073	<i>Safe</i>
3	0.011	0.010	0.0051	0.0044	0.0048	0.0051	1.071	<i>Safe</i>
2	0.006	0.006	0.0042	0.0037	0.0039	0.0042	1.066	<i>Safe</i>
1	0.002	0.002	0.0021	0.0018	0.0020	0.0021	1.056	<i>Safe</i>

Dari hasil cek kinerja ketidakberaturan tersebut dapat diketahui bahwa pada sumbu  $x$  maupun sumbu  $y$  tidak terjadi ketidakberaturan pada setiap tingkatnya.

### 5.4.13 Simpangan Antar Tingkat

#### 1. 3 Dimensi

Berdasarkan pemeriksaan ketidakberaturan, diketahui bahwa struktur tidak mengalami ketidakberaturan torsi baik tipe 1a dan 1b. Maka pemeriksaan simpangan didasarkan pada bagian pusat massa.

Tahap-tahapan dalam pemeriksaan simpangan dapat diambil contoh pada simpangan di tingkat 12 sebagai berikut.

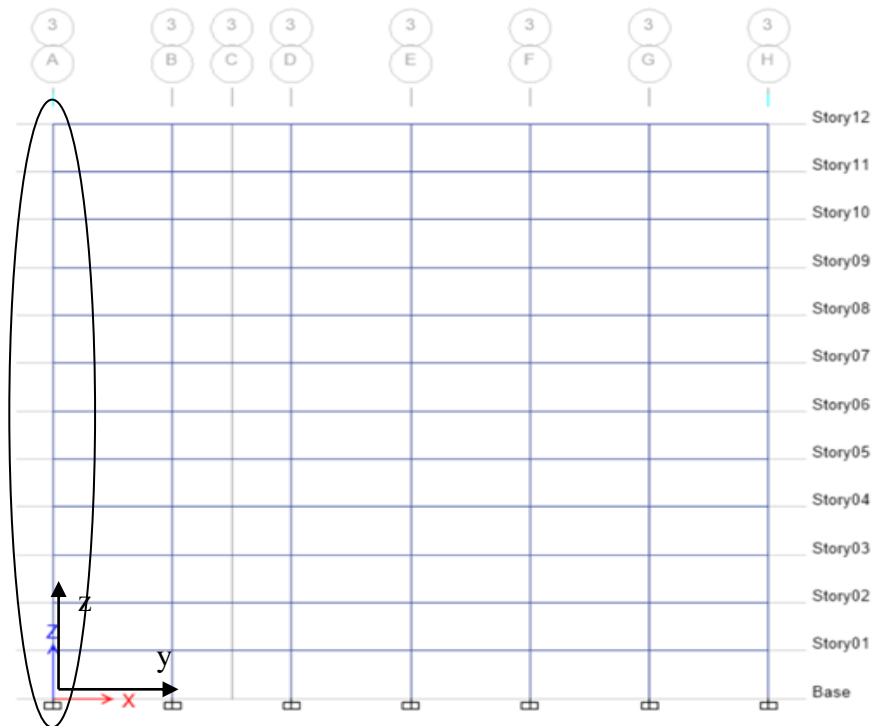
Berdasarkan Sistem Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus, maka didapatkan nilai  $C_d = 5,5$ . Batas Simpangan Berdasarkan Tipe Struktur untuk Semua Struktur lainnya dengan kategori risiko I, maka dapat diambil 2,0%. Kemudian pada tingkat 12 memiliki tinggi antar tingkat sebesar 4 m serta simpangan hasil dari analisis struktur sebesar 0,051 m. sedangkan pada tingkat 11 memiliki simpangan hasil dari analisis struktur sebesar 0,0488 m.

- |    |  |                                 |            |
|----|--|---------------------------------|------------|
| a. | <i>Story Drift</i> <sub>12</sub>           | = 0,051 – 0,0488                | = 0,0022 m |
| b. | <i>Amplified Story Drift</i> <sub>12</sub> | = $\frac{0,0022 \times 5,5}{1}$ | = 0,123 m  |
| c. | $C_s / C_{s \text{ min}}$                  | = 0,033/0,038                   | = 0,86     |
| d. | <i>Amplified Drift Time</i> <sub>12</sub>  | = 0,86 x 0,123                  | = 0,106    |
| e. | <i>Allowable Drift</i> <sub>12</sub>       | = 2,0% x 4                      | = 0,080    |

Berdasarkan hasil *allowable drift* pada tingkat 12 sebelumnya dapat diketahui bahwa simpangan pada tingkat 12 masih di bawah dari batas simpangan izin yaitu  $0,106 \text{ m} < 0,080 \text{ m}$ . Kemudian hasil dari pemeriksaan simpangan antar tingkat pada analisis 3 dimensi untuk arah  $x$  dan  $y$  disajikan secara detail pada Lampiran 3.

#### 2. 2 Dimensi A-3

Titik acuan yang diambil dalam pemeriksaan simpangan pada model 2 dimensi dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



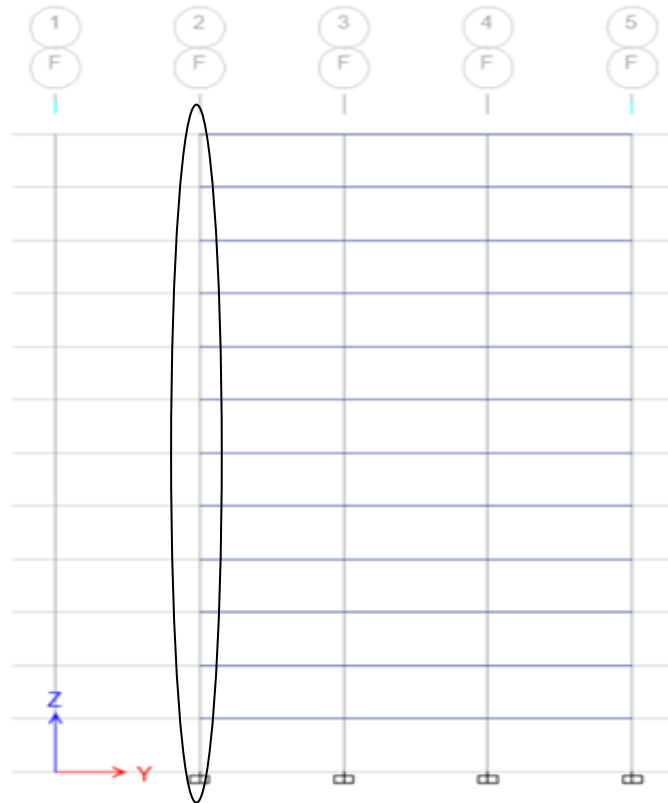
**Gambar 5.11 Titik Acuan Simpangan Antar Tingkat 2D A-3**

Tahap pemeriksaan simpangan pada 2D akan sama seperti pada pemeriksaan simpangan pada 3D. Kemudian, hasil dari pemeriksaan simpangan antar tingkat pada analisis 2D A-3 disajikan dalam Lampiran 4.

### 3. 2 Dimensi A-F

Titik acuan yang diambil dalam pemeriksaan simpangan pada model 2 dimensi A-F dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.





**Gambar 5.12 Titik Acuan Simpangan Antar Tingkat 2D A-F**

Tahap pemeriksaan simpangan pada 2D akan sama seperti pada pemeriksaan simpangan pada 3D. Kemudian, hasil dari pemeriksaan simpangan antar tingkat pada analisis 2D A-F juga disajikan pada tabel yang sama dengan portal A-3 yaitu pada Lampiran 4.

Dari hasil cek simpangan antar tingkat 3D serta 2D sebelumnya dapat diketahui bahwa seluruh simpangan masih memenuhi persyaratan izin. Kemudian hasil perhitungan simpangan pada 3D dan 2D sebelumnya dibentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.44 di pembahasan yang akan datang.

#### 5.4.14 Efek P-Delta

Nilai koefisien stabilitas ( $\theta$ ) tidak boleh melebihi dari persamaan (3.24) dengan nilai yang didapat pada model 3D adalah sebagai berikut.

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{1 \times 5,5} = 0,0909$$

1. 3 Dimensi

Beberapa data yang digunakan telah didapatkan sebelumnya pada tingkat 12 yaitu simpangan sebesar  $\Delta_{x12} = 0,012$  m, gaya geser tingkat  $V_{x12} = 190,5$  m, dan Berat tingkat  $P_{x12} = 2003$  Ton. Maka nilai stabilitas rasio yaitu:

$$\theta_{x12} = \frac{2003 \times 0,012 \times 1}{190,5 \times 4 \times 5,5} = 0,0059$$

Dari proses perhitungan sebelumnya didapatkan rasio stabilitas pada tingkat 12 yaitu bernilai 0,0059 dimana nilai tersebut masih kurang dari batas max yaitu 0,0909. Maka, pada tingkat 12 dinyatakan masih memenuhi persyaratan. Kemudian dapat diperiksa efek P-Delta seluruh tingkat pada model 3D arah x dan y yang disajikan dalam Lampiran 5.

## 2. 2 Dimensi

Nilai stabilitas rasio pada 2D Portal A-3 dan Portal A-F disajikan dalam satu tabel yang sama yaitu pada Lampiran 6

Dari hasil perhitungan stabilitas rasio pada model 3D dan 2D, dapat diketahui bahwa keseluruhan model masih memenuhi persyaratan maksimal dari stabilitas rasio.

Berdasarkan hasil cek kinerja pada analisis struktur tahap 1, baik pada cek ketidakberaturan, cek simpangan, serta cek P-Delta maka dapat dinyatakan bahwa keseluruhan model tersebut memenuhi syarat, sehingga analisis struktur dapat dilanjutkan pada tahap ke-2.

## 5.5 Analisis Struktur Tahap 2

### 5.5.1 Faktor Redundansi

Dalam penentuan nilai faktor redundansi diperlukan kategori desain seismik. Pada pembahasan yang telah lalu telah didapatkan bahwa kategori desain seismik pada bangunan penelitian ini termasuk pada kategori D. Kemudian, pada pengecekan kinerja ketidakberaturan 3D didapatkan bahwa pada seluruh tingkat tidak terjadi ketidakberaturan torsi berlebih, maka dari itu didapatkan nilai redundansi yang digunakan adalah 1.3.

### 5.5.2 Eksentrisitas Bawaan dan Eksentrisitas Tambahan

Eksentrisitas bawaan yaitu perbedaan lokasi antara pusat massa dengan pusat kekakuan. Pada bangunan yang diteliti ini pusat massa dengan pusat kekakuan tidak berhimpit karena struktur bangunan sendiri tidak simetri. Pada dasarnya, ketika proses cek kinerja didapatkan hasil tidak terjadi ketidakberaturan, maka eksentrisitas tambahan tidak perlu untuk diperhitungkan. Namun, karena untuk melihat pengaruh dari besarnya eksentrisitas tambahan terhadap kinerja bangunan, maka eksentrisitas tambahan akan diperhitungkan.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan eksentrisitas tambahan dengan mempertimbangkan panjang bangunan yaitu 72 m dan lebar bangunan yaitu 45 m. Sehingga eksentrisitas tambahan  $E_{tx} = 5\% \times 45 = 2,25$  m dan  $E_{ty} = 5\% \times 72 = 3,6$  m. Dimana TT adalah pengaruh eksentrisitas tambahan ( $E_t$ ). Data dari pusat massa (CM) dan pusat kekakuan (CK) pada setiap tingkat serta pusat massa setelah ditambah eksentrisitas tambahan dilampirkan pada Lampiran 7.

### 5.5.3 Partisipasi Massa

#### 1. 3 Dimensi

Partisipasi massa yang diizinkan untuk diperoleh yaitu sebesar 100% dari massa struktur, hal ini berdasarkan pada SNI 1726-2019 yang telah dijelaskan pada pembahasan 3.3.9. Pada bangunan yang diteliti, dengan ketinggian tingkat 12 tingkat maka mode maksimal pada modal yang digunakan adalah sebesar 36. Berdasarkan data ETABS pada mode ke 36 partisipasi massa baru mencapai 99,95% dimana belum mencapai 100%, sehingga perlu untuk ditambah jumlah mode pada modal. Setelah dilakukan beberapa percobaan didapatkan bahwa pada mode ke-39 partisipasi massa telah mencapai 100% sebagaimana pada Gambar 5.13 sebagai berikut.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Modal	27	0.056	4.459E-06	2.734E-06	0	0.9959	0.9959	0
Modal	28	0.056	2.579E-05	1.399E-05	0	0.9959	0.9959	0
Modal	29	0.055	0.0001	0.0001	0	0.996	0.996	0
Modal	30	0.054	9.54E-06	1.445E-05	0	0.996	0.996	0
Modal	31	0.052	2.875E-06	2.428E-05	0	0.996	0.996	0
Modal	32	0.05	0.0012	0.0009	0	0.9972	0.9969	0
Modal	33	0.05	0.0009	0.0012	0	0.9981	0.9981	0
Modal	34	0.045	0.0005	0.0004	0	0.9987	0.9986	0
Modal	35	0.045	0.0002	0.0003	0	0.9989	0.9988	0
Modal	36	0.044	0.0006	0.0007	0	0.9995	0.9995	0
Modal	37	0.042	0.0002	0.0002	0	0.9997	0.9997	0
Modal	38	0.041	0.0002	0.0002	0	0.9999	0.9999	0
Modal	39	0.04	0.0001	0.0001	0	1	1	0
Modal	40	0.037	1.675E-05	2.068E-05	0	1	1	0

**Gambar 5.13 Partisipasi Massa 100% 3D**

2. 2D A-3

Pada 2 Dimensi dengan jumlah tingkat 12, maka modal yang digunakan berjumlah 24. Kemudian, setelah dilakukan *run analysis* didapatkan data partisipasi massa pada 2D A-3. Dimana pada mode ke-24 masih belum mencapai 100%. Setelah dilakukan serangkaian percobaan, maka didapatkan partisipasi massa mencapai 100 % saat mode ke- 29 sebagaimana pada Gambar 5.14 berikut.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX
Modal	17	0.032	0	0	0	0.995
Modal	18	0.028	0	0	0	0.995
Modal	19	0.028	1.199E-05	0	0	0.995
Modal	20	0.028	0	0	0	0.995
Modal	21	0.028	0.0028	0	0	0.9978
Modal	22	0.027	0.0001	0	0	0.9979
Modal	23	0.027	1.103E-05	0	0	0.9979
Modal	24	0.026	7.547E-06	0	0	0.998
Modal	25	0.025	0.0001	0	0	0.998
Modal	26	0.025	0.0015	0	0	0.9995
Modal	27	0.025	0	0	0	0.9995
Modal	28	0.024	1.539E-05	0	0	0.9995
Modal	29	0.023	0.0005	0	0	1
Modal	30	0.022	0	0	0	1

**Gambar 5.14 Partisipasi Massa 100% 2D A-3**

## 3. 2D A-F

Hal yang sama juga berlaku pada portal A-F dengan jumlah tingkat 12, maka modal yang digunakan berjumlah 24. Dimana pada mode ke-21 partisipasi massa sudah mencapai 100% sebagaimana pada berikut.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Modal	8	0.051	0	0.0061	0	0	0.9909
Modal	9	0.044	0	0	0	0	0.9909
Modal	10	0.044	0	0	0	0	0.9909
Modal	11	0.043	0	0	0	0	0.9909
Modal	12	0.042	0	0	0	0	0.9909
Modal	13	0.042	0	0.0043	0	0	0.9953
Modal	14	0.04	0	0	0	0	0.9953
Modal	15	0.038	0	0	0	0	0.9953
Modal	16	0.036	0	0	0	0	0.9953
Modal	17	0.035	0	0.0028	0	0	0.9981
Modal	18	0.033	0	0	0	0	0.9981
Modal	19	0.031	0	0.0015	0	0	0.9996
Modal	20	0.03	0	0	0	0	0.9996
Modal	21	0.029	0	0.0004	0	0	1

#### 5.5.4 Spektrum Respons Desain

Langkah-langkah yang digunakan dalam pembuatan spektrum respons desain adalah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai  $T_0$  dan  $T_s$

$$T_1 = \frac{S_{DS}}{S_{D1}} = \frac{0,867}{0,5} = 0,577 \text{ detik}$$

$$T_0 = 0,2 \times T_s = 0,2 \times 0,577 = 0,115 \text{ detik}$$

2. Menentukan nilai  $S_a$  apabila ( $T < T_0$ )

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

$$S_a = 0,867 \times \left(0,4 + 0,6 \frac{0}{0,115}\right) = 0,347$$

3. Menentukan nilai  $S_a$  apabila ( $T_0 < T < T_L$ )

$$S_a = S_{DS} = 0,867$$

4. Menentukan nilai  $S_a$  apabila ( $T_1 < T < T_L$ )

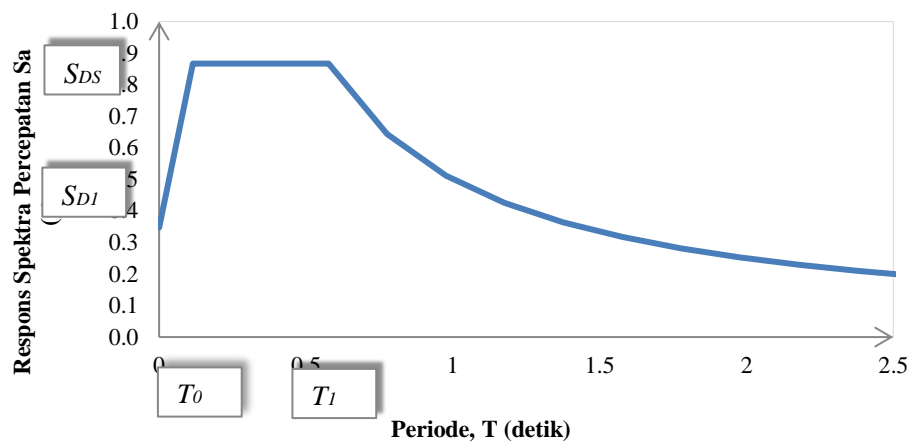
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,5}{0,777} = 0,644$$

5. Menentukan nilai  $S_a$  apabila ( $T > T_L$ )

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2} = \frac{0,5 \times 20}{25^2} = 0,016$$

#### 6. Pembuatan Spektrum

Untuk mempermudah pembuatan grafik respons spektrum dibuatlah tabel hasil nilai dari  $S_a$  dan  $T$  yang dapat dilihat pada Lampiran 8 . Berdasarkan Lampiran 8, maka spektrum respons desain dapat dibuat sebagaimana pada Gambar 5.15 berikut.



**Gambar 5.15 Respons Spektrum Desain**

Kemudian pada *load case* Respons Spektrum beban gempa perlu dikalikan dengan *Scale Factor*  $= \frac{g \times I_e}{R} = \frac{9,81 \times 1}{8} = 1,2263$ .

#### 5.5.5 Penentuan Kombinasi Ragam

Kombinasi Ragam terdapat 2 jenis yaitu metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC) dan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS). Kombinasi ragam ini ditentukan berdasarkan periode getar alami dari struktur. Apabila periode getar dari tingkat yang berdekatan kurang dari 15%, maka kombinasi ragam dapat menggunakan metode kombinasi kuadrat lengkap. Sedangkan apabila periode getar dari tingkat yang berdekatan lebih dari 15%, maka kombinasi ragam dapat menggunakan metode akar kuadrat jumlah kuadrat (SRSS). Berdasarkan analisis ekuivalen statik diperoleh data periode getar alami dari mode 1 hingga 36 untuk model 3 dimensi disajikan dalam Lampiran 9 serta mode 1 hingga 24 untuk model 2D A-3 dan 2D A-F yang disajikan dalam Lampiran 10.

Berdasarkan data Lampiran 10, didapatkan bahwa rata-rata selisih periode getar alami untuk model 2D A-3 adalah 21%, sehingga kombinasi ragam yang digunakan adalah metode kuadrat jumlah kuadrat (SRSS). Kemudian didapatkan juga bahwa rata-rata selisih periode getar alami untuk model 2D A-F adalah 23%, sehingga kombinasi ragam yang digunakan adalah metode kuadrat jumlah kuadrat (SRSS) . Sementara lain, pada Lampiran 9 didapatkan bahwa rata-rata selisih periode getar pada model 3D adalah 9%, sehingga kombinasi ragam digunakan metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC).

### 5.5.6 Skala Gaya Respons Spektrum

Setelah spektrum respons desain didefinisikan pada model struktur, maka gaya geser dasar akibat respons spektrum yang terjadi perlu dibandingkan dengan gaya geser pada beban gempa ekuivalen statik sebagaimana penjelasan sub sub bab 3.3.10 sebelumnya. Perbandingan gaya geser dasar antara respons spektrum dengan ekuivalen statik akan menghasilkan skala gaya (*scale factor*) yang perhitungannya akan sebagaimana berikut.

#### 1. 3 Dimensi

Pada model 3D telah didapatkan sebelumnya pada pembahasan gaya geser dasar seismik bahwa gaya geser dasar ekuivalen statik arah x ( $V_x$ ) memiliki nilai 1166,134 Ton, sedangkan gaya geser dasar respons spektrum ( $V_{tx}$ ) didapat dari *software* yaitu senilai 1168,99 Ton. Maka, perbandingan antar  $V_x$  dengan  $V_{tx}$  yaitu  $V_x < V_{tx}$  dengan nilai  $1166,134 T < 1168,99 T$ . Sehingga gaya hasil analisis struktur perlu tidak perlu diskalakan.

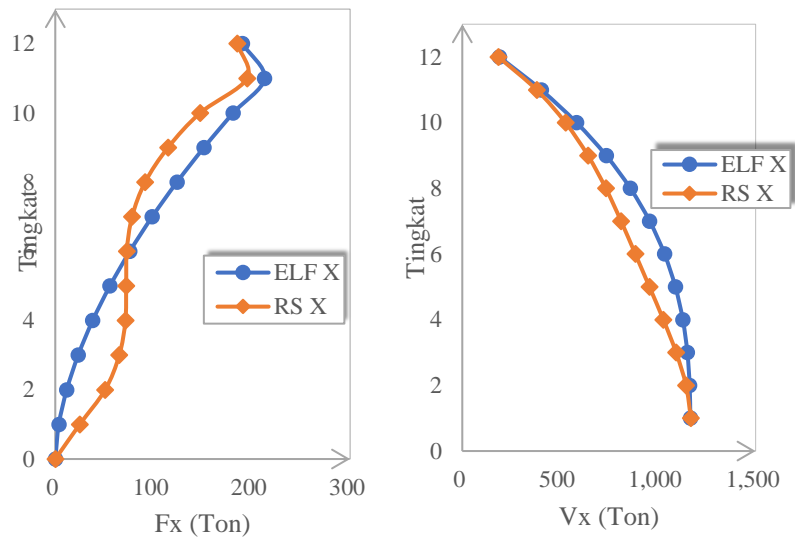
Berdasarkan hal yang serupa dengan arah  $x$ , maka skala pada arah  $y$  juga didapatkan sebagaimana Tabel 5.7 berikut.

**Tabel 5.7 Skala Gaya Respons Spektrum 3D**

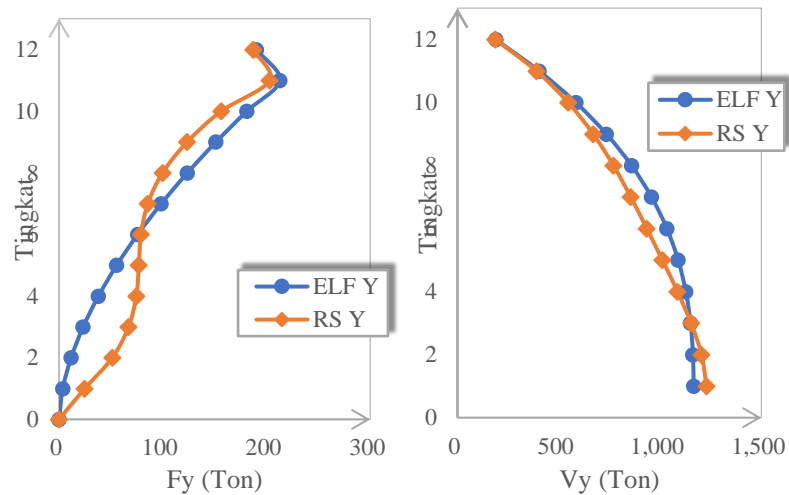
$V_x$ (Ton)	$V_y$ (Ton)	$V_{tx}$ (Ton)	$V_{ty}$ (Ton)	Skala x	Skala y
1166,134	1166,134	1168,99	1229,543	1	1

Sementara itu, dari *software* dapat kita bandingkan gaya antar tingkat dan gaya geser antar tingkat dari gaya ekuivalen statik dengan respons spektrum. Hasil perbandingan apabila ditampilkan dengan grafik akan tampak seperti pada

Gambar 5.16 untuk arah  $x$  sedangkan pada Gambar 5.17 untuk arah  $y$  berikut ini.



**Gambar 5.16  $F_x$  dan  $V_x$  pada 3D**



**Gambar 5.17  $F_y$  dan  $V_y$  pada 3D**

Dimana ELF adalah gaya gempa ekuivalen statik sedangkan RS adalah gaya gempa respons spektrum. Gambar 5.16 dan Gambar 5.17 menunjukkan bahwa gaya antar tingkat dengan RS yang terlihat dengan notasi  $F_x$  di tingkat 1 hingga 4 memiliki gaya yang lebih besar dari ELF, lalu pada tingkat setelahnya ELF mendominasi. Sementara itu, gaya geser antar tingkat dengan notasi  $V_x$  dari ELF mendominasi seluruh tingkat dari RS.

## 2. 2 Dimensi A-3

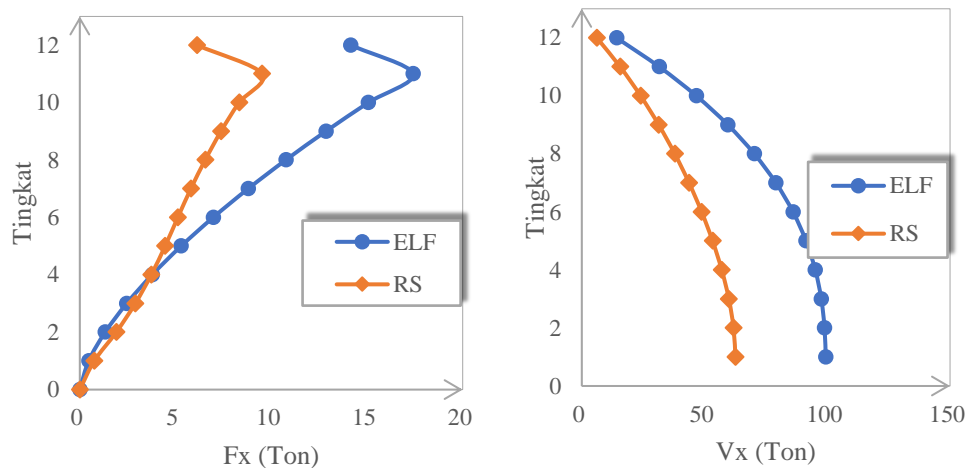


Gaya geser dasar ekuivalen statik pada 2D A-3 yaitu 96,928 T, sedangkan gaya geser dasar respons spektrum yang didapatkan pada ETABS yaitu 54,306 T. Sehingga skala yang diterapkan sebagaimana Tabel 5.8 berikut.

**Tabel 5.8 Skala Gaya Respons Spektrum 2D A-3**

V(Ton)	Vt (Ton)	Skala
99,354	62,57	1,588

Selanjutnya, perbandingan gaya antar tingkat dan gaya geser tingkat antara gaya ekuivalen statik dengan gaya respons spektrum pada model 2D A-3 ini akan tampak seperti Gambar 5.18 berikut.



**Gambar 5.18 Fx dan Vx pada 2D A-3**

Hal yang serupa pada 3D juga terjadi, yaitu dimana gaya antar tingkat RS di tingkat 1 hingga 4 lebih besar dari ELF, namun tingkat setelahnya ELF mendominasi. Begitu juga pada gaya geser antar tingkat dimana ELF mendominasi gaya geser dari RS.

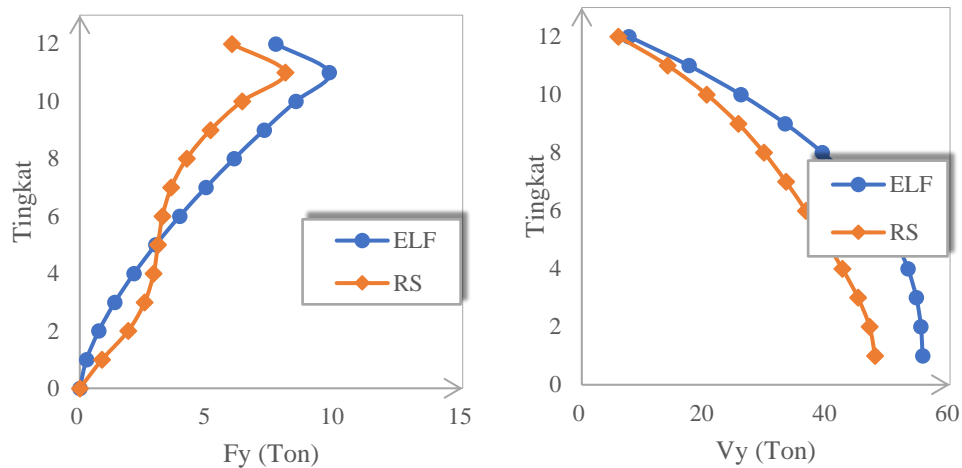
### 3. 2 Dimensi A-F

Gaya geser dasar ekuivalen statik pada 2D A-F yaitu 50,391 T, sedangkan gaya geser dasar respons spektrum yang didapatkan pada ETABS yaitu 42,254 T. Sehingga skala yang diterapkan sebagaimana Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.9 Skala Gaya Respons Spektrum 2D A-F**

V(Ton)	Vt (Ton)	Skala
55,52	47,764	1,162

Kemudian, perbandingan gaya antar tingkat dan gaya geser tingkat antara gaya ekuivalen statik dengan gaya respons spektrum pada model 2D A-F ini akan tampak seperti Gambar 5.19 berikut.



**Gambar 5.19 Fy dan Vy pada 2D A-F**

juga terjadi, yaitu dimana gaya antar tingkat RS di tingkat 1 hingga 4 lebih besar dari ELF, namun tingkat setelahnya ELF mendominasi. Begitu juga pada gaya geser antar tingkat dimana ELF mendominasi gaya geser dari RS.

### 5.5.7 Skala Simpangan

Karena analisis yang digunakan pada penelitian ini merupakan analisis linear, maka simpangan tidak perlu untuk diskalakan.

### 5.5.8 Beban Ortogonal

Kategori desain seismik C sampai dengan F disyaratkan harus dianalisis dengan kombinasi beban yang diterapkan 100% gaya untuk satu arah ditambah 30% gaya untuk arah tegak lurus lainnya. Sementara itu, pada kombinasi tahap 2 ini juga harus diterapkan eksentrisitas tambahan. Maka dari itu, karena kategori desain seismik yang didapatkan pada pembahasan sebelumnya yaitu kategori D, maka kombinasi pembebanan beserta adanya pengaruh beban seismik pada analisis tahap kedua yaitu sebagai berikut.

1.  $1,373D + 1,3E_{x+TT} + 0,39E_y + 0,5L$ .
2.  $1,373D - 1,3E_{x+TT} + 0,39E_y + 0,5L$ .
3.  $1,373D + 1,3E_{x+TT} - 0,39E_y + 0,5L$ .

4.  $1,373D - 1,3E_{x+TT} - 0,39E_y + 0,5L$ .
5.  $1,373D + 1,3E_{x-TT} + 0,39E_y + 0,5L$ .
6.  $1,373D - 1,3E_{x-TT} + 0,39E_y + 0,5L$ .
7.  $1,373D + 1,3E_{x-TT} - 0,39E_y + 0,5L$ .
8.  $1,373D - 1,3E_{x-TT} - 0,39E_y + 0,5L$ .
9.  $1,373D + 1,3E_{y+TT} + 0,39E_x + 0,5L$ .
10.  $1,373D - 1,3E_{y+TT} + 0,39E_x + 0,5L$ .
11.  $1,373D + 1,3E_{y+TT} - 0,39E_x + 0,5L$ .
12.  $1,373D - 1,3E_{y+TT} - 0,39E_x + 0,5L$ .
13.  $1,373D + 1,3E_{y-TT} + 0,39E_x + 0,5L$ .
14.  $1,373D - 1,3E_{y-TT} + 0,39E_x + 0,5L$ .
15.  $1,373D + 1,3E_{y-TT} - 0,39E_x + 0,5L$ .
16.  $1,373D - 1,3E_{y-TT} - 0,39E_x + 0,5L$ .
17.  $0,727D + 1,3E_{x+TT} + 0,39E_y$ .
18.  $0,727D - 1,3E_{x+TT} + 0,39E_y$ .
19.  $0,727D + 1,3E_{x+TT} - 0,39E_y$ .
20.  $0,727D - 1,3E_{x+TT} - 0,39E_y$ .
21.  $0,727D + 1,3E_{x-TT} + 0,39E_y$ .
22.  $0,727D - 1,3E_{x-TT} + 0,39E_y$ .
23.  $0,727D + 1,3E_{x-TT} - 0,39E_y$ .
24.  $0,727D - 1,3E_{x-TT} - 0,39E_y$ .
25.  $0,727D + 1,3E_{y+TT} + 0,39E_x$ .
26.  $0,727D - 1,3E_{y+TT} + 0,39E_x$ .
27.  $0,727D + 1,3E_{y+TT} - 0,39E_x$ .
28.  $0,727D - 1,3E_{y+TT} - 0,39E_x$ .
29.  $0,727D + 1,3E_{y-TT} + 0,39E_x$ .
30.  $0,727D - 1,3E_{y-TT} + 0,39E_x$ .
31.  $0,727D + 1,3E_{y-TT} - 0,39E_x$ .
32.  $0,727D - 1,3E_{y-TT} - 0,39E_x$ .

Maka kombinasi pembebanan total dengan adanya pengaruh ortogonal dan eksentrisitas berjumlah 32, dimana pada pengambilan data analisis dengan kombinasi ini akan diambil nilai terbesar dari ke 32 kombinasi, penerapan pada ETABS yaitu dengan diberikan *load combination* dengan tipe *envelope*. Di lain hal, notasi D, E, dan L berturut turut yaitu beban mati, beban gempa ekuivalen statik dan beban hidup, sedangkan x, y dan TT yaitu sumbu x, sumbu y, dan eksentrisitas tambahan.

### 5.5.9 Gaya Geser Tingkat

Berdasarkan hasil dari skala gaya geser dasar respons spektrum, maka distribusi vertikal gaya seismik yang digunakan pada analisis struktur tahap 2 yaitu dikalikan dengan skala gaya respons spektrum yang telah didapatkan pada pembahasan 5.5.4 sebagaimana untuk model 3D dan model 2D dapat dilihat pada Lampiran 11.

### 5.5.10 Simpangan Antar Tingkat

Pemeriksaan simpangan antar tingkat pada tahap ke 2 ini masih menggunakan titik acuan yang sama dengan analisis tahap 1 yaitu pada 3D titik simpangan berada di pusat massa, pada 2D A-3 titik simpangan sebagaimana pada Gambar 5.11, sedangkan pada 2D A-F titik simpangan sebagaimana pada Gambar 5.12. Kemudian pada tahap ke 2 ini mempertimbangkan adanya pengaruh skala simpangan seperti yang telah dianalisis pada sub sub bab 5.5.7. Maka hasil perhitungan simpangan antar tingkat pada analisis struktur tahap 2 3D disajikan pada dan 2D disajikan pada .

#### a. 3D

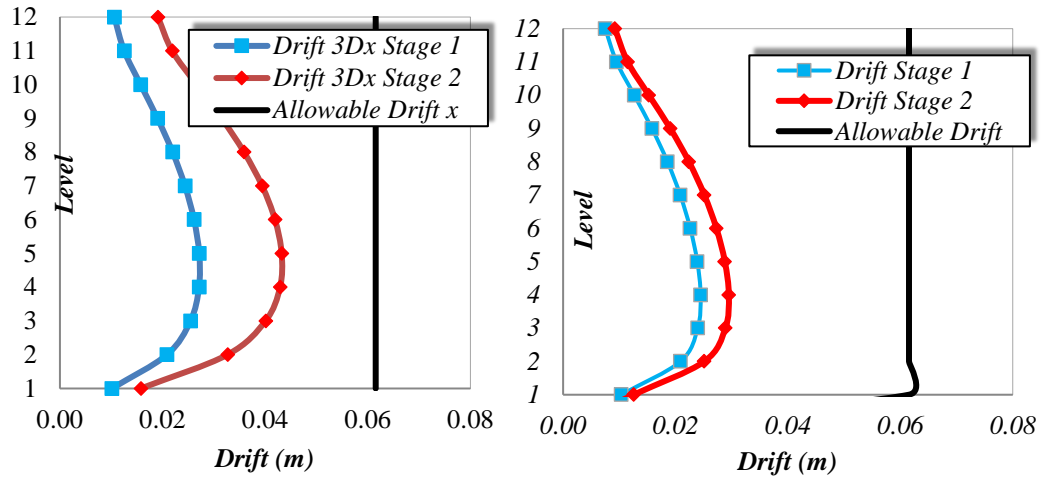
Dengan memperhatikan skala simpangan, maka perhitungan simpangan pada model 3 dimensi dapat dilihat pada Lampiran 12. Pada Lampiran 12 memperlihatkan bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi baik pada arah x maupun arah y masih di bawah batas izin simpangan.

#### b. 2D

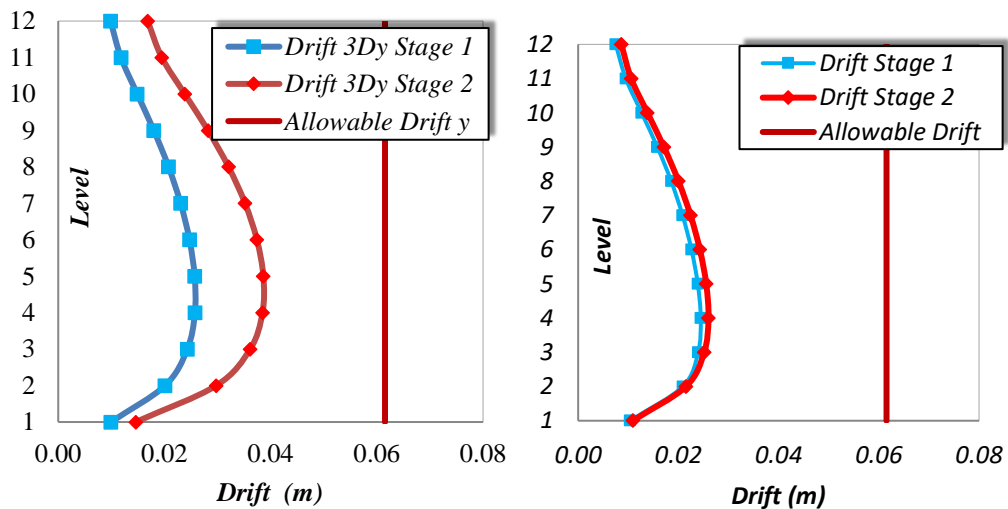
Selanjutnya untuk simpangan antar tingkat pada model 2D A-3 dan A-F juga masih menggunakan titik acuan yang sama, sehingga perhitungan simpangan antar tingkat disajikan dalam Lampiran 13. Berdasarkan Lampiran 13, terlihat bahwa pada seluruh tingkat model 2D A-3 masih memenuhi syarat izin simpangan. Demikian pula dapat terlihat bahwa pada seluruh tingkat model 2D A-F juga masih memenuhi syarat izin simpangan.

Berdasarkan hasil sebelumnya telah didapatkan data simpangan pada analisis struktur tahap 1 dan tahap 2, pada model 3D dan 2D. Sehingga apabila

kita bandingkan antara 3D dengan 2D akan tampak sebagaimana pada Gambar 5.20 dan Gambar 5.21 berikut.



**Gambar 5.20 Grafik Simpangan 3Dx dan 2D A-3**



**Gambar 5.21 Grafik Simpangan 3Dy dan 2D A-F**

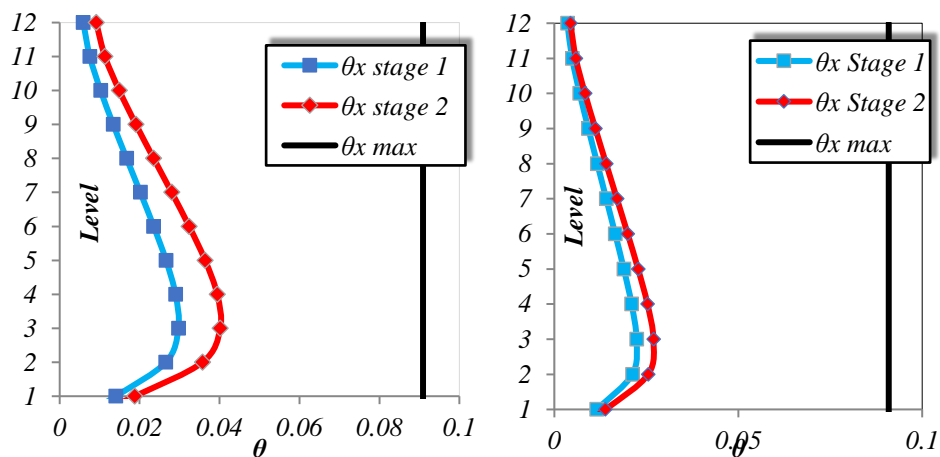
Pada grafik Gambar 5.20 terlihat bahwa simpangan antar tingkat yang terjadi pada model 3D arah x dan 2D A-3 masih di bawah batas izin simpangan. Sementara itu, simpangan yang terjadi pada 3D lebih besar dibandingkan dengan 2D A-3. Sedangkan pada Gambar 5.21 terlihat bahwa simpangan pada 3D arah y dan 2D A-F juga masih memenuhi izin persyaratan. Hal yang sama dengan Gambar 5.20 juga terjadi, dimana simpangan pada 3D arah y lebih besar dibandingkan dengan 2D A-F. Di antara penyebab yang diketahui

yaitu pada 3D menerapkan beban ortogonal dan juga menerapkan eksentrisitas tambahan, sedangkan pada 2D tidak demikian. Sehingga, dari 2 hal tersebut dapat menyebabkan perbedaan simpangan yang cukup signifikan.

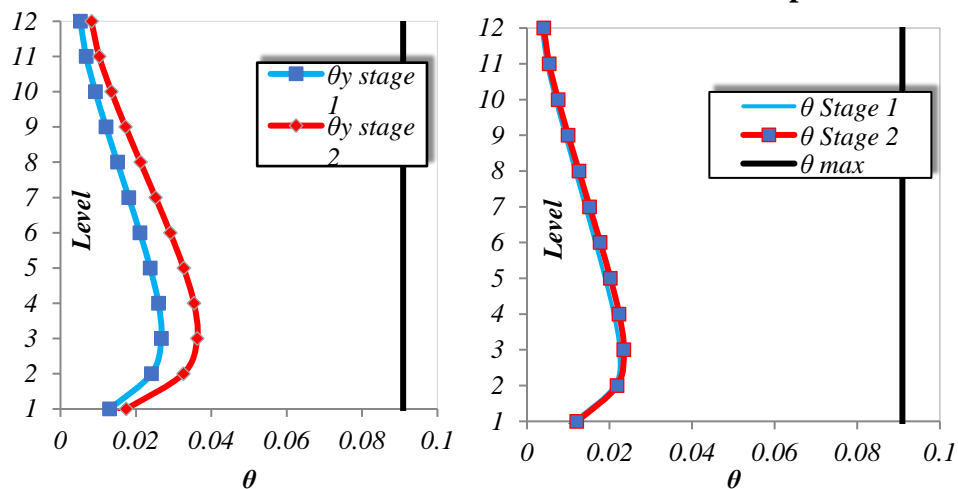
### 5.5.11 Efek P-Delta

Pemeriksaan efek P-Delta masih menggunakan batas maksimum yang sama pada tahap 1 yaitu  $\theta_{max} = 0,0909$ . Stabilitas rasio juga dihitung menggunakan metode yang serupa pada tahap 1, dimana hasil perhitungan kami lampirkan pada Lampiran 14 untuk 3Dx serta 3Dy, sedangkan untuk 2D A-3 serta 2D A-F pada Lampiran 15.

Dari hasil perhitungan tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk grafik sebagaimana pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.22 Grafik P-Delta 3Dx dan 2D A-3 Tahap 2



Gambar 5.23 Grafik P-Delta 3Dy dan 2D A-F Tahap 2

Dari Gambar 5.22 terlihat bahwa 3D arah x lebih besar dibandingkan pada 2D A-3 pada setiap tahapnya. Begitu juga pada Gambar 5.23 tampak bahwa 3D arah y mendominasi 2D A-F pada setiap tahapnya. Di antara sebab 3D lebih besar dari 2D yaitu simpangan pada 3D sebelumnya lebih besar dari 2D, kemudian gaya geser yang terjadi pada 3D juga lebih besar dari 2D. Hal tersebut memberikan pengaruh yang cukup pada 3D untuk meningkatkan nilai stabilitas rasio. Di lain hal pada model 3D arah x maupun y serta 2D A-3 dan 2D A-F masih memenuhi persyaratan batas maksimal.

Setelah serangkaian cek kinerja tahap 1 dan tahap 2 dilakukan, dapat diketahui bahwa keseluruhan model telah memenuhi persyaratan, sehingga dapat dilanjutkan dengan proses desain elemen.

## 5.6 Desain Elemen

Perhitungan desain elemen pada penelitian ini akan diambil contoh perhitungan pada beberapa sampel saja, serta diambil berdasarkan siklus pertama dalam analisis dan desain. Sementara itu, siklus kedua akan kami tampilkan hasil desainnya pada pembahasan yang akan datang. Desain yang dilakukan pada model 3D dan 2D akan diambil ukuran dimensi yang sama, namun yang dibedakan hanya dari sisi tulangnya.

### 5.6.1 Pelat

Pelat yang akan didesain memiliki dimensi 3m x 3m dengan kode P1. Kemudian contoh perhitungan akan diambil pada P1 sebagai berikut.

#### 1. Data

Pada desain pelat digunakan beton yang memiliki tegangan tekan beton sebesar  $f'_c = 35 \text{ MPa}$ . Baja tulangan yang digunakan memiliki tegangan leleh baja  $f_y = 420 \text{ MPa}$  serta modulus elastisitas baja sebesar  $E_s = 200000 \text{ MPa}$ . Kemudian nilai  $\beta = 0,85 - \frac{35-28}{7} \times 0,05 = 0,8$ . Sementara itu, tulangan utama digunakan diameter  $D_p = 12 \text{ mm}$ , sedangkan susut  $D_s = 8 \text{ mm}$ . Pelat tingkat ini memiliki tebal  $H = 120 \text{ mm}$ , panjang sisi x  $L_x = 3000 \text{ mm}$ , serta panjang sisi y  $L_y = 3000 \text{ mm}$ . Selimut beton yang

digunakan  $S_b = 20 \text{ mm}$ . Regangan ultimate beton adalah  $\epsilon_{cu} = 0,003$ . Maka langkah perhitungan desain pelat akan sebagai berikut.

- a.  $ds = S_b + \frac{1}{2}Dtul$   
 $= 20 + \frac{1}{2} \cdot 12 = 26 \text{ mm}$
- b.  $E_y = \frac{fy}{Es} = \frac{420}{200000} = 0,0021$
- c.  $L_{ny} = L_y - B_{balok} = 3000 - 400 = 2600 \text{ mm}$
- d.  $L_{nx} = 2600 \text{ mm}$
- e.  $L_y/L_x = 2600/2600 = 1$

Maka didapatkan bahwa jenis pelat pada PL 1 yaitu berjenis pelat 2 arah.

2. Momen Lapangan dan Tumpuan ( $M_t$  dan  $M_l$ ), sesuai pada pembahasan 5.3.1 maka perhitungan momen sebagai berikut.

- a.  $Q_d = 0,12 \text{ m} \times 2,4 \text{ T/m}^3 = 0,288 \text{ T/m}^2 = 2,888 \text{ KN/m}^2$
- b.  $Q_d = 2,52 \text{ KN/m}^2$ , (*finishing*)=
- c.  $Q_D = 2,88 + 2,52 = 5,4 \text{ KN/m}^2$
- d.  $Q_L = 2,4 \text{ KN/m}^2$
- e.  $Q_U = 1,2 \times Q_D + 1,6 \times Q_L = 1,2 \times 5,4 + 1,6 \times 2,4 = 10,32 \text{ KN/m}^2$

Menggunakan nilai  $L_y/L_x$ , maka didapatkan dari Tabel 13.3.1 pada PBI N-1971, nilai koefisien dari kedua arah berupa arah x dan arah y yaitu :  $M_{lx} (+) = 36$ ,  $M_{tx} (-) = 36$ ,  $M_{ly} (+) = 36$ , dan  $M_{tx} (+) = 36$ .

Setelah itu, berdasarkan persamaan (3.73) maka dapat dihitung momen pada lapangan dan tumpuan di masing-masing arah seperti berikut.

- a.  $M_{lx} (+) = 0,001 \times 10,32 \times 3^2 \times 36 = 3,34 \text{ KNm}$
- b.  $M_{tx} (-) = 3,34 \text{ KNm}$
- c.  $M_{ly} (+) = 3,34 \text{ KNm}$
- d.  $M_{ty} (-) = 3,34 \text{ KNm}$

3. Tulangan Daerah Tumpuan Arah x

- a. Perhitungan Geser

$$V_u = 0,5 \times 1,15 \times Q_u \times L_{nx} = 0,5 \times 1,15 \times 10,32 \times 2,6 = 15,43 \text{ KN}$$

$$d = h - ds = 120 - 26 = 94 \text{ mm}$$

$$V_n = 0,17 \times \sqrt{f'c} \times b_w \times d = 0,17 \times \sqrt{35} \times 1000 \times 0,94 = 94,54 \text{ KN}$$



$$\phi V_n = 0,75 \times V_n = 0,75 \times 94,54 = 70,90 \text{ KN}$$

b. Perhitungan Momen

$$M_u = 3,34 \text{ KNm}$$

$$M_n = M_u \phi = 3,34 \times 0,9 = 3,72 \text{ KNm} = 3,72 \times 10^5 \text{ Nmm}$$

c. Mencari Nilai  $a$

$$M_n = (0,85 \times f'_c \times a \times b) \times (d - a/2)$$

$$a = 0,85 \times f'_c \times a^2 \times b = 0,85 \times 35 \times 1000 \times a^2 = 29750 a^2$$

$$b = -1,7 \times f'_c \times a \times b \times d = -1,7 \times 35 \times 1000 \times 94 \times a = -5593000 a$$

$$c = 2 \times M_n = 2 \times 3,72 \times 10^5 = 7432820$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-(-5593000) \pm \sqrt{(-5593000)^2 - 4.(29750).(7432820)}}{2.(29750)}$$

Menggunakan interpolasi didapatkan  $a_1 = 186,7$  mm sedangkan  $a_2 = 1,34$  mm. Maka, digunakan nilai  $a = 1,34$  mm

d. Mencari Luas tulangan yang dibutuhkan ( $A_s$ )

$$T_s = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$A_s = \frac{0,85 \times f'_c \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 35 \times 1,34 \times 1000}{420} = 94,81 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin1} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \times b \times d = \frac{\sqrt{35}}{4(420)} \times 1000 \times 94 = 331,02 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin2} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d = 1,4(420) \times 1000 \times 94 = 313,33 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dipakai } A_{smin} = 331,02 \text{ mm}^2$$

$$A_{Sbalance} = 0,85 \times \beta \times \frac{f'_c}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \times b \times d$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times \frac{35}{420} \times \frac{600}{600+420} \times 1000 \times 94 = 3133,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{Smax} = 0,75 \times A_{Sbalance} = 0,75 \times 3133,33 = 2350 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka, } A_s = 331,02 \text{ mm}^2$$

c. Mencari Jarak antar tulangan ( $s$ )

$$A_{Stulangan} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{pokok}^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 = 113,10 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{pokok}} = \frac{A_{\text{tulangan}} \times b}{A_s} = \frac{113,10 \times 1000}{331,02} = 341,7 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Dipakai Tulangan Pokok dengan konfigurasi P12 - 200 mm

d. Mencari luas tulangan susut

$$A_{S_{\text{susut}}} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 120 = 240 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{tul susut}}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D_{\text{susut}}^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2 = 50,27 \text{ mm}^2$$

$$S_{\text{susut}} = \frac{50,27 \times 1000}{240} = 209,44 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek1} &= S \leq 2 \times h = 200 \leq 2 \times 120 \\ &= 200 \leq 240 \quad \rightarrow OK \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek2} &= S \leq 450 \\ &= 200 \leq 450 \quad \rightarrow OK \end{aligned}$$

Dipakai tulangan susut dengan konfigurasi P8-200 mm.

4. Tulangan Daerah Lapangan Arah  $x$

Penentuan tulangan pada daerah lapangan arah  $x$  akan menggunakan prosedur yang serupa seperti pada daerah tumpuan yang telah dibahas sebelumnya pada poin 3. Namun, pada daerah lapangan ini tidak digunakan tulangan susut. Setelah dilakukan perhitungan, maka didapatkan bahwa pada daerah lapangan dapat digunakan tulangan P12 – 200 mm.

5. Tulangan Daerah Tumpuan Arah  $y$

Perhitungan tulangan tumpuan arah  $y$  juga menggunakan metode yang serupa dengan perhitungan tulangan tumpuan arah  $x$ . Didapatkan bahwa tulangan pokok menggunakan P12-200 mm, sedangkan tulangan susut menggunakan P8-200 mm.

6. Tulangan Daerah Lapangan Arah  $y$

Sebagaimana pada daerah lapangan arah  $x$ , perhitungan tulangan lapangan arah  $y$  juga masih menggunakan metode yang serupa. Dimana pada daerah lapangan arah  $y$  ini didapatkan tulangan pokok dapat menggunakan P12-100 mm.

7. Tulangan Daerah Tumpuan Tangga

Pada pelat tangga dan bordes, besarnya momen didapatkan dari hasil analisis program yaitu pada daerah tumpuan tangga  $M_u = 15,443 \text{ KNm}$ . Kemudian didapatkan bahwa panjang tangga 3,98 m, lebar tangga 2 m, serta tebal pelat didapatkan 0,25 m. Dari beberapa data tersebut menggunakan prosedur desain yang serupa dengan pelat sebelumnya didapatkan bahwa pada daerah tumpuan tangga dapat menggunakan tulangan P12-100 mm untuk tulangan pokok serta P10-100 mm untuk tulangan susut.

8. Tulangan Daerah Lapangan Tangga

Pada daerah lapangan didapatkan  $M_u = -15,230 \text{ KNm}$ . Maka dari hal tersebut menggunakan perhitungan yang serupa dengan pelat tingkat pada daerah lapangan, didapatkan bahwa pada daerah lapangan tangga dapat digunakan tulangan pokok P10-100 mm.

9. Tulangan Daerah Tumpuan Bordes

Daerah tumpuan pada bordes didapatkan  $M_u = 1,866 \text{ KNm}$ . Panjang bordes diambil sebesar 4,5 sedangkan lebar bordes didapatkan sebesar 1,85 serta tebal yang serupa dengan pelat tangga. Maka didapatkan dengan menggunakan perhitungan yang serupa dengan pelat tangga pada daerah tumpuan yaitu tulangan dapat menggunakan P12-100 mm untuk tulangan pokok serta P10-100 mm untuk tulangan susut.

10. Tulangan Daerah Lapangan Bordes

Daerah lapangan pada bordes didapatkan  $M_u = 6,015 \text{ KNm}$ . Kemudian dengan menggunakan cara perhitungan yang mirip dengan daerah lapangan tangga, didapatkan tulangan bordes pada daerah lapangan dapat menggunakan P12-100 mm untuk tulangan pokok.

Maka setelah hasil desain yang dipakai dapat ditabelkan sebagaimana pada Lampiran 16.

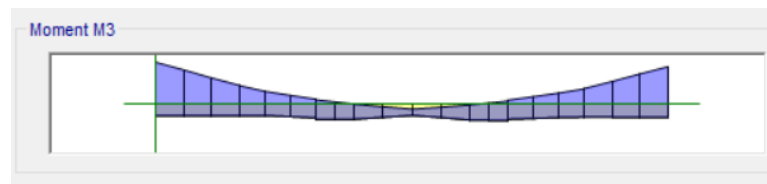
## 5.6.2 Balok

### 1. Redistribusi Momen

Pada pembahasan redistribusi momen kali ini akan diambil contoh pada model 3D dengan portal A-3 pada balok di tingkat 1 dengan langkah perhitungan sebagai berikut.

a. Momen Ultimate Balok

Balok pada tingkat 1 memiliki momen ultimate dengan kombinasi beban envelope dari analisis struktur tahap 2 sebagaimana pada Gambar 5.24 berikut.



**Gambar 5.24 Momen Ultimate Balok Tingkat 1**

Terdapat 2 *station* balok tingkat 1 yang diperlukan untuk desain yaitu pada *offset* 0,5 dan 8,5 dari sumbu kolom. Kemudian momen negatif dan positif berturut-turut sebesar  $Mu_{+0,5} = 14,934$  Tm dan  $Mu_{-8,5} = -67,298$  Tm untuk arah gempa dari kiri serta  $Mu_{-0,5} = -68,96$  Tm dan  $Mu_{+8,5} = 15,318$  Tm untuk arah gempa dari kanan. Momen-momen tersebut adalah hasil analisis struktur yang dapat dilihat pada Lampiran 17 dan Lampiran 18.

b. Kasus 1

$$Mu_{- \text{pakai}} = SF \times Mu_{- \text{max}} = 1 \times 68,96 = 68,96 \text{ Tm}$$

$$Mu_{+ \text{pakai}} = SF \times Mu_{+ \text{max}} = 1 \times 15,318 = 15,318 \text{ Tm}$$

$$Mu_{+} = 15,318 \text{ Tm} < 50\% \times 68,96 = 29,48 \text{ Tm}$$

SF adalah faktor skala yang berasal dari perhitungan skala gaya respons spektrum, pada pembahasan sebelumnya didapatkan bahwa gaya tidak perlu diskalakan sehingga SF bernilai 1. Kemudian berdasarkan kasus 1 diketahui bahwa nilai  $Mu_{+} < 50\% Mu_{-}$ , hasil tersebut tidak sesuai persyaratan redistribusi momen, dimana  $Mu_{+} \geq 50\% Mu_{-}$ , maka redistribusi momen dilanjutkan pada kasus ke 2.

c. Kasus 2 ( $Mu_{-}$  didistribusi 15%)

$$\sum Mu = 14,934 + 67,298 + 15,318 + 68,96 = 166,512 \text{ Tm}$$

$$Mu- = 85\% \times 68,96 = 58,617 \text{ Tm}$$

$$Mu+ = \frac{\sum Mu+2 \times Mu-}{2} = \frac{166,512 + 2 \times (-58,617)}{2} = 24,64 \text{ Tm}$$

$$Mu+ = 24,64 \text{ Tm} < 50\% \times 58,617 = 29,308 \text{ Tm}$$

Didapatkan bahwa nilai  $Mu+ < 50\% Mu-$ , hasil tersebut tidak sesuai persyaratan redistribusi momen, dimana  $Mu+ \geq 50\% Mu-$ , maka redistribusi momen dilanjutkan pada kasus ke 3.

d. Kasus 3

$$Mu- = 58,617 \text{ Tm} = 5861659,5 \text{ Kg.cm}$$

$$Mu+ = \frac{58,617}{2} = 29,308 \text{ Tm} = 2930829,8 \text{ Kg.cm}$$

$$\sum Mu = 2 \times 58,617 + 2 \times 29,308 = 175,85 \text{ Tm}$$

$$Mu+ = 29,308 \text{ Tm} = 50\% \times 58,617 = 29,308 \text{ Tm}$$

Didapatkan bahwa nilai  $Mu+ = 50\% Mu-$ , hasil tersebut sesuai dengan persyaratan redistribusi momen, dimana  $Mu+ \geq 50\% Mu$  maka dapat dilanjutkan dengan perhitungan desain balok

2. Desain Tulangan Balok

Pada desain balok digunakan beton yang memiliki tegangan tekan beton sebesar  $F'c = 35 \text{ MPa}$  ( $357 \text{ kg/cm}^2$ ). Baja tulangan pokok yang digunakan memiliki tegangan leleh baja  $Fy = 420 \text{ Mpa}$  ( $4284 \text{ kg/cm}^2$ ), sedangkan baja tulangan sengkang memiliki tegangan leleh baja sebesar  $300 \text{ MPa}$  ( $3060 \text{ kg/cm}^2$ ). Modulus elastisitas baja adalah  $Es = 200000 \text{ MPa}$  ( $2100000 \text{ kg/cm}^2$ ). Kemudian nilai  $\beta = 0,85$ . Diameter tulangan pokok  $Dp = 2,5 \text{ cm}$  sedangkan diameter tulangan sengkang  $Ds = 1,4 \text{ cm}$ . Selimut beton digunakan  $Sb = 4 \text{ cm}$ . Regangan ultimate beton adalah  $\epsilon_{cu} = 0,003$ , serta *strength reduction factor* yang digunakan sesuai dengan SNI 2847-2019 Tabel 21.2.1 untuk penentuan dimensi digunakan asumsi  $\phi = 0,9$ . Nilai  $Mu+$  didapatkan sebesar  $29,308 \text{ Tm}$  sedangkan  $Mu-$  sebesar  $58,617 \text{ Tm}$ . Sehingga perhitungan desain balok akan sebagai berikut.

$$d' = sb + Ds + 0,5 \times Dp = 4 + 1,4 + 0,5 \times 2,5 = 6,65 \text{ cm}$$

$$d = sb + Ds + 1,5 \times Dp = 4 + 1,4 + 1,5 \times 2,5 = 9,15 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 Ad &= 0,25 \times \pi \times Dp^2 = 0,25 \times \pi \times 2,5^2 = 4,909 \text{ cm}^2 \\
 \text{Tul 1-lapis} &= 4 \text{ buah} \\
 \epsilon_s &= \frac{f_y}{E_s} = \frac{4284}{2100000} = 0,00204 \\
 f &= \frac{h}{b} = 2 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f'c} = \frac{4284}{0,85 \times 357} = 14,118 \\
 k &= \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \frac{f_y}{E_s}} = \frac{0,003}{0,003 + \frac{4284}{2100000}} = 0,595 \\
 \rho_b &= \frac{\beta_1}{m} \times k = \frac{0,85}{14,118} \times 0,595 = 0,0358 \\
 R_b &= \rho_b \times f_y (1 - 0,5 \times \rho_b \times m) \\
 &= 0,0358 \times 4284 (1 - 0,5 \times 0,0358 \times 14,118) = 114,692 \\
 \rho_m &= 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0358 = 0,0268 \\
 R_m &= \rho_m \times f_y (1 - 0,5 \times \rho_m \times m) \\
 &= 0,0268 \times 4284 (1 - 0,5 \times 0,0268 \times 14,118) = 93,301 \\
 M_n &= R_m \times b \times h^2 \\
 M_{n-} &= \frac{M_{u-}}{\phi} = \frac{58,617}{0,9} = 65,13 \text{ Tm} = 6512955 \text{ Kgcm} \\
 M_{n+} &= \frac{M_{u+}}{\phi} = \frac{29,308}{0,9} = 32,565 \text{ Tm} = 3256478 \text{ Kgcm} \\
 b &= \sqrt[3]{\frac{M_n}{4 \times R_m}} = \sqrt[3]{\frac{6512955}{4 \times 93,301}} = 25,85 \text{ cm} \\
 \text{Dipakai } b &= 40 \text{ cm} \\
 \text{Dipakai } h_t \text{ (h total)} &= 85 \text{ cm} \\
 h \text{ bersih } M \text{ min} &= h - d = 85 - 9,15 = 75,85 \text{ cm} \\
 h \text{ bersih } M \text{ plus} &= h - d' = 85 - 6,65 = 78,35 \text{ cm} \\
 R_m/R_b &= 93,301 / 114,692 = 0,813
 \end{aligned}$$

### 3. Desain Tulangan Sebelah

$$C = \frac{R}{\rho_b} \text{ (harus } < \text{ Batas atas)} = 0,2$$

$$R1 = C \times Rb = 0,2 \times 114,692 = 22,94$$

$$M1 = R1 \times b \times h^2 = 22,94 \times 35 \times 75,85^2 = 5278766 \text{ Kgcm}$$

Berdasarkan persamaan berikut akan didapatkan nilai  $a$

$$M1 = 0,85 \times fc \times a \times b \times (h - a/-2)$$

$$C1 a^2 + C2 a + C3 = 0$$

$$\text{Pembagi} = 0,85 \times fc \times b \times 0,5 = 0,85 \times 357 \times 40 \times 0,5 = 6069 \text{ kg/cm}$$

$$a = \frac{0,85 \times fc \times b \times 0,5}{0,85 \times fc \times b \times 0,5} = 1$$

$$b = -\frac{0,85 \times fc \times b \times h}{0,85 \times fc \times b \times 0,5} = -\frac{0,85 \times 357 \times 40 \times 75,85}{6069} = -151,7$$

$$C = \frac{M1}{0,85 \times fc \times b \times 0,5} = \frac{5278766}{6069} = 869,8$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-(-151,7) \pm \sqrt{(-151,7)^2 - 4.(1).(869,8)}}{2.(1)}$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai  $a_1 = 145,7 \text{ cm}$  dan  $a_2 = 5,97 \text{ cm}$ .

Maka dipakai  $a_{\text{pakai}} = 5,97 \text{ cm}$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{5,97}{0,85} = 7,02 \text{ cm}$$

$$\epsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \times \epsilon_{cu} = \frac{7,02-6,65}{7,02} \times 0,003 = 0,00016$$

$0,00016 < 0,00204$  (Tulangan desak belum leleh)

$$T_s = Cc = 0,85 \times fc \times a \times b = 0,85 \times 357 \times 5,97 \times 40 = 72445,1 \text{ kg}$$

$$A_s = \frac{T_s}{f_y} = \frac{72445,1}{4284} = 16,91 \text{ cm}^2$$

$$n1 = \frac{A_s}{A_d} = \frac{16,91}{4,909} = 3,45. \text{ Sehingga } n1 = 4$$

$$A_{sp} = n1 \times A_{sd} = 4 \times 4,909 = 19,634 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{A_{sp} \times f_y}{0,85 \times f'c \times b} = \frac{19,634 \times 4284}{0,85 \times 357 \times 40} = 6,93 \text{ cm}$$

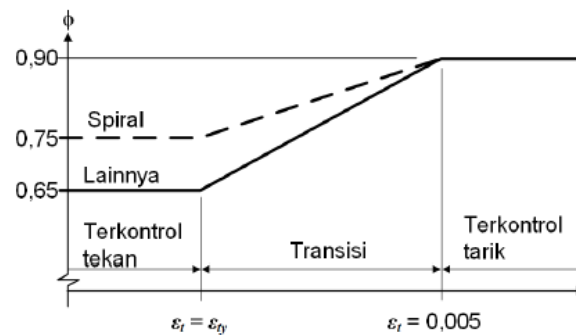
$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{6,93}{0,85} = 8,153 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{c-d'}{c} \times \varepsilon_{cu} = \frac{8,153-6,65}{8,153} \times 0,003 = 0,000553$$

0,000553 < 0,00204 (Tulangan desak belum leleh)

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{cu} \times \frac{h-c}{c} = 0,003 \times \frac{75,85-8,153}{8,153} = 0,026$$

Menggunakan ketentuan pada Gambar 5.25 berikut ini, akan didapatkan nilai *strenght reduction factor*  $\phi$



**Gambar 5.25 Penentuan *strenght reduction factor*  $\phi$**   
(Sumber: SNI 2847-2019 Gambar R21.2.2b)

Sehingga berdasarkan Gambar 5.25 didapatkan nilai  $\phi$  yaitu 0,9

$$C_c = 0,85 \times 357 \times 6,93 \times 40 = 84116,143 \text{ kg}$$

$$M_{1p} = 84116,143 \times \left( 75,85 - \frac{6,93}{2} \right) = 6088748 \text{ kgcm}$$

#### 4. Desain Tulangan Rangkap

$$M_2 = |M_n - M_{1p}| = |6512955 - 6088748| = 424207,3 \text{ kgcm}$$

Tul desak leleh/dianggap leleh dulu

$$T_{s2} = \frac{M_2}{h-d'} = \frac{424207,3}{75,85-6,65} = 6130,2 \text{ kg}$$

$$A_{s2} = \frac{T_{s2}}{f_y} = \frac{6130,2}{4284} = 1,43 \text{ cm}^2$$

$$n_2 = \frac{A_{s2}}{A_d} = \frac{1,43}{4,909} = 0,29. \text{ Sehingga dipakai } n_2 = 3$$

$$A_{s2} = n_2 \times A_d = 3 \times 4,909 = 14,726 \text{ cm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times (s_b + D_s)) - n \times n_2 p}{n - 1} = \frac{40 - (2 \times (4 + 1,4)) - 3 \times 3}{3 - 1} = 10,6 \text{ cm}$$



8,3 cm > 2,6 cm (Jarak tulangan memenuhi syarat)

Sehingga susunan tulangan pada daerah yang menahan M- yaitu pada tulangan atas menggunakan  $n_t = n_1 + n_2 = 4 + 3 = 7$  dengan luas tulangnya  $A_{st} = n_t \times A_d = 7 \times 4,909 = 34,361 \text{ cm}^2$ , sedangkan pada tulangan bawah  $n_d = n_2 = 3$  dengan luas tulangnya  $A_{sd} = n_d \times A_d = 3 \times 4,909 = 14,726 \text{ cm}^2$ .

##### 5. Momen Negatif

Pada daerah balok yang menahan momen negatif ini menggunakan analisis balok tulangan rangkap dengan tulangan desak belum leleh. Kemudian dengan menggunakan persamaan keseimbangan gaya-gaya yaitu  $C_c + T_s = A_{st} \times f_y$ , dimana nilai  $C_c = 0,85 \times f_c \times a \times b$ , sedangkan nilai  $T_s = A_{sd} \times \frac{a - \beta_1 \times d'}{a} \times \epsilon_{cu} \times E_s$ . Sehingga akan dihasilkan persamaan kuadrat sebagai berikut.

$$0,85 \times f_c \times a \times b + A_{sd} \times \frac{a - \beta_1 \times d'}{a} \times \epsilon_{cu} \times E_s = A_{st} \times f_y$$

$$\text{Pembagi} = 0,85 \times f_c \times b = 0,85 \times 357 \times 40 = 12138 \text{ kg/cm}$$

$$a = \frac{0,85 \times f_c \times b}{0,85 \times f_c \times b} = 1$$

$$b = -\frac{A_{sd} \times \epsilon_{cu} \times E_s - A_{st} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = -\frac{14,726 \times 0,003 \times 2100000 - 34,361 \times 4284}{12138} = -4,48$$

$$c = \frac{A_{sd} \times 0,85 \times d' \times \epsilon_{cu} \times E_s}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{14,726 \times 0,85 \times 6,65 \times 0,003 \times 2100000}{12138} = -43,2$$

$$a_{1,2} = \frac{-(-4,48) \pm \sqrt{(-4,48)^2 - 4 \cdot (1) \cdot (-43,2)}}{2 \cdot (1)}$$

Dari persamaan tersebut didapatkan  $a_1 = 9,2 \text{ cm}$  dan  $a_2 = -4,7 \text{ cm}$ . Sehingga dipakai  $a_{pakai} = 9,2 \text{ cm}$

$$c = \frac{a}{0,85} = \frac{9,2}{0,85} = 10,8 \text{ cm}$$

$$\epsilon_s' = \frac{10,8 - 6,65}{10,8} \times 0,003 = 0,0011$$

0,0011 < 0,00204 (Tulangan desak belum leleh)

$$f_s = \epsilon_s' \times E_s = 0,0011 \times 2100000 = 2424 \text{ kg/cm}^2$$

Berdasarkan Gambar 5.25 sebelumnya nilai  $\phi$  yaitu 0,9

$$M1 = (0,85 \times 357 \times 9,2 \times 40) \times (75,85 - \frac{9,2}{2}) = 7945862 \text{ kgcm}$$

$$= 79,46 \text{ Tm}$$

$$M2 = Asd \times fs \times (h' - d') = 14,726 \times 2501,98 \times (75,85 - 6,65)$$

$$= 2469930,15 \text{ kgcm} = 24,7 \text{ Tm}$$

$$Mn = M1 + M2 = 79,46 + 24,7 = 104,16 \text{ Tm}$$

$$Mt = \phi \times Mn = 0,9 \times 104,16 = 93,74 \text{ tm}$$

$$93,74 \text{ Tm} > 58,617 \text{ Tm} \quad (\text{Desain Tulangan } M^- \text{ Aman})$$

#### 6. Momen Positif

Susunan tulangan pada balok yang menahan momen positif yaitu pada tulangan atas digunakan  $n_t = 3$  dengan luas tulangannya  $A_{st} = 14,726 \text{ cm}^2$ .

Sedangkan pada tulangan bawah digunakan  $n_d = 6$  dengan luas tulangannya  $A_{sd} = 34,361 \text{ cm}^2$ . Kemudian dengan menggunakan persamaan keseimbangan

gaya-gaya yang baru yaitu  $C_c + T_s2 = A_{sd} \times f_y$ , dimana nilai  $C_c = 0,85 \times f_c \times a \times b$  sedangkan nilai  $T_s2 = A_{st} \times \frac{a - \beta_1 \times d}{a} \times \epsilon_{cu} \times E_s$ . Maka akan dihasilkan

persamaan kuadrat sebagai berikut.

$$0,85 \times f_c \times a \times b + A_{st} \times \frac{a - \beta_1 \times d}{a} \times \epsilon_{cu} \times E_s = A_{sd} \times f_y$$

$$\text{Pembagi} = 0,85 \times f_c \times b = 0,85 \times 357 \times 40 = 12138 \text{ kg/cm}$$

$$a = \frac{0,85 \times f_c \times b}{0,85 \times f_c \times b} = 1$$

$$b = - \frac{A_{sd} \times \epsilon_{cu} \times E_s - A_{st} \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = - \frac{34,361 \times 0,003 \times 2100000 - 14,726 \times 4284}{12138} = 12,63$$

$$c = \frac{A_{sd} \times 0,85 \times d \times \epsilon_{cu} \times E_s}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{34,361 \times 0,85 \times 9,15 \times 0,003 \times 2100000}{12138} = -138,7$$

$$a_{1,2} = \frac{-(12,63) \pm \sqrt{(12,63)^2 - 4 \cdot (1) \cdot (-138,7)}}{2 \cdot (1)}$$

Dari persamaan tersebut didapatkan  $a_1 = 7,05$  cm dan  $a_2 = -19,7$  cm. Maka dipakai  $a_{pakai} = 7,05$  cm

$$c = \frac{7,05}{0,85} = 8,29 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{c-d}{c} \times \varepsilon_{cu} = \frac{8,29-9,15}{8,29} \times 0,003 = -0,0003$$

$-0,0003 < 0,00204$  (Tulangan desak belum leleh)

$$f_s = \varepsilon_s' \times E_s = -0,0003 \times 2100000 = -653,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{cu} \times \frac{h^+ - c}{c} = 0,003 \times \frac{78,35 - 8,29}{8,29} = 0,0253$$

Maka berdasarkan Gambar 5.25 nilai  $\phi$  yaitu 0,9

$$M_1 = (0,85 \times 357 \times 7,05 \times 40) \times \left(78,35 - \frac{7,05}{2}\right) = 6400221,1 \text{ kgcm} = 64 \text{ Tm}$$

$$M_2 = 34,361 \times (-653,3) \times (78,35 - 9,15) = -1553327 \text{ kgcm} = -15,53 \text{ Tm}$$

$$M_n = M_1 + M_2 = 64 + (-15,53) = 48,5 \text{ Tm}$$

$$M_t = \phi \times M_n = 0,9 \times 48,5 = 43,62 \text{ tm}$$

$$43,62 \text{ Tm} > 29,308 \text{ Tm} \quad (\text{Desain Tulangan } M^+ \text{ Aman})$$

## 7. Momen Kapasitas Negatif

Pada analisis momen kapasitas negatif ini menggunakan konfigurasi tulangan yang sama pada point ke 5 pembahasan momen negatif sebelumnya yaitu tulangan atas  $n_t = 7$ , sedangkan tulangan bawah  $n_d = 3$ . Kemudian karena nilai  $f_y = 420 \text{ MPa} > 400 \text{ MPa}$ , maka  $\phi_o = 1,4$ . Pada perhitungan analisis momen kapasitas negatif ini tulangan desak dianggap sudah leleh. Sehingga dihasilkan persamaan keseimbangan gaya-gaya sebagai berikut.

$$(A_s t \times f_y \times \phi_o = 0,85 \times f_c \times a \times b + A_s d \times f_y)$$

$$a = \frac{(A_s t \times \phi_o - A_s d) \times f_y}{0,85 \times f_c \times a \times b}$$

$$= \frac{(34,361 \times 1,4 - 14,726) \times 4284}{0,85 \times 357 \times 40} = 11,78 \text{ cm}$$

$$c = \frac{11,78}{0,85} = 13,86 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{13,86 - 6,65}{13,86} \times 0,003 = 0,0016$$

0,0016 < 0,00204 (Tulangan desak belum leleh)

Bila tulangan desak belum leleh, maka dicari kembali nilai  $a$  menggunakan persamaan berikut.

$$0,85 \times f_c \times a \times b + A_s d \times \frac{a - \beta_1 \times d'}{a} \times \varepsilon_{cu} \times E_s = A_s \times f_y \times \phi_o$$

$$\text{Pembagi} = 0,85 \times f_c \times b = 0,85 \times 357 \times 40 = 12138 \text{ kg/cm}$$

$$a = \frac{0,85 \times f_c \times b}{0,85 \times f_c \times b} = 1$$

$$b = - \frac{A_s d \times \varepsilon_{cu} \times E_s - A_s \times f_y \times \phi_o}{0,85 \times f_c \times b}$$

$$= - \frac{14,726 \times 0,003 \times 2100000 - 34,361 \times 4284}{12138} = -9,33$$

$$c = \frac{A_s d \times 0,85 \times d' \times \varepsilon_{cu} \times E_s}{0,85 \times f_c \times b}$$

$$= \frac{14,726 \times 0,85 \times 6,65 \times 0,003 \times 2100000}{12138} = -43,2$$

$$a_{1,2} = \frac{-(-9,33) \pm \sqrt{(-9,33)^2 - 4 \cdot (1) \cdot (-43,2)}}{2 \cdot (1)}$$

Dari persamaan tersebut didapatkan  $a_1 = 12,7$  cm dan  $a_2 = -3,29$  cm. Sehingga dipakai  $a_{pakai} = 12,7$  cm

$$c = \frac{12,7}{0,85} = 14,97 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{14,97 - 6,65}{14,97} \times 0,003 = 0,00167$$

0,00167 < 0,00204 (Tulangan desak belum leleh)

$$f_s = \varepsilon_s' \times E_s = 0,00167 \times 2100000 = 3502,4 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_s = A_s d \times f_s = 14,726 \times 3502,4 = 51577,6 \text{ kg}$$

$$C_c = 0,85 \times 357 \times 12,7 \times 40 = 154507 \text{ kg}$$

$$T_s = A_{st} \times f_y \times \phi_o = 29,452 \times 4284 \times 1,4 = 206084 \text{ kg}$$

Apabila dilakukan kontrol keseimbangan gaya yaitu :  $C_c + C_s - T_s = 0$ , maka dihasilkan  $154507 + 51577 - 206084 = 0$ . Dimana hasil nilai sesuai dengan hasil keseimbangan gaya yaitu bernilai akhir 0, sehingga kontrol keseimbangan dinyatakan sesuai.

$$M_1 = 154507 \times \left(75,85 - \frac{12,7}{2}\right) = 10735977,4 \text{ kgcm} = 107,36 \text{ Tm}$$

$$M_2 = 51577 \times (75,85 - 6,65) = 3569170,4 \text{ kgcm} = 35,7 \text{ Tm}$$

$$M_{kap}^- = M_1 + M_2 = 107,36 + 35,7 = 143,05 \text{ tm}$$

$$M_{kap}/M_n = \frac{M_{kap}}{M_n} = \frac{143,03}{104,16} = 1,37$$

#### 8. Momen Kapasitas Positif

Pada perhitungan analisis momen kapasitas positif ini akan menggunakan konfigurasi tulangan yang serupa dimana tulangan atas digunakan  $n_t = 3$  sedangkan pada tulangan bawah digunakan  $n_d = 7$ . Kemudian didapatkan nilai  $\phi_o = 1,4$ . Pada analisis momen kapasitas positif tulangan desak umumnya belum leleh, sehingga persamaan keseimbangan gaya-gaya akan sebagai berikut.

$$0,85 \times f_c \times a \times b + A_{sd} \times \frac{a - \beta_1 \times d}{a} \times \epsilon_{cu} \times E_s = A_{st} \times f_y \times \phi_o$$

$$\text{Pembagi} = 0,85 \times f_c \times b = 0,85 \times 357 \times 40 = 12138 \text{ kg/cm}$$

$$a = 1$$

$$b = - \frac{34,361 \times 0,003 \times 2100000 - 14,726 \times 4284}{12138} = 10,56$$

$$c = \frac{34,361 \times 0,85 \times 9,15 \times 0,003 \times 2100000}{12138} = -138,7$$

$$a_{1,2} = \frac{-(10,56) \pm \sqrt{(10,56)^2 - 4 \cdot (1) \cdot (-138,7)}}{2 \cdot (1)}$$

Dari persamaan tersebut dihasilkan  $a_1 = 7,63 \text{ cm}$  dan  $a_2 = -18,07 \text{ cm}$ .

Sehingga dipakai  $a_{pakai} = 7,63 \text{ cm}$ .

$$c = \frac{7,63}{0,85} = 8,97 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{8,834 - 9,15}{8,834} \times 0,003 = -0,00006$$

$$-0,00006 < 0,00204 \quad (\text{Tulangan desak belum leleh})$$

$$f_s = -0,00006 \times 2100000 = -123,96 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_s = 34,361 \times (-123,96) = -4259,6 \text{ kg}$$

$$C_c = 0,85 \times 357 \times 7,63 \times 40 = 92582 \text{ kg}$$

$$T_s = A_{st} \times f_y \times \phi_o = 14,726 \times 4284 \times 1,4 = 88321,95 \text{ kg}$$

Apabila dilakukan kontrol keseimbangan gaya yaitu :  $C_c + C_s - T_s = 0$  dengan nilainya yaitu  $92582 + (-4259,6) - 88321,95 = 0$ . Dimana hasil nilai sesuai dengan hasil keseimbangan gaya yaitu bernilai akhir 0, sehingga kontrol keseimbangan dinyatakan sesuai.

$$M_1 = 92582 \times \left(78,35 - \frac{7,63}{2}\right) = 6900686 \text{ kgcm} = 69 \text{ Tm}$$

$$M_2 = (-4259,6) \times (78,35 - 9,15) = -294765 \text{ kgcm} = -2,9 \text{ Tm}$$

$$M_{kap}^+ = M_1 + M_2 = 69 + (-2,9) = 66,06 \text{ tm}$$

$$M_{kap}^+ / M_n = \frac{M_{kap}}{M_n} = \frac{66,06}{48,47} = 1,36$$

#### 9. Tulangan Daerah Lapangan

$$Mu^+ = \frac{Mu^-}{4} = \frac{58,617}{4} = 14,65 \text{ Tm}$$

$$Mu^+ = 29,308 \text{ Tm}$$

Maka digunakan  $Mu^+ = 29,308 \text{ Tm}$  dengan nilai  $Mn^+ = 32,565 \text{ Tm}$ . Pada daerah lapangan ini tulangan atas balok digunakan  $n_t = 3$  sedangkan tulangan bawah digunakan  $n_d = 3$ . Kemudian menggunakan prosedur yang serupa dengan desain tulangan momen positif, maka didapatkan

$$M_n = 48,34 \text{ Tm}$$

$$M_t = \phi \times M_n = 0,9 \times 48,34 = 43,504 \text{ tm}$$

$$43,504 \text{ Tm} > 29,308 \text{ Tm} \quad (\text{Desain Tulangan Aman})$$

#### 10. Gaya Geser Ultimate dan Nominal Akibat Beban Gravitasi

Hasil analisis struktur dengan program didapatkan nilai gaya geser diakibatkan oleh beban mati  $V_{D,1} = 11,75 \text{ T (-)}$  dan  $V_{D,2} = 11,67 \text{ T}$ . Sedangkan gaya geser yang diakibatkan oleh beban hidup yaitu  $V_{L,1} = 2,33 \text{ T (-)}$  dan  $V_{L,2} = 2,32 \text{ T}$ . Angka 1 pada  $V_{D,1}$  bermaksud titik *offset* 0,5 dari sumbu kolom, sedangkan angka 2 pada  $V_{D,2}$  bermaksud titik *offset* dari sumbu kolom, sementara itu, panjang bersih balok adalah 8 m, dari sumbu kolom ke sumbu kolom. Sehingga gaya geser ultimate yaitu

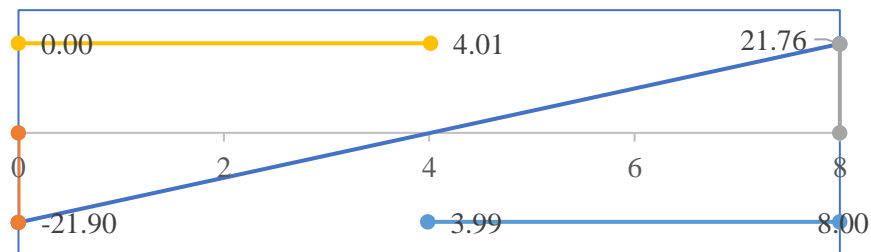
$$V_{u,1} = 1,2 \times V_{D,1} + V_{L,1} = 1,2 \times 11,75 + 2,33 = 16,43 \text{ T}$$

$$V_{u,2} = 1,2 \times 11,67 + 2,32 = 16,32 \text{ T}$$

$$V_{n,1} = \frac{V_{u,1}}{\phi} = \frac{16,43}{0,75} = 21,904 \text{ T (-)}$$

$$V_{n,2} = \frac{16,32}{0,75} = 21,76 \text{ T}$$

Grafik gaya geser gravitasi ditampilkan ke dalam Gambar 5.26 berikut.



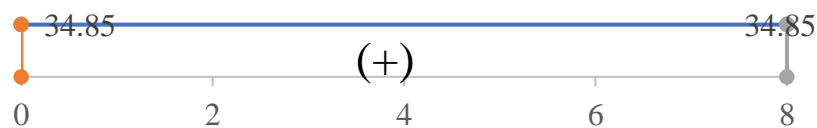
**Gambar 5.26 Gaya Geser Gravitasi**

#### 11. Gaya Geser Ultimate dan Nominal Akibat Beban Gempa

$$V_{E,1} = V_{E,2} = \frac{M_{kap}^+ + M_{kap}^-}{L} = \frac{66,06 + 143,05}{8} = 26,14 \text{ T}$$

$$V_{n,E} = \frac{V_E}{\phi} = \frac{26,14}{0,75} = 34,85 \text{ T}$$

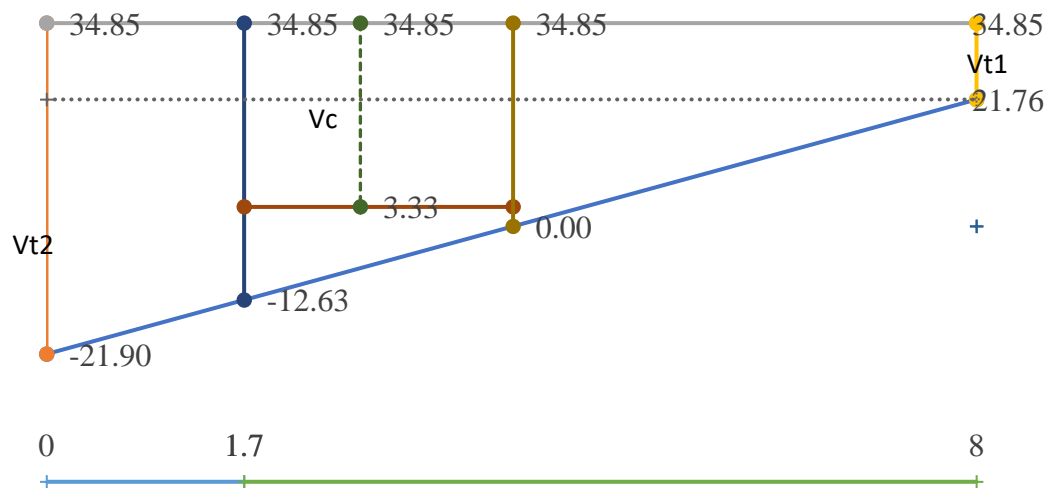
Grafik gaya geser gempa akan tampak seperti pada Gambar 5.27 berikut.



**Gambar 5.27 Gaya Geser Gempa**

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \times b \times h^+ = \frac{1}{6} \sqrt{35} \times 400 \times 78,55 \\
 &= 309805,4 \text{ N} && = 31,52 \text{ T} \\
 V_{t,1} &= V_{n,E} - V_{n,1} = 34,85 - 21,904 && = 12,95 \text{ T} \\
 V_{t,2} &= -34,85 - 21,76 && = -56,61 \text{ T} \\
 V_{n2} &= V_{t,1} + \frac{L-L_s}{L} \times (V_{t,2} - V_{t,1}) = 12,95 + \frac{8-1,7}{8} \times (56,61 - 12,95) = 47,33 \text{ T}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan  $V_{n2}$  terdapat notasi  $L_s$  yang bermakna panjang sendi plastis. Maka gaya lintang gabungan antara gravitasi dengan gempa akan tampak sebagaimana Gambar 5.28 berikut ini.



**Gambar 5.28 Gaya Geser Total**

Dari Gambar 5.28 dapat terlihat bahwa panjang bersih balok yaitu 8 m dan panjang daerah sendi balok yaitu 1,7 m. Lalu pada daerah sendi terlihat bahwa gaya geser selain ditahan oleh sengkang, juga ditahan oleh beton itu sendiri.

## 12. Desain Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis

$$\frac{V_G}{\phi} < \frac{V_E}{\phi}, \text{ maka } V_c = 0. \text{ Dengan nilai yaitu } \frac{V_G}{\phi} = 21,76 < \frac{V_E}{\phi} = 34,85, \text{ maka}$$

$V_c$  dapat dianggap bernilai 0.

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = (21,76 + 34,85) - 0 = 56,61 \text{ T} = 55499,16 \text{ kg}$$



Dipakai kaki = 3, maka  $A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 1,4^2 \times 3 = 3,29 \text{ cm}^2$

$$S = \frac{A_v \times F_{ys} \times h^-}{V_s} = \frac{3,29 \times 3060 \times 75,85}{55499,16} = 13,79 \text{ cm}$$

Cek syarat s yang pertama  $S < h^-/4 = s < 75,85/4 = 18,96 \text{ cm}$ . Kedua  $S < 6D_s = s < 6(1,2) = 15 \text{ cm}$ . Ketiga  $S < 15 \text{ cm}$ . Maka dipakai Spakai= 10 cm.

$$V_s \text{ baru} = \frac{A_v \times F_{ys} \times h^-}{s} = \frac{3,29 \times 3060 \times 75,85}{10} = 76562,5 \text{ kg} = 78,09 \text{ T}$$

$$V_{s, \text{ desain}} = 78,09 \text{ T} > V_s = 56,61 \text{ T}$$

Maka desain tulangan geser pada daerah sendi dengan menggunakan tulangan 3D14 – 100mm dinyatakan aman.

### 13. Desain Tulangan Geser Daerah Lapangan

$$V_{n2} = 47,33 \text{ T}$$

$$V_s = V_{n2} - V_c = 47,33 - 31,52 = 15,81 \text{ T} = 15501,3 \text{ kg}$$

Dipakai kaki = 3, sehingga luas tulangan geser  $A_v = 3,29 \text{ cm}^2$

$$S = \frac{A_v \times F_{ys} \times h^-}{V_s} = \frac{3,29 \times 3060 \times 75,85}{15501,3} = 49,39 \text{ cm}$$

Dipakai  $s = 35 \text{ cm}$ . Kemudian cek syarat s yaitu  $S < h^-/2 = 15 < 75,85/2 = 33,025$ . Maka syarat s dinyatakan sesuai.

$$V_s \text{ baru} = \frac{A_v \times F_{ys} \times h^-}{s} = \frac{3,29 \times 3060 \times 75,85}{35} = 21875 \text{ kg} = 22,312 \text{ T}$$

$$V_{s, \text{ desain}} = 22,312 \text{ T} > V_s = 15,81 \text{ T}$$

Desain tulangan geser pada daerah lapangan dengan tulangan 3D14 – 350mm dinyatakan aman

### 14. Rekap Tulangan Balok

Rekapitulasi hasil desain tulangan balok baik tulangan longitudinal maupun tulangan transversal pada model 3D dan 2D akan ditampilkan pada Lampiran 19 dan Lampiran 20 .

## 5.6.3 Kolom

Pada desain kolom tulangan longitudinal akan diambil contoh pada kolom tingkat 1 dengan posisi kolom di tengah bangunan. Maka perhitungan desain tulangan kolom dilakukan sebagaimana berikut.

### 1. Tulangan Longitudinal

a. Data Desain

Pada desain kolom menggunakan mutu beton dan baja yang serupa dengan balok yaitu pada beton memiliki tegangan tekan beton sebesar  $F'_c = 35 \text{ MPa}$  ( $357 \text{ kg/cm}^2$ ). Baja tulangan pokok yang digunakan memiliki tegangan leleh baja  $F_y = 420 \text{ MPa}$  ( $4284 \text{ kg/cm}^2$ ), sedangkan baja tulangan sengkang memiliki tegangan leleh baja sebesar  $300 \text{ MPa}$  ( $3060 \text{ kg/cm}^2$ ). Modulus elastisitas baja adalah  $E_s = 200000 \text{ MPa}$  ( $2100000 \text{ kg/cm}^2$ ). Kemudian nilai  $\beta = 0,85$ . Diameter tulangan pokok  $D_p = 2,9 \text{ cm}$  sedangkan diameter tulangan sengkang  $D_s = 1 \text{ cm}$ . Selimut beton digunakan  $S_b = 4 \text{ cm}$ . Regangan ultimate beton adalah  $\epsilon_{cu} = 0,003$ . Tinggi kolom diambil sebesar  $h_k = 100 \text{ cm}$  serta lebar kolom sebesar  $100 \text{ cm}$ .

$$d' = s_b + D_s + 0,5 \times D_p = 4 + 1 + 0,5 \times 2,9 = 6,45 \text{ cm}$$

$$h = h_k - d = 100 - 6,45 = 93,55 \text{ cm}$$

$$A_d = 0,25 \times \pi \times D_p^2 = 0,25 \times \pi \times 2,9^2 = 6,505 \text{ cm}^2$$

$$\text{Jumlah tul. 1-sisi } n = 8$$

$$A_s = n \times A_s' = 8 \times 4,909 = 52,815 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = A_s + A_s' = 52,815 + 52,815 = 105,63 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{A_{st}}{b \times h} \times 100\% = \frac{105,63}{100 \times 93,55} \times 100\% = 1,129 \%$$

$$s = \frac{b - 2x(S_b + D_s) - nx D_p}{n - 1} = \frac{100 - 2x(4 + 1) - 8x2,9}{8 - 1} = 9,543 \text{ cm}$$

$$m = \frac{F_y}{0,85 \times F'_c} = \frac{4284}{0,85 \times 357} = 14,118$$

$$\rho_b = \frac{\beta_1}{m} \times \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} \times \epsilon_s} = \frac{0,85}{14,118} \times \frac{0,003}{0,003 \times 0,00204} = 3,58 \%$$

b. Kolom Dengan Beban Sentris

$$\begin{aligned} P_{n0} &= (0,85 \times f'_c \times b \times h_k) + A_{st} \times (f_y - 0,85 \times f'_c) \\ &= (0,85 \times 357 \times 100 \times 100) + 105,63 \times (4284 - 0,85 \times 357) \\ &= 3454963,9 \text{ kg} = 3454,964 \text{ T} \end{aligned}$$

$$P_{u0} = \phi \times P_{n0} = 0,65 \times 3454,964 = 2245,726 \text{ T}$$

c. Kondisi Balance

$$\begin{aligned}
 C_b &= \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} \times \epsilon_s} \times h = \frac{0,003}{0,003 \times 0,00204} \times 93,55 = 55,684 \text{ cm} \\
 ab &= \beta_1 \times C_b = 0,85 \times 55,684 = 47,332 \text{ cm} \\
 \epsilon_s' &= \frac{cb-d}{cb} \times \epsilon_{cu} = \frac{55,684-6,45}{55,684} \times 0,003 = 0,00265 \\
 \epsilon_t &= \frac{h-cb}{cb} \times \epsilon_{cu} = \frac{93,55-55,684}{55,684} \times 0,003 = 0,00204
 \end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\epsilon_t$  bernilai 0,00204 dimana nilai tersebut lebih besar dari 0,002 sehingga nilai  $\phi$  harus dihitung sesuai persamaan berikut.

$$\phi = 0,65 + (0,00204 - 0,002) \times \frac{250}{3} = 0,653$$

Maka nilai  $P_{u0}$  menggunakan nilai  $\phi$  yang baru yaitu

$$\begin{aligned}
 P_{u0} &= \phi \times P_{n0} = 0,653 \times 3454,964 = 2257,243 \text{ T} \\
 C_c &= (0,85 \times 357 \times 100 \times 47,332) = 1436284,844 \text{ Kg} \\
 C_s &= 52,815 \times (4284 - 0,85 \times 357) = 210231,952 \text{ Kg} \\
 T_s &= A_s \times f_y = 52,815 \times 4284 = 226528,603 \text{ Kg} \\
 P_{nb} &= C_c + C_s - T_s = 1436284,844 + 210231,952 - 226528,603 \\
 &= 1420258,193 \text{ kg} = 1420,258 \text{ T} \\
 P_{ub} &= \phi \times P_{nb} = 0,65 \times 1420,258 = 923,168 \text{ T} \\
 C_c \times \left(\frac{hk}{2} - \frac{ab}{2}\right) &= 1436284,844 \times \left(\frac{93,55}{2} - \frac{47,332}{2}\right) \\
 &= 37823236,22 \text{ kg.cm} = 378,232 \text{ Tm} \\
 C_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) &= 210231,952 \times \left(\frac{93,55}{2} - 6,45\right) \\
 &= 9155601,516 \text{ kg.cm} = 91,556 \text{ Tm} \\
 T_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) &= 226528,603 \times \left(\frac{93,55}{2} - 6,45\right) \\
 &= 9853562,169 \text{ kg.cm} = 98,536 \text{ Tm} \\
 P_b \times e_b &= C_c \times \left(\frac{hk}{2} - \frac{ab}{2}\right) + C_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) + T_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) \\
 &= 378,232 + 91,556 + 98,536 = 568,324 \text{ Tm} \\
 M_{nb} &= P_b \times e_b = 568,324 \text{ Tm} \\
 e_b &= \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{568,324}{1420,258} = 0,40015 \text{ m} = 40,015 \text{ cm} \\
 M_{ub} &= \phi \times M_{nb} = 0,653 \times 568,324 = 371,305 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

d. Kondisi Patah Desak ( $c > cb$ )

$$C1 = 1,2$$

Diasumsikan tulangan baja tarik belum leleh

$$C = C1 \times Cb = 1,2 \times 55,684 = 66,821 \text{ cm}$$

$$a = 0,85 \times 66,821 = 56,798 \text{ cm}$$

$$\epsilon_s' = \frac{c-d}{c} \times \epsilon_{cu} = \frac{66,821-6,45}{66,821} \times 0,003 = 0,00271$$

$$\epsilon_t = \frac{h-c}{c} \times \epsilon_{cu} = \frac{93,55-66,821}{66,821} \times 0,003 = 0,0012$$

Didapatkan bahwa  $\epsilon_t$  bernilai 0,0012 dimana nilai tersebut kurang dari 0,002 sehingga  $\phi$  bernilai 0,65

$$f_s = \epsilon_s' \times E_s = 0,0012 \times 2100000 = 2520 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c = (0,85 \times 357 \times 100 \times 56,798) = 1723541,813 \text{ Kg}$$

$$C_s = A_s' \times (f_y - 0,85 \times f'c) = 210231,952 \text{ Kg}$$

$$T_s = A_s \times f_s = 52,815 \times 2520 = 133093,296 \text{ Kg}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s = 1723541,813 + 210231,952 - 133093,296 \\ = 1800680,47 \text{ kg} = 1800,68 \text{ T}$$

$$\frac{P_n}{P_{nb}} = \frac{1800,68}{1420,258} = 1,268$$

$$P_u = \phi \times P_n = 0,65 \times 1800,68 = 1170,442 \text{ Tm}$$

$$C_c \times \left(\frac{hk}{2} - \frac{a}{2}\right) = 1723541,813 \times \left(\frac{93,55}{2} - \frac{56,798}{2}\right) = 372,3 \text{ Tm}$$

$$C_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) = 91,556 \text{ Tm}$$

$$T_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) = 133093,296 \times \left(\frac{93,55}{2} - 6,45\right) = 57,962 \text{ Tm}$$

$$M_n = C_c \times \left(\frac{hk}{2} - \frac{ab}{2}\right) + C_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) + T_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) \\ = 372,3 + 91,556 + 57,962 = 521,819 \text{ Tm}$$

$$e = \frac{521,819}{1800,68} = 0,2898 \text{ m} = 28,98 \text{ cm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,65 \times 521,819 = 339,182 \text{ Tm}$$

e. Kondisi Patah Tarik ( $c < cb$ )

$$C2 = 0,9$$

Diasumsikan tulangan baja tarik belum leleh

$$C = C_2 \times C_b = 0,9 \times 55,684 = 50,116 \text{ cm}$$

$$a = 0,85 \times 50,116 = 42,599 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_s' = \frac{c-d}{c} \times \varepsilon_{cu} = \frac{50,116-6,45}{50,116} \times 0,003 = 0,00261$$

$$\varepsilon_t = \frac{h-c}{c} \times \varepsilon_{cu} = \frac{93,55-50,116}{50,116} \times 0,003 = 0,0026$$

Didapatkan bahwa  $\varepsilon_t$  bernilai 0,00204 dimana nilai tersebut lebih besar dari 0,002 sehingga nilai  $\phi$  harus dihitung sesuai persamaan berikut.

$$\phi = 0,65 + (0,0026 - 0,002) \times \frac{250}{3} = 0,7$$

$$C_c = (0,85 \times 357 \times 100 \times 42,599) = 1292656,36 \text{ Kg}$$

$$C_s = A_s' \times (f_y - 0,85 \times f_c) = 210231,952 \text{ Kg}$$

$$T_s = A_s \times f_y = 52,815 \times 4284 = 226258,603 \text{ Kg}$$

$$P_n = C_c + C_s - T_s = 1292656,36 + 210231,952 - 226258,603 \\ = 1276629,71 \text{ kg} = 1276,63 \text{ T}$$

$$\frac{P_n}{P_{nb}} = \frac{1276,63}{1420,258} = 0,893$$

$$P_u = \phi \times P_n = 0,7 \times 1276,63 = 893,641 \text{ Tm}$$

$$C_c \times \left(\frac{hk}{2} - \frac{a}{2}\right) = 1292656,36 \times \left(\frac{93,55}{2} - \frac{42,599}{2}\right) = 371 \text{ Tm}$$

$$C_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) = 91,556 \text{ Tm}$$

$$T_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) = 226258,603 \times \left(\frac{93,55}{2} - 6,45\right) = 98,535 \text{ Tm}$$

$$M_n = C_c \times \left(\frac{hk}{2} - \frac{ab}{2}\right) + C_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) + T_s \times \left(\frac{hk}{2} - d\right) \\ = 371 + 91,556 + 98,535 = 561,093 \text{ Tm}$$

$$e = \frac{561,093}{1276,63} = 0,4395 \text{ m} = 43,95 \text{ cm}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,7 \times 561,093 = 392,765 \text{ Tm}$$

f. Kondisi P=0

$$0,85 \times f_c \times a \times b + A_s \times \frac{a - \beta_1 \times d}{a} \times \varepsilon_{cu} \times E_s = A_s \times f_y$$

$$\text{Pembagi} = 0,85 \times f_c \times b = 0,85 \times 357 \times 100 = 30345 \text{ kg/cm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{a} &= \frac{0,85 \times f_c \times b}{0,85 \times f_c \times b} = 1 \\
 \text{b} &= \frac{A_s \times \epsilon_{cu} \times E_s - A_s \times F_y}{0,85 \times f_c \times b} \\
 &= \frac{52,815 \times 0,003 \times 2100000 - 52,815 \times 4284}{30345} = 3,509 \\
 \text{c} &= - \frac{A_s \times 0,85 \times d \times \epsilon_{cu} \times E_s}{0,85 \times f_c \times b} \\
 &= - \frac{52,815 \times 0,85 \times 6,45 \times 0,003 \times 2100000}{30345} = -60,116 \\
 a_{1,2} &= \frac{-(3,509) \pm \sqrt{(3,509)^2 - 4 \cdot (1) \cdot (-60,116)}}{2 \cdot (1)}
 \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai  $a_1 = 6,195$  cm dan  $a_2 = -9,704$  cm. Maka dipakai  $a_{pakai} = 6,195$  cm

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{0,85} = \frac{6,195}{0,85} = 7,288 \text{ cm} \\
 \epsilon_s' &= \frac{7,288 - 6,45}{7,288} \times 0,003 = 0,00034
 \end{aligned}$$

$0,00034 < 0,00204$  (Tulangan desak belum leleh)

$$f_s = \epsilon_s' \times E_s = 0,00034 \times 2100000 = 724,611 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_c \times \left( \frac{hk}{2} - \frac{a}{2} \right) = 0,85 \times 357 \times 100 \times 6,195 \times \left( \frac{93,55}{2} - \frac{6,195}{2} \right) = 170,04 \text{ Tm}$$

$$C_s \times \left( \frac{hk}{2} - d \right) = 52,815 \times 724,611 \times \left( \frac{93,55}{2} - 6,45 \right) = 33,333 \text{ Tm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \times \left( \frac{hk}{2} - \frac{ab}{2} \right) + C_s \times \left( \frac{hk}{2} - d \right) \\
 &= 170,04 + 33,333 = 203,373 \text{ Tm}
 \end{aligned}$$

$$M_u = \phi \times M_n = 0,8 \times 203,373 = 162,699 \text{ Tm}$$

g. Kondisi Tarik Murni

$$T = A_s \times f_y = 52,815 \times 4284 = 452,517 \text{ T}$$

h. Rekapitulasi Data Mn-Pn Kolom tingkat 1 Jumlah Tulangan -8

Pada Tabel 5.10 berikut ini merupakan data rekapitulasi dari hasil perhitungan Mn-Pn Kolom tingkat 1 yang telah lalu.

**Tabel 5.10 Rekapitulasi Mn-Pn Kolom tingkat 1**

	Mn (tm)	Pn (t)
Desak Sentris	0	3454.964
c = 1.5cb	421.360	2324.731
c = 1.4cb	459.712	2154.484
c = 1.3cb	493.05	1980.142
c = 1.2cb	521.818	1800.68
Balance	568.324	1420.258
c = 0.9cb	561.093	1276.63
c = 0.8cb	547.063	1133.001
c = 0.7cb	526.23	989.373
c = 0.6cb	498.609	845.744
Lentur Murni	203.373	0
Tarik Murni	0	-452.517

- i. *Input* data hasil analisis ETABS pada diagram interaksi Mn-Pn

Dari hasil analisis ETABS didapatkan  $M_u = 169,03$  Tm dan  $P_u = 1677$  T. Kemudian nilai  $M_u$  dan  $P_u$  tersebut akan dikalikan dengan faktor skala sebagaimana pada desain balok yang telah lalu. Maka  $M_u$  dan  $P_u$  yang baru akan sebagaimana berikut.

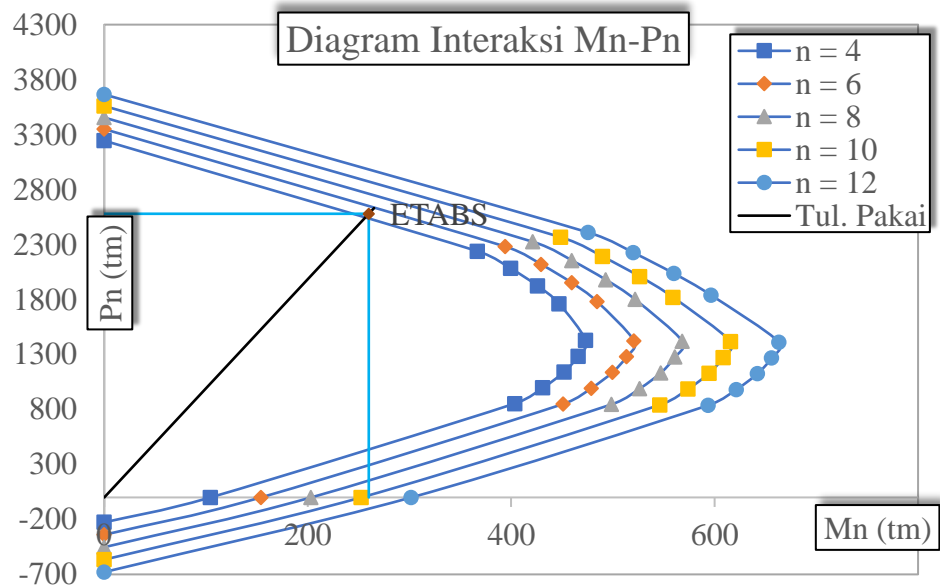
$$M_u = SF \times M_u = 1 \times 169,03 = 169,03 \text{ Tm}$$

$$P_u = SF \times P_u = 1 \times 1677 = 1677 \text{ T}$$

$$M_n = M_u / \phi = 169,03 / 0,65 = 260,04 \text{ Tm}$$

$$P_n = P_u / \phi = 1677 / 0,65 = 2579,83 \text{ T}$$

Sehingga apabila nilai  $M_n$  dan  $P_n$  hasil dari ETABS tersebut kita *input* ke dalam diagram interaksi Mn-Pn akan tampak sebagaimana pada Gambar 5.29 berikut.



**Gambar 5.29 Diagram Interaksi Mn-Pn**

Berdasarkan pada Gambar 5.29 dapat diketahui bahwa nilai Mn-Pn pada ETABS berada pada titik di luar diagram interaksi jumlah tulangan 6, sehingga tulangan longitudinal pada kolom tingkat 1 ini dapat digunakan jumlah tulangan  $n = 6$  (6D29) dengan rasio 1,69%, dimana rasio tersebut lebih besar dari rasio minimum yaitu 1%. Kemudian apabila ditarik garis diagonal yang memotong antara titik Mn-Pn dari ETABS lalu ke diagram interaksi  $n = 6$ , maka akan didapatkan Mn dan Pn desain yaitu  $Mn = 274,34 \text{ Tm}$  dan  $Pn = 2721,72 \text{ T}$ .

j. Cek *Strong Column Weak Beam*

$$\sum M_{nc} (\text{kolom}) = 274,34 + 274,34 = 548,69 \text{ Tm}$$

$$\sum M_{nb} (\text{balok}) = 48,47 + 104,76 = 152,63 \text{ Tm}$$

$$\frac{\sum M_{nc}}{\sum M_{nb}} = \frac{548,69}{156,23} = 3,59 > 1,2$$

Maka didapatkan bahwa nilai  $\sum M_{nc} / \sum M_{nb}$  bernilai 3,59 dimana bernilai lebih besar dari 1,2 sehingga cek *strong column weak beam* dinyatakan aman. Perhitungan selengkapnya dapat dilihat di Lampiran 23.

2. Tulangan Transversal

a. Tulangan transversal pada daerah sendi paling dasar

$$P_u = 1677 \text{ T} = 1676888 \text{ Kg}$$



$$\begin{aligned}
A_s &= 1/4 \times \pi \times D_s^2 = 0,25 \times \pi \times 1^2 &= 0,785 \text{ cm}^2 \\
4D &= 4 \times A_s = 4 \times 0,75 &= 3,141 \text{ cm}^2 \\
A_g &= H_k \times B_k = 100 \times 100 &= 10000 \text{ cm}^2 \\
A_{ch} &= \frac{H_k - S_b \times 2}{B_k - S_b \times 2} = \frac{100 - 4 \times 2}{100 - 4 \times 2} &= 8464 \text{ cm}^2 \\
bc &= B_k - s_b \times 2 - D_s = 100 - 4 \times 2 - 1 &= 91 \text{ cm} \\
hc &= 100 - 4 \times 2 - 1 &= 91 \text{ cm} \\
\frac{P_u}{A_g \times f'_c} &= \frac{1676888}{10000 \times 357} &= 0,47
\end{aligned}$$

Didapatkan bahwa  $\frac{P_u}{A_g \times f'_c}$  bernilai 0,47 dimana nilai tersebut lebih besar

dari 0,3, sehingga  $A_{sh/s}$  diambil nilai terbesar dari 3 persamaan berikut pada (3.119), (3.120), dan (3.121).

$$\frac{A_{sh}}{s},1 = 0,3 \times \left\{ \frac{91 \times 357}{3060} \right\} \left\{ \frac{10000}{8464} - 1 \right\} = 5,78 \text{ mm}$$

$$\frac{A_{sh}}{s},2 = 0,09 \times \left\{ 91 \times \frac{357}{3060} \right\} = 9,55 \text{ mm}$$

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 = \frac{357}{175} + 0,6 = 0,8 < 1$$

Dikarenakan  $k_f$  memiliki nilai di bawah 1, maka nilai  $k_f$  akan menggunakan nilai 1. Berdasarkan hasil desain tulangan longitudinal didapatkan bahwa jumlah total tulangan  $n_1 = 24$ . Maka nilai  $k_n$  yaitu:

$$k_n = \frac{n_1}{n_1 - 2} = \frac{18}{18 - 2} = 1,125$$

$$\frac{A_{sh}}{s},3 = 0,2 \times 1 \times 1,125 \times \left\{ \frac{910 \times 1676888}{3060 \times 8464} \right\} = 13,26 \text{ mm}$$

Maka didapatkan nilai  $\frac{A_{sh}}{s}$  yaitu bernilai 13,26 mm. Kemudian

diasumsikan jarak antar sengkang  $s = 100 \text{ mm}$ , sehingga  $A_{sh} = 13,26 \times 100 = 1326 \text{ mm}^2 = 13,26 \text{ cm}^2$ . Kemudian digunakan tulangan sengkang dengan diameter  $D_s = 1,9 \text{ cm}$ .

$$A_s = 0,25 \times \pi \times 1,9^2 = 2,83 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{A_{sh}}{A_s} = \frac{13,26}{2,83} = 4,67. \text{ Maka } n = 5$$

$$A_g = \frac{P_u}{0,3 \times f'_c} = \frac{1676888}{0,3 \times 357} = 15657,216 \text{ cm}^2$$

Dapat diketahui bahwa  $A_g \text{ kolom} = 10000 \text{ cm}^2 < 15657,216 \text{ cm}^2$ , sehingga digunakan sengkang dengan susunan dan kualitas yang tinggi. Hal ini sesuai dengan diameter tulangan sengkang yang dipakai yaitu  $D_s = 1,9$  serta jarak antar tulangan yang dipakai  $s = 100 \text{ mm}$ . Penentuan Panjang sendi plastis  $L_o$  dapat ditentukan dengan 3 syarat berikut.  $L_{o,1} = h_c = 91 \text{ cm}$ .  $L_{o,2} = (H_c - 2 \times h_c/2)/6 = (4 - 2 \times 0,91/2)/6 = 51,5 \text{ cm}$ .  $L_{o,3} = 45 \text{ cm}$ . Maka digunakan  $L_{o,pakai} = 91 \text{ cm}$ .

b. Tulangan transversal pada daerah lapangan

1) Data Desain

Didapatkan dari hasil analisis struktur gaya geser ultimate yang terjadi pada kolom tingkat 1 yaitu  $V_{u,2} = 31,303 \times 1 = 31,303 \text{ T} = 311903 \text{ N}$ . Kemudian balok yang mengikat kolom sisi bawah memiliki momen kapasitas sebesar  $M_{kap}^{+b, \text{ bawah}} = 66,06 \text{ Tm}$  dan  $M_{kap}^{-b, \text{ bawah}} = 143,05 \text{ Tm}$  dengan tinggi balok  $H_{b, \text{ bawah}} = 0,85 \text{ m}$ , sedangkan balok yang mengikat kolom sisi atas memiliki momen kapasitas sebesar  $M_{kap}^{+b, \text{ atas}} = 80,64 \text{ Tm}$  dan  $M_{kap}^{-b, \text{ atas}} = 151,06 \text{ Tm}$  dengan tinggi balok  $H_{b, \text{ atas}} = 0,8 \text{ m}$ . Sehingga Momen  $M_{prc}$  dapat dihitung sebagai berikut.

$$M_{prc,1} = 66,06 + 143,05 = 209,11 \text{ Tm}$$

$$M_{prc,2} = 80,64 + 151,06 = 231,7 \text{ Tm}$$

$$H_n = 4 - 0,75/2 - 0,75/2 = 3,25 \text{ m}$$

$$V_{e,2} = \frac{M_{prc,1} + M_{prc,2}}{H_n} = \frac{209,11 + 231,7}{3,175} = 138,84 \text{ T}$$

$$V_{n,2} = \frac{V_{e,2}}{\phi} = \frac{138,84}{0,75} = 185,12 \text{ T} = 184747,3 \text{ kg}$$

## 2) Tulangan pada daerah lapangan

$$V_c = \left(1 + \frac{311903}{14 \times 1000 \times 1000}\right) \times \frac{\sqrt{35}}{6} \times 933,5 \times 1000$$

$$= 938934 \text{ N} \qquad \qquad \qquad = 95809,57 \text{ Kg}$$

$$V_s = V_{n2} - V_c = 184747,3 - 95809,57$$

$$= 88937,8 \text{ Kg} \qquad \qquad \qquad = 89,1 \text{ T}$$

$$S = \frac{5 \times 2,83 \times 3060 \times 93,3}{88937,8} = 45,43 \text{ cm}$$

Spakai = 15 cm. Cek syarat  $S < h/2 = 15 < 93,3/2 = 46,58$  cm. Maka syarat s dinyatakan sesuai, Kemudian dilakukan kontrol gaya geser.

$$V_s \text{ desain} = \frac{5 \times 2,83 \times 3060 \times 93,3}{15} = 115452 \text{ kg} = 115,68 \text{ T}$$

$$V_{s, \text{desain}} > V_s = 115,68 \text{ T} > 89,1 \text{ T}$$

XCMaka tulangan pada daerah lapangan dengan tulangan 5D19 – 150 mm dinyatakan aman.

3. *Beam-Column Joint*

Perhitungan BCJ (*Beam-Column Joint*) ini akan diambil pada kolom tengah tingkat 1, dimana prosedur perhitungan akan dilakukan sebagaimana berikut.

## a. Data Balok

Didapatkan bahwa pada balok yang menumpu kolom memiliki  $M_{kap}^+ = 66,06 \text{ Tm}$ ,  $h^+ = 78,35 \text{ cm} = 0,783 \text{ m}$ , dan  $a^+ = 7,63 \text{ cm} = 0,0763 \text{ m}$ , sementara itu nilai  $z^+$  adalah:

$$z^+ = h^+ - \frac{a^+}{2} = 78,35 - \frac{7,63}{2} = 74,54 \text{ cm} = 0,745 \text{ m}$$

Pada daerah negatifnya balok memiliki  $M_{kap}^- = 143,05 \text{ Tm}$ ,  $h^- = 75,85 \text{ cm} = 0,758 \text{ m}$ , dan  $a^- = 12,73 \text{ cm} = 0,1273 \text{ m}$ , nilai  $z^-$  adalah:

$$z^- = 75,85 - \frac{12,73}{2} = 69,49 \text{ cm} = 0,695 \text{ m}$$

Pada kolom memiliki tinggi  $H_k$  sebesar 100 cm. Sementara itu, balok memiliki tinggi  $H_b = 85 \text{ cm} = 0,85 \text{ m}$  serta lebar  $B_b = 40 \text{ cm} = 0,40 \text{ m}$ , sedangkan panjang balok tersebut  $l_b = 9 \text{ m}$ . Sehingga panjang bersih balok adalah:

$$l'_b = l_b - (h_k/2 + h_b/2) = 9 - (1/2 + 1/2) = 8 \text{ m}$$

## b. Cek Rangka

Desain tulangan join balok-kolom harus memperhitungkan faktor terkekang yaitu sebagai berikut.

1) Terdapat 4 buah balok yang merangka kolom

Pada kolom K1 terdapat 4 balok yang merangka

2) Balok yang merangka memenuhi  $\frac{3}{4}$  lebar kolom

Balok yang merangka memiliki lebar 40 cm, dimana lebar balok/lebar kolom =  $40/100 = 0,4 < 0,75$

Berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 18.8.4.2, joint ini tidak termasuk kategori terkekang, karena balok memiliki lebar 0,4 kali lebar kolom, dimana masih kurang dari  $\frac{3}{4}$  lebar kolom atau 0,75. Sehingga pada Tabel 18.8.4.1 di pasal sebelumnya digunakan konfigurasi joint untuk kasus-kasus lainnya.

## c. Luas Penyaluran

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{Hk - Bb}{2} = \frac{100 - 40}{2} = 30 \text{ cm} \\
 B \text{ (Joint)} &= Bb + x = 40 + 30 = 70 \text{ cm} < Hk = 100 \\
 V_{col} &= \frac{0,7 \times \left\{ \frac{9}{8} \times 66,06 + \frac{9}{8} \times 143,05 \right\}}{4} = 41,17 \text{ T} \\
 T_s &= 0,7 \times \frac{M_{kap^-}}{z^-} = 0,7 \times \frac{143,05}{0,65} = 144,1 \text{ T} \\
 C_{ca} &= 0,7 \times \frac{M_{kap^+}}{z^+} = 0,7 \times \frac{66,06}{0,745} = 62,04 \text{ T} \\
 V_{jh} &= T_s + C_{ca} - V_{col} = 144,1 + 62,04 - 41,17 \\
 &= 165 \text{ T} = 165311 \text{ kg} \\
 A_j &= Hk \times B = 100 \times 70 = 7000 \text{ cm}^2 \\
 \tau &= \frac{V_{jh}}{A_j} = \frac{165311}{7000} = 23,616 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Cek syarat  $\tau < \tau_m$

$$\tau_m = 1,0 \times \sqrt{f'c} = 1,0 \times \sqrt{35} = 5,92 = 60,34 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = 23,616 < \tau_m = 60,34$$

Maka dari perhitungan BJC pada kolom tengah tingkat 1 didapatkan bahwa tegangan yang terjadi masih di bawah persyaratan maksimum,

sehingga dinyatakan BJC aman. Perhitungan selengkapnya pada seluruh tingkat dapat dilihat pada Lampiran 21 untuk 3D dan pada Lampiran 22 untuk 2D.

#### 4. Rekapitulasi Kolom

Perhitungan desain kolom akan menggunakan langkah yang serupa pada pembahasan sebelumnya. Sehingga hasil desain pada seluruh tingkat dapat dilihat pada Lampiran 24 untuk 3D dan pada Lampiran 25 untuk 2D.

### 5.6.4 Fondasi

Perhitungan desain pondasi akan diambil contoh pada kolom tengah, karena akan melanjutkan data-data desain yang ada pada kolom tengah tingkat dasar sebelumnya. Data *borelog* akan diambil berdasarkan nilai N-SPT yang mana data ini akan ditampilkan pada Lampiran 26. Pondasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pondasi dalam dengan menggunakan *pile*. Sehingga perhitungan pondasi akan mencakup 2 hal yaitu *pile cap* dan *pile* dimana contoh perhitungan desain akan dilakukan sebagai berikut.

#### 1. Daya Dukung Tanah

Dipakai *pile* dengan diameter  $D = 0,8$  m. Maka  $4D = 4 \times 0,8 = 3,2$  m serta  $10D = 10 \times 0,8 = 8$  m. Kemudian dengan kedalaman  $h$  tanah keras berada di 13,6 m dari muka tanah, maka Panjang *pile* yaitu:

$$L = h - 4D = 13,6 - 3,2 = 10,4 \text{ m}$$

$$K_p = \pi D = \pi \times 0,8 = 2,513 \text{ m}$$

$$A_p = 0,25 \times \pi \times 0,8^2 = 0,503 \text{ m}^2$$

Kemudian didapatkan data tanah *borelog* tanah lunak yang dapat dilihat pada , menunjukkan bahwa tebal lapis 1 3,5m serta N-SPT 23,5. Perhitungan daya dukung selimut tiang akan diambil menggunakan contoh perhitungan pada lapis 1 sebagai berikut.

$$A_{ps} = \text{Thickness} \times K_p = 3,5 \times 2,513 = 8,796 \text{ m}^2$$

$$Q_s = 0,2 \times \text{N-SPT} \times A_{ps} = 0,2 \times 23,5 \times 8,796 = 41,343 \text{ ton}$$

Dengan menggunakan langkah perhitungan yang serupa, maka perhitungan daya dukung selimut pada seluruh lapis akan tampak sebagaimana Tabel 5.11 berikut.

**Tabel 5.11 Daya Dukung Selimut**

Lapis	Depth	Thickness (m)	N-SPT	Aps (m <sup>2</sup> )	Qs (Ton)
	0				
1	-3.5	3.5	23.5	8.796	41.343
2	-5.4	1.9	22.5	4.775	21.488
3	-6.6	1.2	25	3.016	15.080
4	-10.7	4.1	41	10.304	84.496
5	-12.6	1.9	30	4.775	28.651
6	-13.6	1	60	2.513	30.159
Qs Total					221.218

Setelah mendapatkan hasil daya dukung selimut, diketahui bahwa nilai N1 (10D) yaitu 35,33 dan N2 (4D) yaitu 46,75. Kemudian akan dilanjutkan dengan mencari daya dukung tanah total dengan langkah sebagai berikut.

$$N \text{ rata-rata} = \frac{N1+N2}{2} = \frac{35,33+46,75}{2} = 41,084$$

$$Q_p = 40 \times N \text{ rata-rata} \times A_p = 40 \times 41,04 \times 0,503 = 825,19 \text{ T}$$

$$Q_s = 221,218 \text{ ton}$$

$$Q_u = Q_p + Q_s = 825,19 + 221,218 = 1046,41 \text{ T}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{SF} = \frac{1046,41}{3} = 348,803 \text{ T}$$

## 2. Pile Cap

### a. Data Beban

Beban yang didapatkan berikut merupakan hasil *run* program. Gaya aksial PDL= 758 T, PLL = 219 T, dan PE = 25,23T. Momen MDL= 1,14 Tm, MLL = 0,37 Tm, dan ME = 127,22 Tm. Gaya geser VE = 25,23T.

### b. Data Kolom

Berdasarkan hasil desain tulangan longitudinal kolom pada pembahasan yang telah lalu dengan menggunakan diagram interaksi Mn-Pn, didapatkan bahwa pada kolom tingkat dasar memiliki Pnd = 2631,42 T dan Mnd = 265,24 Tm. Kemudian, tinggi kolom Hk = 1 m serta lebar kolom Bk = 1 m.

## c. Daya Dukung Tanah

Pada pembahasan daya dukung tanah yang telah lalu didapatkan bahwa diameter *pile*  $D_{pile} = 0,8$  m, luas selimut *pile*  $A_p = 0,503$  m<sup>2</sup>, serta daya dukung total yang diizinkan yaitu  $Q_{all} = 348,803$  T = 3419,641 KN.

d. Konfigurasi *Pile* pada *pile cap*

Pada *pile cap* ini menggunakan konfigurasi *Pile* (2 x 2), sehingga total *pile* pada 1 buah *pile cap*  $n \times m = 4$ . Jarak antar *pile* adalah  $S = 2$  m. Kemudian jarak antara tepi *pile cap* dengan tepi *pile* dari sisi lebar  $s_b = 1$  m, sedangkan dari sisi panjang  $s_h = 1$  m. Sehingga lebar dan panjang *pile cap*  $H = 4$  m dan  $B = 4$  m.

## e. Nilai efisiensi kelompok tiang

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{D}{s} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{0,8}{2} \right) = 21,8$$

$$E_g = 1 - \theta \times \frac{(n-1) \times m + (m-1) \times n}{m \times n}$$

$$= 1 - 21,8 \times \frac{(2-1) \times 2 + (2-1) \times 2}{2 \times 2} = 0,76$$

$$s + \frac{s}{2} = 2 + \frac{2}{2} = 3 \text{ m}$$

$$\sum x^2 = 2 \times \left( \left( \frac{s}{2} \right)^2 + \left( s + \frac{s}{2} \right)^2 \right) = 2 \times \left\{ \left( \frac{2}{2} \right)^2 + (3)^2 \right\} = 20 \text{ m}^2$$

$$V_{y,\max} = \frac{PDL+PLL}{n \times m} + \frac{(MDL+MLL) \times s + \frac{s}{2}}{n \times \sum x^2}$$

$$= \frac{758+219}{2 \times 2} + \frac{(1,14+0,37) \times 3}{2 \times 20} = 244,23 \text{ T}$$

$$V_{y,\min} = \frac{PDL+PLL}{n \times m} - \frac{(MDL+MLL) \times s + \frac{s}{2}}{n \times \sum x^2}$$

$$= \frac{758+219}{2 \times 2} - \frac{(1,14+0,37) \times 3}{2 \times 20} = 244 \text{ T}$$

$$Q_{all,g} = E_g \times Q_{all} = 0,45 \times 971,43 \text{ T} = 438,23 \text{ T} > 253,6 \text{ T}$$

e. *Ultimate Under Gravity Load*

$$P_{u,sp} = 1046,41 \text{ T} = 10259 \text{ KN}$$

$$P_{u,sp} = E_g \times P_{u,sp} = 0,76 \times 10259 = 793 \text{ T}$$

$$P_u = 1,2PDL + 1,6PLL = 1,2 \times 758 + 1,6 \times 216 = 1259,3 \text{ T}$$

$$M_u = 1,2MDL + 1,6MLL = 1,2 \times 1,14 + 1,6 \times 0,37 = 1,96 \text{ Tm}$$

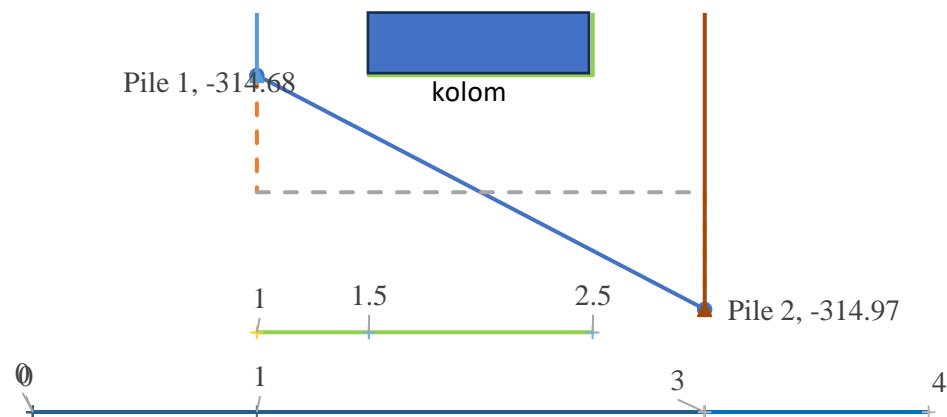
$$V_{yu,max} = \frac{P_u}{n \times m} + \frac{M_n \times \left(s + \frac{s}{2}\right)}{n \times \sum x^2} = \frac{1259,3}{4} + \frac{1,96 \times (3)}{2 \times 20}$$

$$= 314,97 \text{ T} < 793 \text{ T}$$

$$V_{yu,min} = \frac{P_u}{n \times m} - \frac{M_n \times \left(s - \frac{s}{2}\right)}{n \times \sum x^2} = \frac{1259,3}{4} - \frac{1,96 \times (3)}{2 \times 20}$$

$$= 314,68 \text{ T} > 0$$

Maka berdasarkan hasil  $V_{yu,max}$  dan  $V_{yu,min}$  pada beban ini dapat dibentuk grafik sesuai dengan letak *pile* yang nampak pada Gambar 5.30 berikut.



**Gambar 5.30 Gaya Geser *Ultimate Under Gravity Load***

f. *Ultimate Under EQ Load*

$$P_u = 1,05 \times (PDL + PLL + PE)$$

$$= 1,05 \times (758 + 2516 + 25,23) = 1051 \text{ T}$$

$$M_u = 1,05 \times (MDL + MLL + ME)$$

$$= 1,05 \times (1,14 + 0,37 + 127,22) = 135,16 \text{ Tm}$$

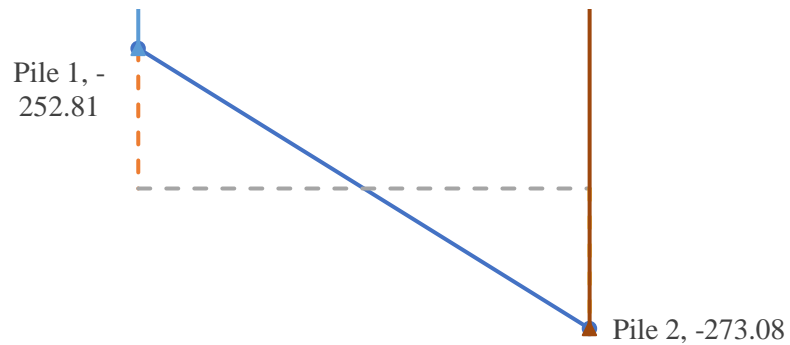
$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{135,16}{0,9} = 150,18 \text{ Tm}$$

$$V_{yu,max} = \frac{1051}{4} + \frac{135,16 \times (3)}{2 \times 20} = 273,1 \text{ T} < 793 \text{ T}$$

$$V_{yu,min} = \frac{1051}{4} - \frac{135,16 \times (3)}{2 \times 20} = 252,8 \text{ T} > 0$$



Maka berdasarkan hasil  $V_{yu,max}$  dan  $V_{yu,max}$  pada beban ini dapat dibentuk grafik yang nampak pada Gambar 5.31 berikut.



**Gambar 5.31 Gaya Geser *Ultimate Under EQ Load***

g. Desain Tulangan

Desain tulangan pada *pile cap* ini menggunakan mutu beton dan baja yang serupa pada balok dan kolom yaitu pada beton memiliki tegangan tekan  $f'_c = 35 \text{ MPa}$  ( $357 \text{ kg/cm}^2$ ), sedangkan pada baja tulangan sengkang memiliki tegangan leleh  $F_y = 420 \text{ MPa}$  ( $4284 \text{ kg/cm}^2$ ). Sementara itu, selimut beton pada *pile cap* ini digunakan  $S_b = 7 \text{ cm}$ , lalu diameter tulangnya  $D_p = 2,9 \text{ cm}$ . Tinggi *pile cap* diambil sebesar  $h = 100 \text{ cm}$ . Sehingga perhitungan kebutuhan tulangan *pile cap* sebagai berikut.

$$d = s_b + 0,5 \times D_p = 7 + 0,5 \times 2,9 = 8,45 \text{ cm}$$

$$h_p = h - d = 100 - 8,45 = 91,55 \text{ cm}$$

$$M_n = 150,18 \text{ Tm} = 15017742 \text{ kgcm}$$

$$M_n = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times (h - a/2)$$

berdasarkan persamaan di atas maka dengan menggunakan

$$\text{Pembagi} = 0,85 \times f'_c \times b \times 0,5 = 0,85 \times 357 \times 1000 \times 0,5 = 15172,5 \text{ kg/cm}$$

$$a = \frac{0,85 \times f'_c \times b \times 0,5}{0,85 \times f'_c \times b \times 0,5} = 1$$

$$b = - \frac{0,85 \times f'_c \times b \times h_p}{0,85 \times f'_c \times b \times 0,5} = - \frac{0,85 \times 357 \times 100 \times 91,55}{15172,5} = -183,1$$

$$c = \frac{M_n}{0,85 \times f'_c \times b \times 0,5} = \frac{15017742}{15172,5} = 989$$

$$a_{1,2} = \frac{-(-183.1) \pm \sqrt{(-183.1)^2 - 4 \cdot (1) \cdot (989)}}{2 \cdot (1)}$$

Dari persamaan tersebut didapatkan nilai  $a_1 = 177,5$  cm dan  $a_2 = 5,6$  cm.

Maka dipakai  $a_{pakai} = 5,6$  cm

$$C_c = T_s = 0,85 \times f'_c \times a \times b = 0,85 \times 357 \times 5,6 \times 100 = 169190,7 \text{ kg}$$

$$A_s = \frac{T_s}{f_y} = \frac{169190,7}{4284} = 39,5 \text{ cm}^2$$

$$A_d = 0,25 \times \pi \times 2,9^2 = 6,605 \text{ cm}^2$$

$$s = \frac{A_s}{A_d} = \frac{39,5}{6,605} = 16,72 \text{ cm. Sehingga dipakai } s = 15 \text{ cm}$$

#### h. One Way Action Stress Control

$$V_u = 3 \times V_{yu} = 3 \times 273,1 = 819,24 \text{ T}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{819,24}{0,6} = 1365,4 \text{ T}$$

$$\tau = \frac{V_n}{h_p \times B} = \frac{1365,4 \times 1000}{91,55 \times 2,9 \times 100} = 37,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{max} = 2 \times \sqrt{f'_c} = 2 \times \sqrt{35} = 11,832 \text{ MPa} = 120,69 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = 37,3 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{max} = 120,69 \text{ kg/cm}^2$$

maka kontrol *one way action stress* dinyatakan aman

#### i. Two Way Action Stress Control

$$S_1 = H_c + h_p = 100 + 91,55 = 191,55 \text{ cm}$$

$$S_2 = H_c + h_p = 191,55 \text{ cm}$$

$$V_n = 3 \times (V_{yu,max} + V_{yu,min}) = 3 \times (273,1 + 253) = 1578 \text{ T}$$

$$k = 2 \times (S_1 + S_2) = 2 \times (191,55 + 191,55) = 766,2 \text{ cm}$$

$$\tau = \frac{V_n}{h_p \times k} = \frac{1578 \times 1000}{91,55 \times 766,2} = 37,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{max,1} = \left\{ 2 + \frac{4}{\beta_c} \right\} \times \sqrt{f'_c} = \left\{ 2 + \frac{4}{1/1} \right\} \times \sqrt{35} = 35,5 \text{ MPa} = 362,06 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{max,2} = \left\{ \frac{\alpha_s \times h_p}{k} + 2 \right\} \times \sqrt{f'_c} = \left\{ \frac{30 \times 0,9155}{0,7662} + 2 \right\} \times \sqrt{35} \\ = 33,04 \text{ MPa} = 336,9 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{max,3} = 4 \times \sqrt{f'_c} = 4 \times \sqrt{35} = 23,664 \text{ MPa} = 241,376 \text{ kg/cm}^2$$

Dari ketiga nilai  $\tau_{\max}$ , maka dapat diketahui bahwa nilai tegangan maksimal merupakan nilai terkecil dari ketiganya yaitu

$$\tau_{\max} = \tau_{\max,3} = 23,664 \text{ MPa} = 241,376 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = 37,5 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{\max} = 241,376 \text{ kg/cm}^2$$

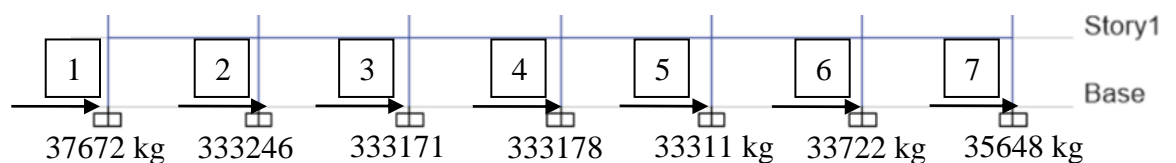
maka kontrol *two way action stress* dinyatakan aman.

j. Cek Kestabilan Pondasi

Sebelumnya telah dilakukan desain tulangan *pile cap* pada kolom tengah, lalu dilakukanlah desain *pile cap* dengan metode yang serupa. Setelah seluruh *pile cap* sudah selesai di desain, langkah selanjutnya adalah cek kestabilan pondasi.

1) Kestabilan Terhadap Gaya Geser 1

Didapatkan gaya geser yang terjadi berdasarkan hasil dari *run analysis* program pada model yaitu nampak pada Gambar 5.32 berikut ini.



**Gambar 5.32 Gaya Geser Pondasi**

a) Kolom Tepi

Didapatkan dalam desain kolom bahwa kolom tepi yaitu pada kolom 1 dan kolom 7, memiliki luas  $A_{c,j} = 90 \times 90 = 8100 \text{ cm}^2$ , serta pada kolom tepi pada portal A-3 ini memiliki jumlah kolom  $j = 2$ . Pada kestabilan ini digunakan *overstrength factor* sebesar  $\phi = 0,75$ . Maka gaya geser nominal pada kolom tepi ini yaitu sebagai berikut.

$$V_{n1} = 37672 / 0,75 = 50229 \text{ Kg}$$

$$V_{n7} = 35648 / 0,75 = 47531 \text{ Kg}$$

$$\sum V_n = 50229 + 47531 = 97761 \text{ Kg}$$

## b) Kolom Tengah

Pada kolom Tengah yaitu pada kolom 2 hingga kolom 6, memiliki luas kolom  $Ac_j = 100 \times 100 = 10000 \text{ cm}^2$ , serta jumlah kolom ini berjumlah  $j = 5$ .

$$V_{n2} = 33246 / 0,75 = 44328 \text{ Kg}$$

$$V_{n3} = 33171 / 0,75 = 44228 \text{ Kg}$$

$$V_{n4} = 33178 / 0,75 = 44238 \text{ Kg}$$

$$V_{n5} = 33311 / 0,75 = 44414 \text{ Kg}$$

$$V_{n6} = 33722 / 0,75 = 44962 \text{ Kg}$$

$$\sum V_n = 44328 + 44228 + 44238 + 44414 + 44962 = 222169 \text{ Kg}$$

## c) Tegangan Geser

$$\tau = \frac{222169 + 97761}{10000 \times 5 + 8100 \times 2} = 4,83 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{max} = 2 \times \sqrt{35} = 11,832 \text{ MPa} = 120,69 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = 5,278 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{max} = 120,69 \text{ kg/cm}^2$$

Maka kestabilan terhadap gaya geser 1 dinyatakan aman

## 2) Kestabilan Terhadap Gaya Geser 2

Pada perhitungan kestabilan gaya geser 1 didapatkan bahwa gaya geser nominal total pada kolom tepi yaitu  $\sum V_{n1} = 97761 \text{ Kg}$ , sedangkan pada kolom tengah memiliki jumlah gaya geser nominal sebesar  $\sum V_{n2} = 222169 \text{ Kg}$ . *Pile cap* memiliki konfigurasi *pile* yaitu ( $m \times n$ ) dengan  $m = 2$  dan  $n = 2$ . *Pile* yang digunakan memiliki diameter  $D_{pile} = 0,8 \text{ m}$  (80 cm). Sehingga tegangan geser pada pondasi yaitu sebagai berikut.

$$\tau = \frac{222169 + 97761}{(2 \times 2) \times (80)^2} = 12,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{max} = 2 \times \sqrt{35} = 11,832 \text{ MPa} = 120,69 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau = 12,5 \text{ kg/cm}^2 < \tau_{max} = 120,69 \text{ kg/cm}^2$$

Maka kestabilan terhadap gaya geser 2 dinyatakan aman

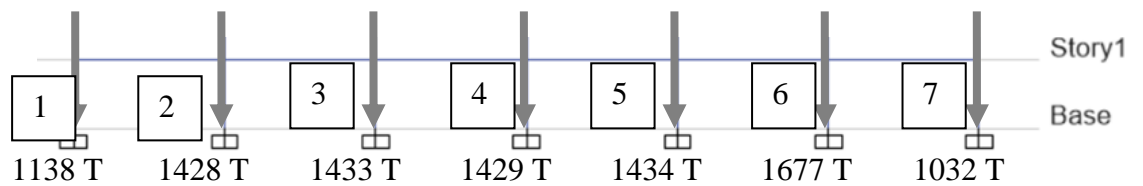
## 3) Kestabilan Terhadap Momen Guling

Dalam pemeriksaan pondasi terhadap terjadinya guling, maka hal yang perlu diperhatikan adalah membandingkan gaya gempa dengan gaya aksial yang terjadi pada kolom paling dasar. Langkah perhitungan akan sebagaimana berikut. Perhitungan gaya gempa horizontal diambil contoh pada tingkat 1. Pada tingkat 1 memiliki tinggi  $H_1 = 4$  m. Kemudian berdasarkan hasil perhitungan distribusi vertikal gaya seismik pada pembahasan 5.4.10 sebelumnya didapatkan bahwa pada tingkat 1 memiliki gaya gempa horizontal sebesar  $F_{x,1} = 3,58$ . Kemudian momen guling yang terjadi pada tingkat 1 yaitu  $F_x H_1 = 3,58 \times 4 = 14,32$  Tm. Dengan menggunakan langkah perhitungan yang serupa maka akan dihitung pada seluruh tingkat dengan hasil yang akan ditabelkan pada Tabel 5.12 berikut.

**Tabel 5.12 Momen Guling Portal A-3**

Level	h (m)	$F_x$ (t)	$F_i \cdot h_i$ (tm)
12	48	190.46	9142.07
11	44	212.99	9371.75
10	40	181.07	7242.61
9	36	151.31	5447.12
8	32	123.79	3961.42
7	28	98.60	2760.83
6	24	75.82	1819.77
5	20	55.58	1111.50
4	16	38.00	607.95
3	12	23.27	279.27
2	8	11.66	93.30
1	4	3.58	14.32
$\sum F_i \cdot h_i$ (tm)			23338.09

Maka dari hasil tersebut didapatkan bahwa momen guling total pada seluruh tingkat yaitu sebesar  $\sum_{i=1}^n F_i \cdot h_i = 23338,1$ Tm. Setelah momen guling berhasil didapatkan, maka dikeluarkan hasil gaya aksial yang terjadi pada kolom tingkat dasar yang telah didapatkan sebelumnya dari hasil analisis program dengan hasil pada Gambar 5.33 berikut.



**Gambar 5.33 Gaya Aksial Pada Dasar Kolom**

Pada Gambar 5.33 terlihat bahwa setiap kolom tingkat dasar akan dikenai gaya aksial dengan nilai yang berbeda, Selain itu, jarak antar kolom adalah 9m.

Maka berdasarkan data tersebut dapat dihitung kestabilan momen hasil gaya aksial. Pada kolom 1 didapatkan  $P_{c,1} \times L_{,1} = 1138 \text{ T} \times 0 \text{ m} = 0 \text{ Tm}$ . Kolom 2 didapatkan  $P_{c,2} \times L_{,2} = 1428 \text{ T} \times 9 \text{ m} = 12850 \text{ Tm}$ . Kolom 3 didapatkan  $P_{c,3} \times L_{,3} = 1433 \text{ T} \times 18 \text{ m} = 25795 \text{ Tm}$ . Kolom 4 didapatkan  $P_{c,4} \times L_{,4} = 1429 \text{ T} \times 27 \text{ m} = 38582 \text{ Tm}$ . Kolom 5  $P_{c,5} \times L_{,5} = 1434 \text{ T} \times 36 \text{ m} = 51636 \text{ Tm}$ . Kolom 6 didapatkan  $P_{c,6} \times L_{,6} = 1677 \text{ T} \times 45 \text{ m} = 75460 \text{ Tm}$ . Terakhir kolom 7 didapatkan  $P_{c,7} \times L_{,7} = 1032 \text{ T} \times 54 \text{ m} = 55733 \text{ Tm}$ . Sehingga jumlah didapatkan  $\sum_{j=1}^k P_{c,j} \cdot L_j = 260056 \text{ Tm}$ . Setelah itu dilakukan kontrol kestabilan pondasi terhadap momen guling sebagai berikut.

$$\sum_{j=1}^k P_{c,j} \cdot L_j = 260056 \text{ Tm} > \sum_{i=1}^n F_i \cdot h_i = 23338,1 \text{ Tm}$$

Maka kontrol kestabilan terhadap momen guling pada pondasi dinyatakan aman. Detail desain fondasi pada 3D serta 2D tertera pada Lampiran 27.

## 5.7 Biaya

Pada perhitungan RAB, akan kami tampilkan satu contoh langkah perhitungan saja yaitu pada perhitungan RAB elemen balok pada tingkat 1, dimulai dari sisi: Pembetonan, Penulangan, dan Pekerjaan Bekisting Balok. Langkah-langkah perhitungan RAB balok yaitu sebagai berikut.

### 1. Pekerjaan Beton

a. Volume Beton

Didapatkan panjang, tinggi dan lebar berturut-turut dari balok tingkat 1 yaitu  $p = 8$  m,  $l = 0,85$  m, dan  $t = 0,4$  m. Volume balok nya adalah  $V = p \times l \times t = 8 \times 0,85 \times 0,45 = 2,72 \text{ m}^3$ . Pada tingkat 1 portal A-3 memiliki jumlah balok sebanyak  $n = 6$ . Sehingga volume total didapatkan  $= 2,72 \times 6 = 16,32 \text{ m}^3$ .

b. Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Beton Mutu 35 MPa

Pada penelitian ini digunakan analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) yang akan dilampirkan pada Lampiran 28. Dimana hasil dari AHSP untuk beton mutu 35 MPa pada balok ini yaitu AHSP Beton = Rp. 1.030.574,00

2. Pekerjaan Tulangan

a. Volume Tulangan

1) Tulangan Tumpuan

a) Tulangan Longitudinal Atas

Pada perhitungan desain balok di pembahasan yang telah lalu digunakan desain balok dengan tulangan longitudinal  $D_p = 25$  mm. Kemudian, panjang tulangan longitudinal akan terbagi menjadi beberapa bagian, a = bagian panjang tumpuan, b = sambungan balok – kolom, c = panjang tekukan. Rincian hasil tersebut yaitu:  $a = 200$  cm,  $b = 40 \times D_p = 40 \times 25 = 100$  cm, dan  $c = 15$  cm. Sehingga total panjang adalah  $(200 + 100 + 15) \times 2$  daerah =  $630$  cm =  $6,3$  m.

Panjang sendi =  $2 \times 15 \times D_p = 2 \times 15 \times 25 = 750$  mm =  $0,75$  m

Selanjutnya diketahui bahwa Jumlah tulangan ( $n$ ) = 7, maka panjang dengan tambahan sendi yaitu  $= 6,3 \times 7 + 0,75 = 51,60$  m. Baja tulangan diameter 25 mm memiliki Berat satuan =  $3,85$  kg/m. Maka berat tulangan pada 1 balok yaitu Berat =  $51,6 \times 3,85 = 198,83$  kg.

Pada portal A-3 memiliki Jumlah balok = 6, sehingga berat Total  $= 6 \times 198,83 = 1193$  Kg

## b) Tulangan Longitudinal Bawah

Perhitungan longitudinal bawah dengan menggunakan langkah perhitungan yang serupa dengan bagian atas, namun dengan jumlah tulangan yang berbeda yaitu  $n = 3$ , didapatkan bahwa berat tulangan dalam satu balok adalah 69,36 kg. Maka hasil berat total tulangan yaitu: Berat Total =  $6 \times 69,36 = 416,16$  Kg

## c) Tulangan Sengkang

Pada perhitungan desain balok didapatkan bahwa tulangan sengkang menggunakan diameter  $D_s = 14$  mm. Kemudian panjang sengkang akan terdiri dari beberapa bagian yaitu : a = panjang horizontal, b = panjang vertikal, c = panjang kait, d = panjang 3 tekukan  $90^\circ$ , dan e = panjang 2 tekuk  $135^\circ$ . Rincian hasil panjang tulangan sengkang adalah:

$$a = B - (d' \times 2) = 40 - (6,65 \times 2) = 26,70 \text{ cm}$$

$$b = H - (d' \times 2) = 80 - (6,65 \times 2) = 71,70 \text{ m}$$

$$c = 2 \times 7,5 = 15 \text{ cm}$$

$$d = 3 \times 4 \times D_s = 3 \times 4 \times 14 = 168,0 \text{ mm} = 16,8 \text{ cm}$$

$$e = 2 \times 4 \times D_s = 2 \times 4 \times 14 = 112 \text{ mm} = 11,2 \text{ cm}$$

$$\text{Total Panjang} = 143 \text{ cm} = 1,43 \text{ m}$$

Panjang daerah tumpuan adalah 2000 mm, jarak antar sengkang (s) = 100 mm. Dari data panjang daerah serta jarak sengkang didapatkan baris sengkang yaitu  $n = (2000 / 100) \times 2$  daerah = 40. Kemudian, Panjang seluruh baris pada daerah tumpuan adalah  $1,43 \times 40 = 57,28$  m.

Tulangan sengkang dengan diameter 14 mm memiliki Berat satuan = 1,21 kg/m, sehingga berat sengkang pada 1 balok tumpuan adalah Berat =  $57,28 \times 1,21 = 69,22$  kg. Pada portal A-3 memiliki Jumlah balok = 6. Maka didapatkan Berat Total sengkang seluruh balok tingkat 1 =  $6 \times 69,22 = 415,31$  Kg.

## 2) Tulangan Lapangan



Menggunakan langkah yang serupa dengan perhitungan pada daerah tumpuan dengan menyesuaikan daerah panjang lapangan dan juga hal yang terkait dengan panjang penyaluran serta jumlah tulangan. Maka diperoleh berat total yaitu: Tulangan Longitudinal Atas = 495,93 Kg, Tulangan Longitudinal Bawah = 495,93 Kg, dan Tulangan Sengkang = 218,04 Kg.

### 3) Tulangan Pinggang

Pada balok didesain menggunakan tulangan pinggang berdiameter  $D = 12$  mm. Panjang tulangan pinggang terdiri dari beberapa bagian yaitu :  $a =$  panjang bentang yang serupa dengan panjang bersih balok,  $b =$  daerah sambungan balok-kolom, dan  $c =$  panjang tekukan. Rincian panjang tulangan pinggang yaitu :  $a = 805$  cm,  $b = 40 \times D = 40 \times 12 = 48$  cm, dan  $c = 7,2$  cm. Sehingga total panjang =  $860$  cm =  $8,6$  m.

Tulangan pinggang yang digunakan berjumlah  $n = 4$ . Kemudian, apabila panjang dihitung dengan jumlah tulangannya maka akan menjadi  $8,6 \times 4 = 34,41$  m. Tulangan dengan diameter  $12$  mm memiliki berat satuan sebesar  $0,89$  kg/m. Berat tulangan pinggang pada 1 balok adalah  $34,41 \times 0,89 = 30,55$  kg.

Pada portal A-3 memiliki Jumlah balok pada tingkat 1 sejumlah 6. Sehingga berat total tulangan pinggang tingkat 1 adalah  $6 \times 30,55 = 183,29$  Kg

### 4) Total Berat Tulangan

Berat tulangan total pada seluruh material tulangan yang telah dihitung sebelumnya adalah  $3359,54$  Kg.

#### b. AHSP Tulangan

AHSP pada tulangan akan digunakan sebagaimana yang terlampir pada Lampiran 29. Dimana hasil total AHSP untuk tulangan yaitu Rp. 1.796.116,00

### 3. Pekerjaan Bekisting Balok

#### a. Volume Bekisting

Panjang, tinggi, serta lebar berturut-turut dari bekisting yang digunakan pada pembetonan yaitu  $p = 8$  m,  $t = 0,85$  m, dan  $l = 0,4$  m. Kemudian, dilakukan perhitungan luas permukaan pada balok sebagai sisi yang akan ditumpu dalam pengecoran yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Luas Permukaan} &= (p \times t) \times 2 + (p \times l) \times 1 \\ &= (8 \times 0,85) \times 2 + (8 \times 0,4) \times 1 = 16,8 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Pada portal A-3 memiliki jumlah balok yang akan dipasang bekisting sejumlah  $n = 6$ . Sehingga luas total bekisting yang digunakan pada tingkat 1 adalah  $6 \times 16,8 = 100,8 \text{ m}^2$ .

b. AHSP Bekisting

AHSP pada pekerjaan bekisting akan digunakan sebagaimana yang terlampir pada Lampiran 30. Dimana hasil total AHSP untuk pekerjaan bekisting balok yaitu Rp. 292,849,00

4. Rekapitulasi Anggaran Biaya Pada Balok Tingkat 1

- a. *Bill of Quantity* (BOQ), berdasarkan hasil perhitungan volume sebelumnya didapatkan bahwa pada beton memiliki  $\text{BOQ} = 16,32 \text{ m}^3$ , sedangkan pada tulangan yaitu seberat 3359,54 Kg, lalu bekisting dengan luas =  $100,8 \text{ m}^2$ .
- b. Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), pada pembahasan AHSP sebelumnya didapatkan bahwa AHSP beton adalah Rp. 1.030.574,00, sedangkan AHSP tulangan adalah Rp. 1.796.116,00, lalu AHSP bekisting adalah Rp. 292,849,00.

5. Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada balok tingkat 1

Maka RAB balok pada tingkat 1 adalah sebagai berikut.

- |                    |                              |                  |
|--------------------|------------------------------|------------------|
| a. Pembetonan      | = $16,32 \times 1.030.574$   | = Rp. 16.818.968 |
| b. Pembesian       | = $3359,54 \times 1.796.116$ | = Rp. 60.341.302 |
| c. Bekisting       | = $100,8 \times 292,849$     | = Rp. 29.519.179 |
| d. Total RAB Balok | = Rp. 106.679.449            |                  |

Maka didapatkan RAB balok pada tingkat 1 yaitu senilai Rp. 106.679.449 Dengan menggunakan langkah yang serupa, dilakukan perhitungan untuk mencari seluruh RAB pada elemen model yang di desain. Sehingga didapatkan hasil RAB pada model 3D yaitu sebagaimana Lampiran 31 serta pada model 2D

sebagaimana Lampiran 32. Berdasarkan hasil akhir maka didapatkan bahwa RAB 3D didapatkan sebesar Rp. 5.300.000.000,00 sedangkan pada 2D sebesar Rp. 4.900.000.000,00. Maka dapat diketahui bahwa biaya yang dibutuhkan dari analisis dan desain pada 2D lebih murah Rp. 400.000.000 dari RAB 3D.

## 5.8 Siklus 2

Setelah RAB pada seluruh elemen didapatkan, maka proses analisis dan desain pada siklus 1 dapat dianggap sudah selesai. Selanjutnya dilakukanlah proses analisis dan desain dengan langkah yang serupa pada model 2D dan 3D sebelumnya untuk siklus ke 2. Pada siklus ke 2 ini, analisis struktur menggunakan data dimensi elemen hasil analisis dan desain pada siklus 1.

Pada siklus ke 2 ini yang akan dibahas hanya cek kinerja serta beberapa desain elemen saja. Cek kinerja analisis struktur tahap 1 dalam ketidakberaturan didapatkan bahwa model 3D tidak terjadi adanya ketidakberaturan, hal ini ditandai dari perbandingan  $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$  yang terjadi masih kurang dari 1,2. hasil ketidakberaturan pada siklus ke-2 dapat dilihat pada Lampiran 33 untuk arah x dan Lampiran 34 untuk arah y. Dikarenakan pada struktur tidak ada ketidakberaturan sehingga pengecekan simpangan dilakukan pada pusat massa. Selanjutnya dilakukan cek simpangan dan P-Delta yang dimana pada analisis struktur tahap 1 maupun ke 2 model 2D serta 3D didapatkan masih memenuhi persyaratan. Hasil dari cek kinerja struktur kami rangkum pada pembahasan perbandingan kinerja struktur yang akan datang.

Berdasarkan hasil cek kinerja didapatkan bahwa pada siklus ke-2 ini dengan menggunakan hasil desain pada siklus-1, kinerja struktur masih memenuhi persyaratan, sehingga dapat dilakukan proses desain elemen. Pada proses desain balok siklus ke-2 didapati bahwa dimensi balok dapat diperbesar dengan hasil yang dapat dilihat pada Lampiran 35 untuk 3D dan Lampiran 36 untuk 2D.

Desain kolom pada siklus 2 didapatkan bahwa dimensi kolom dapat dikecilkan dari sebelumnya, dengan hasil yang dilampirkan pada Lampiran 37 untuk 3D dan Lampiran 37 untuk 2D. Berdasarkan desain kolom didapatkan juga bahwa cek SCWB serta BJC masihlah memenuhi persyaratan. Pada desain

pondasi tidak mengalami perubahan yang signifikan dari desain pondasi siklus 1, karena gaya-gaya dan momen yang terjadi memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Dimana detail desain fondasi tertera pada Lampiran 39.

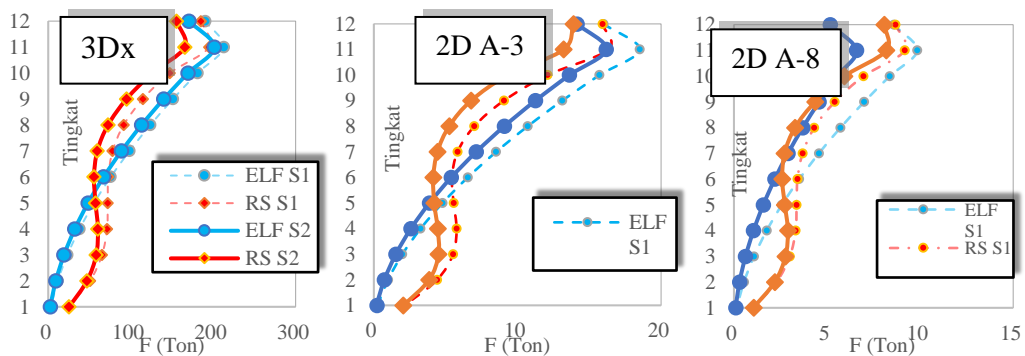
Setelah dimensi pondasi didapatkan maka dapat dilakukan perhitungan RAB pada siklus 2. Dengan menggunakan perhitungan yang serupa pada pembahasan 5.7 sebelumnya maka didapatkan hasil RAB model 3D yang kami tampilkan pada Lampiran 40 sedangkan model 2D pada Lampiran 41.

## 5.9 Pembahasan Perbandingan

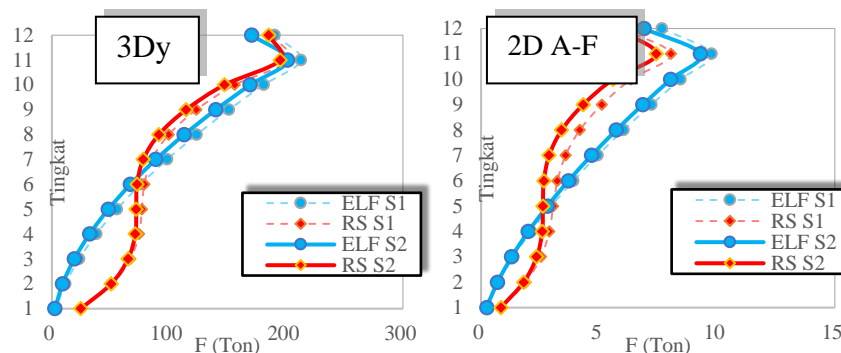
Pembahasan perbandingan dalam penelitian ini beberapa hasil sudah dipresentasikan dalam bentuk *paper* dengan judul “Penerapan Siklus Analisis Dan Desain Bangunan Gedung Tahan Gempa 2D dan 3D Metode Fema P-751” pada CEEDRIMS 2023 bulan Juli di UNS Surakarta. Namun, pada pembahasan yang akan datang ini akan ditambahkan dengan Model 2D A-F serta adanya perbandingan biaya.

### 5.9.1 Perbandingan Gaya-gaya dan Momen-momen

Gaya-gaya dan momen-momen yang terjadi pada struktur 3D dan 2D memiliki nilai yang berbeda. Gaya antar tingkat akibat beban gempa ekuivalen statik pada model 3D memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan 2D yang dapat dilihat pada Gambar 5.34 dan Gambar 5.35 berikut.



**Gambar 5.34 Gaya Antar Tingkat 3Dx, 2D A-3, dan 2D A-8**



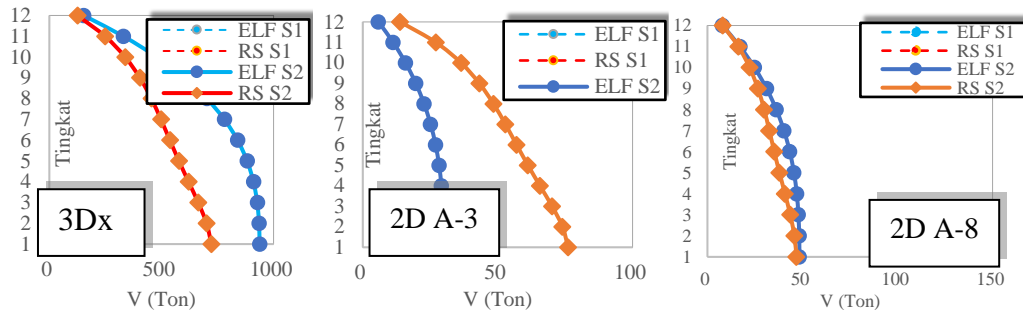
**Gambar 5.35 Gaya Antar Tingkat 3Dy dan 2D A-F**

Pada Gambar 5.34 dan Gambar 5.35 terlihat sekilas bahwa pada gaya antar tingkat dengan beban ekuivalen statik (ELF) serta beban respons spektrum (RS) model 3D lebih besar dibandingkan pada model 2D lainnya. Pada model 3Dx dan 3D y berturut-turut dengan beban ELF memiliki selisih rata-rata 33,4% dan 31,6% dengan beban RS di Siklus 1, dimana di tingkat 1 hingga 5 didominasi oleh RS, kemudian tingkat 6 hingga 12 didominasi oleh ELF. Sedangkan perbandingan selisih ELF dengan RS model 2D A-3 dan model 2D A-F berturut-turut didapatkan nilai 32,5% dan 20,7%. Dari perbandingan tersebut dapat diketahui bersama bahwa selisih gaya dalam arah yang sama masih kurang dari 50 %, di lain hal juga kita ketahui bahwa pada tingkat 1 hingga 5 gaya yang dominan bekerja adalah RS, sedangkan pada tingkat 6 hingga 12 didominasi oleh ELF. Detail perbandingan antar siklus gaya antar tingkat dapat dilihat pada Lampiran 42 dan Lampiran 43

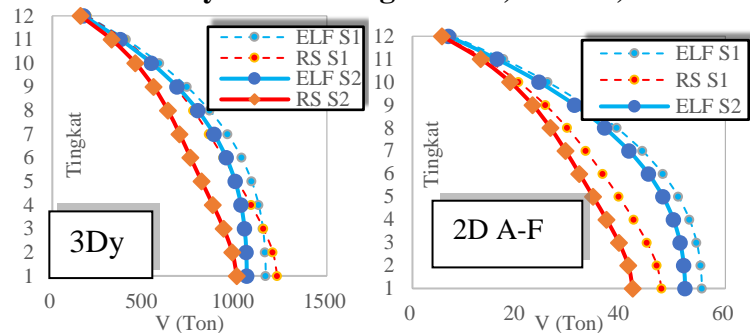
Apabila dibandingkan antar siklus, maka terlihat bahwa seluruh model mengalami penurunan pada siklus 2. Dimana penurunan beban ELF pada model 3D, 2D A-3, dan 2D A-F berturut-turut yaitu 12,7%, 2,4%, dan 6,3%. Sedangkan pada beban RS mengalami penurunan berturut-turut sebesar 15,5%, 12,9%, dan 10,2%.

Efek penurunan antar siklus ini disebabkan oleh adanya pengecilan luas penampang dari struktur balok dan kolom yang mengakibatkan berat struktur berkurang, sehingga beban gempa yang terjadi juga ikut berkurang. Sementara itu, sebab dari beban model 3D lebih besar dari 2D adalah karena pada model 3D memperhitungkan seluruh elemennya, sedangkan pada 2D hanya pada portal yang

dituju saja. Detail lengkap perbandingan siklus gaya antar tingkat dapat dilihat pada Lampiran 44 dan Lampiran 45.



**Gambar 5.36 Gaya Geser Tingkat 3Dx, 2D A-3, dan 2D A-8**

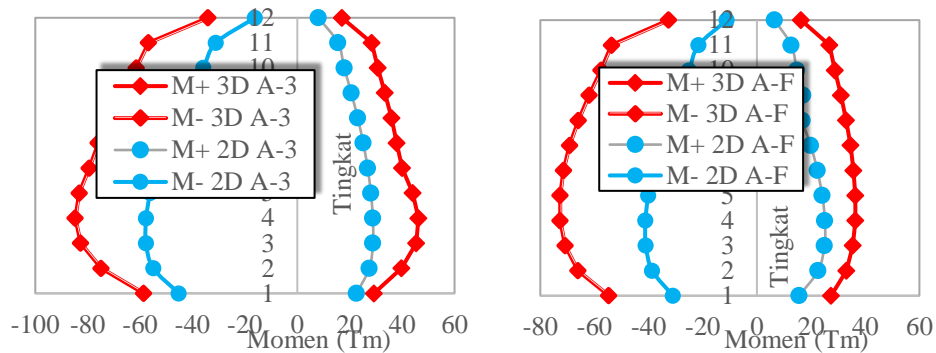


**Gambar 5.37 Gaya Geser Tingkat 3Dy dan 2D A-F**

Keadaan yang serupa dengan gaya antar tingkat juga terjadi pada gaya geser, dimana pada terlihat pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 model 3D lebih besar dibandingkan model 2D. Kemudian, pada siklus ke 2 juga seluruh model mengalami penurunan gaya geser. Penurunan ini juga diakibatkan oleh sebab yang sama pada gaya antar tingkat yaitu menurunnya berat struktur akibat pengecilan penampang.

Dari Gambar 5.34 dan Gambar 5.36 juga dapat diketahui bahwa portal dengan arah yang sama dapat menghasilkan gaya geser yang berbeda, perbedaan hal itu disebabkan oleh panjang portal yang berbeda. Detail lengkap gaya geser tingkat dapat dilihat pada Lampiran 46 hingga Lampiran 49 .

Pembahasan selanjutnya yaitu momen balok struktur. Dimana pada siklus 1 analisis dan desain menunjukkan bahwa momen yang terjadi pada balok model 3D memiliki nilai yang lebih besar dibanding pada model 2D dengan tampilan yang dapat dilihat pada Gambar 5.38 berikut.

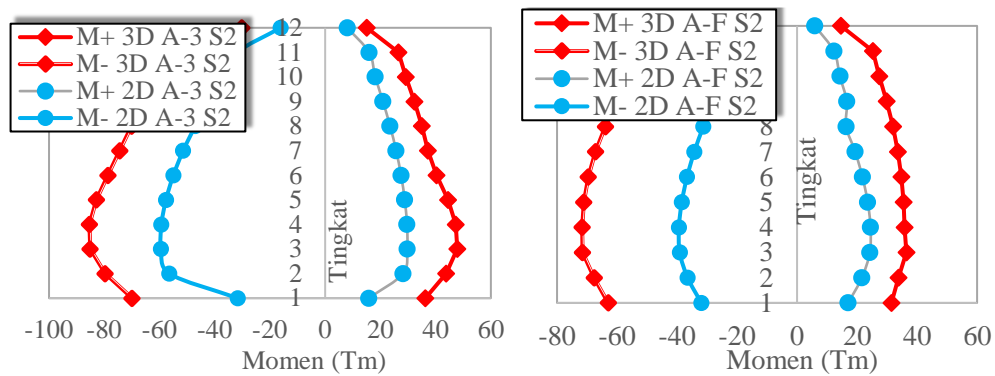


**Gambar 5.38 Momen Balok Siklus 1**

Dari Gambar 5.38 terlihat bahwa momen yang dihasilkan dari analisis struktur 3D masih lebih besar dibandingkan momen 2D pada kedua portal. Perbedaan momen pada portal A-3 yaitu M+ berkisar rata-rata 37% sedangkan pada M- berkisar 35%. Pada portal A-F memiliki perbedaan rata-rata yaitu M+ berkisar 42% sedangkan pada M- berkisar 50%. Perbandingan yang dilakukan pada analisis dan desain siklus 1 ini menunjukkan bahwa analisis dan desain dengan menggunakan model 3D dapat menghasilkan momen yang lebih tinggi bahkan hampir 2 kali dari 2D, yang ini terjadi pada portal A-F di sumbu y.

Selain hal itu, juga terlihat bahwa momen negatif puncak berada pada tingkat 4 dengan nilai berturut-turut model 3D, 2D A-3, dan 2D A-F adalah 92,6 Tm, 56,16 Tm, dan 41,12 Tm. Detail lebih lengkap perbandingan momen siklus 1 di setiap tingkatnya terdapat pada Lampiran 50.

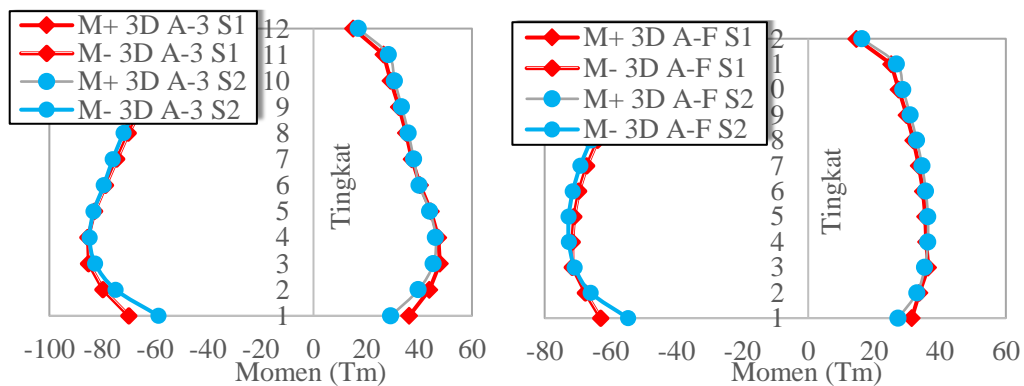
Penyebab tingginya momen 3D disebabkan oleh gaya gempa yang *diinput* pada model 3D terdapat beban orthogonal. Selain hal itu juga adanya pengaruh dari ksentrisitas tambahan juga mempengaruhi besarnya gaya serta momennya. Kemudian pada analisis dan desain siklus 2 didapatkan hasil yang diperlihatkan pada Gambar 5.39 berikut.



**Gambar 5.39 Momen Balok Siklus 2**

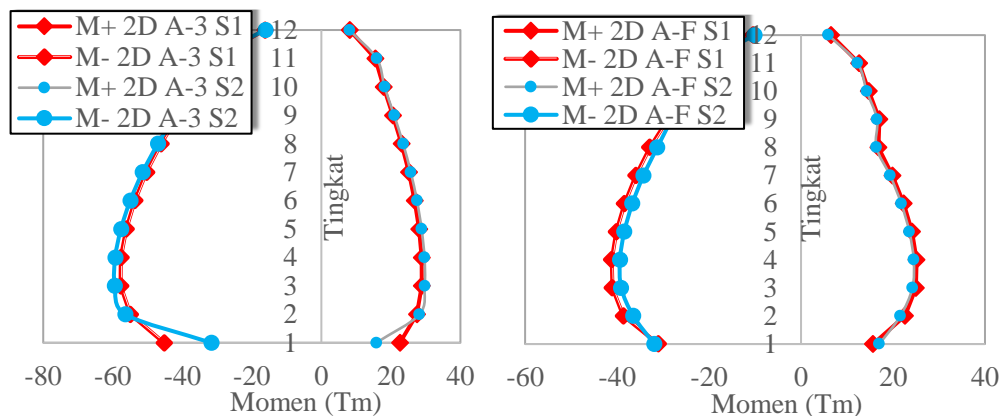
Pada Gambar 5.39 terlihat bahwa siklus 2 analisis dan desain juga mendapatkan hasil yang serupa dengan siklus 2 dimana momen pada model 3D lebih besar dari pada 2D. Perbedaan momen yang didapatkan antara 3D dengan 2D yaitu pada portal A-3 yaitu M+ berkisar 38% sedangkan pada M- berkisar 36%. Pada portal A-F memiliki perbedaan rata-rata yaitu pada M+ sebesar 43% sedangkan pada M- sebesar 51%. Nilai tersebut hampir serupa dengan hasil perbandingan pada siklus 1 sebelumnya, dimana perbedaan momen 3D pada portal A-F dapat mencapai 2 kali momen 2D. Detail lebih lengkap selisih perbedaan momen balok pada siklus 2 ini tertera pada Lampiran 51.

Selanjutnya akan dibandingkan antara momen siklus 1 dengan siklus 2 dengan tujuan untuk mengetahui apakah dengan menambah siklus analisis dan desain akan didapatkan nilai yang lebih efisien ataukah sebaliknya. Hasil perbandingan momen antar siklus dapat dilihat pada Gambar 5.40 dan Gambar 5.41 berikut.



**Gambar 5.40 Perbandingan Momen Balok 3D Siklus 1 dan 2**



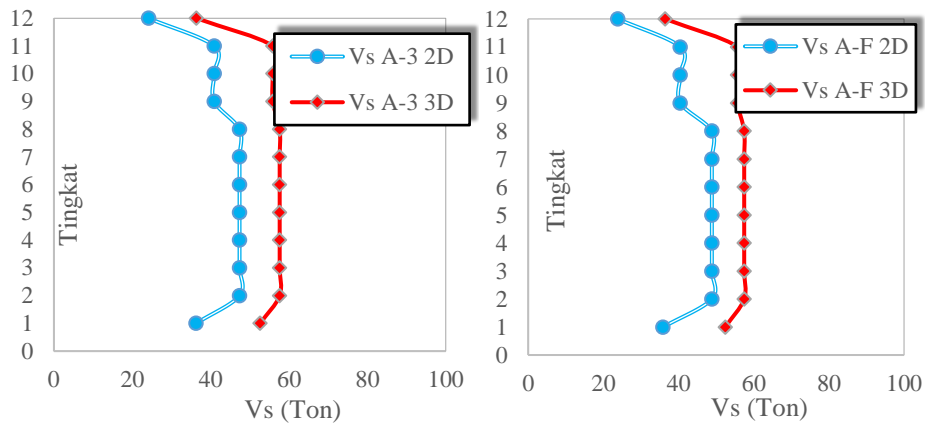


**Gambar 5.41 Perbandingan Momen Balok 2D Siklus 1 dan 2**

Berdasarkan Gambar 5.40 memperlihatkan bahwa momen model 3D pada siklus 2 lebih besar dari pada siklus 1 namun dengan perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Perbedaan pada portal A-3 yaitu M+ berkisar 6% sedangkan pada M- berkisar 5%. Pada portal A-F memiliki perbedaan rata-rata yaitu M+ berkisar 5% sedangkan pada M- berkisar 5%. Hal tersebut dapat terjadi karena distribusi gaya seismik antar siklus juga memiliki nilai yang tidak signifikan yaitu memiliki perbedaan hanya 12,7% saja.

Pada Gambar 5.41 memperlihatkan momen balok 2D antar siklusnya. Dimana didapatkan pada portal A-3 selisih rata-rata M+ sebesar 4% sedangkan M- sebesar 4%. Pada portal A-F juga didapatkan hasil yang serupa dimana selisih rata-rata M+ sebesar 4% sedangkan pada M- sebesar 5%. Perbedaan yang kecil tersebut juga berasal dari dimensi elemen yang didesain pada siklus 1 tidak terlalu jauh berbeda dari estimasi desain, sehingga dapat diketahui bahwa berubahnya dimensi tidak menyebabkan perubahan momen begitu besar. Perhitungan selisih momen balok antar siklus tertera pada Lampiran 52 serta Lampiran 53.

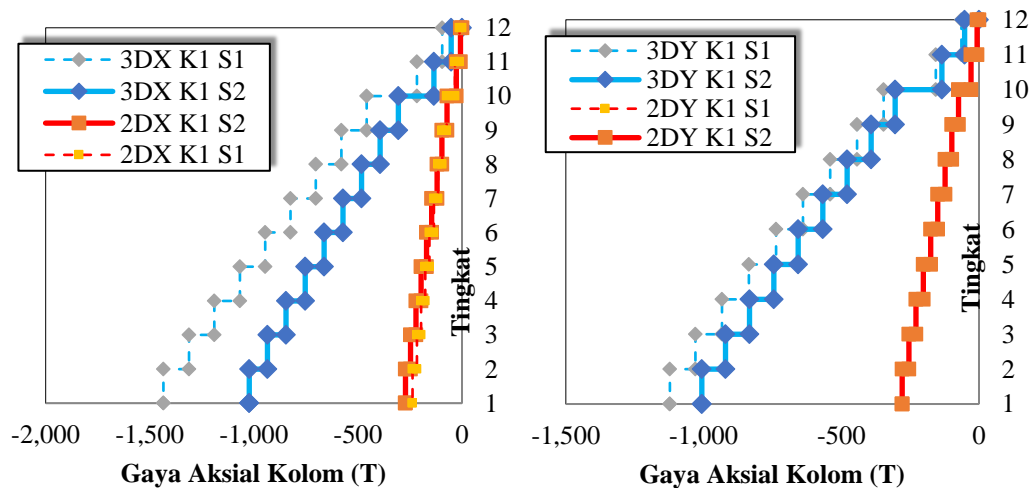
Untuk mempersingkat pembahasan, pada pembahasan selanjutnya akan kami tampilkan perbandingan hanya pada siklus 2 saja. Perbandingan selanjutnya adalah perbandingan gaya geser. Gaya geser yang akan ditampilkan ini diambil pada daerah tumpuan saja dengan membandingkan antara model 3D dengan 2D. Hasil dari perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.42 berikut.



**Gambar 5.42 Perbandingan Gaya Geser Balok Tumpuan**

Hasil perbandingan yang didapatkan dari Gambar 5.40 pada portal A-3 gaya geser model 3D lebih besar sekitar 21% dibandingkan pada 2D, sedangkan pada portal A-F gaya geser 3D lebih besar sekitar 30% dibandingkan 2D. Hal ini disebabkan oleh sebab yang serupa pada pembahasan momen sebelumnya yaitu pengaruh adanya ortogonal dan eksentrisitas. Detail lebih lanjut selisih gaya geser balok pada seluruh tingkat dapat dilihat pada Lampiran 54.

Setelah perbandingan balok, selanjutnya akan ditampilkan perbandingan kolom. Dimana sampel yang dibandingkan adalah pada kolom K1 dengan hasil sebagaimana pada Gambar 5.43 berikut.



**Gambar 5.43 Gaya Aksial Kolom K1**

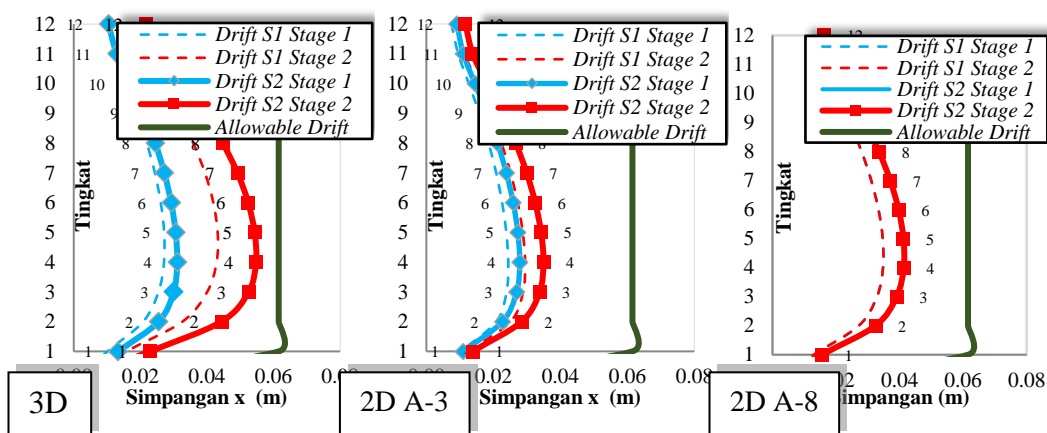
Gambar 5.43 sebelumnya menunjukkan dimana gaya aksial pada 3D siklus 1 lebih besar daripada siklus 2, begitu juga pada 2D terjadi hal yang sama.

Perbandingan antar siklus pada 3D didapatkan rata-rata selisih yaitu 33% untuk arah x yang mewakili portal A-3 serta 12% arah y yang mewakili portal A-F, sedangkan pada 2D didapatkan nilai selisih yaitu 12% arah x dan 2% arah y. Sementara itu, apabila dibandingkan antar model maka didapatkan bahwa model 3D memiliki gaya yang lebih besar daripada 2D, dimana arah x memiliki selisih rata-rata pada siklus 1 sebesar 84% sedangkan 76% pada siklus 2. Detail perbandingan seluruh tingkatnya tertera pada Lampiran 55 hingga Lampiran 58.

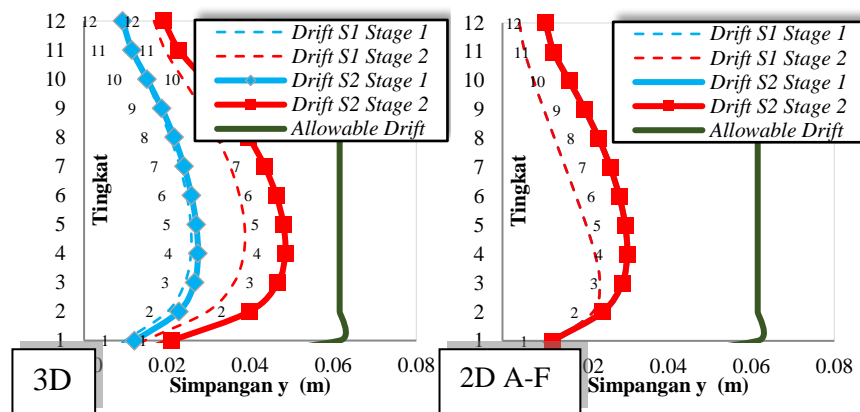
Berdasarkan hasil perbandingan gaya dan momen tersebut dapat diketahui bahwa beban ortogonal serta eksentrisitas tambahan lebih mempengaruhi besarnya nilai daripada perubahan dimensi. Hal ini terlihat pada Gambar 5.39 dan Gambar 5.40 yang menunjukkan bahwa model 3D yang memiliki perbedaan dari segi adanya pengaruh ortogonal serta eksentrisitas tambahan mendapatkan nilai yang lebih besar dari model 2D di kedua sumbunya. Berbanding terbalik pada Gambar 5.40 yang memperlihatkan bahwa model 3D yang memiliki beban hampir serupa namun ada perbedaan dimensi dalam desain tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan.

### 5.9.2 Perbandingan Kinerja Struktur

Kinerja struktur yang akan dibandingkan adalah kinerja simpangan dan efek P-Delta. Pada pembahasan pertama akan dibandingkan antara simpangan model 3D dengan 2D, yang hasil perbandingan tersebut ditampilkan pada Gambar 5.44 dan Gambar 5.45 sebagai berikut.



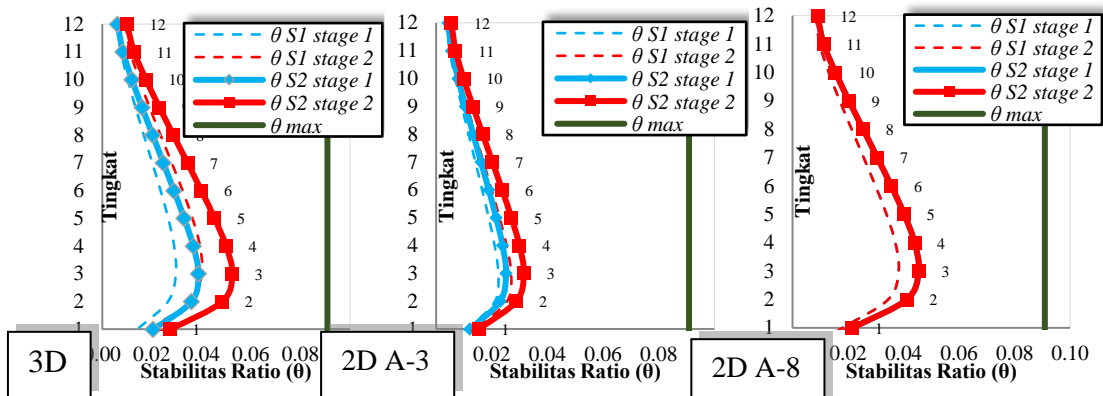
Gambar 5.44 Simpangan x



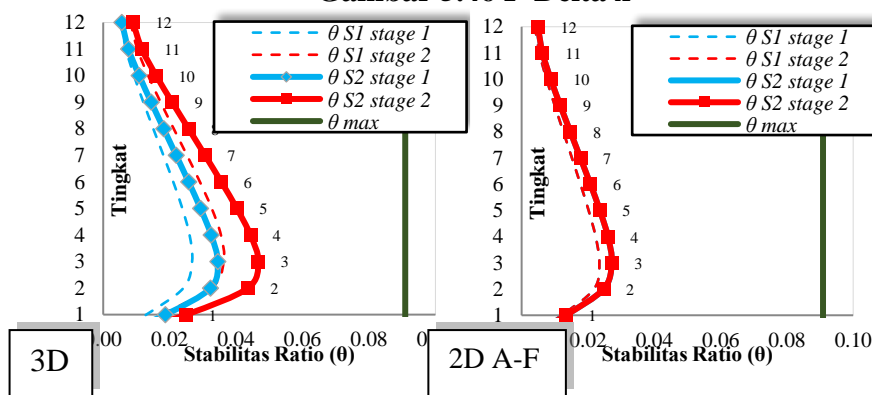
**Gambar 5.45 Simpangan y**

Gambar 5.44 membandingkan antara model 3D dan 2D portal A-3 sebagai arah x, Pembahasan pertama akan dibandingkan antar model yaitu pada model 3D dengan 2D, pada kedua model tersebut memiliki perbedaan rata-rata pada tahap 1 sebesar 13% serta pada tahap 2 sebesar 40%. Selain hal itu, antara siklus 1 dan siklus 2 simpangan yang lebih besar terjadi pada siklus 2 yang mana struktur lebih mendekati batas izin simpangan. Perbedaan selisih antara siklus 1 dengan siklus 2 pada model 3D berkisar antara 12% hingga 26%, pada Model 2D A-3 berkisar antara 9% hingga 18%, sedangkan pada Model 2D A-8 berkisar antara 7% hingga 16%. Ketika membandingkan simpangan antara model 3D dan 2D Portal A-3 dalam masing-masing siklus, dapat disimpulkan bahwa simpangan pada model 3D lebih besar daripada pada model 2D, dengan perbedaan rata-rata sekitar 10% pada siklus 1 (S1) dan sekitar 28% pada siklus 2 (S2).

Pada Gambar 5.45, membandingkan antara model 3D dengan 2D portal A-F sebagai arah y, dimana simpangan 3D hampir menyerupai dengan 2D pada tahap 1 dengan selisih perbedaan rata-rata 7%. Pada tahap 2 terlihat adanya perubahan dimana simpangan 3D lebih besar sekitar 41% dibandingkan dengan 2D. Detail lebih lengkap terkait perbandingan simpangan antar 3D dengan 2D tertera pada Lampiran 59 hingga Lampiran 62.



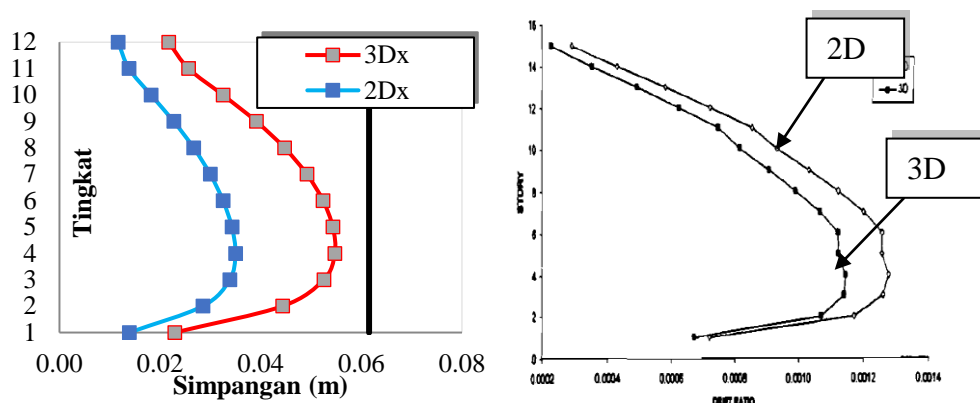
Gambar 5.46 P-Delta x



Gambar 5.47 P-Delta y

Sementara itu, pada Gambar 5.46 yang membandingkan antara P-Delta 3D dengan 2D portal A-3 dan Gambar 5.47 antara P-Delta 3D dengan 2D portal A-F menunjukkan hasil yang hampir serupa dengan simpangan. Pada umumnya didapatkan P-Delta 3D baik pada setiap tahap maupun siklus masih lebih besar dibandingkan pada 2D. Dimana pada siklus 1 antara 3D dengan 2D memiliki selisih rata-rata 34% untuk portal A-3 serta selisih 16% untuk portal A-F. Sementara itu, pada siklus 2 terjadi selisih 38% di portal A-3 serta selisih 32% di portal A-F. Apabila dibandingkan antar siklusnya pada model 3D terdapat selisih sekitar 19%, pada model 2D portal A-3 terdapat selisih sekitar 14%, serta pada 2D portal A-F terdapat selisih sekitar 36%. Detail lebih lengkap terkait perbandingan P-Delta di tiap lantainya tertera pada Lampiran 63 hingga Lampiran 66.

Selanjutnya hal yang akan dibandingkan adalah antar penelitian. Sampel yang diambil sebagai pembanding yaitu pada simpangan pada siklus 2 dengan simpangan yang dilakukan pada penelitian Pribadi & Setiawan (2006), dimana akan tampak sebagaimana pada Gambar 5.48 berikut.



**Gambar 5.48 Perbandingan Simpangan Antar Penelitian**

Gambar 5.48 sebelumnya menunjukkan hasil analisis simpangan yang berbeda. Simpangan yang dihasilkan pada penelitian Pribadi & Setiawan (2006) menunjukkan bahwa simpangan pada model 2D lebih besar dibandingkan pada model 3D. Sementara itu, pada penelitian ini telah dibahas sebelumnya bahwa simpangan model 3D yang lebih besar dibandingkan pada 2D. Hal utama yang menyebabkan demikian adalah belum diterapkannya pengaruh eksentrisitas tambahan pada model 3D dari penelitiannya Pribadi & Setiawan (2006).

Pada perbandingan kinerja sebelumnya didapatkan beberapa hasil pembahasan. Pertama, adanya beban ortogonal serta eksentrisitas tambahan pada model 3D dapat mempengaruhi besarnya simpangan dan P-delta, hal ini ditunjukkan pada Gambar 5.44, dimana terlihat bahwa simpangan antara 3D dan 2D memiliki perbedaan yang cukup besar yaitu sekitar 13% pada tahap 1 serta 40% pada tahap 2. Kedua, perbedaan dimensi desain pada siklus 1 dan 2 juga berpengaruh terhadap kinerja struktur, hal ini dapat terlihat pada Gambar 5.44 dimana baik pada model 3D dan 2D mengalami penurunan sebesar 7% hingga 13%. Penurunan nilai tersebut disebabkan karena adanya pembesaran dimensi balok, lain hal dengan kolom yang bahkan dimensinya ada pengecilan dari siklus sebelumnya. Dari sebab tersebut dapat kita ketahui bahwa besar kecilnya balok dapat mempengaruhi kekakuan struktur.

### 5.9.3 Perbandingan Biaya

Hal perbandingan biaya pada tiap model dan tiap siklus dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 5.13 Perbandingan Biaya**

	Siklus 1	Siklus 2	Selisih	
3D	Rp. 5.300.000.000,00	Rp. 5.120.000.000,00	Rp. 180.000.000,00	3,39%
2D	Rp. 4.900.000.000,00	Rp. 4.300.000.000,00	Rp. 600.000.000,00	12,24%
Selisih	Rp. 400.000.000,00	Rp.820.000.000		
	7,55%	16%		

Berdasarkan Tabel 2.1, didapatkan bahwa biaya anggaran dari model 3D lebih besar dari model 2D dengan besaran 7,55% untuk siklus 1 dan 16% untuk siklus 2. Hal itu disebabkan tulangan yang digunakan pada struktur 3D lebih besar secara dimensi dan lebih banyak secara jumlahnya. Sementara itu, apabila antar siklus dibandingkan maka biaya yang dibutuhkan pada siklus 2 lebih murah sekitar 3,39% pada model 3D dan 12,24% pada model 2D. Penyebab rendahnya biaya pada siklus 2 dikarenakan oleh berkurangnya dimensi elemen struktur, baik pada balok dan kolom, begitu juga tulangan yang dipakai lebih kecil.

Berdasarkan hal tersebut, didapatkan bahwa biaya pada analisis dan desain pada siklus ke 2 memiliki nilai yang lebih kecil, sehingga gambar akan dipilih berdasarkan hasil gambar desain siklus ke 2 sebagaimana Lampiran 68.

## **BAB VI KESIMPULAN**

### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Seluruh gaya dan momen yang terjadi pada model 3D memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan model 2D, dimana pada portal A-3 memiliki selisih perbandingan gaya geser balok, gaya aksial kolom dan momen balok berturut-turut yaitu 21%, 84%, dan 38%. Penyebab gaya-gaya dan momen-momen pada model 3D lebih besar dari pada model 2D yaitu pengaruh beban ortogonal dan eksentrisitas tambahan.. Sementara itu, pengaruh dari pembesaran dimensi tidak terlalu mempengaruhi gaya dan momen. Hal ini terlihat pada pembahasan perbandingan momen antar siklus, dimana didapatkan bahwa adanya pembesaran dan pengecilan beberapa dimensi elemen tidak meningkatkan besarnya momen secara signifikan.
2. Perbandingan kinerja struktur simpangan antar tingkat antara model 3D dengan 2D didapatkan bahwa simpangan yang terjadi pada model 3D bernilai lebih besar dibandingkan model 2D dengan selisih perbedaan rata-rata pada siklus 2 analisis struktur tahap 1 di arah x yaitu 13% serta tahap 2 yaitu 40%. Sementara itu, perbedaan P-Delta tahap 1 memiliki selisih rata-rata 38%. Kemudian penyebab lebih besarnya kinerja simpangan serta P-Delta pada model 3D dibandingkan 2D, disebabkan oleh hal yang serupa pada momen yaitu pengaruh beban ortogonal serta adanya eksentrisitas tambahan,. Analisis dan desain struktur secara 2D tidak dapat dijadikan landasan dalam sebuah perencanaan, dikarenakan hasil kinerja pada model 2D menjadi batas bawah sedangkan pada model 3D menjadi batas atasnya. Dimana apabila struktur didesain dengan model 2D lalu kinerja struktur hampir mendekati batas maksimal atau izinnnya, maka apabila desain ditransformasikan ke model 3D struktur dapat melebihi batasan yang diizinkan.



3. Perbandingan RAB antara model didapatkan bahwa RAB pada model 3D lebih besar dibandingkan pada model 2D dengan selisih 7,55% di siklus 1 sedangkan pada siklus 2 yaitu 16%. Adanya penerapan siklus dalam analisis dan desain dapat memperlihatkan bahwa setiap desain yang dilakukan dalam sekali proses saja belum tentu menghasilkan hasil yang lebih efisien terutama dalam hal biaya.

## 6.2 Saran

Pada penelitian ini tentunya masih memiliki keterbatasan, maka penulis ingin memberikan beberapa saran untuk penelitian yang akan datang yaitu sebagai berikut.

1. menganalisis bangunan dengan konfigurasi bangunan ireguler setback.
2. Memvariasikan dimensi volume penampang elemen, namun tulangan disamakan atau memvariasikan baik pada dimensi serta tulangnya.
3. Menambahkan beban angin pada bangunan.
4. Menganalisis tangga sebagai kesatuan struktur dalam satu bangunan.
5. Menambahkan jumlah siklus proses analisis dan desain.
6. Menambahkan *structural wall* (dinding struktur).
7. Menganalisis bangunan yang memiliki tinggi tingkat yang bervariasi atau berbeda-beda tiap tingkatnya.
8. Perlu dilakukan penelitian optimalisasi dana Pembangunan struktur dengan memperhitungkan beberapa variable yang dapat diselesaikan dengan *Artificial Neural Network* (ANN).

## DAFTAR PUSTAKA

- Cornelis, R., Bunganaem, W., & Tay, B. U. (2014). *Analisis Perbandingan Gaya Geser Tingkat, Gaya Geser Dasar, Perpindahan Tingkat, dan Simpangan Antar Tingkat Akibat Beban Gempa Berdasarkan Peraturan Gempa SNI 1726-2002 Dan SNI 1726-2012*.
- Hermawan, A., & Putra, S. (2007). *Desain Portal Tribun Stadion Sleman Memakai Baja dengan Analisis Struktur Portal Dua Dimensi (2D) dan Tiga Dimensi (3D)*.
- Ibrahim, H. B. (1993). Rencana dan Estimate Real of Cost. In *Rencana Dan Estimasi Real of Cost*. Bumi Aksara.
- McCormac, J. C. (2001). *Desain Beton Bertulang terjemahan dari Design of Reinforced Concrete*. Penerbit Erlangga.
- Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*.
- Prabowo, A., & Lase, Y. (2016). Tinjauan Nilai Faktor Modifikasi Respon (R) dan Faktor Kuat Lebih ( $\phi$ ) pada Struktur Gabungan Rangka Baja dan Rangka Beton Bertulang dengan Analisis Pushover. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 23(1), 1–88. <https://doi.org/10.5614/jts.2016.23.1.8>
- Pribadi, W., & Setiawan, H. K. (2006). *Perbandingan Respon Struktur Analisis Dua Dimensi dan Tiga Dimensi Serta Implikasi Desain Pada Gedung Asimetris*.
- SNI 1726. (2002). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1726. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1726. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 1727. (2020). *Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain* (Issue 8). Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2847. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standardisasi Nasional.
- Widodo. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar.

Widodo. (2017). *Analisis Dinamik Struktur*. Pustaka Pelajar.

Widyarini, G., Pithaloka, L. D., Sukamta, & Sabdono, P. (2013). *Studi Komparasi Antara Analisis Dua Dimensi (2D) dan Tiga Dimensi (3D) Pada Struktur Gedung Bertingkat 14 Studi Kasus Hotel Holiday Inn Express Semarang*.

# LAMPIRAN

Lampiran 1 : Distribusi Vertikal Gaya Seismik dan Gaya Geser 3D

Tingkat	Elevasi $h$ (m)	Berat $W$ Ton	x				y			
			$Wh^k$ (x)	$Whk/\Sigma$	Gaya Seismik $F_x$ (Ton)	Geser Tingkat $V_x$ (Ton)	$Wh^k$ (y)	$Whk/\Sigma$	Gaya Seismik $F_y$ (Ton)	Geser Tingkat $V_y$ (Ton)
12	48.0	2003	1467269	0.163	190.46	190.5	1183589	0.160	186.798	186.798
11	44.0	2598	1640871	0.183	212.99	403.5	1330034	0.180	209.911	396.709
10	40.0	2598	1394894	0.155	181.07	584.5	1136651	0.154	179.390	576.099
9	36.0	2598	1165656	0.130	151.31	735.8	955423	0.129	150.788	726.887
8	32.0	2598	953689	0.106	123.79	859.6	786812	0.106	124.177	851.065
7	28.0	2598	759606	0.085	98.60	958.2	631351	0.085	99.642	950.707
6	24.0	2598	584132	0.065	75.82	1034.0	489677	0.066	77.283	1027.990
5	20.0	2598	428140	0.048	55.58	1089.6	362559	0.049	57.220	1085.210
4	16.0	2598	292719	0.033	38.00	1127.6	250971	0.034	39.609	1124.819
3	12.0	2598	179290	0.020	23.27	1150.9	156193	0.021	24.651	1149.470
2	8.0	2598	89846	0.010	11.66	1162.6	80053	0.011	12.634	1162.104
1	4.0	2598	27577	0.003	3.58	1166.1	25534	0.003	4.030	1166.134
Total		30580.4	8983688.9	1.000	1166.134	10462.978	7388845.8	1.000	1166.134	10403.993

**Lampiran 2 : Distribusi Vertikal Gaya Seismik dan Gaya Geser 2D**

Tingkat	Elevasi <i>h</i> (m)	Portal A-3						Portal A-F					
		Berat <i>W</i> (T)	<i>Wh</i> <sup>k</sup> (x)	<i>Whk</i> /Σ	Gaya Seismik <i>F<sub>x</sub></i> (Ton)	Geser Tingkat <i>V<sub>x</sub></i> (Ton)	Berat <i>W</i> (T)	<i>Wh</i> <sup>k</sup> (y)	<i>Whk</i> /Σ	Gaya Seismik <i>F<sub>y</sub></i> (Ton)	Geser Tingkat <i>V<sub>y</sub></i> (Ton)		
12	48.0	147	50703	0.142	14.16	14.16	79	27412	0.138	7.68	7.68		
11	44.0	206	62340	0.175	17.41	31.57	115	34910	0.176	9.78	17.45		
10	40.0	206	53987	0.152	15.07	46.64	115	30232	0.152	8.47	25.92		
9	36.0	206	46049	0.129	12.86	59.50	115	25787	0.130	7.22	33.14		
8	32.0	206	38549	0.108	10.76	70.26	115	21587	0.109	6.04	39.18		
7	28.0	206	31512	0.089	8.80	79.06	115	17647	0.089	4.94	44.12		
6	24.0	206	24971	0.070	6.97	86.03	115	13983	0.071	3.92	48.04		
5	20.0	206	18963	0.053	5.30	91.33	115	10619	0.054	2.97	51.01		
4	16.0	206	13541	0.038	3.78	95.11	115	7583	0.038	2.12	53.14		
3	12.0	206	8771	0.025	2.45	97.56	115	4912	0.025	1.38	54.51		
2	8.0	206	4756	0.013	1.33	98.89	115	2663	0.013	0.75	55.26		
1	4.0	206	1671	0.005	0.47	99.35	115	936	0.005	0.26	55.52		
Total		2414	355812	1.000	99.35		1349	198270	1	55.520			

**Lampiran 3 : Simpangan Antar Tingkat Analisis Struktur Tahap 1 3D**

Level	x						y					
	Total Drift ( $\delta e$ ) (m)	Story Drift ( $\delta e_i - \delta e_{i-1}$ ) (m)	Amplified Story Drift ( $\delta$ ) (m)	Amplified Drift times 0.77 (m)	Allowable Drift ( $\Delta a$ ) (m)	Check $\delta < \Delta a$	Total Drift ( $\delta e$ ) (m)	Story Drift ( $\delta e_i - \delta e_{i-1}$ ) (m)	Amplified Story Drift ( $\delta$ ) (m)	Amplified Drift times 0.77 (m)	Allowable Drift ( $\Delta a$ ) (m)	Check $\delta < \Delta a$
12	0.0510	0.0022	0.0123	0.0106	0.080	Safe	0.0456	0.0020	0.0108	0.0098	0.080	Safe
11	0.0488	0.0026	0.0146	0.0125	0.080	Safe	0.0437	0.0024	0.0129	0.0118	0.080	Safe
10	0.0461	0.0033	0.0183	0.0157	0.080	Safe	0.0413	0.0030	0.0163	0.0149	0.080	Safe
9	0.0428	0.0040	0.0221	0.0190	0.080	Safe	0.0383	0.0036	0.0197	0.0180	0.080	Safe
8	0.0388	0.0046	0.0256	0.0220	0.080	Safe	0.0347	0.0041	0.0228	0.0208	0.080	Safe
7	0.0341	0.0052	0.0284	0.0244	0.080	Safe	0.0306	0.0046	0.0253	0.0230	0.080	Safe
6	0.0290	0.0055	0.0304	0.0261	0.080	Safe	0.0260	0.0049	0.0271	0.0247	0.080	Safe
5	0.0234	0.0057	0.0316	0.0271	0.080	Safe	0.0211	0.0051	0.0282	0.0257	0.080	Safe
4	0.0177	0.0057	0.0316	0.0271	0.080	Safe	0.0160	0.0051	0.0282	0.0257	0.080	Safe
3	0.0119	0.0054	0.0296	0.0255	0.080	Safe	0.0108	0.0048	0.0267	0.0243	0.080	Safe
2	0.0066	0.0044	0.0243	0.0209	0.080	Safe	0.0060	0.0040	0.0221	0.0201	0.080	Safe
1	0.0021	0.0021	0.0118	0.0101	0.080	Safe	0.0020	0.0020	0.0109	0.0099	0.080	Safe

**Lampiran 4 : Simpangan Antar Tingkat Analisis Struktur Tahap 1 2D**

Level	Portal A-3						Portal A-F					
	Total Drift ( $\delta e$ ) (m)	Story Drift ( $\delta e_i - \delta e_{i-1}$ ) (m)	Amplified Story Drift ( $\delta$ ) (m)	Amplified Drift times I (m)	Allowable Drift ( $\Delta a$ ) (m)	Check $\delta < \Delta a$	Total Drift ( $\delta e$ ) (m)	Story Drift ( $\delta e_i - \delta e_{i-1}$ ) (m)	Amplified Story Drift ( $\delta$ ) (m)	Amplified Drift times 0.987 (m)	Allowable Drift ( $\Delta a$ ) (m)	Check $\delta < \Delta a$
12	0.0384	0.0014	0.0075	0.0075	0.080	Safe	0.0411	0.0016	0.0085	0.0085	0.080	Safe
11	0.0370	0.0017	0.0095	0.0095	0.080	Safe	0.0395	0.0019	0.0106	0.0106	0.080	Safe
10	0.0353	0.0023	0.0127	0.0127	0.080	Safe	0.0376	0.0025	0.0138	0.0138	0.080	Safe
9	0.0330	0.0029	0.0158	0.0158	0.080	Safe	0.0351	0.0031	0.0171	0.0171	0.080	Safe
8	0.0301	0.0034	0.0186	0.0186	0.080	Safe	0.0320	0.0036	0.0200	0.0200	0.080	Safe
7	0.0267	0.0038	0.0208	0.0208	0.080	Safe	0.0283	0.0041	0.0224	0.0224	0.080	Safe
6	0.0229	0.0041	0.0226	0.0226	0.080	Safe	0.0243	0.0044	0.0243	0.0243	0.080	Safe
5	0.0188	0.0043	0.0239	0.0239	0.080	Safe	0.0198	0.0046	0.0255	0.0255	0.080	Safe
4	0.0145	0.0044	0.0245	0.0245	0.080	Safe	0.0152	0.0047	0.0260	0.0260	0.080	Safe
3	0.0100	0.0044	0.0239	0.0239	0.080	Safe	0.0105	0.0046	0.0252	0.0252	0.080	Safe
2	0.0057	0.0038	0.0209	0.0209	0.080	Safe	0.0059	0.0039	0.0215	0.0215	0.080	Safe
1	0.0019	0.0019	0.0104	0.0104	0.080	Safe	0.0020	0.0020	0.0109	0.0109	0.080	Safe



**Lampiran 5 : P-Delta Efek Analisis Struktur Tahap 1 3D**

Level	x						y					
	Amplified Story $\Delta x$ (m)	Story Shear $V_x$ (Ton)	$P_x$ (Ton)	Stabilitas Ratio ( $\theta$ )	Stabilitas Ratio Max ( $\theta_{max}$ )	Check	Amplified Story $\Delta y$ (m)	Story Shear $V_y$ (Ton)	$P_y$ (Ton)	Stabilitas Ratio ( $\theta$ )	Stabilitas Ratio Max ( $\theta_{max}$ )	Check
12	0.012	190.460	2003	0.00590	0.0909	Safe	0.0108	186.7982	2003	0.0053	0.0909	Safe
11	0.015	403.454	4601	0.00755	0.0909	Safe	0.0129	396.7089	4601	0.0068	0.0909	Safe
10	0.018	584.520	7199	0.01024	0.0909	Safe	0.0163	576.0992	7199	0.0093	0.0909	Safe
9	0.022	735.828	9797	0.01340	0.0909	Safe	0.0197	726.8875	9797	0.0121	0.0909	Safe
8	0.026	859.623	12395	0.01675	0.0909	Safe	0.0228	851.0649	12395	0.0151	0.0909	Safe
7	0.028	958.224	14993	0.02017	0.0909	Safe	0.0253	950.7071	14993	0.0181	0.0909	Safe
6	0.030	1034.047	17591	0.02352	0.0909	Safe	0.0271	1027.9896	17591	0.0211	0.0909	Safe
5	0.032	1089.623	20189	0.02661	0.0909	Safe	0.0282	1085.2100	20189	0.0238	0.0909	Safe
4	0.032	1127.619	22787	0.02899	0.0909	Safe	0.0282	1124.8190	22787	0.0260	0.0909	Safe
3	0.030	1150.892	25385	0.02970	0.0909	Safe	0.0267	1149.4700	25385	0.0268	0.0909	Safe
2	0.024	1162.554	27982	0.02656	0.0909	Safe	0.0221	1162.1041	27982	0.0241	0.0909	Safe
1	0.012	1166.134	30580	0.01405	0.0909	Safe	0.0109	1166.1341	30580	0.0130	0.0909	Safe

**Lampiran 6 : P-Delta Efek Analisis Struktur Tahap 1.2D**

Level	Portal A-3						Portal A-F					
	Amplified Story $\Delta x$ (m)	Story Shear $V_x$ (Ton)	$P_x$ (Ton)	Stabilitas Ratio ( $\theta$ )	Stabilitas Ratio Max ( $\theta_{max}$ )	Check	Amplified Story $\Delta y$ (m)	Story Shear $V_y$ (Ton)	$P_y$ (Ton)	Stabilitas Ratio ( $\theta$ )	Stabilitas Ratio Max ( $\theta_{max}$ )	Check
12	0.007	14.158	147	0.00354	0.0909	Safe	0.009	7.676	79	0.00402	0.0909	Safe
11	0.010	31.565	353	0.00484	0.0909	Safe	0.011	17.451	195	0.00537	0.0909	Safe
10	0.013	46.640	559	0.00690	0.0909	Safe	0.014	25.917	310	0.00752	0.0909	Safe
9	0.016	59.498	765	0.00924	0.0909	Safe	0.017	33.138	426	0.01000	0.0909	Safe
8	0.019	70.263	972	0.01167	0.0909	Safe	0.020	39.183	541	0.01257	0.0909	Safe
7	0.021	79.062	1178	0.01411	0.0909	Safe	0.022	44.124	657	0.01518	0.0909	Safe
6	0.023	86.034	1384	0.01653	0.0909	Safe	0.024	48.040	772	0.01775	0.0909	Safe
5	0.024	91.329	1590	0.01888	0.0909	Safe	0.026	51.014	887	0.02020	0.0909	Safe
4	0.024	95.110	1796	0.02099	0.0909	Safe	0.026	53.137	1003	0.02232	0.0909	Safe
3	0.024	97.560	2002	0.02234	0.0909	Safe	0.025	54.512	1118	0.02345	0.0909	Safe
2	0.021	98.888	2208	0.02119	0.0909	Safe	0.022	55.258	1234	0.02185	0.0909	Safe
1	0.010	99.354	2414	0.01145	0.0909	Safe	0.011	55.520	1349	0.01201	0.0909	Safe

**Lampiran 7 : Pusat Massa Bangunan**

<i>Level</i>	<i>XCM</i>	<i>YCM</i>	<i>XCR</i>	<i>YCR</i>	<i>E0x</i>	<i>E0y</i>	<i>XCM+TT</i>	<i>XCM-TT</i>	<i>YCM+TT</i>	<i>YCM-TT</i>
	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>	<i>m</i>
12	20.4278	31.6705	22.4001	34.3407	1.972	2.670	22.6778	18.1778	35.2705	28.0705
11	20.7079	32.0126	22.4218	34.3518	1.714	2.339	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
10	20.7079	32.0126	22.464	34.3905	1.756	2.378	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
9	20.7079	32.0126	22.5115	34.4391	1.804	2.427	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
8	20.7079	32.0126	22.5502	34.4756	1.842	2.463	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
7	20.7079	32.0126	22.5724	34.4871	1.865	2.475	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
6	20.7079	32.0126	22.5715	34.4627	1.864	2.450	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
5	20.7079	32.0126	22.5386	34.3885	1.831	2.376	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
4	20.7079	32.0126	22.4607	34.2447	1.753	2.232	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
3	20.7079	32.0126	22.3172	34.0022	1.609	1.990	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
2	20.7079	32.0126	22.0711	33.611	1.363	1.598	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126
1	20.7079	32.0126	21.5832	32.8912	0.875	0.879	22.9579	18.4579	35.6126	28.4126

**Lampiran 8 : Respons Spektrum**

T (detik)	Sa (g)	T (detik)	Sa (g)	T (detik)	Sa (g)	T (detik)	Sa (g)	T (detik)	Sa (g)
0	0.347	2.177	0.230	4.177	0.120	7.000	0.071	13.000	0.038
0.115	0.867	2.377	0.210	4.377	0.114	8.000	0.063	15.000	0.033
0.577	0.867	2.577	0.194	4.577	0.109	9.000	0.056	17.000	0.029
0.777	0.644	2.777	0.180	4.777	0.105	10.000	0.050	20.000	0.025
0.977	0.512	2.977	0.168	4.977	0.100	11.000	0.045	22.000	0.021
1.177	0.425	3.177	0.157	5.177	0.097	12.000	0.042	25.000	0.016
1.377	0.363	3.377	0.148	5.377	0.093				
1.577	0.317	3.577	0.140	5.577	0.090				
1.777	0.281	3.777	0.132	5.777	0.087				

**Lampiran 9 : Periode Getar Alami Model 3D**

Mode	T (s)	Selisih	Mode	T (s)	Selisih	Mode	T (s)	Selisih
1	2.255	6%	13	0.171	4%	0.06	0%	0.06
2	2.12	14%	14	0.165	13%	0.06	7%	0.06
3	1.819	61%	15	0.144	14%	0.056	0%	0.056
4	0.713	6%	16	0.124	3%	0.056	2%	0.056
5	0.672	14%	17	0.12	12%	0.055	2%	0.055
6	0.577	32%	18	0.106	11%	0.054	4%	0.054
7	0.39	5%	19	0.094	3%	0.052	4%	0.052
8	0.369	14%	20	0.091	11%	0.05	0%	0.05
9	0.317	21%	21	0.081	9%	0.05	10%	0.05
10	0.249	5%	22	0.074	3%	0.045	0%	0.045
11	0.237	13%	23	0.072	10%	0.045	2%	0.045
12	0.206	17%	24	0.065	8%	0.044	0%	0.044

**Lampiran 10 : Periode Getar Alami 2D**

Portal A-F											
Portal A-3						Portal A-F					
Mode	T (s)	Selisih	Mode	T (s)	Selisih	Mode	T (s)	Selisih	Mode	T (s)	Selisih
1	1.119	68%	13	0.041	5%	1	1.661	69%	13	0.042	5%
2	0.354	45%	14	0.039	8%	2	0.52	46%	14	0.04	5%
3	0.195	36%	15	0.036	11%	3	0.281	37%	15	0.038	5%
4	0.125	30%	16	0.032	0%	4	0.177	32%	16	0.036	3%
5	0.087	26%	17	0.032	13%	5	0.121	28%	17	0.035	6%
6	0.064	16%	18	0.028	0%	6	0.087	24%	18	0.033	6%
7	0.054	2%	19	0.028	0%	7	0.066	23%	19	0.031	3%
8	0.053	2%	20	0.028	0%	8	0.051	14%	20	0.03	3%
9	0.052	6%	21	0.028	4%	9	0.044	0%	21	0.029	7%
10	0.049	0%	22	0.027	0%	10	0.044	2%	22	0.027	7%
11	0.049	8%	23	0.027	4%	11	0.043	2%	23	0.025	4%
12	0.045	9%	24	0.026	0%	12	0.042	0%	24	0.024	0%

**Lampiran 11 : Distribusi Vertikal Gaya Geser Terhadap Skala Gaya**

Level	3D				2D			
	X Direction SF=		Y Direction SF=		2D A-3 SF =		2D A-F SF =	
	Unscaled Shear	Scaled Shear	Unscaled Shear	Scaled Shear	Unscaled Shear	Scaled Shear	Unscaled Shear	Scaled Shear
12	190.460	190.46	186.798	186.798	14.158	22.48	7.676	12.19
11	403.454	403.45	396.709	396.709	31.565	50.12	17.451	27.71
10	584.520	584.52	576.099	576.099	46.640	74.05	25.917	41.15
9	735.828	735.83	726.887	726.887	59.498	94.47	33.138	52.62
8	859.623	859.62	851.065	851.065	70.263	111.56	39.183	62.21
7	958.224	958.22	950.707	950.707	79.062	125.53	44.124	70.06
6	1034.047	1034.05	1027.990	1027.990	86.034	136.60	48.040	76.28
5	1089.623	1089.62	1085.210	1085.210	91.329	145.01	51.014	81.00
4	1127.619	1127.62	1124.819	1124.819	95.110	151.02	53.137	84.37
3	1150.892	1150.89	1149.470	1149.470	97.560	154.90	54.512	86.55
2	1162.554	1162.55	1162.104	1162.104	98.888	157.01	55.258	87.74
1	1166.134	1166.13	1166.134	1166.134	99.354	157.75	55.520	88.15

**Lampiran 12 : Simpangan Antar Tingkat Analisis Struktur Tahap 2 3D**

Level	x						y					
	Total Drift ( $\delta e$ )	Story Drift ( $\delta e_i - \delta e_{i-1}$ )	Story Drift $x$ Cd = 5.5	Story Drift Izin ( $\Delta a$ )	Check $\delta < \Delta a$	Total Drift ( $\delta e$ )	Story Drift ( $\delta e_i - \delta e_{i-1}$ )	Story Drift $x$ Cd = 5.5	Story Drift Izin ( $\Delta a$ )	Check $\delta < \Delta a$		
	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	(m)	(m)	(m)			
12	0.0711	0.0035	0.0191	0.0615	Safe	0.0637	0.0031	0.0168	0.0615	Safe		
11	0.0676	0.0040	0.0219	0.0615	Safe	0.0607	0.0035	0.0195	0.0615	Safe		
10	0.0636	0.0048	0.0266	0.0615	Safe	0.0571	0.0043	0.0238	0.0615	Safe		
9	0.0588	0.0057	0.0315	0.0615	Safe	0.0528	0.0051	0.0282	0.0615	Safe		
8	0.0531	0.0065	0.0359	0.0615	Safe	0.0477	0.0058	0.0321	0.0615	Safe		
7	0.0465	0.0072	0.0394	0.0615	Safe	0.0419	0.0064	0.0352	0.0615	Safe		
6	0.0394	0.0076	0.0419	0.0615	Safe	0.0355	0.0068	0.0374	0.0615	Safe		
5	0.0317	0.0079	0.0432	0.0615	Safe	0.0287	0.0070	0.0386	0.0615	Safe		
4	0.0239	0.0078	0.0429	0.0615	Safe	0.0216	0.0070	0.0385	0.0615	Safe		
3	0.0161	0.0073	0.0401	0.0615	Safe	0.0146	0.0066	0.0361	0.0615	Safe		
2	0.0088	0.0059	0.0326	0.0615	Safe	0.0081	0.0054	0.0298	0.0615	Safe		
1	0.0029	0.0029	0.0158	0.0615	Safe	0.0027	0.0027	0.0146	0.0615	Safe		



**Lampiran 13 : Simpangan Antar Tingkat Analisis Struktur Tahap 2 2D**

Level	Portal A-3						Portal A-F					
	Total Drift ( $\delta_e$ )	Story Drift ( $\delta_{ei} - \delta_{ei-1}$ )	Story Drift $x Cd = 5.5$	Story Drift Izin ( $\Delta a$ )	Check $\delta < \Delta a$	Total Drift ( $\delta_e$ )	Story Drift ( $\delta_{ei} - \delta_{ei-1}$ )	Story Drift $x Cd = 5.5$	Story Drift Izin ( $\Delta a$ )	Check $\delta < \Delta a$		
	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	(m)	(m)	(m)			
12	0.038393	0.001388	0.00920	0.0615	Safe	0.041095	0.001567	0.00862	0.0615	Safe		
11	0.037005	0.001731	0.01148	0.0615	Safe	0.039528	0.001924	0.01058	0.0615	Safe		
10	0.035274	0.002301	0.01526	0.0615	Safe	0.037604	0.002514	0.01383	0.0615	Safe		
9	0.032973	0.002876	0.01907	0.0615	Safe	0.03509	0.003112	0.01712	0.0615	Safe		
8	0.030097	0.003376	0.02239	0.0615	Safe	0.031978	0.003641	0.02003	0.0615	Safe		
7	0.026721	0.003789	0.02513	0.0615	Safe	0.028337	0.004079	0.02243	0.0615	Safe		
6	0.022932	0.004112	0.02727	0.0615	Safe	0.024258	0.004417	0.02429	0.0615	Safe		
5	0.01882	0.004339	0.02878	0.0615	Safe	0.019841	0.004646	0.02555	0.0615	Safe		
4	0.014481	0.004446	0.02948	0.0615	Safe	0.015195	0.004729	0.02601	0.0615	Safe		
3	0.010035	0.004353	0.02887	0.0615	Safe	0.010466	0.004574	0.02516	0.0615	Safe		
2	0.005682	0.003789	0.02513	0.0615	Safe	0.005892	0.003910	0.02151	0.0615	Safe		
1	0.001893	0.001893	0.01255	0.0615	Safe	0.001982	0.001982	0.01090	0.0615	Safe		

**Lampiran 14 : P-Delta Efek Analisis Struktur Tahap 2 3D**

Level	x						y					
	Amplified Story $\Delta x$ (m)	Story Shear $V_x$ (Ton)	$P_x$ (Ton)	Stabilitas Ratio ( $\theta$ )	Stabilitas Ratio Max ( $\theta_{max}$ )	Check	Amplified Story $\Delta y$ (m)	Story Shear $V_y$ (Ton)	$P_y$ (Ton)	Stabilitas Ratio ( $\theta$ )	Stabilitas Ratio Max ( $\theta_{max}$ )	Check
12	0.0191	190.46	2003	0.0091	0.0909	Safe	0.0168	186.80	2003	0.0082	0.0909	Safe
11	0.0219	403.45	4601	0.0113	0.0909	Safe	0.0195	396.71	4601	0.0103	0.0909	Safe
10	0.0266	584.52	7199	0.0149	0.0909	Safe	0.0238	576.10	7199	0.0135	0.0909	Safe
9	0.0315	735.83	9797	0.0191	0.0909	Safe	0.0282	726.89	9797	0.0173	0.0909	Safe
8	0.0359	859.62	12395	0.0235	0.0909	Safe	0.0321	851.06	12395	0.0212	0.0909	Safe
7	0.0394	958.22	14993	0.0280	0.0909	Safe	0.0352	950.71	14993	0.0252	0.0909	Safe
6	0.0419	1034.05	17591	0.0324	0.0909	Safe	0.0374	1027.99	17591	0.0291	0.0909	Safe
5	0.0432	1089.62	20189	0.0364	0.0909	Safe	0.0386	1085.21	20189	0.0327	0.0909	Safe
4	0.0429	1127.62	22787	0.0394	0.0909	Safe	0.0385	1124.82	22787	0.0354	0.0909	Safe
3	0.0401	1150.89	25385	0.0402	0.0909	Safe	0.0361	1149.47	25385	0.0363	0.0909	Safe
2	0.0326	1162.55	27982	0.0357	0.0909	Safe	0.0298	1162.10	27982	0.0326	0.0909	Safe
1	0.0158	1166.13	30580	0.0188	0.0909	Safe	0.0146	1166.13	30580	0.0174	0.0909	Safe

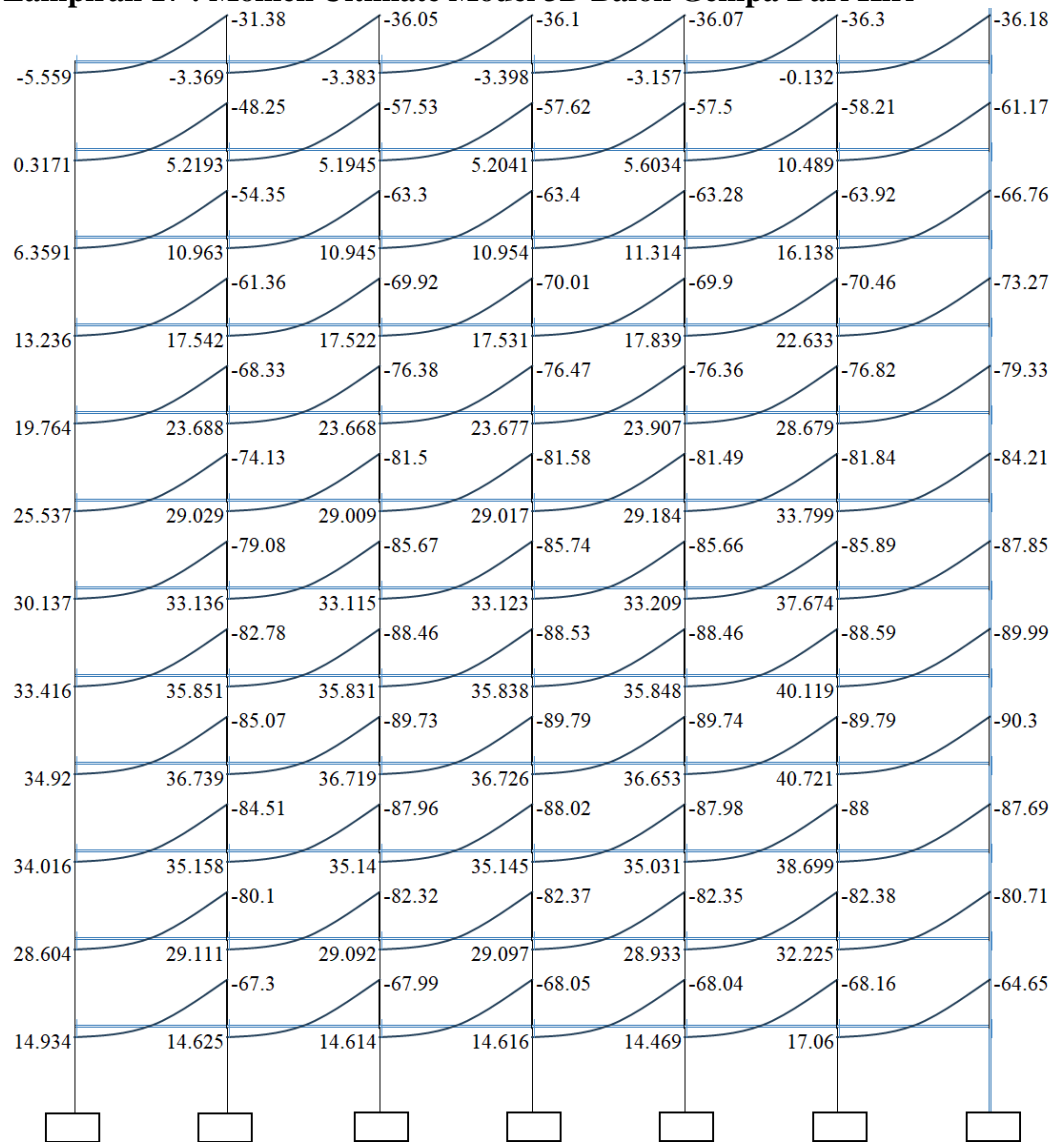
**Lampiran 15 : P-Delta Efek Analisis Struktur Tahap 2 2D**

Level	Portal A-3						Portal A-F					
	Amplified Story $\Delta x$ (m)	Story Shear $V_x$ (Ton)	$P_x$ (Ton)	Stabilitas Ratio ( $\theta$ )	Stabilitas Ratio Max ( $\theta_{max}$ )	Check	Amplified Story $\Delta y$ (m)	Story Shear $V_y$ (Ton)	$P_y$ (Ton)	Stabilitas Ratio ( $\theta$ )	Stabilitas Ratio Max ( $\theta_{max}$ )	Check
12	0.0092	14.158	147	0.00434	0.09091	Safe	0.0086	7.676	79	0.00406	0.09091	Safe
11	0.0115	31.565	353	0.00584	0.09091	Safe	0.0106	17.451	195	0.00537	0.09091	Safe
10	0.0153	46.640	559	0.00832	0.09091	Safe	0.0138	25.917	310	0.00753	0.09091	Safe
9	0.0191	59.498	765	0.01115	0.09091	Safe	0.0171	33.138	426	0.01000	0.09091	Safe
8	0.0224	70.263	972	0.01407	0.09091	Safe	0.0200	39.183	541	0.01257	0.09091	Safe
7	0.0251	79.062	1178	0.01701	0.09091	Safe	0.0224	44.124	657	0.01518	0.09091	Safe
6	0.0273	86.034	1384	0.01994	0.09091	Safe	0.0243	48.040	772	0.01775	0.09091	Safe
5	0.0288	91.329	1590	0.02277	0.09091	Safe	0.0256	51.014	887	0.02021	0.09091	Safe
4	0.0295	95.110	1796	0.02531	0.09091	Safe	0.0260	53.137	1003	0.02231	0.09091	Safe
3	0.0289	97.560	2002	0.02693	0.09091	Safe	0.0252	54.512	1118	0.02346	0.09091	Safe
2	0.0251	98.888	2208	0.02551	0.09091	Safe	0.0215	55.258	1234	0.02182	0.09091	Safe
1	0.0126	99.354	2414	0.01387	0.09091	Safe	0.0109	55.520	1349	0.01204	0.09091	Safe

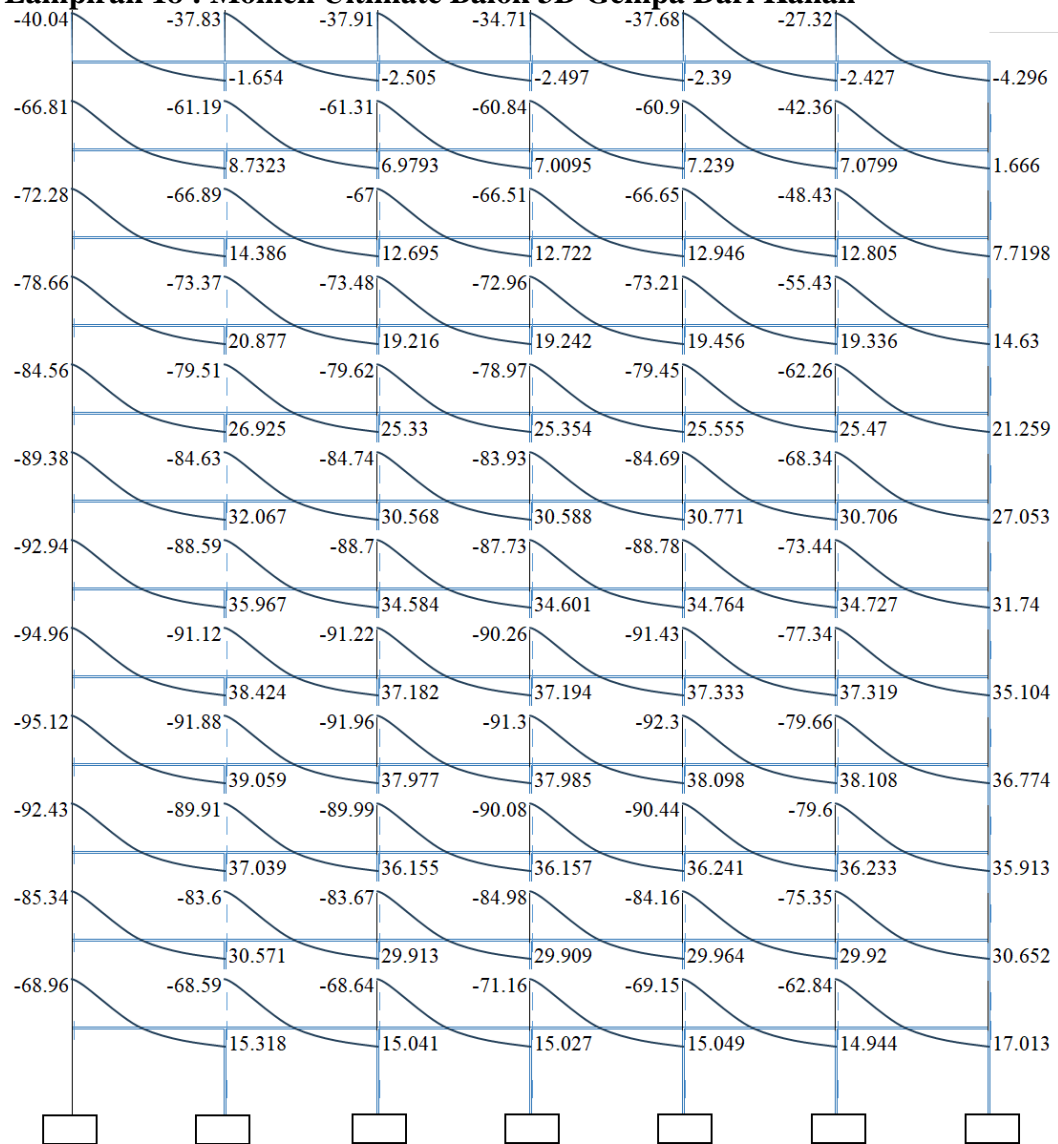
**Lampiran 16 : Rekapitulasi Desain Pelat**

Tipe	t (mm)	Mtx		Mlx		Mty		Mly	
		Pokok	Susut	Pokok	Susut	Pokok	Susut	Pokok	Susut
PL1	120	P12-200 mm	P8-200 mm	P12-200 mm	-	P12-200 mm	P8-200 mm	P12-300 mm	-
PA1	100	P10-200 mm	P8-200 mm	P10-150 mm	-	P10-200 mm	P8-200 mm	P10-200 mm	-
PT	250	P12-100 mm	P10-100 mm	P12-100 mm	-	P12-100 mm	P10-100 mm	P12-100 mm	-
PB	250	P12-100 mm	P10-100 mm	P12-100 mm	-	P12-100 mm	P10-100 mm	P12-100 mm	-

**Lampiran 17 : Momen Ultimate Model 3D Balok Gempa Dari Kiri**



**Lampiran 18 : Momen Ultimate Balok 3D Gempa Dari Kanan**



**Lampiran 19 : Rekapitulasi Desain Balok 3D Siklus 1**

Tingkat	B (m)	H (m)	Tulangan			
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	
12	0.3	0.65	6D25	3D25	6D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-250mm	3D14-100mm	Sengkang
11	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-200mm	3D14-350mm	3D14-200mm	Sengkang
10	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-200mm	3D14-350mm	3D14-200mm	Sengkang
9	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-200mm	3D14-350mm	3D14-200mm	Sengkang
8	0.4	0.8	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-250mm	3D14-100mm	Sengkang
7	0.4	0.8	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-250mm	3D14-100mm	Sengkang
6	0.4	0.8	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-250mm	3D14-100mm	Sengkang
5	0.4	0.8	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-250mm	3D14-100mm	Sengkang
4	0.4	0.8	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-250mm	3D14-100mm	Sengkang
3	0.4	0.8	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-250mm	3D14-100mm	Sengkang
2	0.4	0.8	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-250mm	3D14-100mm	Sengkang
1	0.4	0.85	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-350mm	3D14-100mm	Sengkang

**Lampiran 20 : Rekapitulasi Desain Balok 2D Siklus 1**

Tingkat	B (m)	H (m)	Tulangan			
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	
12	0.3	0.65	5D25	2D25	5D25	Atas
			2D25	2D25	2D25	Bawah
			2D14-100mm	2D14-250mm	2D14-100mm	Sengkang
11	0.4	0.8	6D25	2D25	6D25	Atas
			2D25	2D25	2D25	Bawah
			2D14-100mm	2D14-350mm	2D14-100mm	Sengkang
10	0.4	0.8	6D25	2D25	6D25	Atas
			2D25	2D25	2D25	Bawah
			2D14-100mm	2D14-350mm	2D14-100mm	Sengkang
9	0.4	0.8	6D25	2D25	6D25	Atas
			2D25	2D25	2D25	Bawah
			2D14-100mm	2D14-350mm	2D14-100mm	Sengkang
8	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-350mm	3D14-100mm	Sengkang
7	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-350mm	3D14-100mm	Sengkang
6	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-350mm	3D14-100mm	Sengkang
5	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-350mm	3D14-100mm	Sengkang
4	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-350mm	3D14-100mm	Sengkang
3	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-350mm	3D14-100mm	Sengkang
2	0.4	0.8	7D25	3D25	7D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			3D14-100mm	3D14-350mm	3D14-100mm	Sengkang
1	0.4	0.85	6D25	2D25	6D25	Atas
			2D25	2D25	2D25	Bawah
			2D14-100mm	3D14-350mm	2D14-100mm	Sengkang



**Lampiran 21: Rekapitulasi Beam-Column Joint 3D Siklus 1**

Tingkat	BJC Tepi					BJC Tengah				
	B/H kolom (cm)	B/H balok (cm)	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Kontrol	B/H kolom (cm)	B/H balok (cm)	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Kontrol
12	90/90	30/65	28.701	60.344	Aman	100/100	30/65	23.794	60.344	Aman
11	90/90	40/80	28.199	60.344	Aman	100/100	40/80	23.499	60.344	Aman
10	90/90	40/80	28.199	60.344	Aman	100/100	40/80	23.499	60.344	Aman
9	90/90	40/80	28.199	60.344	Aman	100/100	40/80	23.499	60.344	Aman
8	90/90	40/80	33.801	60.344	Aman	100/100	40/80	28.167	60.344	Aman
7	90/90	40/80	33.801	60.344	Aman	100/100	40/80	28.167	60.344	Aman
6	90/90	40/80	33.801	60.344	Aman	100/100	40/80	28.167	60.344	Aman
5	90/90	40/80	33.801	60.344	Aman	100/100	40/80	28.167	60.344	Aman
4	90/90	40/80	33.801	60.344	Aman	100/100	40/80	28.167	60.344	Aman
3	90/90	40/80	33.801	60.344	Aman	100/100	40/80	28.167	60.344	Aman
2	90/90	40/80	33.801	60.344	Aman	100/100	40/80	28.167	60.344	Aman
1	90/90	40/85	28.345	60.344	Aman	100/100	40/85	23.616	60.344	Aman

**Lampiran 22 : Rekapitulasi Beam-Column Joint 2D Siklus 1**

Tingkat	BJC Tepi					BJC Tengah				
	B/H kolom (cm)	B/H balok (cm)	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Kontrol	B/H kolom (cm)	B/H balok (cm)	$\tau$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\tau_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Kontrol
12	90/90	30/65	23.031	60.344	Aman	100/100	30/65	19.094	60.344	Aman
11	90/90	40/80	23.208	60.344	Aman	100/100	40/80	19.341	60.344	Aman
10	90/90	40/80	23.208	60.344	Aman	100/100	40/80	19.341	60.344	Aman
9	90/90	40/80	23.208	60.344	Aman	100/100	40/80	19.341	60.344	Aman
8	90/90	40/80	28.836	60.344	Aman	100/100	40/80	24.031	60.344	Aman
7	90/90	40/80	28.836	60.344	Aman	100/100	40/80	24.031	60.344	Aman
6	90/90	40/80	28.836	60.344	Aman	100/100	40/80	24.031	60.344	Aman
5	90/90	40/80	28.836	60.344	Aman	100/100	40/80	24.031	60.344	Aman
4	90/90	40/80	28.836	60.344	Aman	100/100	40/80	24.031	60.344	Aman
3	90/90	40/80	28.836	60.344	Aman	100/100	40/80	24.031	60.344	Aman
2	90/90	40/80	28.836	60.344	Aman	100/100	40/80	24.031	60.344	Aman
1	90/90	40/85	22.803	60.344	Aman	100/100	40/85	18.998	60.344	Aman

**Lampiran 23 : Check Strong Column Weak Beam**

3D						2D					
Tingkat	Kolom Tepi	Kolom Tengah	Batas	Cek	Tingkat	Kolom Tepi	Kolom Tengah	Batas	Cek		
12	3.328398	2.946299938	1.2	Aman	12	3.4037557	8.5552898	1.2	Aman		
11	4.37373	3.736964962	1.2	Aman	11	6.5740656	8.6956258	1.2	Aman		
10	4.37373	3.736964962	1.2	Aman	10	6.5740656	8.6956258	1.2	Aman		
9	4.37373	3.736964962	1.2	Aman	9	6.5740656	8.6956258	1.2	Aman		
8	3.231722	2.990461272	1.2	Aman	8	3.8926154	6.63216521	1.2	Aman		
7	3.231722	2.990461272	1.2	Aman	7	3.8926154	6.63216521	1.2	Aman		
6	3.231722	2.990461272	1.2	Aman	6	3.8926154	6.63216521	1.2	Aman		
5	3.231722	2.990461272	1.2	Aman	5	3.8926154	6.63216521	1.2	Aman		
4	3.231722	2.990461272	1.2	Aman	4	3.8926154	6.63216521	1.2	Aman		
3	3.231722	2.990461272	1.2	Aman	3	3.8926154	6.63216521	1.2	Aman		
2	3.231722	2.990461272	1.2	Aman	2	3.8926154	6.63216521	1.2	Aman		
1	3.793803	3.594967689	1.2	Aman	1	5.3033567	7.26868652	1.2	Aman		

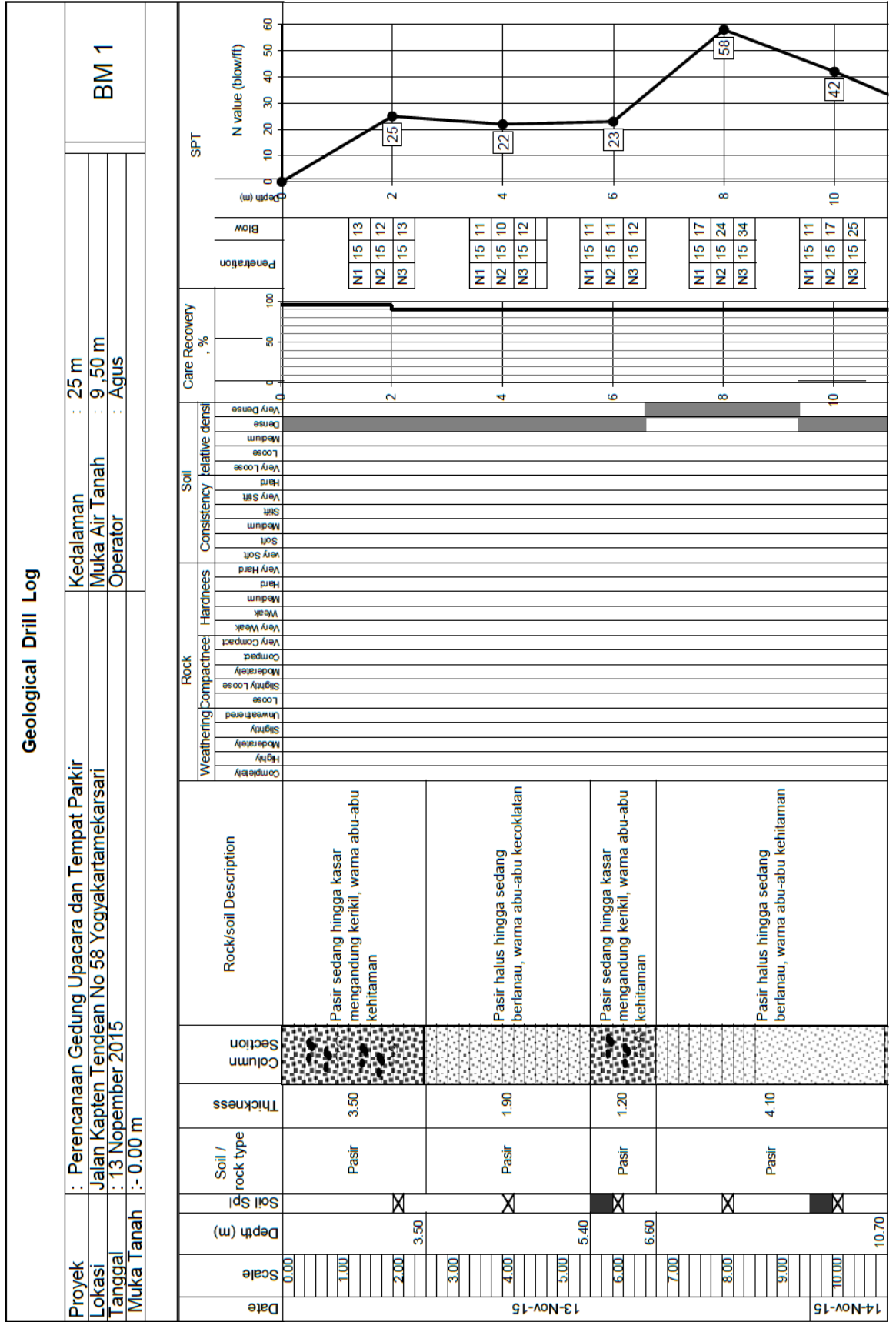
**Lampiran 24 : Rekapitulasi Desain Kolom 3D Siklus 1**

Kolom Tepi				Kolom Tengah			
Tingkat	B / H (cm)	Tulangan		Tingkat	B / H (cm)	Tulangan	
		Tumpuan	Lapangan			Tumpuan	Lapangan
12	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	12	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm			4D14-100 mm	4D14-150 mm
11	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	11	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
10	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	10	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
9	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	9	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
8	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	8	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
7	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	7	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
6	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
5	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	5	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
4	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	4	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
3	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	3	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
2	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	2	100/100	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm			4D16-100 mm	4D16-150 mm
1	90/90	6D29/6D29	6D29/6D29	1	100/100	8D29/8D29	8D29/8D29
		6D16-100 mm	6D16-150 mm			8D16-100 mm	8D16-150 mm

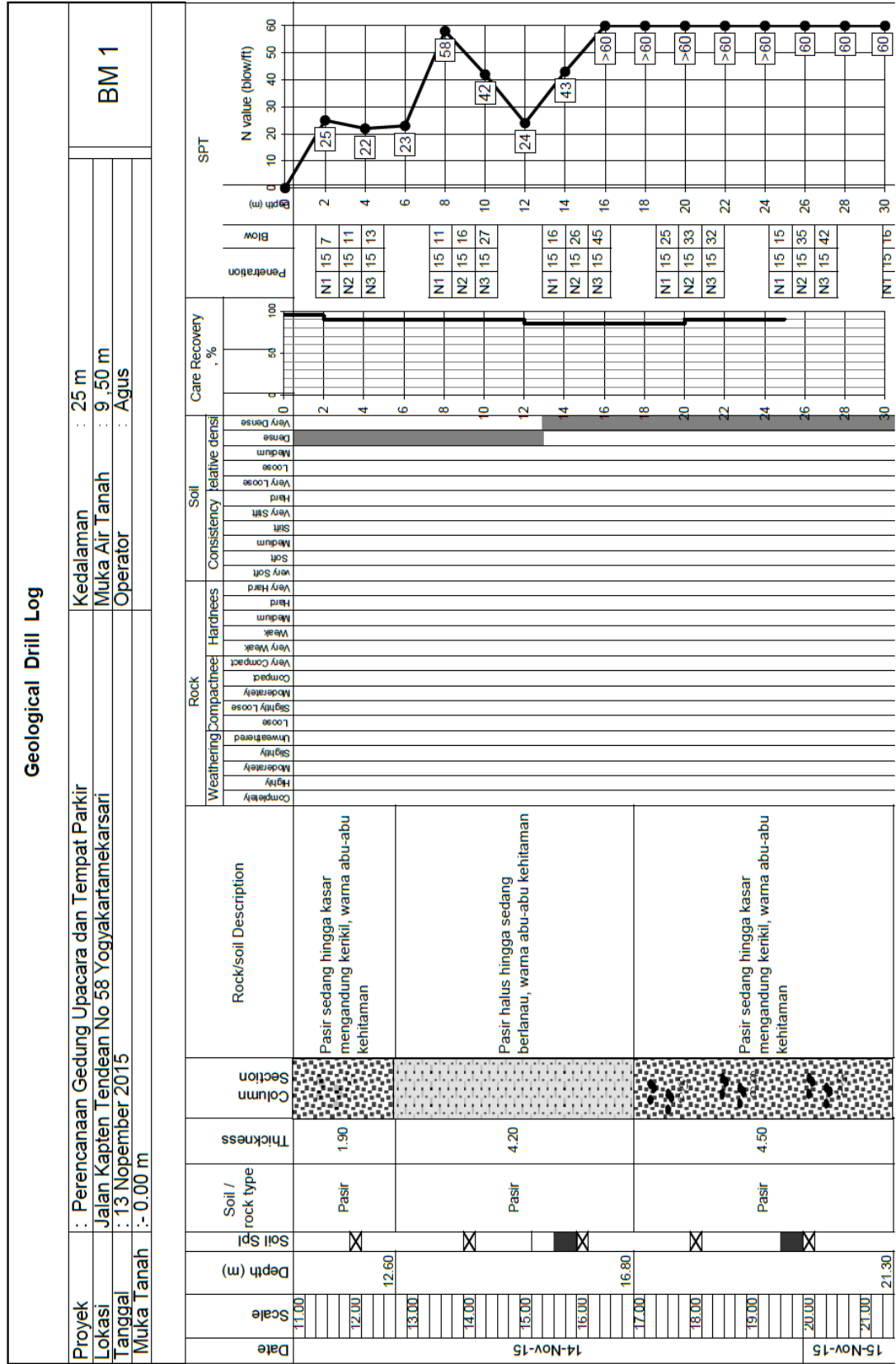
**Lampiran 25 : Rekapitulasi Desain Kolom 2D Siklus 1**

Kolom Tepi				Kolom Tengah			
Tingkat	B / H (cm)	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Tumpuan
12	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D12-100 mm	4D12-150 mm	4D12-100 mm	4D12-150 mm	4D12-100 mm	4D12-100 mm
11	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
10	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
9	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
8	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
7	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
6	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
5	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
4	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
3	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
2	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
1	90/90	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		6D16-100 mm	6D16-150 mm	6D16-100 mm	6D16-150 mm	6D16-100 mm	6D16-100 mm

Lampiran 26 : Data Borelog Tanah Sedang



Lanjutan Lampiran 26: Data *Borelog* Tanah Sedang



**Lampiran 27 : Desain Fondasi Siklus 1**

Model	Jenis	Lokasi	B (m)	H (m)	t (m)	Tulangan Atas		Tulangan Bawah	
						Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
3D	Pile cap F1	Daerah Tepi	4	4	1	D29-150mm	D25-150mm	D29-150mm	D25-150mm
	Pile cap F2	Daerah Tengah	4	4	1	D29-150mm	D25-100mm	D29-150mm	D25-100mm
2D	Pile cap F1	Daerah Tepi	4	4	1	D29-150mm	D25-200mm	D29-150mm	D25-200mm
	Pile cap F2	Daerah Tengah	4	4	1	D29-150mm	D25-200mm	D29-150mm	D25-200mm
Model	Jenis	Lokasi	D (m)	L(m)	Tulangan				
					Tumpuan	Lapangan			
3D	Pile F1	Daerah Tepi	0.8	10.4	12D25mm	12D25mm			
					25D-100mm	25D-200mm			
	Pile F2	Daerah Tengah	0.8	10.4	12D25mm	12D25mm			
					25D-100mm	25D-150mm			
2D	Pile F1	Daerah Tepi	0.8	10.4	12D25mm	12D25mm			
					25D-100mm	25D-250mm			
2D	Pile F2	Daerah Tengah	0.8	10.4	12D25mm	12D25mm			
					25D-100mm	25D-200mm			



**Lampiran 28 : AHSP Beton Mutu F'c = 31,2 Mpa (PERMEN PUPR 28-2016)**

Membuat 1 m <sup>3</sup> beton mutu f'c = 31.2 Mpa						
No.	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
<b>A</b>	<b>TENAGA</b>					
	Pekerja	L.01	OH	2.100	Rp. 70,000.00	Rp. 147,000.00
	Tukang batu	L.02	OH	0.350	Rp. 80,000.00	Rp. 28,000.00
	Kepala tukang batu	L.03	OH	0.035	Rp. 85,000.00	Rp. 2,975.00
	Mandor	L.04	OH	0.105	Rp. 124,000.00	Rp. 13,020.00
					<b>JUMLAH TENAGA KERJA (A)</b>	<b>Rp. 190,995.00</b>
<b>B</b>	<b>BAHAN</b>					
	Semen portland		Kg	#####	Rp. 1,208.00	Rp. 541,184.00
	Pasir beton (kg)		kg	#####	Rp. 213.57	Rp. 142,452.14
	Batu pecah/split 1-2 cm		kg	#####	Rp. 185.28	Rp. 185,277.78
	Air		Liter	#####	Rp. 1.00	Rp. 215.00
					<b>JUMLAH HARGA BAHAN (B)</b>	<b>Rp. 541,184.00</b>
<b>C</b>	<b>PERALATAN</b>					
					<b>JUMLAH HARGA ALAT (C)</b>	<b>Rp -</b>
<b>D</b>	Jumlah ( A + B + C )					Rp. 896,151.46
<b>E</b>	Overhead & Profit			#####		Rp. 134,422.72
<b>F</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan ( D + E )</b>					<b>Rp.1,030,574.18</b>
<b>G</b>	<b>Dibulatkan</b>					<b>Rp.1,030,574.00</b>

**Lampiran 29 : AHSP Pembesian (PERMEN PUPR 28-2016)**

Pembesian 100kg dengan besi polos atau ulir untuk kolom, balok, ring balk, dan sloof						
No.	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
<b>A</b>	<b>TENAGA</b> Pekerja	L.01	OH	2.100	Rp. 70,000.00	Rp. 147,000.00
	Tukang besi	L.02	OH	1.400	Rp. 80,000.00	Rp. 112,000.00
	Kepala tukang besi	L.03	OH	0.140	Rp. 90,000.00	Rp. 12,600.00
	Mandor	L.04	OH	0.210	Rp. 124,000.00	Rp. 26,040.00
					<b>JUMLAH TENAGA KERJA (A)</b>	<b>Rp. 297,640.00</b>
<b>B</b>	<b>BAHAN</b> Besi Beton ulir		Kg	#####	Rp. 11,600.00	Rp. 1,218,000.00
	Kawat Ikat		Kg	2.800	Rp. 33,000.00	Rp. 92,400.00
					<b>JUMLAH HARGA BAHAN (B)</b>	<b>Rp.1,218,000.00</b>
<b>C</b>	<b>PERALATAN</b>					
					<b>JUMLAH HARGA ALAT (C)</b>	<b>Rp -</b>
<b>D</b>	Jumlah ( A + B + C )					Rp. 1,561,840.00
<b>E</b>	Overhead & Profit			#####		Rp. 234,276.00
<b>F</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan ( D + E )</b>					<b>Rp.1,796,116.00</b>
<b>G</b>	<b>Dibulatkan</b>					<b>Rp.1,796,116.00</b>

Lampiran 30 : AHSP Bekisting Balok (PERMEN PUPR 28-2016)

Pemasangan 1 m2 bekisting untuk balok						
No.	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp.)	Jumlah Harga (Rp.)
<b>A</b>	<b>TENAGA</b>					
	Pekerja	L.01	OH	0.660	Rp. 70,000.00	Rp. 46,200.00
	Tukang batu	L.02	OH	0.330	Rp. 80,000.00	Rp. 26,400.00
	Kepala tukang batu	L.03	OH	0.033	Rp. 85,000.00	Rp. 2,805.00
	Mandor	L.04	OH	0.033	Rp. 124,000.00	Rp. 4,092.00
					<b>JUMLAH TENAGA KERJA (A)</b>	<b>Rp. 79,497.00</b>
<b>B</b>	<b>BAHAN</b>					
	Kayu kelas III		m <sup>3</sup>	0.040	Rp. 2,077,000.00	Rp. 83,080.00
	Paku biasa 2"- seven (reng kayu)		Kg	0.400	Rp. 19,600.00	Rp. 7,840.00
	Minyak Bekisting		Liter	0.200	Rp. 9,200.00	Rp. 1,840.00
	kayu kamper balok		m <sup>3</sup>	0.018	Rp. 2,308,000.00	Rp. 41,544.00
	Plywood 9 mm		lbr	0.350	Rp. 149,500.00	Rp. 52,325.00
	Dalken kayu Ø 8-10/400 cm		btg	2.000	Rp. 40,300.00	Rp. 80,600.00
					<b>JUMLAH HARGA BAHAN (B)</b>	<b>Rp. 83,080.00</b>
<b>C</b>	<b>PERALATAN</b>					
					<b>JUMLAH HARGA ALAT (C)</b>	<b>Rp. -</b>
<b>D</b>	Jumlah ( A + B + C )					Rp. 254,651.50
<b>E</b>	Overhead & Profit			### ##		Rp. 38,197.73
<b>F</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan ( D + E )</b>					<b>Rp. 292,849.23</b>
<b>G</b>	<b>Dibulatkan</b>					<b>Rp. 292,849.00</b>

**Lampiran 31 : Rencana Anggaran Biaya 3D Siklus 1**

<b>No.</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Jumlah Harga</b>	<b>Total Harga</b>
<b>A</b>	<b>Fondasi</b>		<b>Rp 2,114,338,219.81</b>
I	Pekerjaan Fondasi Pile Cap	Rp 1,008,066,510	
II	Pekerjaan Fondasi Pile	Rp 1,106,271,710	
<b>B</b>	<b>Lantai 1 ± 0.00 s/d +4.00</b>		<b>Rp 478,493,397.26</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 371,813,949	
II	Pekerjaan Balok +4.00	Rp 106,679,449	
<b>C</b>	<b>Lantai 2 ± 4.00 s/d +8.00</b>		<b>Rp 235,073,343.13</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,578,007	
II	Pekerjaan Balok +8.00	Rp 92,495,336	
<b>D</b>	<b>Lantai 3 ± 8.00 s/d +12.00</b>		<b>Rp 235,073,343.13</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,578,007	
II	Pekerjaan Balok +12.00	Rp 92,495,336	
<b>E</b>	<b>Lantai 4 ± 12.00 s/d +16.00</b>		<b>Rp 235,073,343.13</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,578,007	
II	Pekerjaan Balok +16.00	Rp 92,495,336	
<b>F</b>	<b>Lantai 5 ± 16.00 s/d +20.00</b>		<b>Rp 235,073,343.13</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,578,007	
II	Pekerjaan Balok +20.00	Rp 92,495,336	
<b>G</b>	<b>Lantai 6 ± 20.00 s/d +24.00</b>		<b>Rp 235,073,343.13</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,578,007	
II	Pekerjaan Balok +24.00	Rp 92,495,336	
<b>H</b>	<b>Lantai 7 ± 24.00 s/d +28.00</b>		<b>Rp 235,073,343.13</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,578,007	
II	Pekerjaan Balok +28.00	Rp 92,495,336	
<b>I</b>	<b>Lantai 8 ± 28.00 s/d +32.00</b>		<b>Rp 235,073,343.13</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,578,007	
II	Pekerjaan Balok +32.00	Rp 92,495,336	
<b>J</b>	<b>Lantai 9 ± 32.00 s/d +36.00</b>		<b>Rp 257,271,433.77</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 143,535,300	
II	Pekerjaan Balok +36.00	Rp 113,736,134	
<b>K</b>	<b>Lantai 10 ± 36.00 s/d +40.00</b>		<b>Rp 257,271,433.77</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 143,535,300	
II	Pekerjaan Balok +40.00	Rp 113,736,134	
<b>L</b>	<b>Lantai 11 ± 40.00 s/d +44.00</b>		<b>Rp 257,271,433.77</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 143,535,300	
II	Pekerjaan Balok +44.00	Rp 113,736,134	
<b>M</b>	<b>Lantai 12 ± 44.00 s/d +48.00</b>		<b>Rp 200,677,961.60</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 130,185,435	
II	Pekerjaan Balok +48.00	Rp 70,492,526	
<b>TOTAL PEKERJAAN</b>			<b>Rp 5,210,837,281.87</b>
<b>PEMBULATAN</b>			<b>Rp 5,300,000,000.00</b>

**Lampiran 32 : Rencana Anggaran Biaya 2D Siklus 1**

<b>No.</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Jumlah Harga</b>	<b>Total Harga</b>
<b>A</b>	<b>Fondasi</b>		<b>Rp 2,035,507,182.08</b>
I	Pekerjaan Fondasi Pile Cap	Rp 986,832,320	
II	Pekerjaan Fondasi Pile	Rp 1,048,674,862	
<b>B</b>	<b>Lantai 1 ± 0.00 s/d +4.00</b>		<b>Rp 464,491,938.16</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 368,858,535	
II	Pekerjaan Balok +4.00	Rp 95,633,403	
<b>C</b>	<b>Lantai 2 ± 4.00 s/d +8.00</b>		<b>Rp 212,867,297.44</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 130,283,155	
II	Pekerjaan Balok +8.00	Rp 82,584,142	
<b>D</b>	<b>Lantai 3 ± 8.00 s/d +12.00</b>		<b>Rp 212,867,297.44</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 130,283,155	
II	Pekerjaan Balok +12.00	Rp 82,584,142	
<b>E</b>	<b>Lantai 4 ± 12.00 s/d +16.00</b>		<b>Rp 212,867,297.44</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 130,283,155	
II	Pekerjaan Balok +16.00	Rp 82,584,142	
<b>F</b>	<b>Lantai 5 ± 16.00 s/d +20.00</b>		<b>Rp 212,867,297.44</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 130,283,155	
II	Pekerjaan Balok +20.00	Rp 82,584,142	
<b>G</b>	<b>Lantai 6 ± 20.00 s/d +24.00</b>		<b>Rp 212,867,297.44</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 130,283,155	
II	Pekerjaan Balok +24.00	Rp 82,584,142	
<b>H</b>	<b>Lantai 7 ± 24.00 s/d +28.00</b>		<b>Rp 212,867,297.44</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 130,283,155	
II	Pekerjaan Balok +28.00	Rp 82,584,142	
<b>I</b>	<b>Lantai 8 ± 28.00 s/d +32.00</b>		<b>Rp 212,867,297.44</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 130,283,155	
II	Pekerjaan Balok +32.00	Rp 82,584,142	
<b>J</b>	<b>Lantai 9 ± 26.00 s/d +36.00</b>		<b>Rp 232,449,219.43</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 131,240,448	
II	Pekerjaan Balok +36.00	Rp 101,208,771	
<b>K</b>	<b>Lantai 10 ± 36.00 s/d +40.00</b>		<b>Rp 232,449,219.43</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 131,240,448	
II	Pekerjaan Balok +40.00	Rp 101,208,771	
<b>L</b>	<b>Lantai 11 ± 40.00 s/d +44.00</b>		<b>Rp 232,449,219.43</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 131,240,448	
II	Pekerjaan Balok +44.00	Rp 101,208,771	
<b>M</b>	<b>Lantai 12 ± 44.00 s/d +48.00</b>		<b>Rp 183,602,202.14</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 121,705,658	
II	Pekerjaan Balok +48.00	Rp 61,896,544	
<b>TOTAL PEKERJAAN</b>			<b>Rp 4,871,020,062.73</b>
<b>PEMBULATAN</b>			<b>Rp 4,900,000,000.00</b>

Lampiran 33 : Cek Kinerja Ketidakteraturan Torsi 3D x Siklus 2

Level	$\delta 1$ (m)	$\delta 2$ (m)	$\Delta 1$ (m)	$\Delta 2$ (m)	$\Delta \text{Avg}$ (m)	$\Delta \text{max}$ (m)	$\Delta \text{max}/\Delta \text{Avg}$	Batas	Check
12	0.070	0.057	0.0025	0.0022	0.0024	0.0025	1.064	1.2	Safe
11	0.067	0.055	0.0032	0.0028	0.0030	0.0032	1.071	1.2	Safe
10	0.064	0.052	0.0043	0.0036	0.0040	0.0043	1.081	1.2	Safe
9	0.060	0.049	0.0053	0.0045	0.0049	0.0053	1.090	1.2	Safe
8	0.054	0.044	0.0063	0.0052	0.0057	0.0063	1.096	1.2	Safe
7	0.048	0.039	0.0070	0.0057	0.0063	0.0070	1.101	1.2	Safe
6	0.041	0.033	0.0075	0.0061	0.0068	0.0075	1.106	1.2	Safe
5	0.034	0.027	0.0079	0.0063	0.0071	0.0079	1.109	1.2	Safe
4	0.026	0.021	0.0080	0.0064	0.0072	0.0080	1.111	1.2	Safe
3	0.018	0.014	0.0077	0.0062	0.0070	0.0077	1.111	1.2	Safe
2	0.010	0.008	0.0065	0.0053	0.0059	0.0065	1.105	1.2	Safe
1	0.003	0.003	0.0033	0.0029	0.0031	0.0033	1.078	1.2	Safe

Lampiran 34 : Cek Kinerja Ketidakberaturan Torsi 3D y Siklus 2

<i>Level</i>	$\delta 1 (m)$	$\delta 2 (m)$	$\Delta 1 (m)$	$\Delta 2 (m)$	$\Delta Avg (m)$	$\Delta max (m)$	$\Delta max / \Delta Avg$	<i>Batas</i>	<i>Check</i>
12	0.060	0.052	0.0022	0.0020	0.0021	0.0022	1.045	1.2	Safe
11	0.058	0.050	0.0028	0.0025	0.0027	0.0028	1.054	1.2	Safe
10	0.055	0.047	0.0037	0.0033	0.0035	0.0037	1.063	1.2	Safe
9	0.051	0.044	0.0046	0.0040	0.0043	0.0046	1.070	1.2	Safe
8	0.047	0.040	0.0054	0.0046	0.0050	0.0054	1.075	1.2	Safe
7	0.041	0.035	0.0060	0.0051	0.0056	0.0060	1.079	1.2	Safe
6	0.035	0.030	0.0065	0.0055	0.0060	0.0065	1.082	1.2	Safe
5	0.029	0.025	0.0068	0.0057	0.0062	0.0068	1.085	1.2	Safe
4	0.022	0.019	0.0069	0.0058	0.0063	0.0069	1.086	1.2	Safe
3	0.015	0.013	0.0067	0.0056	0.0061	0.0067	1.086	1.2	Safe
2	0.009	0.008	0.0057	0.0049	0.0053	0.0057	1.079	1.2	Safe
1	0.003	0.003	0.0030	0.0027	0.0028	0.0030	1.057	1.2	Safe

**Lampiran 35 : Desain Balok 3D Siklus 2**

Tingkat	B (m)	H (m)	Tulangan			
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	
12	0.3	0.6	6D25	3D25	6D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			2D16-100mm	2D16-150mm	2D16-100mm	Sengkang
11	0.35	0.75	7D25	4D25	7D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
10	0.35	0.75	7D25	4D25	7D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
9	0.35	0.75	7D25	4D25	7D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
8	0.35	0.75	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
7	0.35	0.75	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
6	0.35	0.75	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
5	0.35	0.75	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
4	0.35	0.75	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
3	0.35	0.75	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
2	0.35	0.75	8D25	4D25	8D25	Atas
			4D25	4D25	4D25	Bawah
			3D16-100mm	3D16-150mm	3D16-100mm	Sengkang
1	0.4	0.8	6D25	3D25	6D25	Atas
			3D25	3D25	3D25	Bawah
			2D16-100mm	2D16-150mm	2D16-100mm	Sengkang



**Lampiran 36 : Desain Balok 2D Siklus 2**

Tingkat	B (m)	H (m)	Tulangan			
			Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	
12	0.3	0.6	5D22	3D22	5D22	Atas
			2D22	3D22	2D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
11	0.35	0.75	6D22	3D22	6D22	Atas
			3D22	3D22	3D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
10	0.35	0.75	6D22	3D22	6D22	Atas
			3D22	3D22	3D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
9	0.35	0.75	6D22	3D22	6D22	Atas
			3D22	3D22	3D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
8	0.35	0.75	8D22	4D22	8D22	Atas
			4D22	4D22	4D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
7	0.35	0.75	8D22	4D22	8D22	Atas
			4D22	4D22	4D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
6	0.35	0.75	8D22	4D22	8D22	Atas
			4D22	4D22	4D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
5	0.35	0.75	8D22	4D22	8D22	Atas
			4D22	4D22	4D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
4	0.35	0.75	8D22	4D22	8D22	Atas
			4D22	4D22	4D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
3	0.35	0.75	8D22	4D22	8D22	Atas
			4D22	4D22	4D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
2	0.35	0.75	8D22	4D22	8D22	Atas
			4D22	4D22	4D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang
1	0.4	0.8	6D22	3D22	6D22	Atas
			3D22	3D22	3D22	Bawah
			2D14-100mm	2D14-150mm	2D14-100mm	Sengkang

**Lampiran 37 : Desain Kolom 3D Siklus 2**

Kolom Tepi				Kolom Tengah			
Tingkat	B / H (cm)	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Tumpuan
12	80/80	6D25/6D25 4D14-100 mm	6D25/6D25 4D14-150 mm	6D25/6D25 4D14-100 mm	6D25/6D25 4D14-150 mm	6D25/6D25 4D14-100 mm	6D25/6D25 4D14-100 mm
11	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
10	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
9	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
8	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
7	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
6	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
5	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
4	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
3	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
2	80/80	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-150 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm	6D25/6D25 4D16-100 mm
1	80/80	8D29/8D29 6D16-100 mm	8D29/8D29 6D16-150 mm	8D29/8D29 6D16-100 mm	8D29/8D29 6D16-150 mm	10D29/10D29 8D16-100 mm	10D29/10D29 8D16-100 mm

Lampiran 38 : Desain Kolom 2D Siklus 2

Kolom Tepi				Kolom Tengah			
Tingkat	B / H (cm)	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Tumpuan
12	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D12-100 mm	4D12-150 mm	4D12-100 mm	4D12-150 mm	4D12-100 mm	4D12-100 mm
11	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
10	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
9	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
8	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
7	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
6	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
5	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
4	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
3	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
2	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-150 mm	4D14-100 mm	4D14-100 mm
1	80/80	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25	6D25/6D25
		4D16-100 mm	4D16-150 mm	4D16-100 mm	4D16-150 mm	5D16-100 mm	5D16-100 mm

**Lampiran 39 : Desain Fondasi Siklus 2**

Model	Jenis	Lokasi	B (m)	H (m)	t (m)	Tulangan Atas		Tulangan Bawah	
						Arah x	Arah y	Arah x	Arah y
3D	Pile cap F1	Daerah Tepi	4	4	1	D29-250mm	D29-300mm	D29-250mm	D29-300mm
	Pile cap F2	Daerah Tengah	4	4	1	D29-150mm	D29-200mm	D29-150mm	D29-200mm
2D	Pile cap F1	Daerah Tepi	4	4	1	D25-200mm	D25-250mm	D25-200mm	D25-250mm
	Pile cap F2	Daerah Tengah	4	4	1	D25-100mm	D25-150mm	D25-100mm	D25-150mm
Model	Jenis	Lokasi	D (m)	L(m)	Tulangan				
3D	Pile F1	Daerah Tepi	0.8	10.4	Tumpuan	Lapangan			
					8D32mm	8D32mm			
	Pile F2	Daerah Tengah	0.8	10.4	29D-150mm	29D-200mm			
					8D32mm	8D32mm			
2D	Pile F1	Daerah Tepi	0.8	10.4	12D25mm	12D25mm			
					22D-100mm	22D-250mm			
2D	Pile F2	Daerah Tengah	0.8	10.4	12D25mm	12D25mm			
					22D-100mm	22D-200mm			

**Lampiran 40 : Rencana Anggaran Biaya 3D Siklus 2**

<b>No.</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Jumlah Harga</b>	<b>Total Harga</b>
<b>A</b>	<b>Fondasi</b>		<b>Rp 2,044,407,416.67</b>
I	Pekerjaan Fondasi Pile Cap	Rp 935,870,264	
II	Pekerjaan Fondasi Pile	Rp 1,108,537,153	
<b>B</b>	<b>Lantai 1 ± 0.00 s/d +4.00</b>		<b>Rp 470,151,926.17</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 360,832,281	
II	Pekerjaan Balok +4.00	Rp 109,319,645	
<b>C</b>	<b>Lantai 2 ± 4.00 s/d +8.00</b>		<b>Rp 233,016,369.26</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 140,875,377	
II	Pekerjaan Balok +8.00	Rp 92,140,992	
<b>D</b>	<b>Lantai 3 ± 8.00 s/d +12.00</b>		<b>Rp 233,016,369.26</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 140,875,377	
II	Pekerjaan Balok +12.00	Rp 92,140,992	
<b>E</b>	<b>Lantai 4 ± 12.00 s/d +16.00</b>		<b>Rp 233,016,369.26</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 140,875,377	
II	Pekerjaan Balok +16.00	Rp 92,140,992	
<b>F</b>	<b>Lantai 5 ± 16.00 s/d +20.00</b>		<b>Rp 233,016,369.26</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 140,875,377	
II	Pekerjaan Balok +20.00	Rp 92,140,992	
<b>G</b>	<b>Lantai 6 ± 20.00 s/d +24.00</b>		<b>Rp 233,016,369.26</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 140,875,377	
II	Pekerjaan Balok +24.00	Rp 92,140,992	
<b>H</b>	<b>Lantai 7 ± 24.00 s/d +28.00</b>		<b>Rp 233,016,369.26</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 140,875,377	
II	Pekerjaan Balok +28.00	Rp 92,140,992	
<b>I</b>	<b>Lantai 8 ± 28.00 s/d +32.00</b>		<b>Rp 233,016,369.26</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 140,875,377	
II	Pekerjaan Balok +32.00	Rp 92,140,992	
<b>J</b>	<b>Lantai 9 ± 32.00 s/d +36.00</b>		<b>Rp 260,760,011.92</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,311,316	
II	Pekerjaan Balok +36.00	Rp 118,448,696	
<b>K</b>	<b>Lantai 10 ± 36.00 s/d +40.00</b>		<b>Rp 260,760,011.92</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,311,316	
II	Pekerjaan Balok +40.00	Rp 118,448,696	
<b>L</b>	<b>Lantai 11 ± 40.00 s/d +44.00</b>		<b>Rp 260,760,011.92</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 142,311,316	
II	Pekerjaan Balok +44.00	Rp 118,448,696	
<b>M</b>	<b>Lantai 12 ± 44.00 s/d +48.00</b>		<b>Rp 192,868,061.56</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 118,876,171	
II	Pekerjaan Balok +48.00	Rp 73,991,891	
<b>TOTAL PEKERJAAN</b>			<b>Rp 5,120,822,025.03</b>
<b>PEMBULATAN</b>			<b>Rp 5,130,000,000.00</b>

**Lampiran 41 : Rencana Anggaran Biaya 2D Siklus 2**

<b>No.</b>	<b>Uraian Pekerjaan</b>	<b>Jumlah Harga</b>	<b>Total Harga</b>
<b>A</b>	<b>Fondasi</b>		<b>Rp 1,633,454,107.17</b>
I	Pekerjaan Fondasi Pile Cap	Rp 711,410,208	
II	Pekerjaan Fondasi Pile	Rp 922,043,899	
<b>B</b>	<b>Lantai 1 ± 0.00 s/d +4.00</b>		<b>Rp 399,335,236.90</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 308,380,487	
II	Pekerjaan Balok +4.00	Rp 90,954,750	
<b>C</b>	<b>Lantai 2 ± 4.00 s/d +8.00</b>		<b>Rp 195,263,186.68</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 117,061,010	
II	Pekerjaan Balok +8.00	Rp 78,202,177	
<b>D</b>	<b>Lantai 3 ± 8.00 s/d +12.00</b>		<b>Rp 195,263,186.68</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 117,061,010	
II	Pekerjaan Balok +12.00	Rp 78,202,177	
<b>E</b>	<b>Lantai 4 ± 12.00 s/d +16.00</b>		<b>Rp 195,263,186.68</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 117,061,010	
II	Pekerjaan Balok +16.00	Rp 78,202,177	
<b>F</b>	<b>Lantai 5 ± 16.00 s/d +20.00</b>		<b>Rp 195,263,186.68</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 117,061,010	
II	Pekerjaan Balok +20.00	Rp 78,202,177	
<b>G</b>	<b>Lantai 6 ± 20.00 s/d +24.00</b>		<b>Rp 195,263,186.68</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 117,061,010	
II	Pekerjaan Balok +24.00	Rp 78,202,177	
<b>H</b>	<b>Lantai 7 ± 24.00 s/d +28.00</b>		<b>Rp 195,263,186.68</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 117,061,010	
II	Pekerjaan Balok +28.00	Rp 78,202,177	
<b>I</b>	<b>Lantai 8 ± 28.00 s/d +32.00</b>		<b>Rp 195,263,186.68</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 117,061,010	
II	Pekerjaan Balok +32.00	Rp 78,202,177	
<b>J</b>	<b>Lantai 9 ± 32.00 s/d +36.00</b>		<b>Rp 217,361,903.37</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 118,496,949	
II	Pekerjaan Balok +36.00	Rp 98,864,954	
<b>K</b>	<b>Lantai 10 ± 36.00 s/d +40.00</b>		<b>Rp 217,361,903.37</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 118,496,949	
II	Pekerjaan Balok +40.00	Rp 98,864,954	
<b>L</b>	<b>Lantai 11 ± 40.00 s/d +44.00</b>		<b>Rp 217,361,903.37</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 118,496,949	
II	Pekerjaan Balok +44.00	Rp 98,864,954	
<b>M</b>	<b>Lantai 12 ± 44.00 s/d +48.00</b>		<b>Rp 170,219,166.58</b>
I	Pekerjaan Kolom	Rp 110,788,996	
II	Pekerjaan Balok +48.00	Rp 59,430,171	
<b>TOTAL PEKERJAAN</b>			<b>Rp 4,221,936,527.54</b>
<b>PEMBULATAN</b>			<b>Rp 4,300,000,000.00</b>

**Lampiran 42 : Perbandingan Gaya Antar Tingkat x**

Tingkat	3Dx						2D A-3					
	ELF S1 (Ton)	RS S1 (Ton)	Selisih	ELF S2 (Ton)	RS S2 (Ton)	Selisih	ELF S1 (Ton)	RS S1 (Ton)	Selisih	ELF S2 (Ton)	RS S2 (Ton)	Selisih
12	190.460	185.252	2.7%	170.648	155.738	8.7%	14.1578	6.1241	56.7%	13.279	5.816	56.2%
11	212.994	195.143	8.4%	201.420	165.663	17.8%	17.4073	9.5200	45.3%	17.036	8.524	50.0%
10	181.065	147.494	18.5%	169.489	126.092	25.6%	15.0749	8.3253	44.8%	14.753	7.211	51.1%
9	151.309	114.731	24.2%	140.047	94.957	32.2%	12.8584	7.3774	42.6%	12.584	6.259	50.3%
8	123.794	91.427	26.1%	113.145	72.468	36.0%	10.7641	6.5514	39.1%	10.534	5.474	48.0%
7	98.601	78.114	20.8%	88.841	59.487	33.0%	8.7992	5.8028	34.1%	8.611	4.817	44.1%
6	75.824	72.732	4.1%	67.200	55.447	17.5%	6.9726	5.1226	26.5%	6.824	4.273	37.4%
5	55.575	72.125	22.9%	48.303	57.330	15.7%	5.2951	4.4580	15.8%	5.182	3.770	27.3%
4	37.997	71.331	46.7%	32.246	60.200	46.4%	3.7810	3.7329	1.3%	3.700	3.216	13.1%
3	23.273	65.092	64.2%	19.152	58.162	67.1%	2.4492	2.8983	15.5%	2.397	2.548	5.9%
2	11.662	50.728	77.0%	9.190	46.970	80.4%	1.3281	1.9041	30.3%	1.300	1.709	24.0%
1	3.580	24.823	85.6%	2.646	25.130	89.5%	0.4665	0.7569	38.4%	0.462	0.689	32.8%
	Rata-rata		33.4%	Rata-rata		39.2%	Rata-rata		32.5%	Rata-rata		36.7%

**Lampiran 43 : Perbandingan Gaya Antar Tingkat y**

Tingkat	3Dy						2D A-F					
	ELF S1 (Ton)	RS S1 (Ton)	Selisih	ELF S2 (Ton)	RS S2 (Ton)	Selisih	ELF S1 (Ton)	RS S1 (Ton)	Selisih	ELF S2 (Ton)	RS S2 (Ton)	Selisih
12	190.460	187.304	1.7%	170.648	154.779	9.3%	7.6759	5.9542	22.4%	6.916	5.699	17.6%
11	212.994	203.106	4.6%	201.420	169.039	16.1%	17.4515	14.0065	19.7%	16.216	13.133	19.0%
10	181.065	156.384	13.6%	169.489	130.505	23.0%	25.9172	20.3635	21.4%	24.264	18.731	22.8%
9	151.309	123.590	18.3%	140.047	99.8695	28.7%	33.1382	25.4855	23.1%	31.122	23.061	25.9%
8	123.794	99.877	19.3%	113.145	77.4754	31.5%	39.1831	29.6728	24.3%	36.857	26.480	28.2%
7	98.601	85.615	13.2%	88.841	64.2692	27.7%	44.1245	33.2565	24.6%	41.540	29.370	29.3%
6	75.824	79.022	4.0%	67.200	59.4819	11.5%	48.0401	36.4986	24.0%	45.246	32.031	29.2%
5	55.575	76.937	27.8%	48.303	60.2258	19.8%	51.0138	39.5604	22.5%	48.056	34.651	27.9%
4	37.997	74.551	49.0%	32.246	61.8642	47.9%	53.1371	42.4537	20.1%	50.059	37.243	25.6%
3	23.273	66.964	65.2%	19.152	58.7893	67.4%	54.5125	44.9957	17.5%	51.353	39.602	22.9%
2	11.662	51.406	77.3%	9.190	47.0063	80.4%	55.2583	46.8915	15.1%	52.052	41.408	20.4%
1	3.580	24.791	85.6%	2.646	24.9723	89.4%	55.5203	47.7645	14.0%	52.299	42.255	19.2%
	<b>Rata-rata</b>		<b>31.6%</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>37.7%</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>20.7%</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>24.0%</b>



**Lampiran 44 : Perbandingan Siklus Gaya Antar Tingkat x**

Tingkat	3Dx ELF (Ton)			3Dx RS (Ton)			2D A-3 ELF (Ton)			2D A-3 RS (Ton)		
	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih
12	190.460	170.648	10.4%	185.252	155.738	15.9%	14.1578	13.2795	6.2%	6.124	5.816	5.0%
11	212.994	201.420	5.4%	195.143	165.663	15.1%	17.4073	17.0359	2.1%	9.520	8.524	10.5%
10	181.065	169.489	6.4%	147.494	126.092	14.5%	15.0749	14.7533	2.1%	8.325	7.211	13.4%
9	151.309	140.047	7.4%	114.731	94.957	17.2%	12.8584	12.5841	2.1%	7.377	6.259	15.2%
8	123.794	113.145	8.6%	91.427	72.468	20.7%	10.7641	10.5344	2.1%	6.551	5.474	16.5%
7	98.601	88.841	9.9%	78.114	59.487	23.8%	8.7992	8.6115	2.1%	5.803	4.817	17.0%
6	75.824	67.200	11.4%	72.732	55.447	23.8%	6.9726	6.8238	2.1%	5.123	4.273	16.6%
5	55.575	48.303	13.1%	72.125	57.330	20.5%	5.2951	5.1822	2.1%	4.458	3.770	15.4%
4	37.997	32.246	15.1%	71.331	60.200	15.6%	3.7810	3.7003	2.1%	3.733	3.216	13.8%
3	23.273	19.152	17.7%	65.092	58.162	10.6%	2.4492	2.3969	2.1%	2.898	2.548	12.1%
2	11.662	9.190	21.2%	50.728	46.970	7.4%	1.3281	1.2997	2.1%	1.904	1.709	10.2%
1	3.580	2.646	26.1%	24.823	25.130	1.2%	0.4665	0.4625	0.9%	0.757	0.689	9.0%
	Rata-rata		12.7%	Rata-rata		15.5%	Rata-rata		2.4%	Rata-rata		12.9%

**Lampiran 45 : Perbandingan Siklus Gaya Antar Tingkat y**

Tingkat	3Dy ELF (Ton)			3Dy RS (Ton)			2D A-F ELF (Ton)			2D A-F RS (Ton)		
	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih
12	190.460	170.648	10.4%	187.304	154.779	17.4%	7.6759	6.9157	9.9%	5.954	5.699	4.3%
11	212.994	201.420	5.4%	203.106	169.039	16.8%	17.4515	16.2162	7.1%	14.007	13.133	6.2%
10	181.065	169.489	6.4%	156.384	130.505	16.5%	25.9172	24.2638	6.4%	20.364	18.731	8.0%
9	151.309	140.047	7.4%	123.590	99.870	19.2%	33.1382	31.1221	6.1%	25.486	23.061	9.5%
8	123.794	113.145	8.6%	99.877	77.475	22.4%	39.1831	36.8574	5.9%	29.673	26.480	10.8%
7	98.601	88.841	9.9%	85.615	64.269	24.9%	44.1245	41.5405	5.9%	33.257	29.370	11.7%
6	75.824	67.200	11.4%	79.022	59.482	24.7%	48.0401	45.2465	5.8%	36.499	32.031	12.2%
5	55.575	48.303	13.1%	76.937	60.226	21.7%	51.0138	48.0565	5.8%	39.560	34.651	12.4%
4	37.997	32.246	15.1%	74.551	61.864	17.0%	53.1371	50.0591	5.8%	42.454	37.243	12.3%
3	23.273	19.152	17.7%	66.964	58.789	12.2%	54.5125	51.3531	5.8%	44.996	39.602	12.0%
2	11.662	9.190	21.2%	51.406	47.006	8.6%	55.2583	52.0524	5.8%	46.892	41.408	11.7%
1	3.580	2.646	26.1%	24.791	24.972	0.7%	55.5203	52.2995	5.8%	47.765	42.255	11.5%
	Rata-rata		12.7%	Rata-rata		16.8%	Rata-rata		6.3%	Rata-rata		10.2%

**Lampiran 46 : Perbandingan Gaya Geser Tingkat x**

Tingkat	3Dx						2D A-3					
	ES S1 (Ton)	RS S1 (Ton)	Selisih	ES S2 (Ton)	RS S2 (Ton)	Selisih	ES S1 (Ton)	RS S1 (Ton)	Selisih	ES S2 (Ton)	RS S2 (Ton)	Selisih
12	190.460	185.252	2.7%	170.648	155.738	8.7%	14.1578	6.1241	56.7%	13.279	5.816	56.2%
11	403.454	380.395	5.7%	372.068	321.401	13.6%	31.5651	15.6441	50.4%	30.315	14.340	52.7%
10	584.520	527.889	9.7%	541.556	447.493	17.4%	46.6400	23.9694	48.6%	45.069	21.551	52.2%
9	735.828	642.619	12.7%	681.603	542.449	20.4%	59.4984	31.3468	47.3%	57.653	27.810	51.8%
8	859.623	734.046	14.6%	794.748	614.917	22.6%	70.2625	37.8982	46.1%	68.187	33.284	51.2%
7	958.224	812.160	15.2%	883.589	674.404	23.7%	79.0617	43.7010	44.7%	76.799	38.101	50.4%
6	1034.047	884.892	14.4%	950.790	729.852	23.2%	86.0343	48.8236	43.3%	83.622	42.374	49.3%
5	1089.623	957.017	12.2%	999.093	787.181	21.2%	91.3295	53.2816	41.7%	88.805	46.144	48.0%
4	1127.619	1028.349	8.8%	1031.339	847.381	17.8%	95.1104	57.0145	40.1%	92.505	49.360	46.6%
3	1150.892	1093.440	5.0%	1050.490	905.544	13.8%	97.5596	59.9128	38.6%	94.902	51.908	45.3%
2	1162.554	1144.168	1.6%	1059.680	952.513	10.1%	98.8877	61.8169	37.5%	96.202	53.617	44.3%
1	1166.134	1168.990	0.2%	1062.326	977.643	8.0%	99.3542	62.5738	37.0%	96.664	54.306	43.8%
	Rata-rata			Rata-rata			Rata-rata			Rata-rata		
			8.6%			16.7%			44.3%			49.3%

**Lampiran 47 : Perbandingan Gaya Geser Tingkat y**

Tingkat	3Dy						2D A-F					
	ES S1 (Ton)	RS S1 (Ton)	Selisih	ES S2 (Ton)	RS S2 (Ton)	Selisih	ES S1 (Ton)	RS S1 (Ton)	Selisih	ES S2 (Ton)	RS S2 (Ton)	Selisih
12	190.460	187.304	1.7%	170.648	154.779	9.3%	7.6759	5.9542	22.4%	6.916	5.699	17.6%
11	403.454	390.409	3.2%	372.068	323.8181	13.0%	17.4515	14.0065	19.7%	16.216	13.133	19.0%
10	584.520	546.794	6.5%	541.556	454.3232	16.1%	25.9172	20.3635	21.4%	24.264	18.731	22.8%
9	735.828	670.384	8.9%	681.603	554.1927	18.7%	33.1382	25.4855	23.1%	31.122	23.061	25.9%
8	859.623	770.261	10.4%	794.748	631.6681	20.5%	39.1831	29.6728	24.3%	36.857	26.480	28.2%
7	958.224	855.876	10.7%	883.589	695.9373	21.2%	44.1245	33.2565	24.6%	41.540	29.370	29.3%
6	1034.047	934.898	9.6%	950.790	755.4192	20.5%	48.0401	36.4986	24.0%	45.246	32.031	29.2%
5	1089.623	1011.835	7.1%	999.093	815.645	18.4%	51.0138	39.5604	22.5%	48.056	34.651	27.9%
4	1127.619	1086.386	3.7%	1031.339	877.5092	14.9%	53.1371	42.4537	20.1%	50.059	37.243	25.6%
3	1150.892	1153.350	0.2%	1050.490	936.2985	10.9%	54.5125	44.9957	17.5%	51.353	39.602	22.9%
2	1162.554	1204.756	3.5%	1059.680	983.3048	7.2%	55.2583	46.8915	15.1%	52.052	41.408	20.4%
1	1166.134	1229.547	5.2%	1062.326	1008.2771	5.1%	55.5203	47.7645	14.0%	52.299	42.255	19.2%
	Rata-rata		5.9%	Rata-rata		14.7%	Rata-rata		20.7%	Rata-rata		24.0%

**Lampiran 48 : Perbandingan Siklus Gaya Geser Tingkat x**

Tingkat	3Dx ELF (Ton)			3Dx RS (Ton)			2D A-3 ELF (Ton)			2D A-3 RS (Ton)		
	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih
12	190.460	170.648	10.4%	185.252	155.738	15.9%	14.1578	13.2795	6.2%	6.124	5.816	5.0%
11	403.454	372.068	7.8%	380.395	321.401	15.5%	31.5651	30.3154	4.0%	15.644	14.340	8.3%
10	584.520	541.556	7.4%	527.889	447.493	15.2%	46.6400	45.0687	3.4%	23.969	21.551	10.1%
9	735.828	681.603	7.4%	642.619	542.449	15.6%	59.4984	57.6527	3.1%	31.347	27.810	11.3%
8	859.623	794.748	7.5%	734.046	614.917	16.2%	70.2625	68.1872	3.0%	37.898	33.284	12.2%
7	958.224	883.589	7.8%	812.160	674.404	17.0%	79.0617	76.7987	2.9%	43.701	38.101	12.8%
6	1034.047	950.790	8.1%	884.892	729.852	17.5%	86.0343	83.6225	2.8%	48.824	42.374	13.2%
5	1089.623	999.093	8.3%	957.017	787.181	17.7%	91.3295	88.8047	2.8%	53.282	46.144	13.4%
4	1127.619	1031.339	8.5%	1028.349	847.381	17.6%	95.1104	92.5050	2.7%	57.015	49.360	13.4%
3	1150.892	1050.490	8.7%	1093.440	905.544	17.2%	97.5596	94.9019	2.7%	59.913	51.908	13.4%
2	1162.554	1059.680	8.8%	1144.168	952.513	16.8%	98.8877	96.2016	2.7%	61.817	53.617	13.3%
1	1166.134	1062.326	8.9%	1168.990	977.643	16.4%	99.3542	96.6641	2.7%	62.574	54.306	13.2%
	Rata-rata		8.3%	Rata-rata		16.6%	Rata-rata		3.2%	Rata-rata		11.6%

**Lampiran 49 : Perbandingan Siklus Gaya Geser Tingkat y**

Tingkat	3Dy ELF (Ton)			3Dy RS (Ton)			2D A-F ELF (Ton)			2D A-FRS (Ton)		
	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih	S1	S2	Selisih
12	190.460	170.648	10.4%	187.304	154.779	17.4%	7.6759	6.9157	9.9%	5.954	5.699	4.3%
11	403.454	372.068	7.8%	390.409	323.818	17.1%	17.4515	16.2162	7.1%	14.007	13.133	6.2%
10	584.520	541.556	7.4%	546.794	454.323	16.9%	25.9172	24.2638	6.4%	20.364	18.731	8.0%
9	735.828	681.603	7.4%	670.384	554.193	17.3%	33.1382	31.1221	6.1%	25.486	23.061	9.5%
8	859.623	794.748	7.5%	770.261	631.668	18.0%	39.1831	36.8574	5.9%	29.673	26.480	10.8%
7	958.224	883.589	7.8%	855.876	695.937	18.7%	44.1245	41.5405	5.9%	33.257	29.370	11.7%
6	1034.047	950.790	8.1%	934.898	755.419	19.2%	48.0401	45.2465	5.8%	36.499	32.031	12.2%
5	1089.623	999.093	8.3%	1011.835	815.645	19.4%	51.0138	48.0565	5.8%	39.560	34.651	12.4%
4	1127.619	1031.339	8.5%	1086.386	877.509	19.2%	53.1371	50.0591	5.8%	42.454	37.243	12.3%
3	1150.892	1050.490	8.7%	1153.350	936.299	18.8%	54.5125	51.3531	5.8%	44.996	39.602	12.0%
2	1162.554	1059.680	8.8%	1204.756	983.305	18.4%	55.2583	52.0524	5.8%	46.892	41.408	11.7%
1	1166.134	1062.326	8.9%	1229.547	1008.277	18.0%	55.5203	52.2995	5.8%	47.765	42.255	11.5%
	Rata-rata			Rata-rata			Rata-rata			Rata-rata		
			8.3%			18.2%			6.3%			10.2%

**Lampiran 50 : Perbandingan Momen Balok Siklus 1**

Tingkat	Siklus 1 Portal A-3 (Tm)					Siklus 1 Portal A-F (Tm)						
	M+ 3D	M+ 2D	Selisih	M- 3D	M- 2D	Selisih	M+ 3D	M+ 2D	Selisih	M- 3D	M- 2D	Selisih
12	17.01751	8.108943	52%	-34.035	-16.2179	52%	16.31622	6.527202	60%	-32.6324	-11.0962	66%
11	28.39366	15.52229	45%	-56.7873	-31.0446	45%	26.843	12.6689	53%	-53.686	-21.5371	60%
10	30.72011	17.92351	42%	-61.4402	-35.847	42%	28.78228	14.7674	49%	-57.5646	-25.1046	56%
9	33.43229	20.58607	38%	-66.8646	-41.1721	38%	30.99185	17.02438	45%	-61.9837	-28.9414	53%
8	35.93966	23.05163	36%	-71.8793	-46.1033	36%	32.9531	16.8499	49%	-65.9062	-32.8739	50%
7	37.98625	25.14883	34%	-75.9725	-50.2977	34%	34.57345	19.9013	42%	-69.1469	-35.9269	48%
6	40.06209	26.83485	33%	-79.3717	-53.6697	32%	35.71564	22.3455	37%	-71.4313	-38.3728	46%
5	44.07443	28.08916	36%	-83.1939	-56.1783	32%	36.33827	24.1302	34%	-72.6765	-40.1592	45%
4	46.23389	28.84547	38%	-84.7243	-57.6909	32%	36.31765	25.1318	31%	-72.6353	-41.1632	43%
3	45.4316	28.87738	36%	-82.6643	-57.7548	30%	35.42358	24.9813	29%	-70.8472	-41.0157	42%
2	39.767	27.48195	31%	-74.8714	-54.9639	27%	33.00771	22.6186	31%	-66.0154	-38.6431	41%
1	29.3083	22.61253	23%	-58.6166	-45.2251	23%	27.33779	15.61951	43%	-54.6756	-31.0242	43%
	Rata-rata		37%	Rata-rata		35%	Rata-rata		42%	Rata-rata		50%

**Lampiran 51 : Perbandingan Momen Balok Siklus 2**

Tingkat	Siklus 2 Portal A-3 (Tm)					Siklus 2 Portal A-F (Tm)						
	M+ 3D	M+ 2D	Selisih	M- 3D	M- 2D	Selisih	M+ 3D	M+ 2D	Selisih	M- 3D	M- 2D	Selisih
12	15.08168	8.058451	47%	-30.1634	-16.1169	47%	14.62663	5.943499	59%	-29.2533	-10.1039	65%
11	26.54206	15.90914	40%	-53.0841	-31.8183	40%	25.27067	12.25584	52%	-50.5413	-20.8349	59%
10	29.25347	18.17337	38%	-58.5069	-36.3467	38%	27.45126	14.28454	48%	-54.9025	-24.2837	56%
9	32.33379	20.93557	35%	-64.6676	-41.8711	35%	29.888	16.53149	45%	-59.776	-28.1035	53%
8	35.03241	23.51191	33%	-70.0648	-47.0238	33%	31.94168	16.3749	49%	-63.8834	-31.2538	51%
7	37.1977	25.70866	31%	-74.3954	-51.4173	31%	33.60858	19.3848	42%	-67.2172	-34.2636	49%
6	40.32165	27.48684	32%	-78.6472	-54.9737	30%	34.80414	21.7981	37%	-69.6083	-36.6764	47%
5	44.5072	28.82558	35%	-82.8612	-57.6512	30%	35.55146	23.5502	34%	-71.1029	-38.4277	46%
4	47.33119	29.65103	37%	-85.3698	-59.3021	31%	35.82808	24.4968	32%	-71.6319	-39.3734	45%
3	47.83834	29.7069	38%	-85.0988	-59.4138	30%	36.43404	24.2222	34%	-71.5465	-39.099	45%
2	43.86238	28.20065	36%	-79.6303	-56.4013	29%	33.8187	21.6008	36%	-67.6374	-36.463	46%
1	36.2869	15.799	56%	-69.8952	-31.675	55%	31.48239	17.0304	46%	-62.9648	-31.9164	49%
	Rata-rata		38%	Rata-rata		36%	Rata-rata		43%	Rata-rata		51%



**Lampiran 52 : Perbandingan Momen Balok Antar Siklus Portal A-3**

Tingkat	Antar Siklus 3D Portal A-3 (Tm)				Antar Siklus 2D Portal A-3 (Tm)							
	M+ S1	M+ S2	Selisih	M- S1	M- S2	Selisih	M+ S1	M+ S2	Selisih	M- S1	M- S2	Selisih
12	17.01751	15.08168	13%	-34.035	-30.1634	13%	8.108943	8.058451	1%	-16.2179	-16.1169	1%
11	28.39366	26.54206	7%	-56.7873	-53.0841	7%	15.52229	15.90914	2%	-31.0446	-31.8183	2%
10	30.72011	29.25347	5%	-61.4402	-58.5069	5%	17.92351	18.17337	1%	-35.847	-36.3467	1%
9	33.43229	32.33379	3%	-66.8646	-64.6676	3%	20.58607	20.93557	2%	-41.1721	-41.8711	2%
8	35.93966	35.03241	3%	-71.8793	-70.0648	3%	23.05163	23.51191	2%	-46.1033	-47.0238	2%
7	37.98625	37.1977	2%	-75.9725	-74.3954	2%	25.14883	25.70866	2%	-50.2977	-51.4173	2%
6	40.06209	40.32165	1%	-79.3717	-78.6472	1%	26.83485	27.48684	2%	-53.6697	-54.9737	2%
5	44.07443	44.5072	1%	-83.1939	-82.8612	0%	28.08916	28.82558	3%	-56.1783	-57.6512	3%
4	46.23389	47.33119	2%	-84.7243	-85.3698	1%	28.84547	29.65103	3%	-57.6909	-59.3021	3%
3	45.4316	47.83834	5%	-82.6643	-85.0988	3%	28.87738	29.7069	3%	-57.7548	-59.4138	3%
2	39.767	43.86238	9%	-74.8714	-79.6303	6%	27.48195	28.20065	3%	-54.9639	-56.4013	3%
1	29.3083	36.2869	19%	-58.6166	-69.8952	16%	22.61253	15.799	30%	-45.2251	-31.675	30%
	Rata-rata		6%	Rata-rata	Rata-rata	5%	Rata-rata	Rata-rata	4%	Rata-rata	Rata-rata	4%

**Lampiran 53 : Perbandingan Momen Balok Antar Siklus Portal A-F**

Tingkat	Antar Siklus 3D Portal A-F (Tm)				Antar Siklus 2D Portal A-F (Tm)							
	M+ S1	M+ S2	Selisih	M- S1	M- S2	Selisih	M+ S1	M+ S2	Selisih	M- S1	M- S2	Selisih
12	16.31622	14.62663	12%	-32.6324	-29.2533	12%	6.527202	5.943499	10%	-11.0962	-10.1039	10%
11	26.843	25.27067	6%	-53.686	-50.5413	6%	12.6689	12.25584	3%	-21.5371	-20.8349	3%
10	28.78228	27.45126	5%	-57.5646	-54.9025	5%	14.7674	14.28454	3%	-25.1046	-24.2837	3%
9	30.99185	29.888	4%	-61.9837	-59.776	4%	17.02438	16.53149	3%	-28.9414	-28.1035	3%
8	32.9531	31.94168	3%	-65.9062	-63.8834	3%	16.8499	16.3749	3%	-32.8739	-31.2538	5%
7	34.57345	33.60858	3%	-69.1469	-67.2172	3%	19.9013	19.3848	3%	-35.9269	-34.2636	5%
6	35.71564	34.80414	3%	-71.4313	-69.6083	3%	22.3455	21.7981	3%	-38.3728	-36.6764	5%
5	36.33827	35.55146	2%	-72.6765	-71.1029	2%	24.1302	23.5502	2%	-40.1592	-38.4277	5%
4	36.31765	35.82808	1%	-72.6353	-71.6319	1%	25.1318	24.4968	3%	-41.1632	-39.3734	5%
3	35.42358	36.43404	3%	-70.8472	-71.5465	1%	24.9813	24.2222	3%	-41.0157	-39.099	5%
2	33.00771	33.8187	2%	-66.0154	-67.6374	2%	22.6186	21.6008	5%	-38.6431	-36.463	6%
1	27.33779	31.48239	13%	-54.6756	-62.9648	13%	15.61951	17.0304	9%	-31.0242	-31.9164	3%
	Rata-rata		5%	Rata-rata		5%	Rata-rata		4%	Rata-rata		5%

**Lampiran 54 : Perbandingan Gaya Geser Siklus 2**

Tingkat	Portal A-3			Portal A-F		
	Vs 2D (Ton)	Vs 3D (Ton)	Selisih	Vs 2D (Ton)	Vs 3D (Ton)	Selisih
12	27.3276944	36.49410621	25%	23.8401363	36.54212149	35%
11	40.7984903	52.94064977	23%	34.7400402	52.77637512	34%
10	40.7984903	52.94064977	23%	34.7400402	52.77637512	34%
9	40.7984903	52.94064977	23%	34.7400402	52.77637512	34%
8	49.0186235	60.30099411	19%	43.15085176	60.15436346	28%
7	49.0186235	60.30099411	19%	43.15085176	60.15436346	28%
6	49.0186235	60.30099411	19%	43.15085176	60.15436346	28%
5	49.0186235	60.30099411	19%	43.15085176	60.15436346	28%
4	49.0186235	60.30099411	19%	43.15085176	60.15436346	28%
3	49.0186235	60.30099411	19%	43.15085176	60.15436346	28%
2	49.0186235	60.30099411	19%	43.15085176	60.15436346	28%
1	39.1689872	55.65351438	30%	38.82570546	55.48923973	30%
	<b>Rata-rata</b>		<b>21%</b>	<b>Rata-rata</b>		<b>30%</b>

**Lampiran 55 : Perbandingan Gaya Aksial Kolom 3D dengan 2D x**

Tingkat	Gaya Aksial K1 (T)			Gaya Aksial K2 (T)			Tingkat	Gaya Aksial K2 (T)					
	3D S1	2D S1	Selisih	3D S2	2D S2	Selisih		3D S1	2D S1	Selisih	3D S2	2D S2	Selisih
12	-94.46	-12.39	87%	-52.23	-6.72	87%	12	-94.46	-12.39	87%	-86.98	-12.41	86%
11	-215.78	-33.00	85%	-134.82	-27.70	79%	11	-215.78	-33.00	85%	-202.96	-33.32	84%
10	-337.17	-53.56	84%	-219.08	-49.57	77%	10	-337.17	-53.56	84%	-319.04	-54.21	83%
9	-458.62	-74.10	84%	-305.20	-72.33	76%	9	-458.62	-74.10	84%	-435.17	-75.09	83%
8	-580.17	-94.62	84%	-393.00	-95.93	76%	8	-580.17	-94.62	84%	-551.39	-95.96	83%
7	-701.81	-115.12	84%	-482.09	-120.24	75%	7	-701.81	-115.12	84%	-667.69	-116.80	83%
6	-823.58	-135.60	84%	-572.17	-145.14	75%	6	-823.58	-135.60	84%	-784.08	-137.61	82%
5	-945.47	-156.06	83%	-662.90	-170.49	74%	5	-945.47	-156.06	83%	-900.55	-158.39	82%
4	-1067.48	-176.49	83%	-753.95	-196.14	74%	4	-1067.48	-176.49	83%	-1017.08	-179.12	82%
3	-1189.63	-196.89	83%	-844.69	-221.84	74%	3	-1189.63	-196.89	83%	-1133.66	-199.80	82%
2	-1311.89	-217.27	83%	-934.17	-247.09	74%	2	-1311.89	-217.27	83%	-1250.22	-220.42	82%
1	-1434.34	-237.68	83%	-1022.00	-271.47	73%	1	-1434.34	-237.68	83%	-1368.03	-241.08	82%
	Rata-rata			Rata-rata				Rata-rata			Rata-rata		
			84%			76%				84%			83%



**Lampiran 57 : Perbandingan Gaya Aksial Kolom Antar Siklus x**

Tingkat	Gaya Aksial K1 (T)			Selisih	2D S2	Selisih	Tingkat	Gaya Aksial K2 (T)			Selisih	2D S2	Selisih
	3D S1	3D S2	2D S1					3D S1	3D S2	2D S1			
12	-94.46	-52.23	-12.39	45%	-6.72	45.7%	12	-94.46	-86.98	-12.39	8%	-12.41	0.1%
11	-215.78	-134.82	-33.00	38%	-27.70	16.0%	11	-215.78	-202.96	-33.00	6%	-33.32	1.0%
10	-337.17	-219.08	-53.56	35%	-49.57	7.5%	10	-337.17	-319.04	-53.56	5%	-54.21	1.2%
9	-458.62	-305.20	-74.10	33%	-72.33	2.4%	9	-458.62	-435.17	-74.10	5%	-75.09	1.3%
8	-580.17	-393.00	-94.62	32%	-95.93	1.4%	8	-580.17	-551.39	-94.62	5%	-95.96	1.4%
7	-701.81	-482.09	-115.12	31%	-120.24	4.3%	7	-701.81	-667.69	-115.12	5%	-116.80	1.4%
6	-823.58	-572.17	-135.60	31%	-145.14	6.6%	6	-823.58	-784.08	-135.60	5%	-137.61	1.5%
5	-945.47	-662.90	-156.06	30%	-170.49	8.5%	5	-945.47	-900.55	-156.06	5%	-158.39	1.5%
4	-1067.48	-753.95	-176.49	29%	-196.14	10.0%	4	-1067.48	-1017.08	-176.49	5%	-179.12	1.5%
3	-1189.63	-844.69	-196.89	29%	-221.84	11.2%	3	-1189.63	-1133.66	-196.89	5%	-199.80	1.5%
2	-1311.89	-934.17	-217.27	29%	-247.09	12.1%	2	-1311.89	-1250.22	-217.27	5%	-220.42	1.4%
1	-1434.34	-1022.00	-237.68	29%	-271.47	12.4%	1	-1434.34	-1368.03	-237.68	5%	-241.08	1.4%
	Rata-rata		Rata-rata	33%	Rata-rata	12%		Rata-rata		Rata-rata	5%	Rata-rata	1.3%

**Lampiran 58 : Perbandingan Gaya Aksial Kolom Antar Siklus y**

Tingkat	Gaya Aksial K1 (T)			Gaya Aksial K2 (T)			Tingkat	Gaya Aksial K2 (T)			Selisih	2D S1	2D S2	Selisih
	3D S1	3D S2	Selisih	2D S1	2D S2	Selisih		3D S1	3D S2	Selisih				
12	-63.60	-52.28	18%	-7.38	-6.97	5.56%	12	-94.46	-86.98	8%	-12.42	-12.37	0.36%	
11	-156.53	-135.07	14%	-29.05	-28.49	1.91%	11	-215.78	-202.96	6%	-33.05	-33.21	0.50%	
10	-250.64	-219.12	13%	-51.66	-50.89	1.48%	10	-337.17	-319.04	5%	-53.63	-54.02	0.71%	
9	-346.09	-304.62	12%	-75.26	-74.25	1.34%	9	-458.62	-435.17	5%	-74.19	-74.81	0.82%	
8	-442.73	-391.31	12%	-99.79	-98.52	1.27%	8	-580.17	-551.39	5%	-94.73	-95.57	0.88%	
7	-540.32	-478.94	11%	-125.10	-123.56	1.23%	7	-701.81	-667.69	5%	-115.25	-116.31	0.91%	
6	-638.56	-567.22	11%	-151.04	-149.24	1.20%	6	-823.58	-784.08	5%	-135.74	-137.02	0.93%	
5	-737.11	-655.86	11%	-177.46	-175.39	1.17%	5	-945.47	-900.55	5%	-156.20	-157.68	0.94%	
4	-835.57	-744.55	11%	-204.16	-201.83	1.14%	4	-1067.48	-1017.08	5%	-176.63	-178.30	0.94%	
3	-933.39	-832.90	11%	-230.85	-228.26	1.13%	3	-1189.63	-1133.66	5%	-197.04	-198.87	0.92%	
2	-1029.59	-920.13	11%	-256.98	-254.07	1.13%	2	-1311.89	-1250.22	5%	-217.42	-219.39	0.90%	
1	-1122.14	-1006.24	10%	-281.24	-278.82	0.86%	1	-1434.34	-1368.03	5%	-237.82	-239.94	0.88%	
	Rata-rata		12%	Rata-rata	Rata-rata	1.62%		Rata-rata		5%	Rata-rata		0.81%	

Lampiran 59 : Perbandingan Simpangan 3D dengan 2D Siklus 1

Tingkat	X						Y					
	3D (m)		2D (m)		Selisih		3D (m)		2D (m)		Selisih	
	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2
12	0.0106	0.0191	0.00749	0.0092	29%	52%	0.00984	0.01684	0.00402	0.00406	59%	76%
11	0.01252	0.02186	0.00951	0.01148	24%	47%	0.01181	0.0195	0.00537	0.00537	55%	72%
10	0.01571	0.02664	0.01266	0.01526	19%	43%	0.01487	0.02382	0.00752	0.00753	49%	68%
9	0.01902	0.03153	0.01581	0.01907	17%	40%	0.01799	0.0282	0.01	0.01	44%	65%
8	0.02196	0.03588	0.01857	0.02239	15%	38%	0.02077	0.03207	0.01257	0.01257	39%	61%
7	0.02436	0.0394	0.02084	0.02513	14%	36%	0.02304	0.03518	0.01518	0.01518	34%	57%
6	0.02613	0.04191	0.02262	0.02727	13%	35%	0.02472	0.03741	0.01775	0.01775	28%	53%
5	0.02714	0.04321	0.02386	0.02878	12%	33%	0.02568	0.03863	0.0202	0.02021	21%	48%
4	0.02711	0.04291	0.02446	0.02948	10%	31%	0.02574	0.03847	0.02232	0.02231	13%	42%
3	0.02545	0.04007	0.02395	0.02887	6%	28%	0.02431	0.03615	0.02345	0.02346	4%	35%
2	0.02085	0.03265	0.02087	0.02513	0%	23%	0.02012	0.02976	0.02185	0.02182	8%	27%
1	0.01012	0.01576	0.01037	0.01255	2%	20%	0.00993	0.01459	0.01201	0.01204	17%	17%
	Rata-rata			25%			Rata-rata			41%		
			14%			36%					31%	52%



**Lampiran 60 : Perbandingan Simpangan 3D dengan 2D Siklus 2**

Tingkat	X						Y					
	3D (m)		2D (m)		Selisih		3D (m)		2D (m)		Selisih	
	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2
12	0.01042	0.02168	0.00912	0.01166	12%	46%	0.00926	0.01918	0.0103	0.01041	10%	46%
11	0.01291	0.02566	0.01102	0.01381	15%	46%	0.01154	0.02285	0.01237	0.01236	7%	46%
10	0.01703	0.03249	0.0145	0.01819	15%	44%	0.01518	0.02891	0.01605	0.01607	5%	44%
9	0.02105	0.0391	0.01809	0.0227	14%	42%	0.01868	0.03473	0.01986	0.01986	6%	43%
8	0.02448	0.04472	0.02126	0.02666	13%	40%	0.02168	0.03963	0.02323	0.02323	7%	41%
7	0.02721	0.04916	0.02388	0.02996	12%	39%	0.02407	0.04348	0.02602	0.02602	8%	40%
6	0.02926	0.05238	0.02592	0.0325	11%	38%	0.02585	0.04628	0.02818	0.02818	8%	39%
5	0.03061	0.05432	0.02731	0.03426	11%	37%	0.02701	0.048	0.02961	0.0296	9%	38%
4	0.03106	0.05473	0.02787	0.03496	10%	36%	0.02743	0.04842	0.03006	0.03007	9%	38%
3	0.03	0.05252	0.02697	0.03383	10%	36%	0.02661	0.04668	0.02888	0.02888	8%	38%
2	0.02548	0.04434	0.02273	0.02846	11%	36%	0.02284	0.03985	0.02414	0.02411	5%	39%
1	0.01325	0.02287	0.01102	0.01387	17%	39%	0.01215	0.02099	0.01194	0.01196	2%	43%
	Rata-rata						Rata-rata					
	13%						7%					
	26%						24%					

**Lampiran 61 : Perbandingan Simpangan Antar Siklus 3D**

Tingkat	X						Y					
	Siklus 1 (m)		Siklus 2 (m)		Selisih		Siklus 1 (m)		Siklus 2 (m)		Selisih	
	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2
12	0.0106	0.0191	0.01042	0.0217	2%	12%	0.00984	0.01684	0.00926	0.0192	6%	12%
11	0.01252	0.02186	0.01291	0.0257	3%	15%	0.01181	0.0195	0.01154	0.0228	2%	15%
10	0.01571	0.02664	0.01703	0.0325	8%	18%	0.01487	0.02382	0.01518	0.0289	2%	18%
9	0.01902	0.03153	0.02105	0.0391	10%	19%	0.01799	0.0282	0.01868	0.0347	4%	19%
8	0.02196	0.03588	0.02448	0.0447	10%	20%	0.02077	0.03207	0.02168	0.0396	4%	19%
7	0.02436	0.0394	0.02721	0.0492	10%	20%	0.02304	0.03518	0.02407	0.0435	4%	19%
6	0.02613	0.04191	0.02926	0.0524	11%	20%	0.02472	0.03741	0.02585	0.0463	4%	19%
5	0.02714	0.04321	0.03061	0.0543	11%	20%	0.02568	0.03863	0.02701	0.0480	5%	20%
4	0.02711	0.04291	0.03106	0.0547	13%	22%	0.02574	0.03847	0.02743	0.0484	6%	21%
3	0.02545	0.04007	0.03	0.0525	15%	24%	0.02431	0.03615	0.02661	0.0467	9%	23%
2	0.02085	0.03265	0.02548	0.0443	18%	26%	0.02012	0.02976	0.02284	0.0399	12%	25%
1	0.01012	0.01576	0.01325	0.0229	24%	31%	0.00993	0.01459	0.01215	0.0210	18%	31%
	Rata-rata				11%	21%	Rata-rata				6%	20%
					16%						13%	

**Lampiran 62 : Perbandingan Simpangan Antar Siklus 2D**

Tingkat	Portal A-3						Portal A-F					
	Siklus 1 (m)		Siklus 2 (m)		Selisih		Siklus 1 (m)		Siklus 2 (m)		Selisih	
	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2
12	0.007491	0.009205	0.009125	0.0117	18%	21%	0.004018	0.004056	0.0103	0.0104	61%	61%
11	0.00951	0.01148	0.011017	0.0138	14%	17%	0.005372	0.005372	0.01237	0.0124	57%	57%
10	0.012661	0.01526	0.014498	0.0182	13%	16%	0.007523	0.007526	0.01605	0.0161	53%	53%
9	0.015807	0.019073	0.01809	0.0227	13%	16%	0.009996	0.009996	0.01986	0.0199	50%	50%
8	0.018568	0.022389	0.021263	0.0267	13%	16%	0.012572	0.012572	0.02323	0.0232	46%	46%
7	0.02084	0.025128	0.023876	0.0300	13%	16%	0.015175	0.015175	0.02602	0.0260	42%	42%
6	0.022616	0.02727	0.025916	0.0325	13%	16%	0.01775	0.017746	0.02818	0.0282	37%	37%
5	0.023865	0.028775	0.027308	0.0343	13%	16%	0.020202	0.020206	0.02961	0.0296	32%	32%
4	0.024459	0.029485	0.027874	0.0350	12%	16%	0.022319	0.022314	0.03006	0.0301	26%	26%
3	0.023947	0.028868	0.026972	0.0338	11%	15%	0.023454	0.023459	0.02888	0.0289	19%	19%
2	0.020873	0.025128	0.022732	0.0285	8%	12%	0.021853	0.021825	0.02414	0.0241	9%	9%
1	0.010368	0.012554	0.011017	0.0139	6%	10%	0.012011	0.012041	0.01194	0.0120	1%	1%
	Rata-rata						Rata-rata					
	12%						12%					
	14%						14%					
	15%						36%					
	14%						36%					

**Lampiran 63 :Perbandingan P-Delta 3D dengan 2D Siklus 1**

Tingkat	X						Y					
	3D (m)		2D (m)		Selisih		3D (m)		2D (m)		Selisih	
	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2
12	0.0059	0.00913	0.00354	0.00434	40%	52%	0.00526	0.00821	0.00618	0.00624	15%	24%
11	0.00755	0.01133	0.00484	0.00584	36%	48%	0.00683	0.01028	0.00769	0.00769	11%	25%
10	0.01024	0.01491	0.0069	0.00832	33%	44%	0.00926	0.01353	0.01037	0.01037	11%	23%
9	0.0134	0.01908	0.00924	0.01115	31%	42%	0.01209	0.01728	0.01361	0.01361	11%	21%
8	0.01675	0.02351	0.01167	0.01407	30%	40%	0.01508	0.02123	0.01706	0.01706	12%	20%
7	0.02017	0.02802	0.01411	0.01701	30%	39%	0.01811	0.02522	0.02058	0.02058	12%	18%
6	0.02352	0.03241	0.01653	0.01994	30%	38%	0.02108	0.0291	0.02405	0.02405	12%	17%
5	0.02661	0.03639	0.01888	0.02277	29%	37%	0.02381	0.03266	0.02727	0.02728	13%	16%
4	0.02899	0.03941	0.02099	0.02531	28%	36%	0.02599	0.03542	0.02986	0.02986	13%	16%
3	0.0297	0.04018	0.02234	0.02693	25%	33%	0.02676	0.03628	0.03083	0.03083	13%	15%
2	0.02656	0.03572	0.02119	0.02551	20%	29%	0.02415	0.03257	0.02781	0.02778	13%	15%
1	0.01405	0.01878	0.01145	0.01387	18%	26%	0.01297	0.01739	0.01455	0.01459	11%	16%
	Rata-rata				29%	39%	Rata-rata					
					34%							
					29%	39%	16%					

**Lampiran 64 : Perbandingan P-Delta 3D dengan 2D Siklus 2**

Tingkat	X						Y					
	3D (m)		2D (m)		Selisih		3D (m)		2D (m)		Selisih	
	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2
12	0.00617	0.00992	0.00429	0.00548	31%	45%	0.0056	0.00897	0.00486	0.00491	13%	45%
11	0.00836	0.01283	0.00558	0.007	33%	45%	0.00761	0.01163	0.00631	0.0063	17%	46%
10	0.01196	0.01763	0.00788	0.00989	34%	44%	0.01084	0.01594	0.00879	0.00879	19%	45%
9	0.01607	0.02305	0.01055	0.01324	34%	43%	0.01445	0.02075	0.01167	0.01167	19%	44%
8	0.02033	0.02868	0.01333	0.01672	34%	42%	0.0182	0.02569	0.01469	0.01469	19%	43%
7	0.02463	0.03436	0.01613	0.02024	35%	41%	0.02196	0.03065	0.01773	0.01773	19%	42%
6	0.02891	0.03997	0.01891	0.02371	35%	41%	0.02569	0.03553	0.02075	0.02075	19%	42%
5	0.03306	0.04532	0.02157	0.02706	35%	40%	0.02929	0.04021	0.02361	0.02361	19%	41%
4	0.03671	0.04996	0.02389	0.02996	35%	40%	0.03249	0.04431	0.02603	0.02603	20%	41%
3	0.0388	0.05246	0.02512	0.03151	35%	40%	0.03446	0.04668	0.02718	0.02718	21%	42%
2	0.03603	0.04842	0.02304	0.02886	36%	40%	0.03231	0.04354	0.02474	0.02472	23%	43%
1	0.02045	0.02727	0.01217	0.01532	41%	44%	0.01874	0.02502	0.01333	0.01336	29%	47%
	Rata-rata						Rata-rata					
	35%						35%					
	38%						32%					

**Lampiran 65 : Perbandingan P-Delta Antar Siklus 3D**

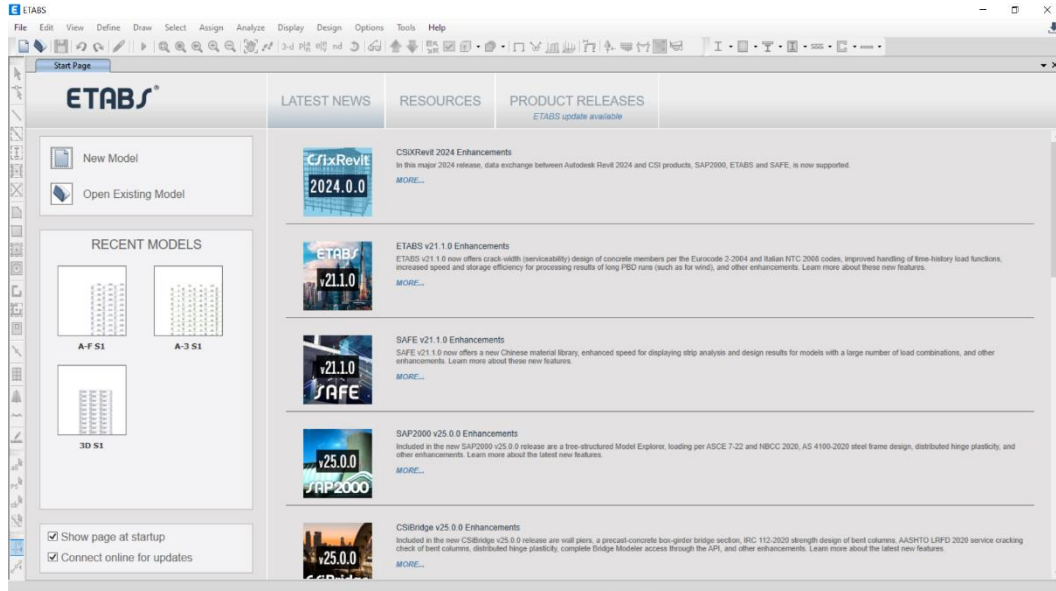
Tingkat	X						Y					
	Siklus 1 (m)		Siklus 2 (m)		Selisih		Siklus 1 (m)		Siklus 2 (m)		Selisih	
	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2
12	0.0059	0.00913	0.00617	0.0099	4%	8%	0.00526	0.00821	0.0056	0.0090	6%	8%
11	0.00755	0.01133	0.00836	0.0128	10%	12%	0.00683	0.01028	0.00761	0.0116	10%	12%
10	0.01024	0.01491	0.01196	0.0176	14%	15%	0.00926	0.01353	0.01084	0.0159	15%	15%
9	0.0134	0.01908	0.01607	0.0231	17%	17%	0.01209	0.01728	0.01445	0.0207	16%	17%
8	0.01675	0.02351	0.02033	0.0287	18%	18%	0.01508	0.02123	0.0182	0.0257	17%	17%
7	0.02017	0.02802	0.02463	0.0344	18%	18%	0.01811	0.02522	0.02196	0.0307	18%	18%
6	0.02352	0.03241	0.02891	0.0400	19%	19%	0.02108	0.0291	0.02569	0.0355	18%	18%
5	0.02661	0.03639	0.03306	0.0453	20%	20%	0.02381	0.03266	0.02929	0.0402	19%	19%
4	0.02899	0.03941	0.03671	0.0500	21%	21%	0.02599	0.03542	0.03249	0.0443	20%	20%
3	0.0297	0.04018	0.0388	0.0525	23%	23%	0.02676	0.03628	0.03446	0.0467	22%	22%
2	0.02656	0.03572	0.03603	0.0484	26%	26%	0.02415	0.03257	0.03231	0.0435	25%	25%
1	0.01405	0.01878	0.02045	0.0273	31%	31%	0.01297	0.01739	0.01874	0.0250	31%	31%
	Rata-rata						Rata-rata					
	19%						18%					
							18%					

**Lampiran 66 : Perbandingan P-Delta Antar Siklus 2D**

Tingkat	Portal A-3						Portal A-F					
	Siklus 1 (m)		Siklus 2 (m)		Selisih		Siklus 1 (m)		Siklus 2 (m)		Selisih	
	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2	Tahap 1	Tahap 2
12	0.003536	0.004345	0.004288	0.0055	18%	21%	0.006183	0.006238	0.00486	0.0049	21%	21%
11	0.004836	0.005838	0.005585	0.0070	13%	17%	0.007689	0.007686	0.00631	0.0063	18%	18%
10	0.006901	0.008317	0.00788	0.0099	12%	16%	0.010368	0.010374	0.00879	0.0088	15%	15%
9	0.009243	0.011153	0.010551	0.0132	12%	16%	0.013608	0.013608	0.01167	0.0117	14%	14%
8	0.01167	0.014071	0.013332	0.0167	12%	16%	0.017063	0.017063	0.01469	0.0147	14%	14%
7	0.01411	0.017013	0.01613	0.0202	13%	16%	0.020584	0.020584	0.01773	0.0177	14%	14%
6	0.016534	0.019937	0.018909	0.0237	13%	16%	0.024054	0.02405	0.02075	0.0207	14%	14%
5	0.018884	0.02277	0.021568	0.0271	12%	16%	0.027273	0.027278	0.02361	0.0236	13%	13%
4	0.020994	0.025308	0.023886	0.0300	12%	16%	0.029856	0.029856	0.02603	0.0260	13%	13%
3	0.022339	0.026929	0.025124	0.0315	11%	15%	0.030826	0.030826	0.02718	0.0272	12%	12%
2	0.021187	0.025506	0.023045	0.0289	8%	12%	0.027807	0.027777	0.02474	0.0247	11%	11%
1	0.011452	0.013867	0.012169	0.0153	6%	10%	0.014554	0.014587	0.01333	0.0134	8%	8%
	Rata-rata						Rata-rata					
	12%						12%					
	14%						14%					

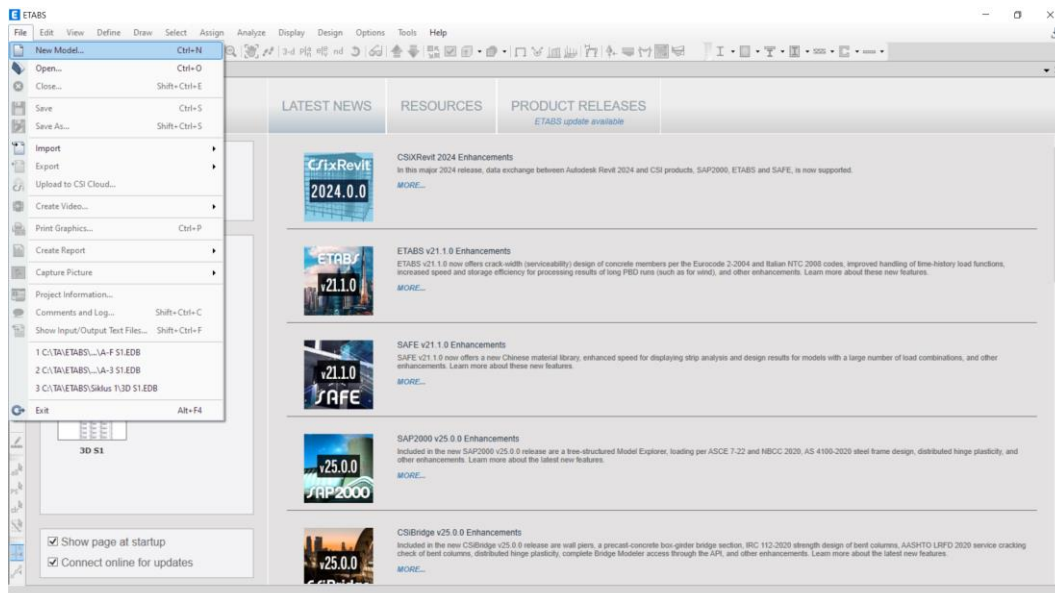
## Lampiran 67 : Pengoperasian Analisis Struktur ETABS Model 3D Dengan Metode FEMA -751

1. Buka aplikasi ETABS, dimana tampilan awal ETABS akan tampak sebagaimana gambar Gambar L-67. 1 berikut.



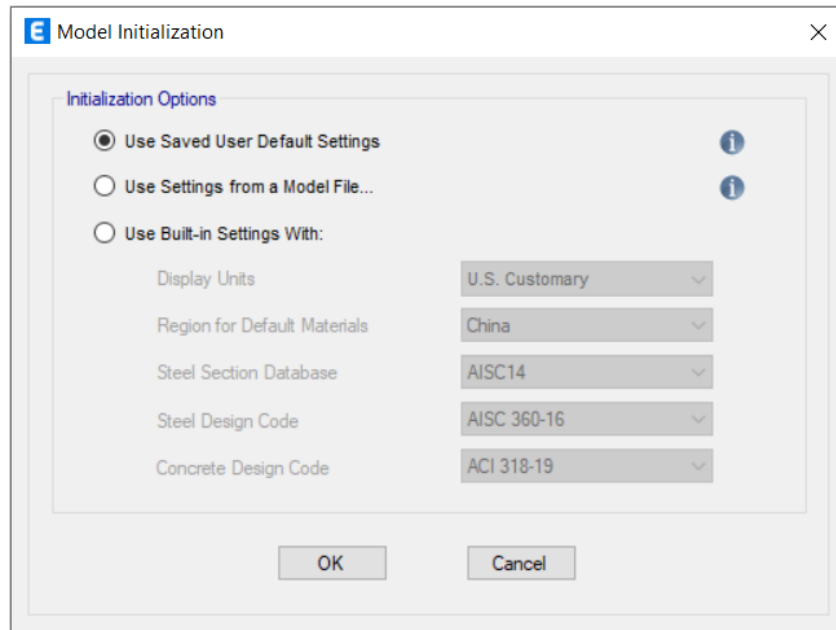
**Gambar L-67. 1 Tampilan Awal**

2. Klik pada “File” pada toolbar, lalu pilih “New Model” seperti pada Gambar L-67. 2, Setelah itu akan tampil *pop-up* sebagaimana pada Gambar L-67. 3, maka tekan “OK”.



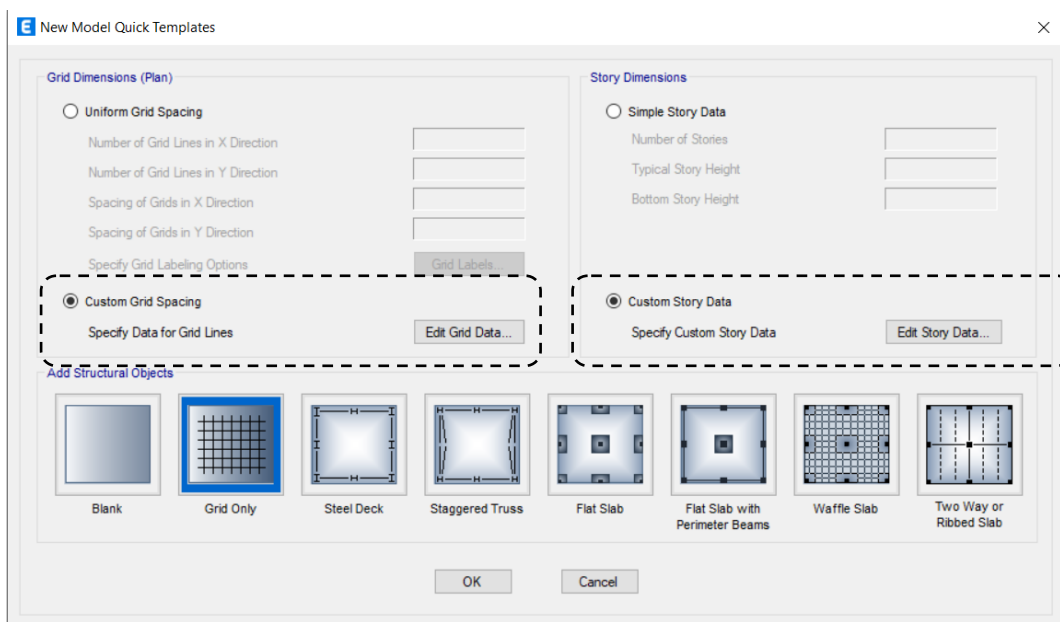
**Gambar L-67. 2 New Model**



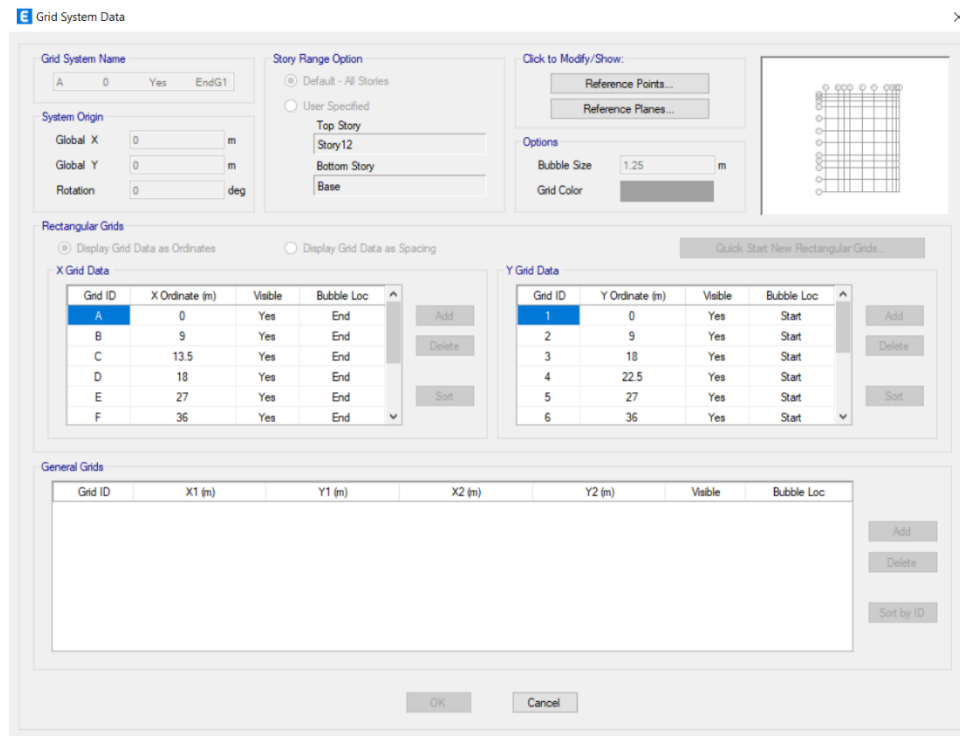


**Gambar L-67. 3 Setting Template Awal**

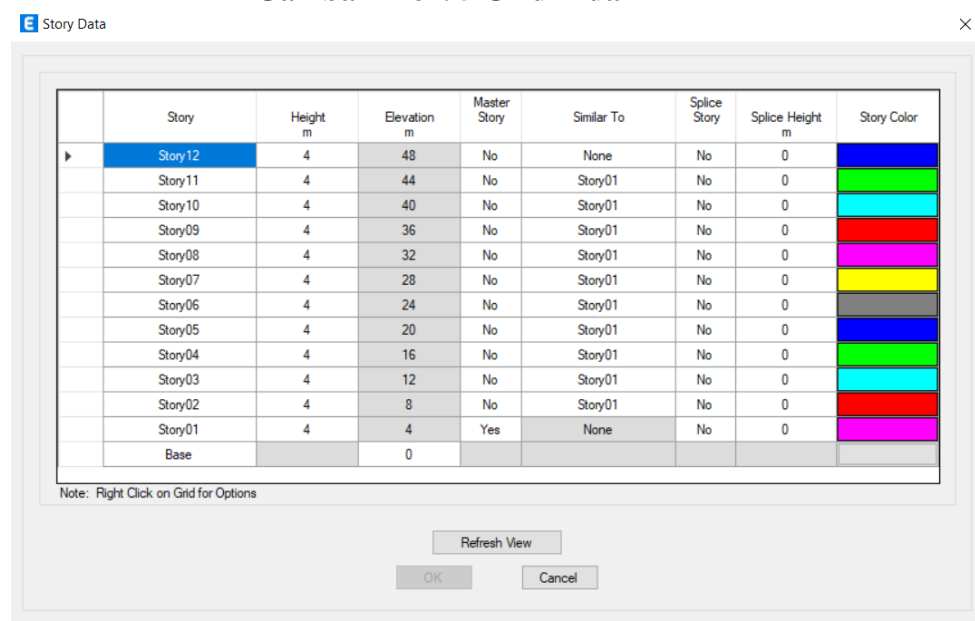
3. Lakukan penyesuaian pada Grid sesuai dengan model bangunan yang akan dibuat. Dengan memilih pilihan “custom grid data” lalu pilih “edit grid data”, sedangkan untuk grid tingkat dapat memilih “*Custom Story Data*” lalu pilih “Edit Story Data” seperti pada Gambar L-67. 4. Pada penelitian ini akan digunakan grid sebagaimana Gambar L-67. 5 dan Gambar L-67. 6.



**Gambar L-67. 4 Edit Grid Data**



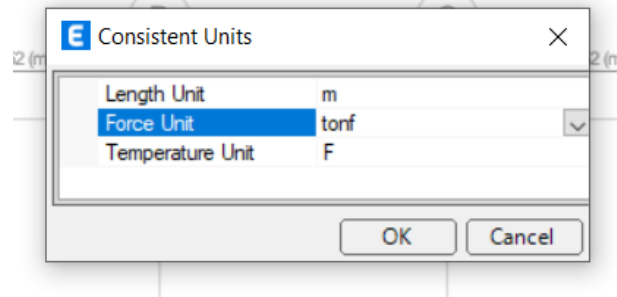
Gambar L-67. 5 Grid X dan Y



Gambar L-67. 6 Grid Z

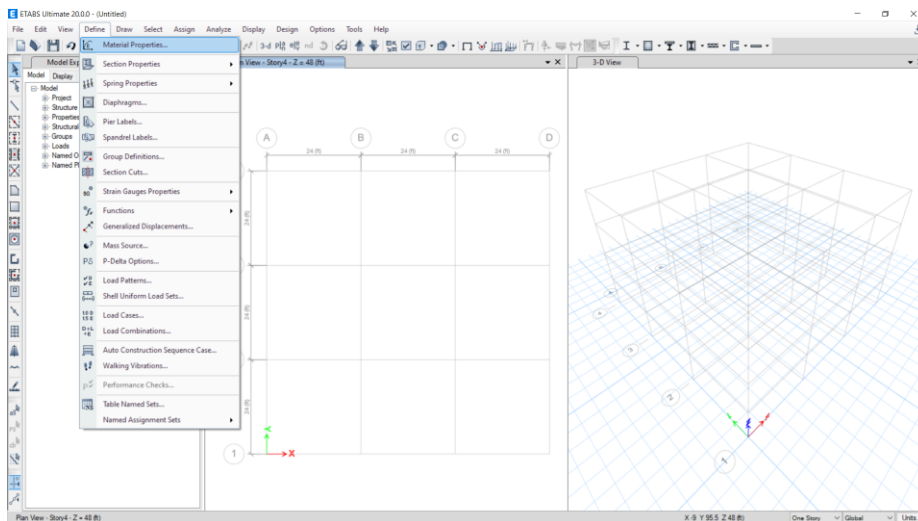
- Lakukan penyesuaian satuan, dimana pada penelitian ini akan diambil satuan berat menggunakan Ton sedangkan pada jarak menggunakan Meter. Klik “Units” pada pojok kanan bawah, lalu klik “Consistent Unit”, setelah itu pilih

satuan sesuai yang diinginkan. Tampilan unit akan sebagaimana Gambar L-67. 7 berikut.

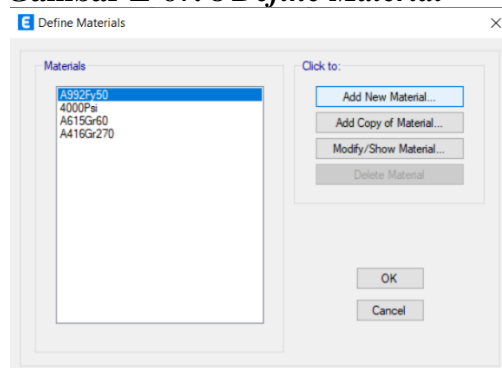


**Gambar L-67. 7 Units**

5. Buat material yang diinginkan, pada contoh ini akan ditunjukkan material pada beton mutu  $f'_c = 35$  MPa. Klik “Define” pada *toolbar*, lalu klik “Material Properties” sebagaimana Gambar L-67. 8. Maka akan muncul *pop up* seperti Gambar L-67. 9.

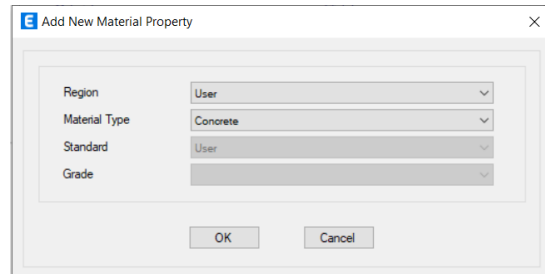


**Gambar L-67. 8 Define Material**

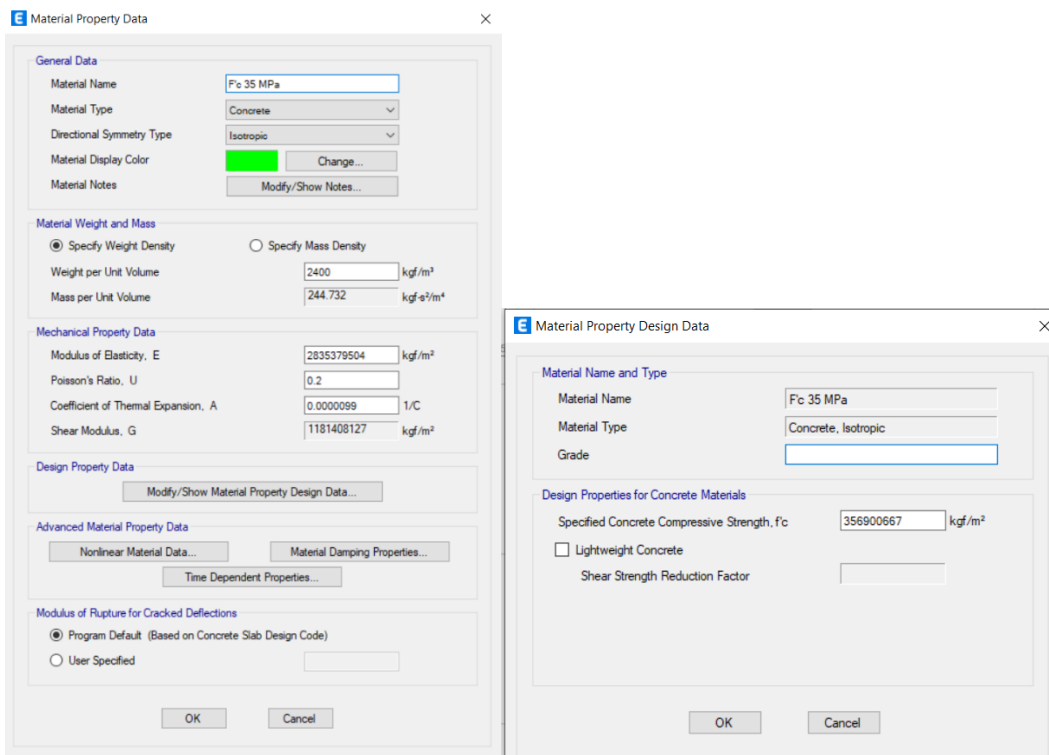


**Gambar L-67. 9 List Material**

6. Klik “Add New Material”, lalu pada bagian *Region* pilih “User”, sedangkan pada *Material Type* pilih “Concrete” seperti Gambar L-67. 10. Kemudian atur sesuai dengan mutu yang diinginkan sebagaimana Gambar L-67. 11. Apabila seluruh rangkaian tersebut selesai diatur maka material telah berhasil dibuat.



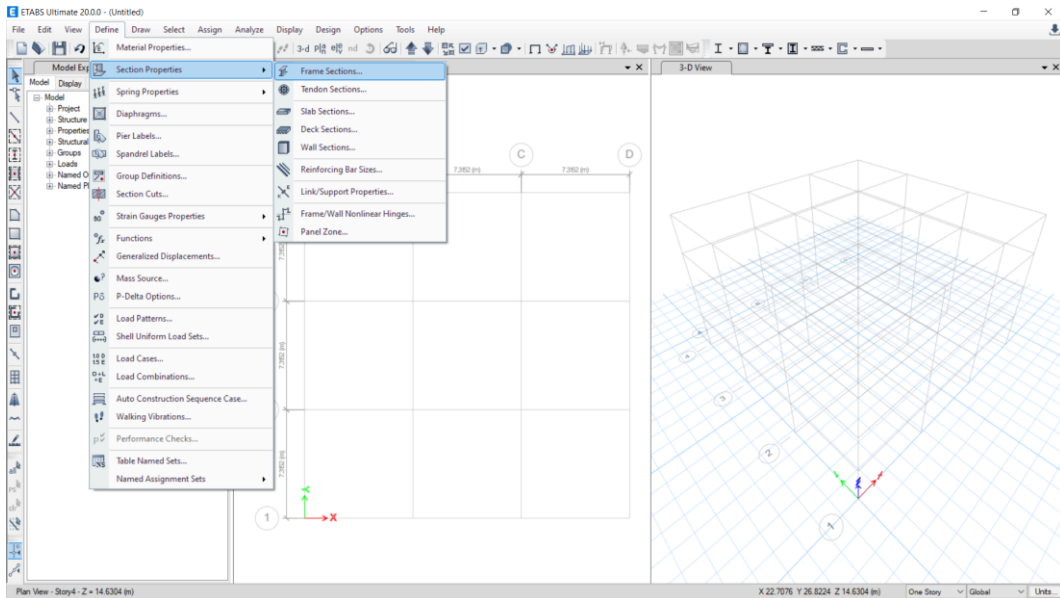
**Gambar L-67. 10 Add New Material**



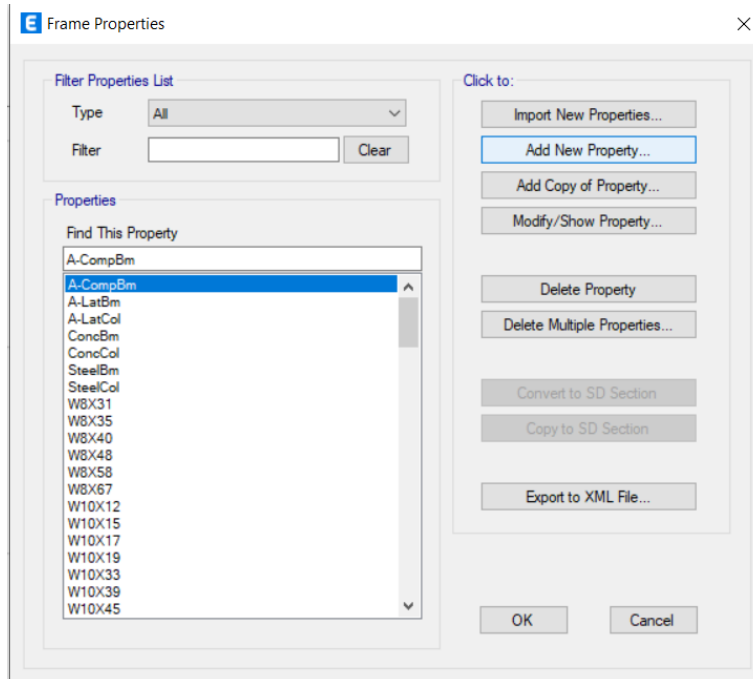
**Gambar L-67. 11 Material Beton F’c 35 Mpa**

7. Setelah Material selesai dibuat, maka lanjut ke pembuatan dimensi balok, kolom dan pelat. Etabs memiliki 2 opsi pilihan dalam menentukan elemen-elemen tersebut yaitu opsi *Frame Section* yang biasa digunakan pada elemen yang berbentuk balok atau kolom serta *Slab Section* yang biasa digunakan pada elemen yang berbentuk seperti pelat lantai. Pada kali ini akan ditampilkan contoh pembuatan balok dan pelat saja. Klik “Define”, arahkan

kursor ke “Section Properties” lalu pilih “Frame Section” sebagaimana Gambar L-67. 12. Lalu akan muncul *pop up* seperti Gambar L-67. 13, maka pilih “Add New Properties”.



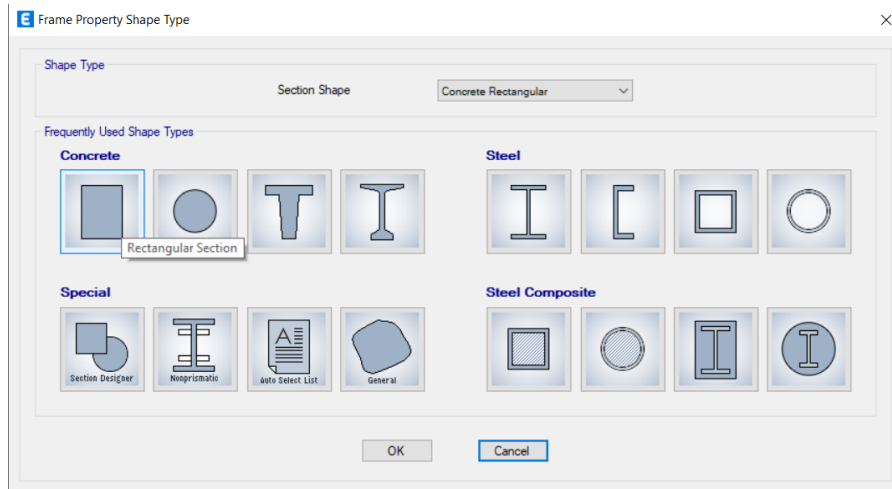
**Gambar L-67. 12 Pembuatan Balok**



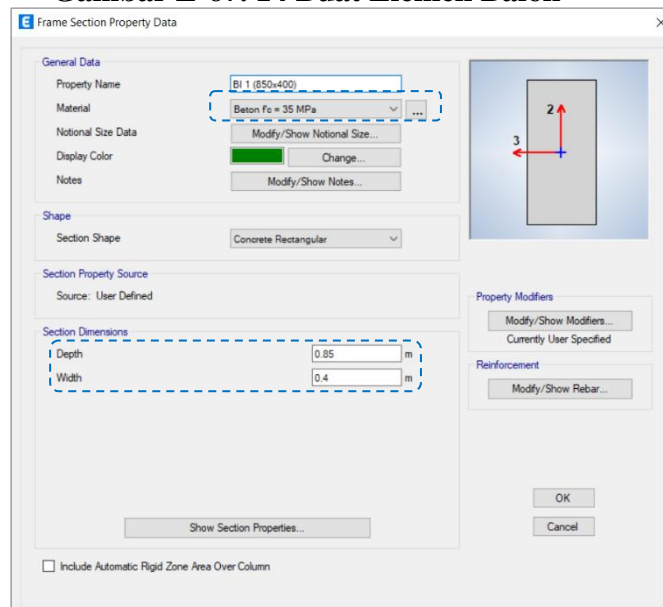
**Gambar L-67. 13 Frame Properties**

8. Karena elemen yang akan dibuat yaitu balok memiliki bentuk segi empat, maka pada “Section Shape” dapat memilih “Concrete Rectangular” lalu pilih

bentuk “Rectangular Section” sebagaimana pada Gambar L-67. 14. Setelah itu akan muncul *pop up* seperti pada Gambar L-67. 15 .

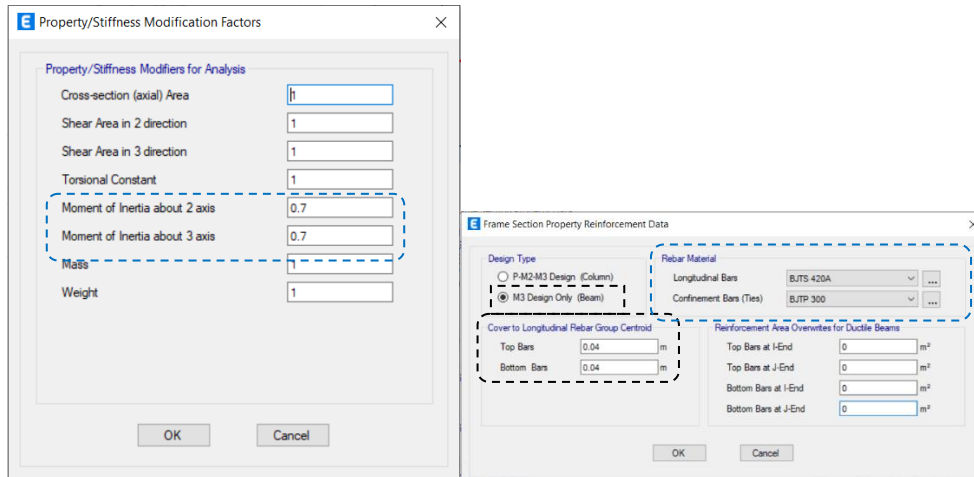


**Gambar L-67. 14 Buat Elemen Balok**



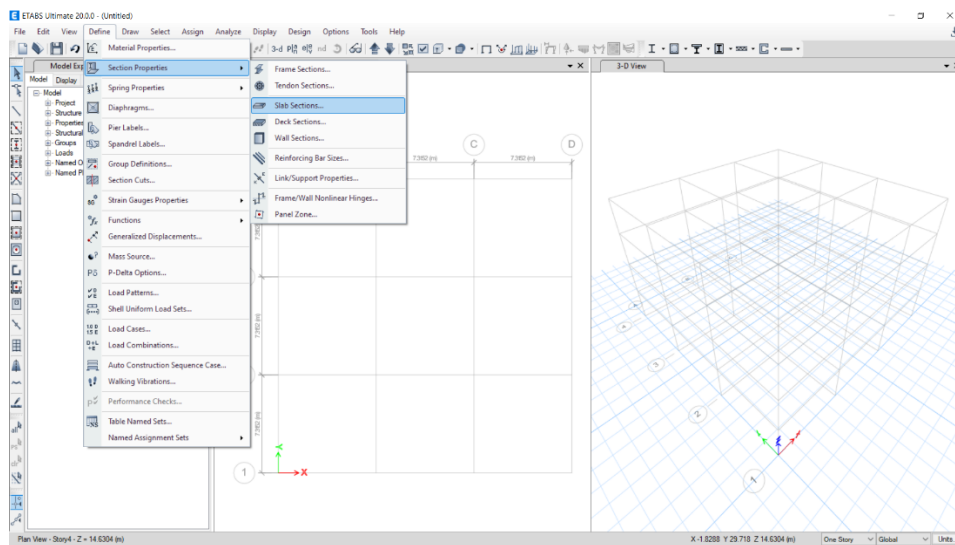
**Gambar L-67. 15 Tampilan Elemen Balok BI 1 Siklus 1**

9. Pada contoh Gambar L-67. 15 di atas dapat disesuaikan Material yang akan digunakan, seperti pada kasus di atas dipilih “Beton  $f_c = 35$  MPa”. Lalu dapat disesuaikan bagian tebal (*Depth*) dan lebar (*Width*) sesuai yang dibutuhkan. Kemudian sesuaikan Momen inersia *crack* pada “Modify/Show Modifiers” yang akan muncul *pop up* seperti pada Gambar L-67. 16 .

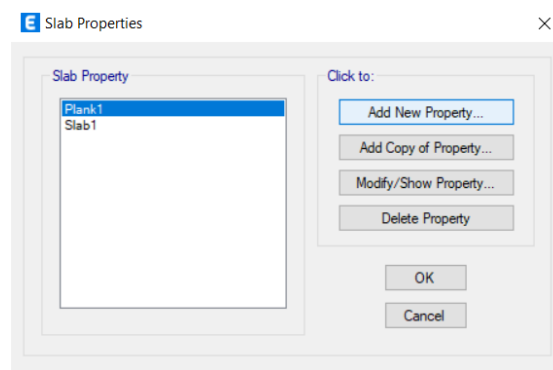


**Gambar L-67. 16 Inersia *Crack* dan Bagian Penulangan**

10. Pada bagian “Frame Section Property Reinforcement Data” untuk elemen balok dapat dipilih “M3 (Design Only Beam)”. Kemudian untuk tulangan dapat kita sesuaikan pada pilihan “Rebar Material” dengan material tulangan yang telah kita buat sebelumnya. Pada opsi *Reinforcement Area Overrides for Ductile Beams* dapat diabaikan terlebih dahulu apabila belum melakukan desain tulangan balok. Setelah serangkaian sebelumnya maka elemen balok telah selesai dibuat.
11. Selanjutnya pembuatan elemen pelat dengan klik “Define”, arahkan kursor ke “Frame Section” lalu pilih “Slab Section” seperti pada Gambar L-67. 17 . Setelah itu akan muncul *pop up* seperti pada Gambar L-67. 18 .

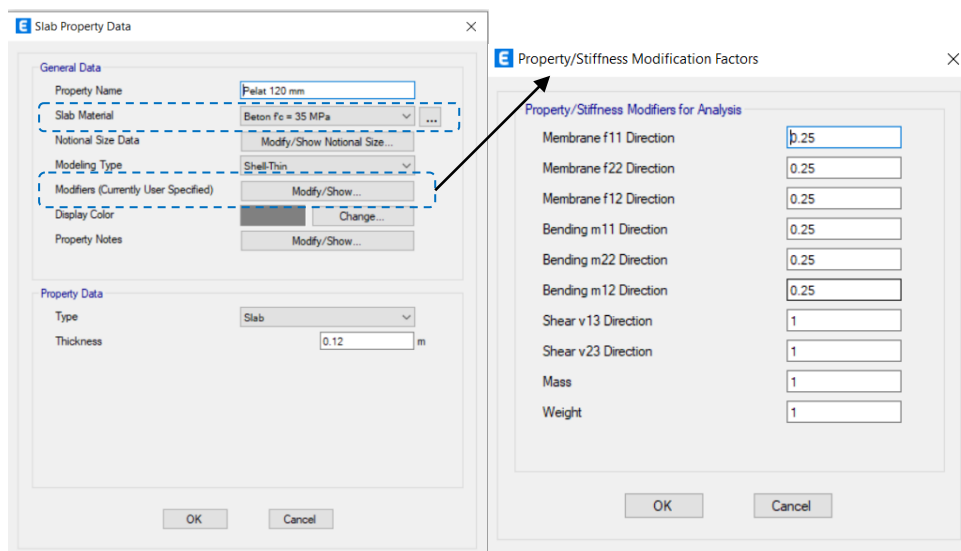


**Gambar L-67. 17 Define Slab**



**Gambar L-67. 18 Slab Properties**

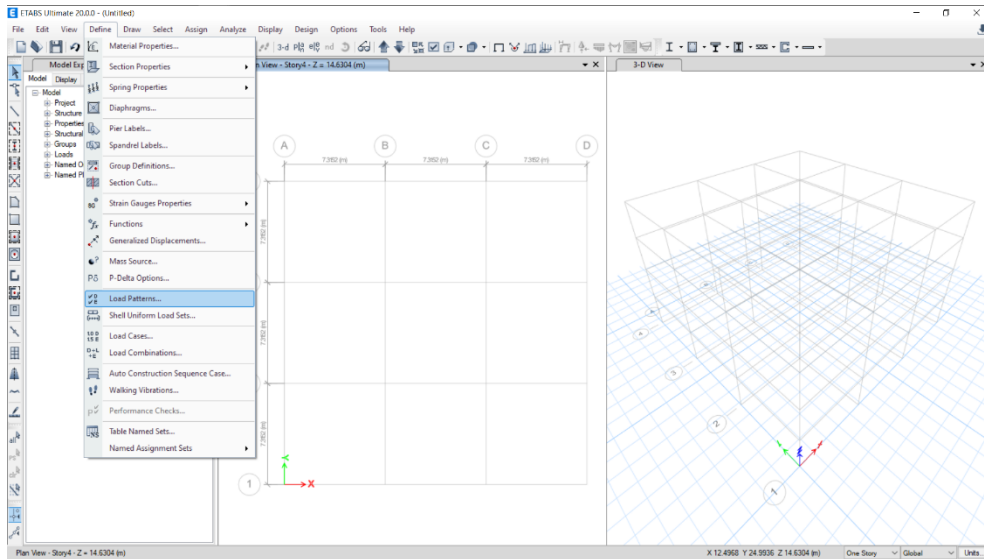
12. Buat pelat/*slab* baru dengan klik “Add New Properties”, kemudian akan muncul tampilan seperti pada Gambar L-67. 19 lalu atur *properties* sesuai dengan yang dibutuhkan. Pada *Slab Material* dapat memilih material beton yang telah dibuat sebelumnya. Kemudian dapat diatur inersia *crack* pada pelat di bagian *Modifiers*. Setelah serangkaian sebelumnya selesai maka elemen pelat telah berhasil dibuat.



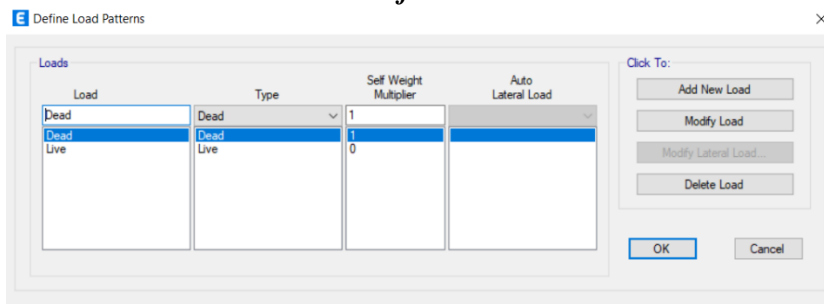
**Gambar L-67. 19 Elemen Pelat PL1**

13. Selanjutnya, tetapkan beban yang digunakan. Lebih spesifik lagi yang akan dibutuhkan pada contoh ini yaitu “beban mati”, “beban hidup”, dan “beban gempa”. Cara mendefinisikan beban-beban tersebut dengan cara klik “Define”, arahkan kursor ke “Load Patterns” seperti pada Gambar L-67. 20. Maka akan muncul tampilan sebagaimana Gambar L-67. 21.



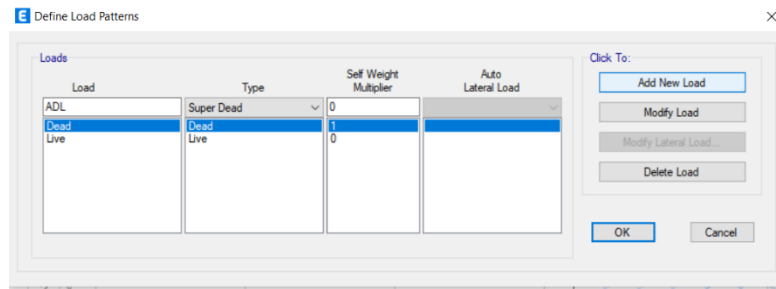


**Gambar L-67. 20 Define Load Patterns**



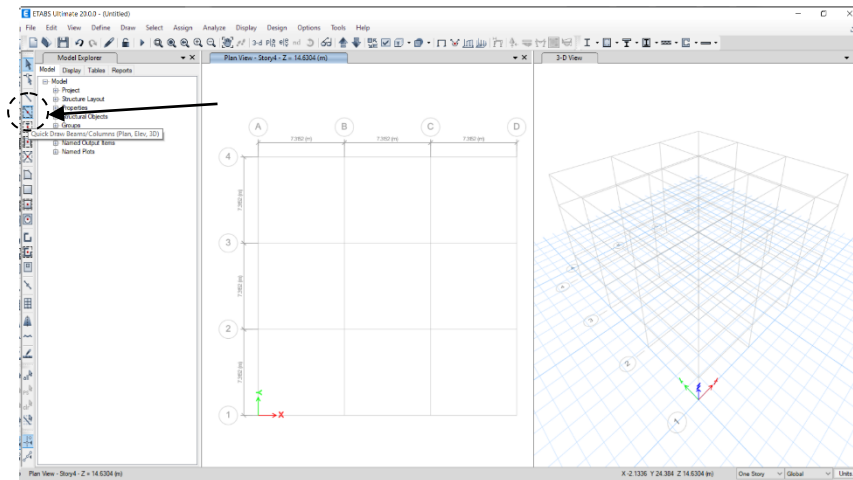
**Gambar L-67. 21 Load Patterns**

14. Gambar L-67. 21 memperlihatkan terdapat beberapa hal yaitu, kolom “Load” yang digunakan untuk mendefinisikan nama dari sebuah beban, “Type” yang digunakan untuk mendefinisikan tipe dari beban, “Self Weight Multiplier” yang digunakan untuk menambah beban struktur bangunan ke beban tersebut. “Auto Lateral Load” yang digunakan untuk mendefinisikan beban lateral secara otomatis. Diambil contoh beban mati tambahan/ *finishing* dimana akan didefinisikan dengan nama ADL (*Additional Dead Load*), tipe beban dipilih “Super Dead”, lalu “Self Weight Multiplier” kita berikan angka 0 karena pada beban ini akan digunakan hanya khusus untuk beban mati tambahan saja. Tampilan dari *define load pattern* pada beban ADL akan seperti pada Gambar L-67. 22. Setelah mendefinisikan tersebut kita klik “Add New Load”.

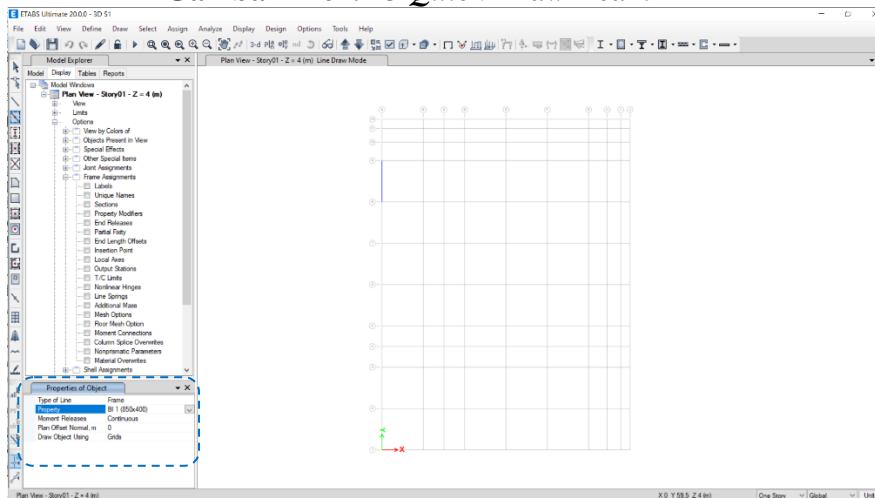


**Gambar L-67. 22 Define Load Pattern ADL**

15. Lanjut ke pembahasan pemodelan struktur dengan klik “Quick Draw Beam” seperti pada Gambar L-67. 23, lalu pada “Properties of Object” atur tipe elemen yang ingin digambar, pada contoh ini diambil balok BI 1 sebagaimana pada Gambar L-67. 24, kemudian arahkan kursor ke grid lalu klik kiri pada *mouse* untuk menggambar.

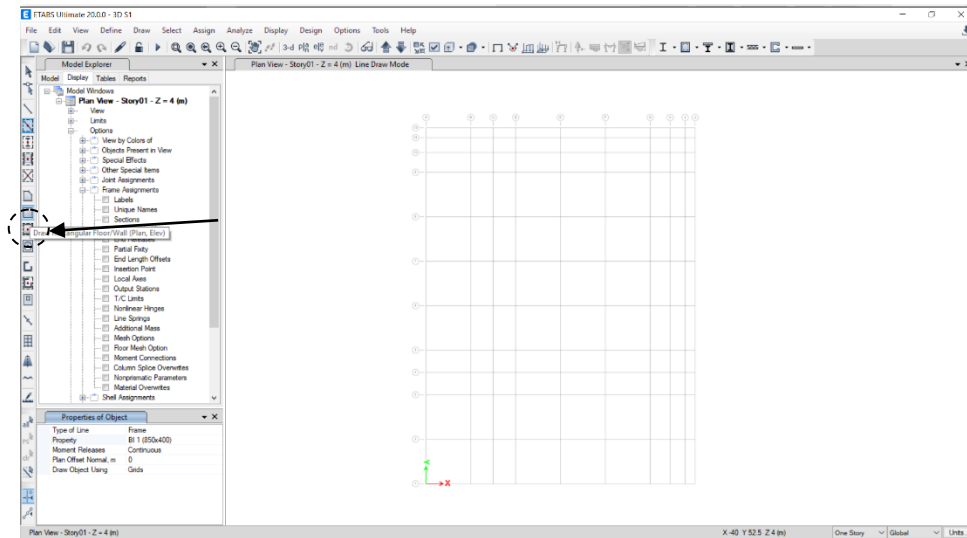


**Gambar L-67. 23 Quick Draw Beam**

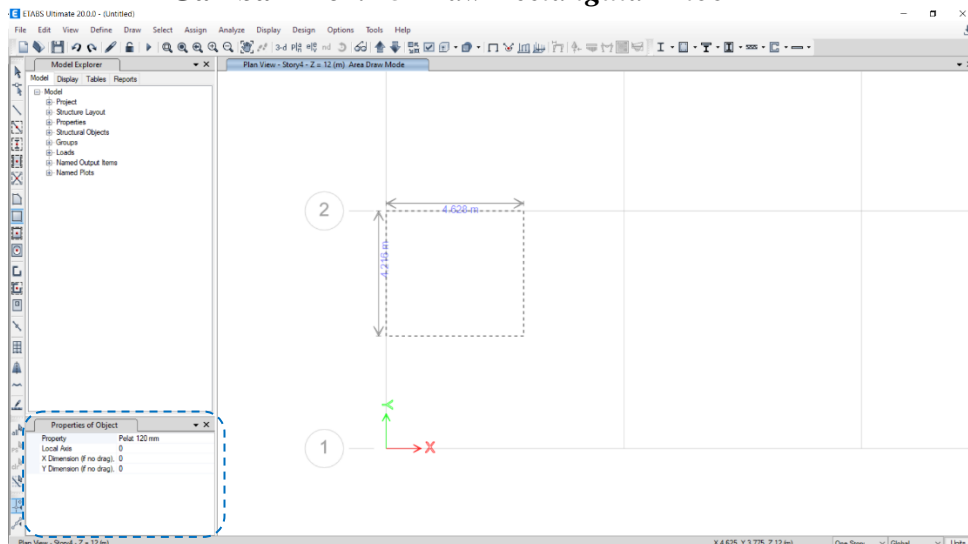


### Gambar L-67. 24 Pemodelan Balok

16. Pada pemodelan pelat dapat menggunakan opsi “Draw Rectangular Floor/Wall” sebagaimana Gambar L-67. 25. Atur “Properties of Object” sesuai dengan pelat yang akan dimodelkan, pada contoh ini akan digunakan pelat PL1, lalu klik kiri pada titik awal untuk menggambar lalu *drag* hingga melingkupi area yang diinginkan sebagaimana pada Gambar L-67. 26.



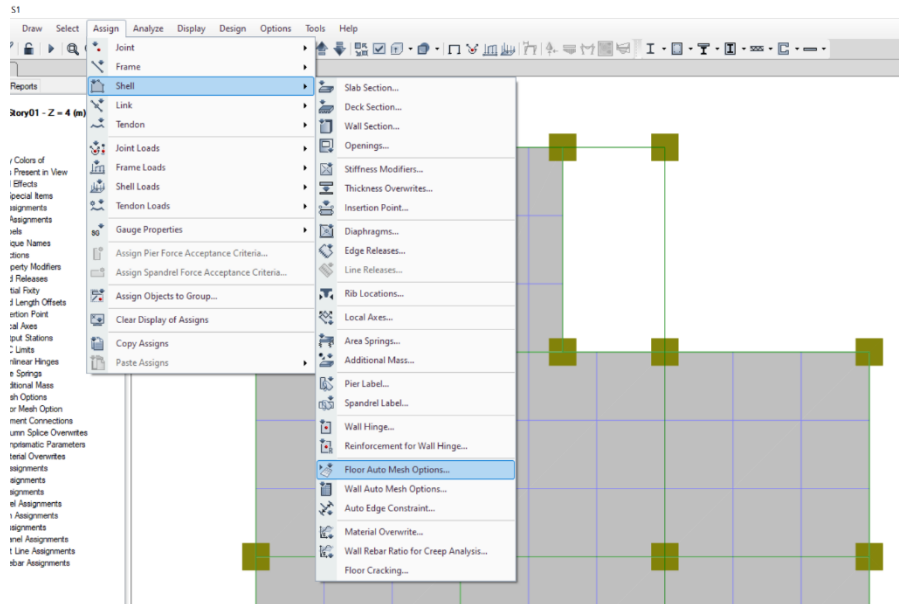
### Gambar L-67. 25 Draw Rectangular Floor



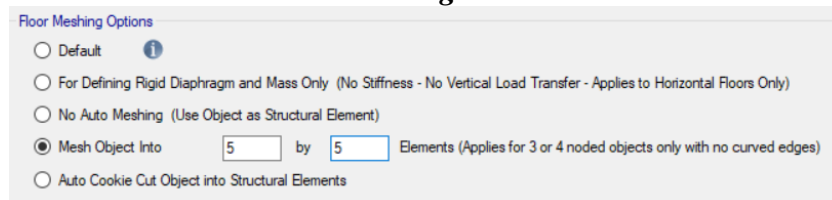
### Gambar L-67. 26 Pemodelan Pelat

17. Pada pelat perlu dilakukan *mesh* agar pelat dapat menyalurkan beban pada balok lebih merata serta lendutan yang terjadi lebih halus. *Mesh* pada pelat dapat dilakukan dengan cara yaitu memblok seluruh pelat lalu klik “Assign”.

Arahkan kursor pada “Shell” lalu pilih “Floor Auto Mesh Option” sebagaimana Gambar L-67. 27. Kemudian pilih opsi *Mesh Object Into*, yaitu pada opsi ke-empat seperti Gambar L-67. 28. Pada contoh dipilih *Mesh 5 by 5* yang mana ini dirasa sudah cukup, semakin besar angka maka semakin detail *meshing* serta dalam menjalankan aplikasi ETABS akan lebih berat.

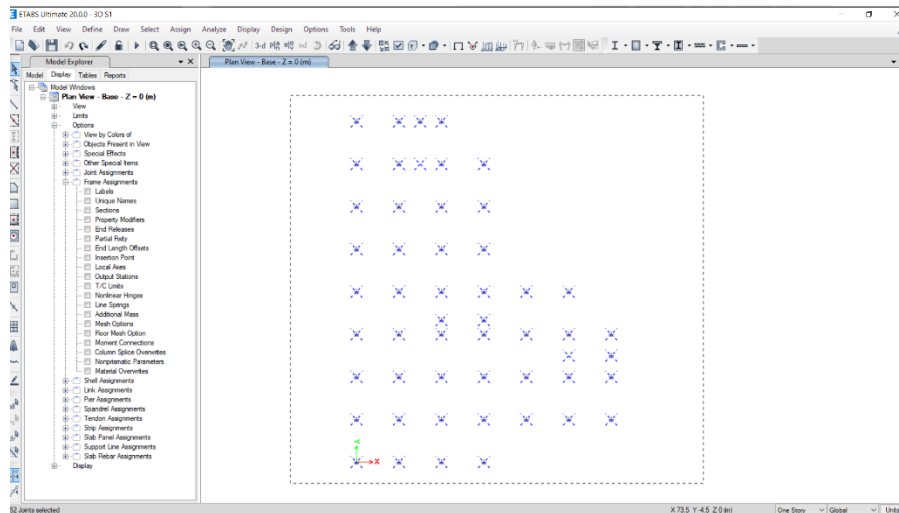


**Gambar L-67. 27 Assign Floor Mesh**

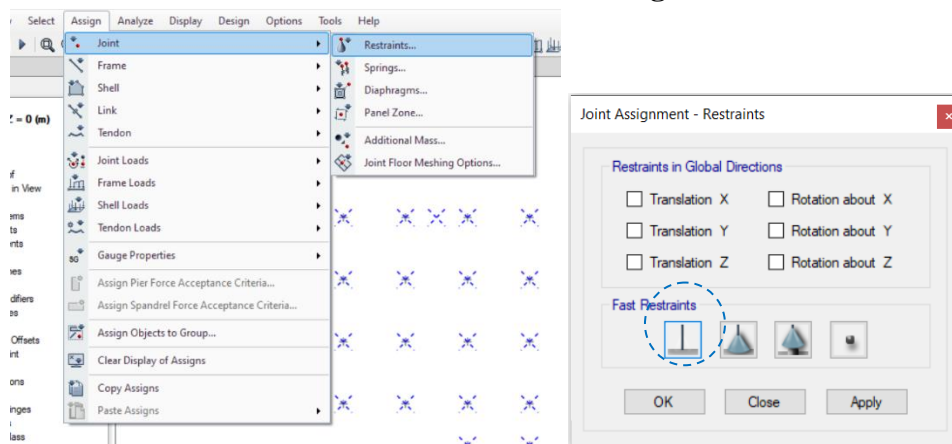


**Gambar L-67. 28 Floor Meshing**

18. Setelah seluruh elemen berhasil dimodelkan, maka langkah selanjutnya kita tetapkan *joint* pada lantai dasar sebagai pondasi bangunan dengan memblok seluruh area pada lantai dasar sebagaimana Gambar L-67. 29 lalu klik “Assign”. Kemudian arahkan kursor ke “Joint” lalu pilih “Restrains” sebagaimana Gambar L-67. 30. Pada joint jepit yang digunakan sebagai fondasi maka pada seluruh *checkbox* harus di*unchecked*, atau dapat klik pilihan gambar paling kiri.

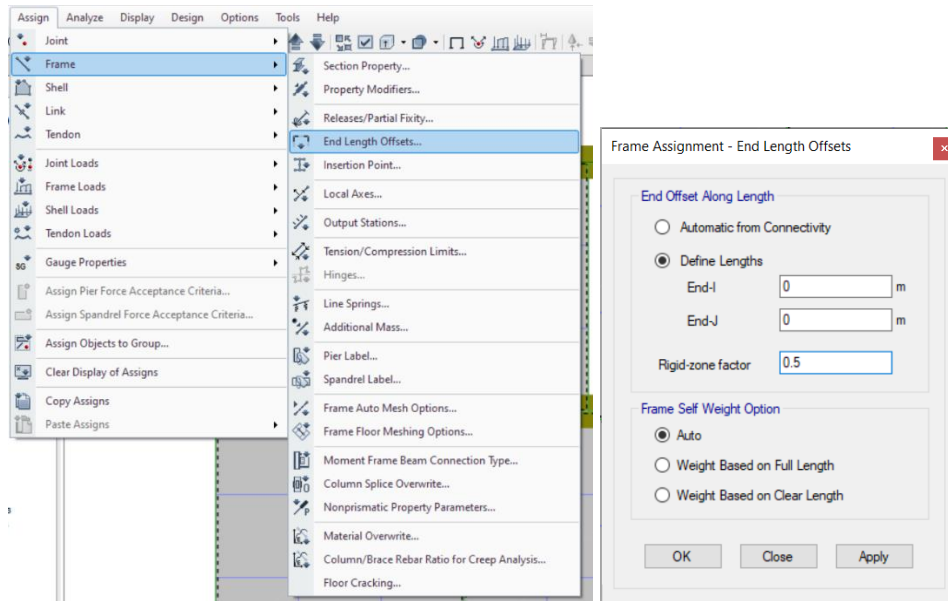


**Gambar L-67. 29** Pemilihan titik sebagai *Joint*



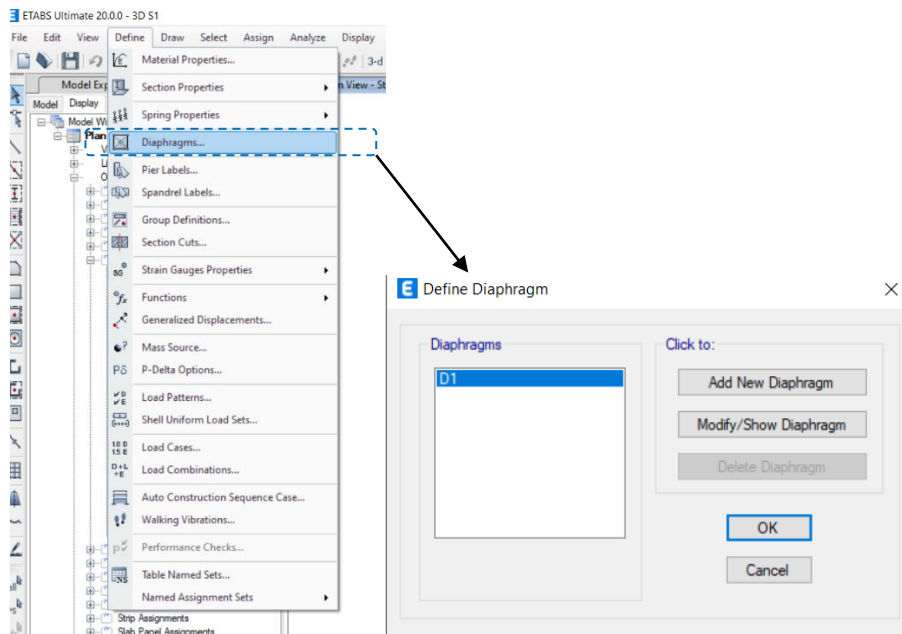
**Gambar L-67. 30** *Joint Restraints*

19. Selanjutnya adalah menetapkan *offset* pada elemen balok dan kolom. Elemen balok dan kolom biasanya diambil gaya tidak tepat pada titik As, namun diambil pada bintang bersihnya. Penetapan *offset* ini dilakukan dengan cara klik “Assign”, arahkan ke “Frame” lalu pilih “End Length Offsets” sebagaimana Gambar L-67. 31. Dipilih opsi “Define Lengths” lalu pada *Rigid zone factor* dapat diisi angka 0,5. Angka ini semakin mendekati 1 maka elemen akan semakin rigid. Sebelum klik “OK” maka *select* seluruh elemen balok dan kolom.

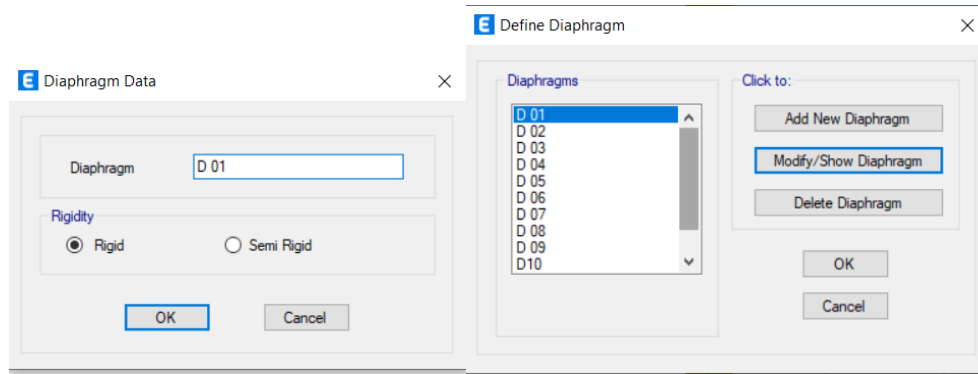


**Gambar L-67. 31 Assign End Length Offsets**

20. Langkah selanjutnya yaitu penetapan diafragma pada seluruh tingkat. Penetapan diafragma dimulai dengan membuat tipe diafragma terlebih dahulu yaitu dengan cara klik “Define” lalu pilih “Diaphragm” sebagaimana Gambar L-67. 32. Lalu pilih “Add New Diaphragm” maka akan muncul *pop up* seperti Gambar L-67. 33, kemudian nama diafragma dapat dibuat sesuai tingkatnya, lalu pada opsi *Rigidity* pilih yang *Rigid*.

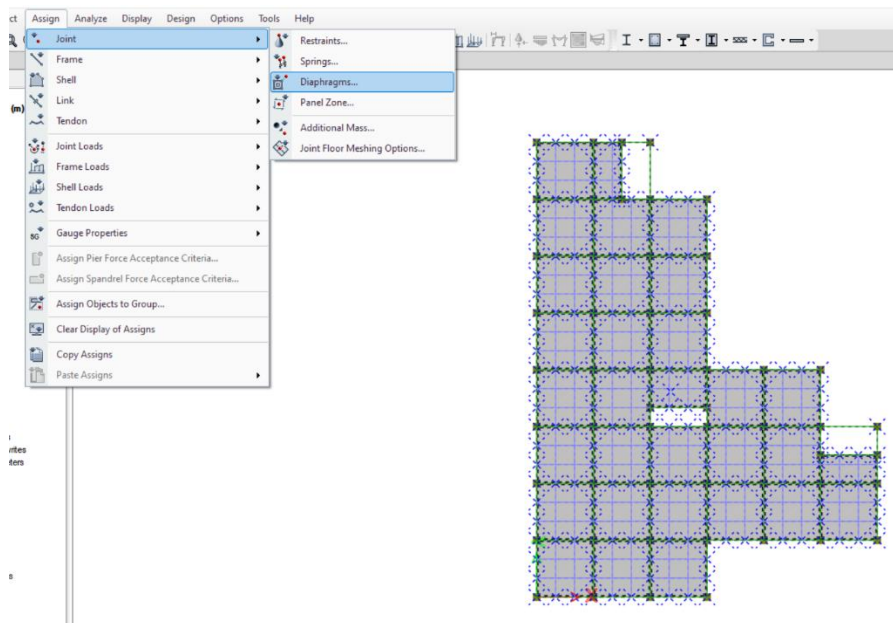


**Gambar L-67. 32 Define Diaphragms**

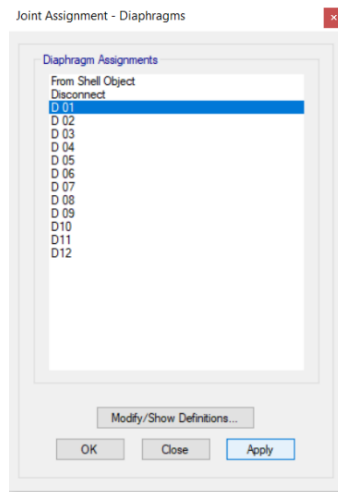


**Gambar L-67. 33 Diaphragm Data**

21. Setelah diafragma pada seluruh tingkat selesai dibuat, maka lakukan *Assign* pada masing-masing tingkat sesuai dengan diafragmanya dengan cara blok pada tingkat yang dituju. Kemudian klik “Assign”, arahkan pada “Joint” lalu pilih “Diaphragm” seperti pada Gambar L-67. 34. Kemudian pilih diafragma sesuai dengan tingkatnya lalu pilih “Apply” sebagaimana Gambar L-67. 35. Lakukan hal yang serupa pada masing-masing tingkat lainnya.

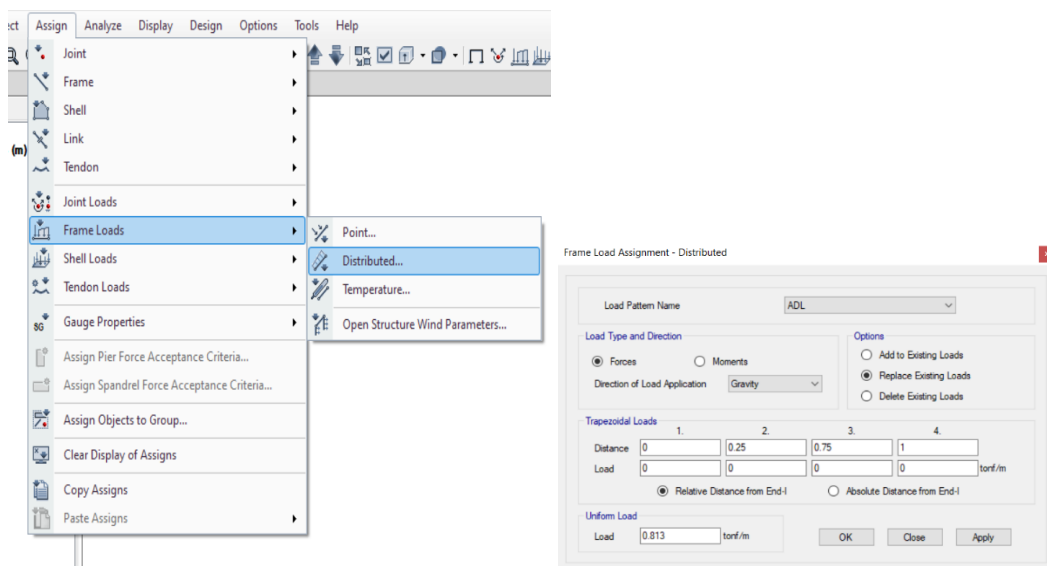


**Gambar L-67. 34 Assign Diaphragm**



**Gambar L-67. 35 Joint Assignment -Diaphragms**

22. Masukkan beban-beban yang telah disiapkan. Pertama, *input* beban pada elemen *frame* balok yang mana adalah beban dinding. *Select* semua balok yang ingin diberikan beban, lalu klik “Assign”, arahkan kursor pada “Frame Load” lalu pilih “Distributed” sebagaimana Gambar L-67. 36. Kemudian sesuaikan *load pattern* dimana pada dinding yaitu menggunakan ADL, lalu gunakan opsi “Uniform Load” agar beban dinding merata ke seluruh balok serta masukkan besar bebannya lalu klik “OK”.

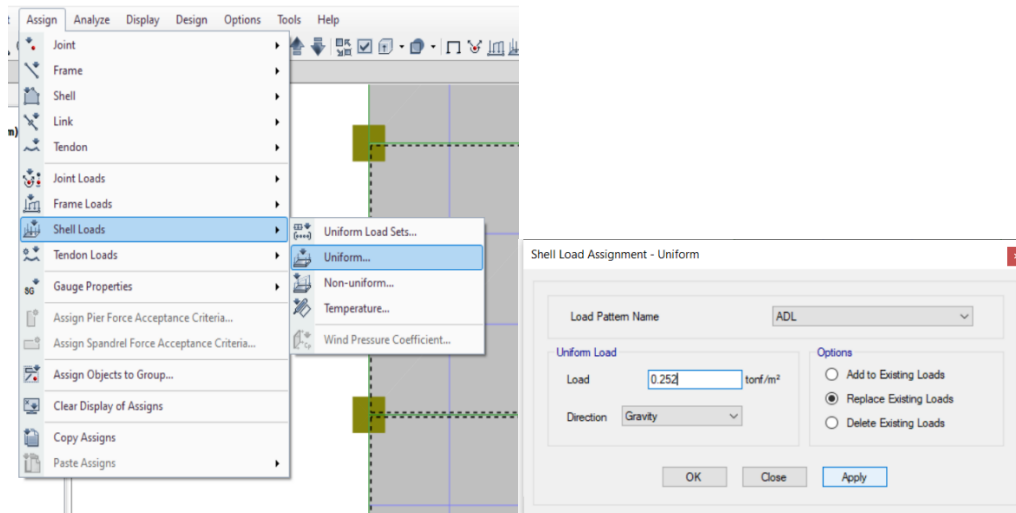


**Gambar L-67. 36 Assign Frame Load**

23. Kedua, *input* beban pelat yaitu diambil contoh beban *finishing* pelat dengan cara pilih pelat yang akan diberikan beban, klik “Assign”, arahkan kursor ke

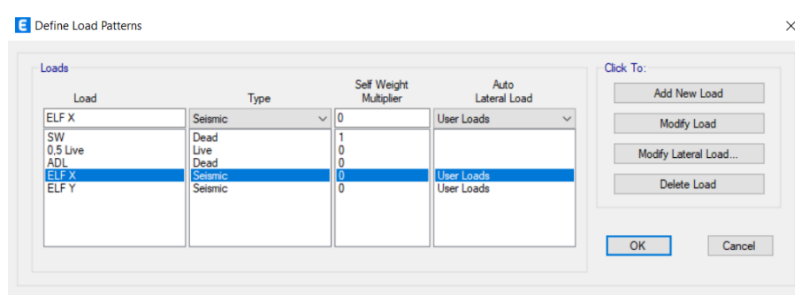


“Shell Load”, lalu pilih “Uniform” seperti Gambar L-67. 37. Pilih *load pattern* yaitu ADL karena beban yang digunakan adalah *finishing* serta masukkan besarnya beban, lalu klik “OK”.



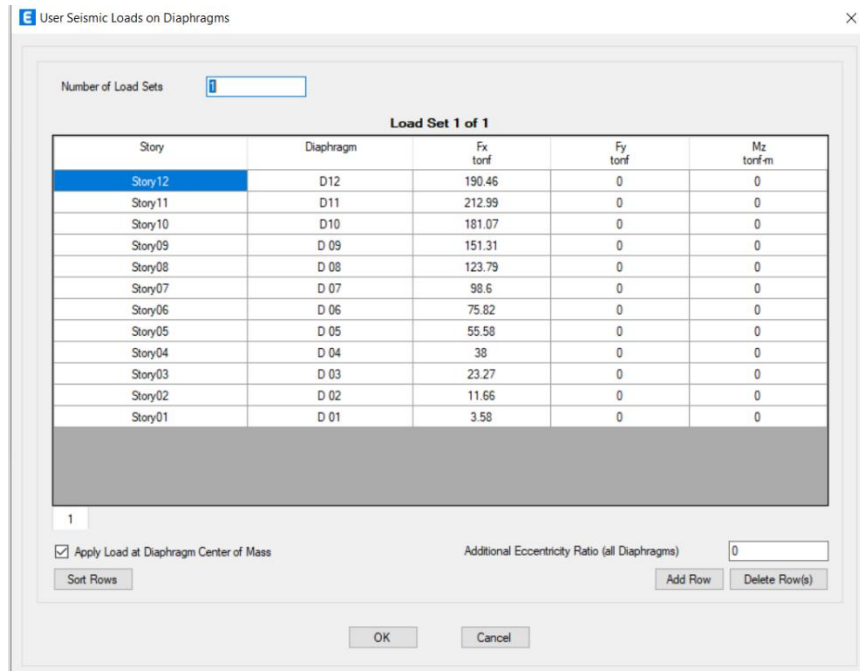
**Gambar L-67. 37 Assign Shell Load**

24. **Pembahasan Analisis Struktur Tahap 1.** Pada analisis struktur tahap 1 beban gempa yang akan di *input* adalah beban gempa Ekuivalen Statik. Dimana pada *load pattern* menggunakan *type* “Seismic”. Langkah *input* beban gempa ekuivalen statik yaitu klik “Define”, lalu pilih “Load Patterns”. Kemudian atur sebagaimana . Dimana beban gempa dibuat dua arah sesuai sumbu x dan y, pada “Auto Lateral Load”, kita pilih “User Load”, lalu klik “Modify Lateral Load”.



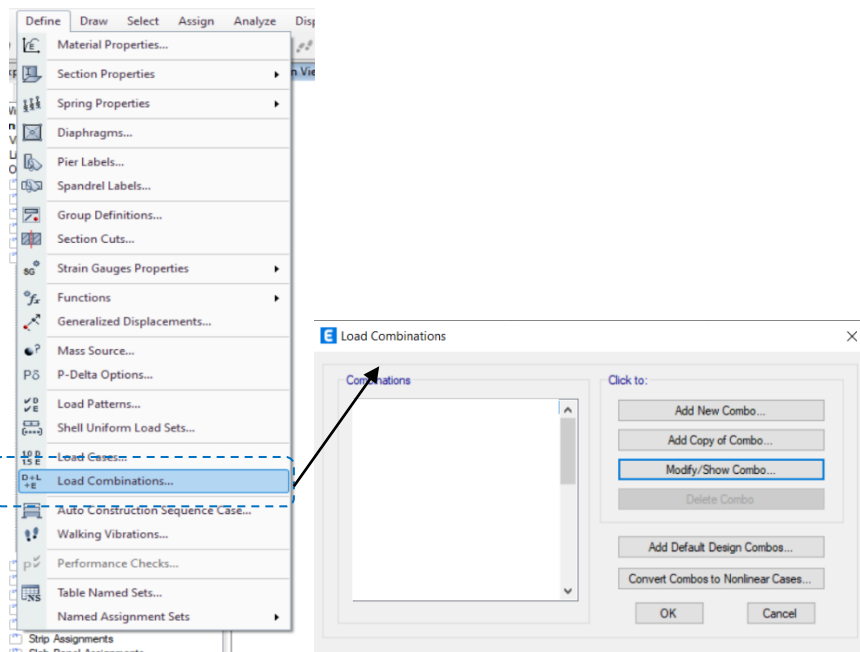
**Gambar L-67. 38 Input Ekuivalen Load Force**

25. Beban gempa ekuivalen statik pada tahap 1 diletakkan pada pusat massa dimana opsi yang dipilih “Apply Load at Diaphragm Center of Mass” seperti Gambar L-67. 39 berikut. Lakukan cara yang serupa pada arah lainnya.



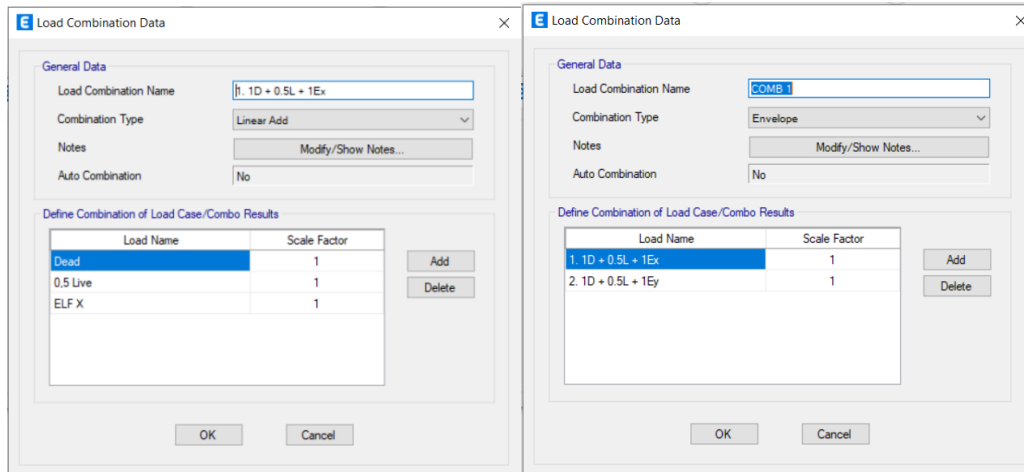
**Gambar L-67. 39 Input ELF Stage 1**

26. Kombinasi beban yang digunakan pada analisis struktur tahap 1 yaitu  $1D + 0,5L + 1E$ . Cara menetapkan kombinasi dengan klik “Define” lalu pilih “Load Combinations” seperti Gambar L-67. 40. Karena beban gempa dibagi sesuai dengan arahnya, maka kombinasi akan menjadi 2.

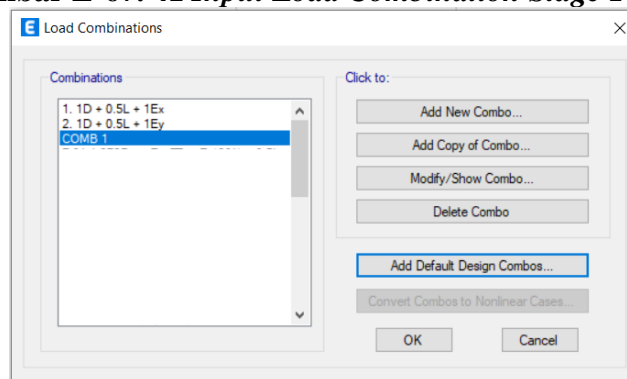


**Gambar L-67. 40 Define Load Combinations**

27. Selanjutnya pilih “Add New Combo” atur kombinasi beban sebagaimana telah disebutkan sebelumnya. Lakukan hal yang serupa pada arah lainnya. Kemudian terakhir buat kombinasi *envelope* dengan pilih “Add New Combo” kembali lalu atur sebagaimana Gambar L-67. 41 . List kombinasi beban pada analisis struktur tahap 1 yaitu tampak pada .

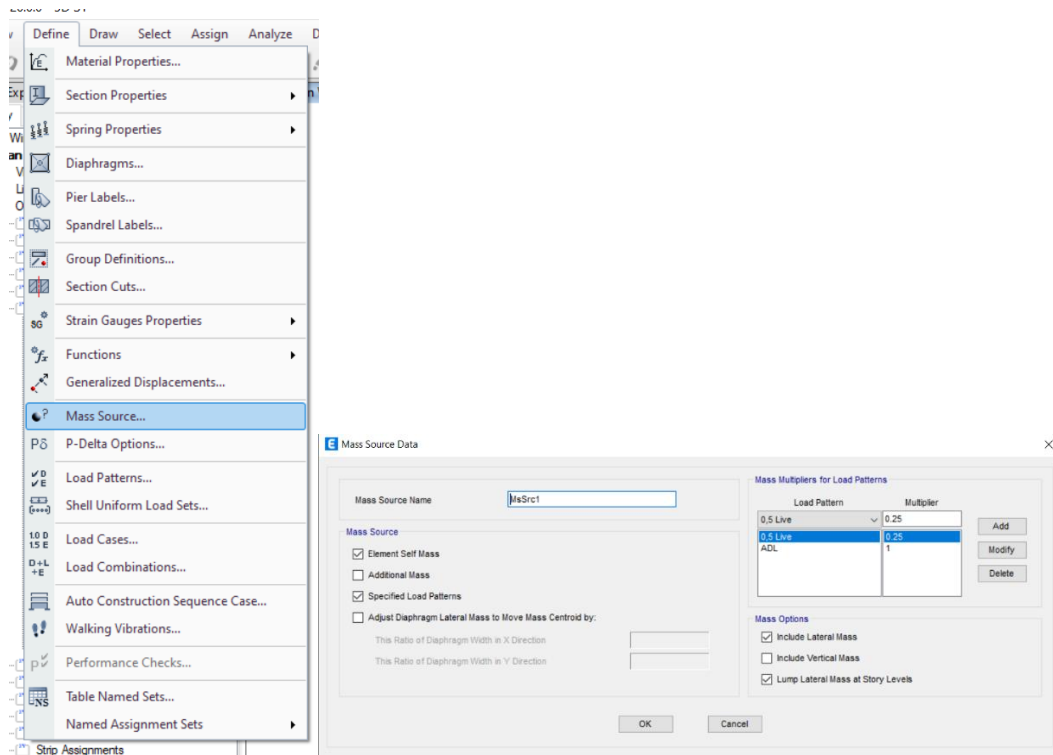


**Gambar L-67. 41 Input Load Combination Stage 1**



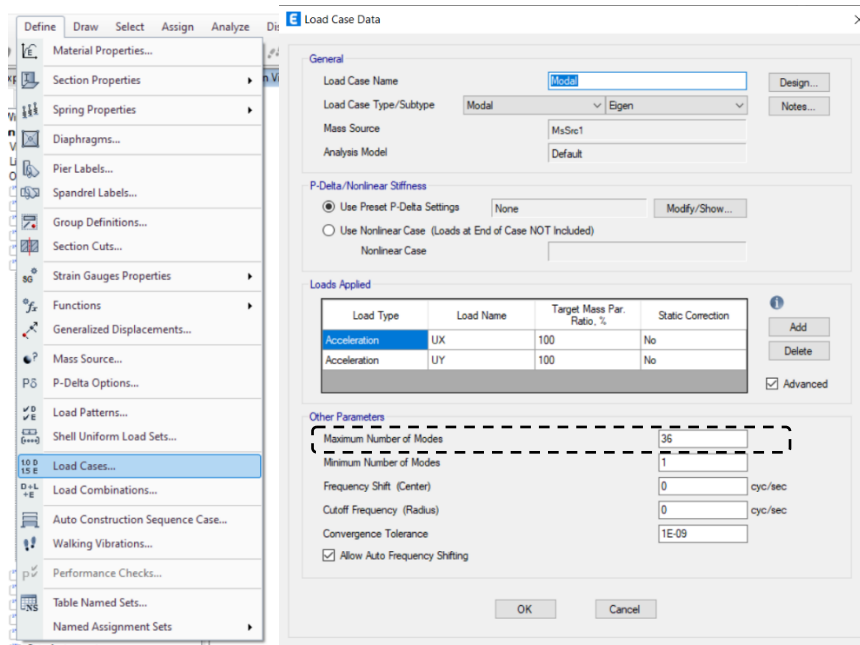
**Gambar L-67. 42 List Load Combination Stage 1**

28. Sesuaikan *Mass Source* yang akan digunakan, hal ini akan berpengaruh terhadap besar kecilnya periode pada struktur yang kita analisis. Cara mengatur *Mass Source* yaitu klik “Define” lalu pilih ”Mass Source”. Kemudian pilih “Modify/Show Mass Source” lalu atur sebagaimana Gambar L-67. 43 berikut.



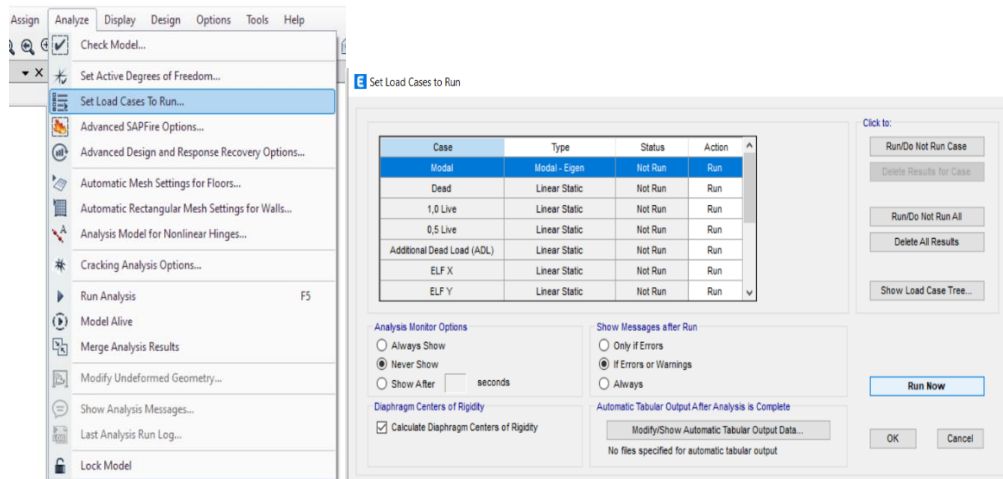
**Gambar L-67. 43 Mass Source**

29. Sesuaikan *modal case* dengan klik “Define” pilih “Load Case”. Kemudian pilih *load case modal*, lalu klik “Modify/Show Case”. Atur *modal case* sebagaimana Gambar L-67. 44 berikut.



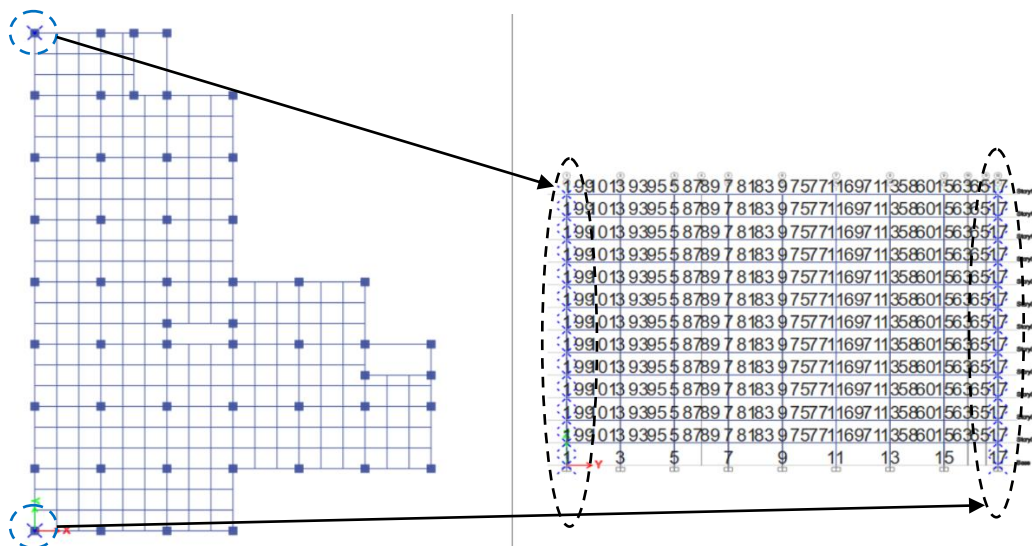
**Gambar L-67. 44 Modal Case**

30. Perlu diperhatikan bahwa jumlah mode didapatkan dari jumlah tingkat dikalikan dengan jumlah sumbu yang digunakan, dalam hal ini analisis struktur dimodelkan dengan 3D maka jumlah tingkat dikalikan dengan 3.
31. Lakukan *Run Analysis* dengan cara klik “Analyze” lalu pilih “Set Load Case to Run”. Kemudian pilih *run* untuk semua *load case* yang digunakan pada analisis struktur tahap 1 sebagaimana Gambar L-67. 45, lalu klik “Run Now”.



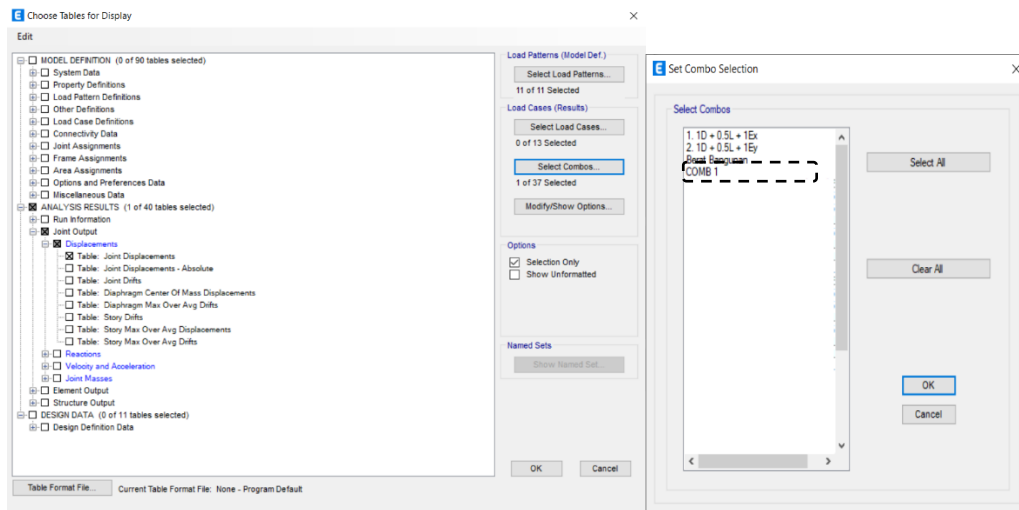
**Gambar L-67. 45 Run Analysis**

32. Setelah *run analysis* selesai dapat dilanjutkan dengan cek kinerja. Cara mengeluarkan hasil *displacement* yang akan digunakan sebagai ketidakberaturan dengan pilih joint yang akan dijadikan acuan sebagaimana Gambar L-67. 46,



**Gambar L-67. 46 Select Joint**

33. Kemudian klik “Display” lalu pilih ‘Show Table’ atau dapat menggunakan *shortcut* yaitu CTRL+T. Kemudian untuk beban pilih *load combination* pada beban yang sebelumnya memiliki tipe *envelope* dengan *select combo* lalu pilih kombinasi yang dituju. Opsi dimana mengeluarkan *displacement* yaitu sesuai pada Gambar L-67. 47 berikut. Pilih “ANALYSIS RESULT” lalu “Table-Joint Displacement.



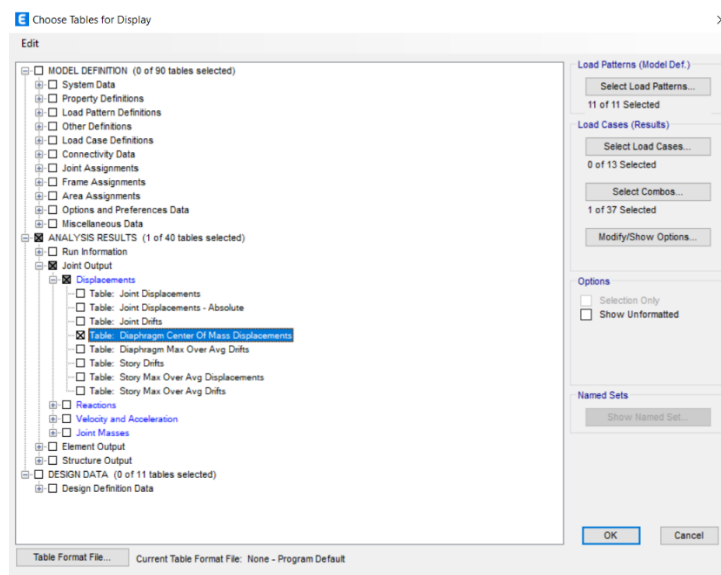
**Gambar L-67. 47 Export Joint Displacement for Irregularity**

34. Hal yang penting, mengeluarkan data *displacement* ketidakberaturan, yang digunakan hanya *load combination* dengan tipe *envelope* saja. Hasil data *displacement* akan tampak seperti Gambar L-67. 48 berikut. Pada titik acuan yang diambil sebelumnya karena itu ditunjukkan untuk arah x maka digunakan data *joint displacement* pada kolom “Ux”.

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Ux m	Uy m	Uz m	Rx rad
Story12	1	242	COMB 1	Combination	Max	0.055794	0.04789	-0.001873	3.7E-05
Story12	1	242	COMB 1	Combination	Min	-0.005257	-0.004759	-0.001952	-0.000502
Story12	17	283	COMB 1	Combination	Max	0.044909	0.04789	-0.001809	9.8E-05
Story12	17	283	COMB 1	Combination	Min	0.002755	-0.004759	-0.002744	-0.000441
Story11	1	477	COMB 1	Combination	Max	0.053417	0.04588	-0.001854	5.4E-05
Story11	1	477	COMB 1	Combination	Min	-0.004964	-0.004478	-0.001933	-0.000554
Story11	17	485	COMB 1	Combination	Max	0.04295	0.04588	-0.00179	8.8E-05
Story11	17	485	COMB 1	Combination	Min	0.002774	-0.004478	-0.002722	-0.000519
Story10	1	687	COMB 1	Combination	Max	0.050542	0.043427	-0.001806	6E-05
Story10	1	687	COMB 1	Combination	Min	-0.004639	-0.004171	-0.001885	-0.000701
Story10	17	695	COMB 1	Combination	Max	0.040583	0.043427	-0.001745	0.0001
Story10	17	695	COMB 1	Combination	Min	0.002753	-0.004171	-0.002665	-0.000662
Story09	1	897	COMB 1	Combination	Max	0.048923	0.040328	-0.001732	7.3E-05
Story09	1	897	COMB 1	Combination	Min	-0.004262	-0.003821	-0.001808	-0.000864
Story09	17	905	COMB 1	Combination	Max	0.037823	0.040328	-0.001674	0.000111

**Gambar L-67. 48 Data Joint Displacement**

35. Pada pembahasan ketidakberaturan sub bab 3.2.14 sebelumnya, didapatkan bahwa pada model ini tidak terjadi ketidakberaturan pada arah x maupun y, sehingga perhitungan simpangan diambil pada titik pusat massa bangunan.
36. Cara mengeluarkan data untuk simpangan yaitu dengan *show table*, lalu pada simpangan masih menggunakan beban yang sama seperti pada ketidakberaturan. Opsi yang dipilih yaitu “Table- Diaphragm Center of Mass Displacement” sebagaimana Gambar L-67. 49 berikut.



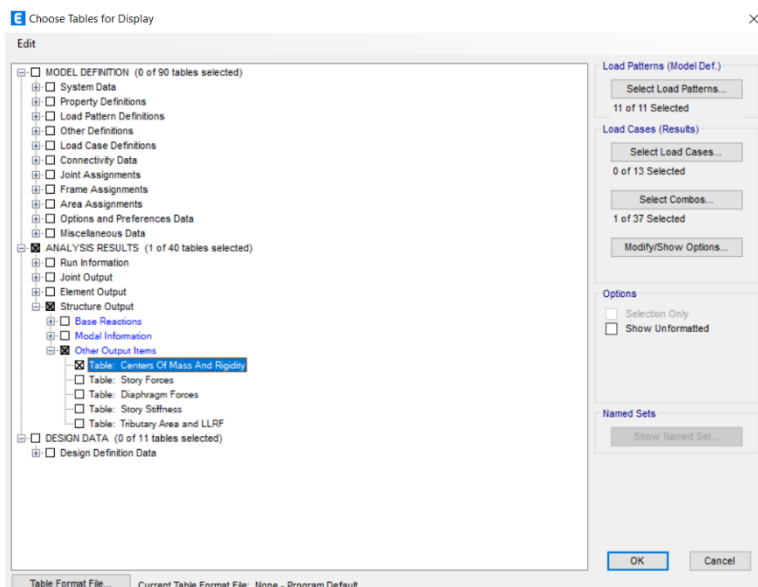
**Gambar L-67. 49 Displacement Center of Mass**

37. Hasil data yang dikeluarkan akan tampak seperti . Data yang digunakan untuk pemeriksaan simpangan yaitu pada kolom “Ux” untuk simpangan arah x serta “Uy” untuk simpangan arah y.

Story	Diaphragm	Output Case	Case Type	Step Type	UX m	UY m	RZ rad	Point	X m
Story12	D12	COMB 1	Combination	Max	0.051006	0.045617	0.000151	215	20.4278
Story12	D12	COMB 1	Combination	Min	-0.001733	-0.001671	-0.000111	215	-20.4278
Story11	D11	COMB 1	Combination	Max	0.048763	0.043655	0.000145	216	20.7079
Story11	D11	COMB 1	Combination	Min	-0.001523	-0.001467	-0.000107	216	-20.7079
Story10	D10	COMB 1	Combination	Max	0.046114	0.041301	0.000138	376	20.7079
Story10	D10	COMB 1	Combination	Min	-0.001352	-0.001307	-0.000103	376	-20.7079
Story09	D 09	COMB 1	Combination	Max	0.042788	0.038336	0.000129	469	20.7079
Story09	D 09	COMB 1	Combination	Min	-0.001182	-0.001146	-9.8E-05	469	-20.7079
Story08	D 08	COMB 1	Combination	Max	0.038763	0.034749	0.000118	470	20.7079
Story08	D 08	COMB 1	Combination	Min	-0.001013	-0.000984	-8.8E-05	470	-20.7079
Story07	D 07	COMB 1	Combination	Max	0.034115	0.030608	0.000104	471	20.7079
Story07	D 07	COMB 1	Combination	Min	-0.000845	-0.000822	-7.8E-05	471	-20.7079
Story06	D 06	COMB 1	Combination	Max	0.028956	0.026015	8.8E-05	472	20.7079
Story06	D 06	COMB 1	Combination	Min	-0.000678	-0.000664	-6.6E-05	472	-20.7079
Story05	D 05	COMB 1	Combination	Max	0.023427	0.021088	7E-05	473	20.7079

**Gambar L-67. 50 Data Displacement Center of Mass**

38. Setelah pengecekan kinerja pada tahap 1 dinyatakan aman, maka dapat dilanjutkan analisis struktur tahap 2.
39. Sebelum ETABS di *unlock* untuk *input* data pada tahap 2, ambil data titik pusat massa. Titik pusat massa ini akan digunakan nanti sebagai eksentrisitas. Cara untuk mengeluarkan data titik pusat massa yaitu dengan *show table* lalu pilih “Table-Center of Mass and Rigidity” seperti pada Gambar L-67. 51. Maka tampilan data akan tampak sebagaimana Gambar L-67. 52. Data yang perlu diperhatikan yaitu pada kolom yang ada “CM” dan “CR”, dimana “CM” itu adalah koordinat pusat massa, sedangkan “CR” adalah data koordinat pusat kekakuan.



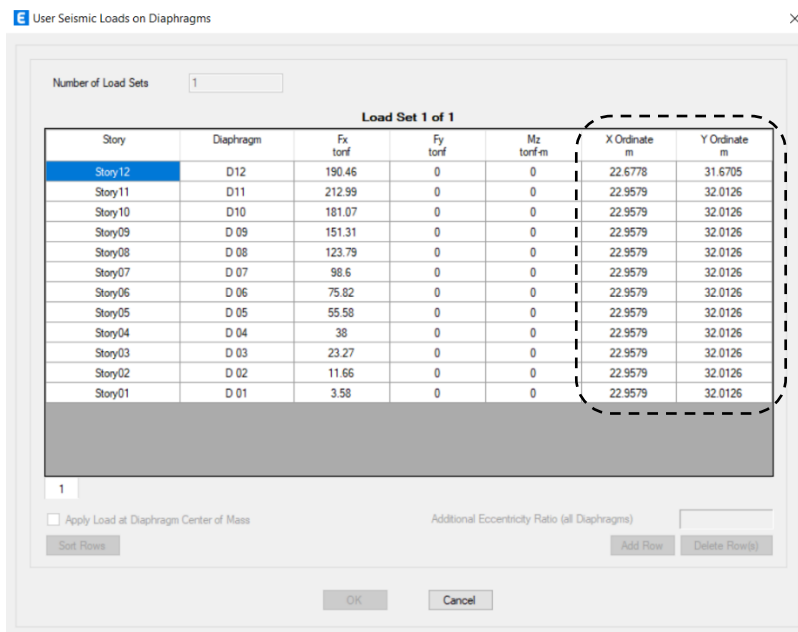
**Gambar L-67. 51 Show Table - Center of Mass and Rigidity**

Story	Diaphragm	Mass X kgf-s <sup>2</sup> /m	Mass Y kgf-s <sup>2</sup> /m	XCM m	YCM m	Cum Mass X kgf-s <sup>2</sup> /m	Cum Mass Y kgf-s <sup>2</sup> /m	XCCM m	YCCM m
Story01	D 01	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story02	D 02	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story03	D 03	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story04	D 04	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story05	D 05	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story06	D 06	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story07	D 07	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story08	D 08	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story09	D 09	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story10	D10	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story11	D11	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126	186654.79	186654.79	20.7079	32.0126
Story12	D12	112894.48	112894.48	20.4278	31.6705	112894.48	112894.48	20.4278	31.6705

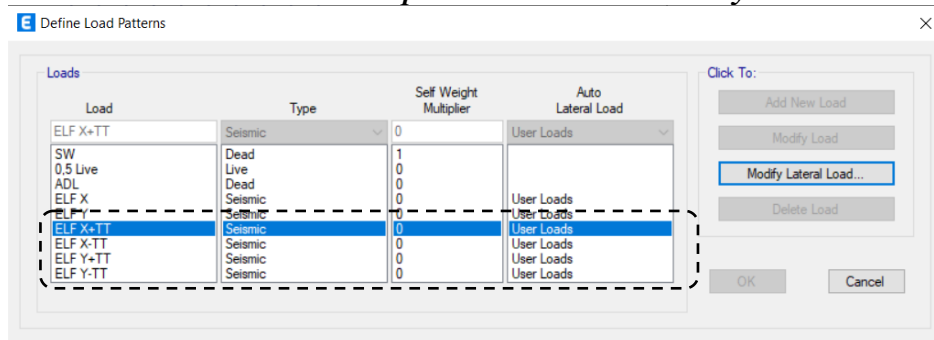
**Gambar L-67. 52 Center of Mass and Rigidity**



40. **Pembahasan Analisis Struktur Tahap 2.** *Unlock* ETABS agar dapat dilakukan berbagai hal nantinya. Lalu kita tambah *load patterns* dimana beban gempa ekuivalen statik kita letakkan pada pusat massa yang baru setelah ditambah eksentrisitas. *Input* pada beban gempa ekuivalen statik yang baru akan seperti Gambar L-67. 53. Pada bagian koordinat diinput koordinat baru yang telah ditambah eksentrisitas. Kemudian lakukan hal yang serupa pada arah yang lainnya, sehingga hasil *load pattern* yang digunakan pada tahap 2 ini akan sebagaimana Gambar L-67. 54.



**Gambar L-67. 53 Input ELF with Eccentricity**

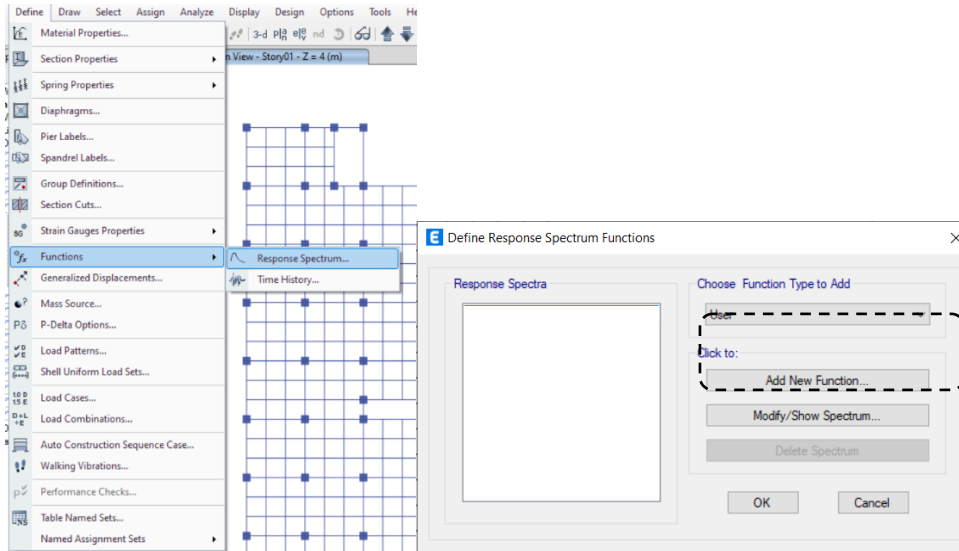


**Gambar L-67. 54 Load Pattern Stage 2**

41. Langkah selanjutnya yaitu *input* beban Respons Spektrum dengan cara klik “Define”, arahkan kursor ke “Function” lalu pilih “Response Spectrum”. Kemudian pada “Choose Function Type to Add” pilih “User” dimana respons

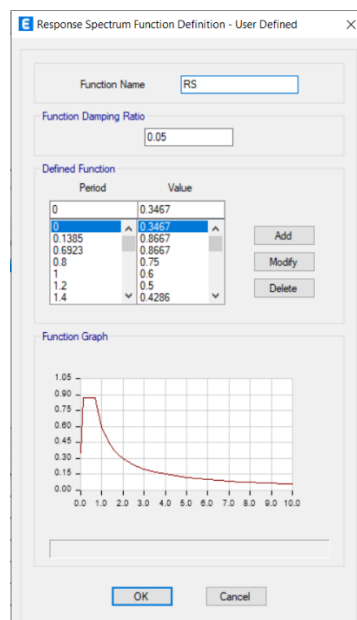
spektrum nantinya murni menggunakan hasil data yang kita punya sendiri, bukan otomatis dari ETABS. Tampilan akan tampak seperti Gambar L-67.

55.



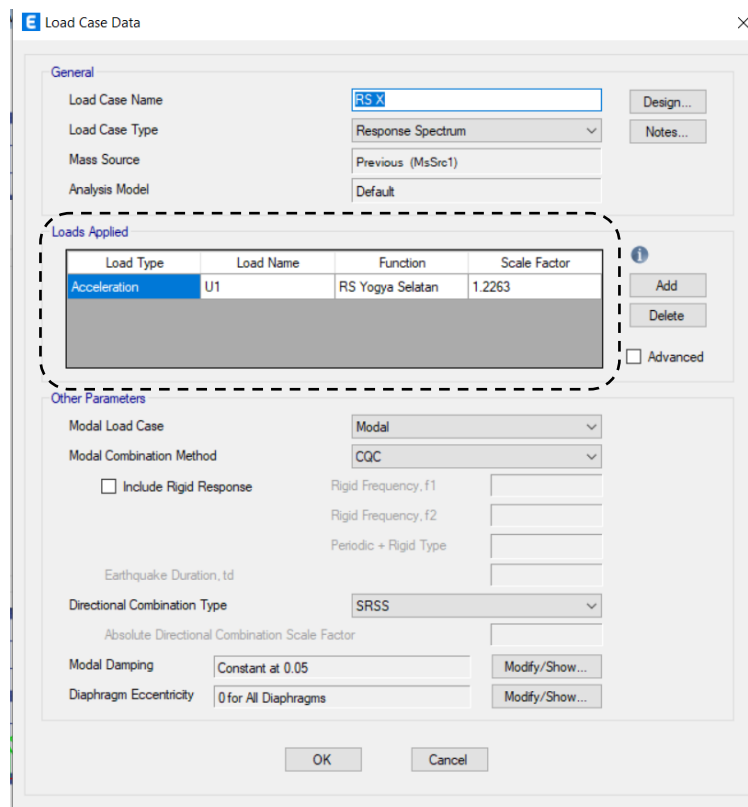
**Gambar L-67. 55 Function Response Spectrum**

42. Setelah itu klik “Add New Function” maka akan muncul *pop up* sebagaimana Gambar L-67. 56. Kemudian masukkan data periode dan percepatan yang telah dihitung.



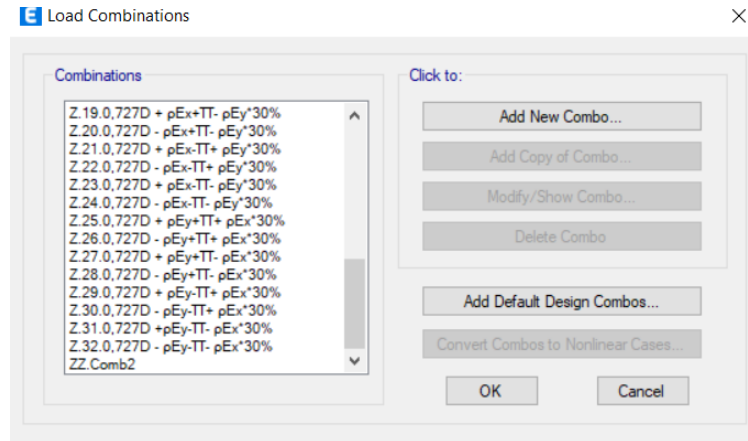
**Gambar L-67. 56 Respons Spectrum Type User**

43. Apabila *function* respons spektrum telah ditetapkan, maka tambahkan *load case* untuk respons spektrum dengan cara masuk kembali ke *load case*, lalu pilih “Add New Case”. Pada bagian *Loads Applied* terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan. Untuk *load case* respons spektrum gunakan tipe pada *Load Type* yaitu “Acceleration”. Kemudian pada *Load Name* pilih sesuai dengan arah beban gempanya, Respons Spektrum arah x maka dipilih “U1” sedangkan arah y “U2. Pada *function* pilih respon spektrum yang sebelumnya telah dibuat, lalu pada *scale factor* masukkan nilai sesuai pada pembahasan 5.5.4. Tampilan *load case* pada respons spektrum akan seperti Gambar L-67. 57 berikut.



**Gambar L-67. 57 Load Case Respons Spektrum**

44. Apabila *load case* telah didefine, maka langkah selanjutnya yaitu menambah *load combination* pada tahap 2. Dimana detail kombinasi akan seperti pada pembahasan sub bab 5.5.8, sehingga hasil total *load combination* akan sebagaimana Gambar L-67. 58 berikut.



**Gambar L-67. 58 Load Combination Stage 2**

45. Selanjutnya lakukan *run analysis* kembali untuk analisis struktur tahap 2, sebagaimana cara yang serupa pada pembahasan yang telah lalu. Kemudian lakukan cek kinerja tahap 2 juga dengan cara yang serupa pada tahap 1. Apabila seluruh rangkaian tersebut telah dilakukan, maka analisis struktur menggunakan metode FEMA P-751 dapat dinyatakan selesai.



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM  
INDONESIA  
2023

MATA KULIAH

TUGAS AKHIR

JUDUL

PERBANDINGAN ANALISIS DAN  
DESAIN MODEL 2D DAN 3D  
BANGUNAN BETON TAHAN GEMPA  
BERTINGKAT BANYAK DENGAN  
METODE FEMA P-751

DOSEN

WIDODO, Prof. Ir., MSCE., Ph.D.

MAHASISWA

RADITYA FIRDAUS 17511155

JUDUL GAMBAR

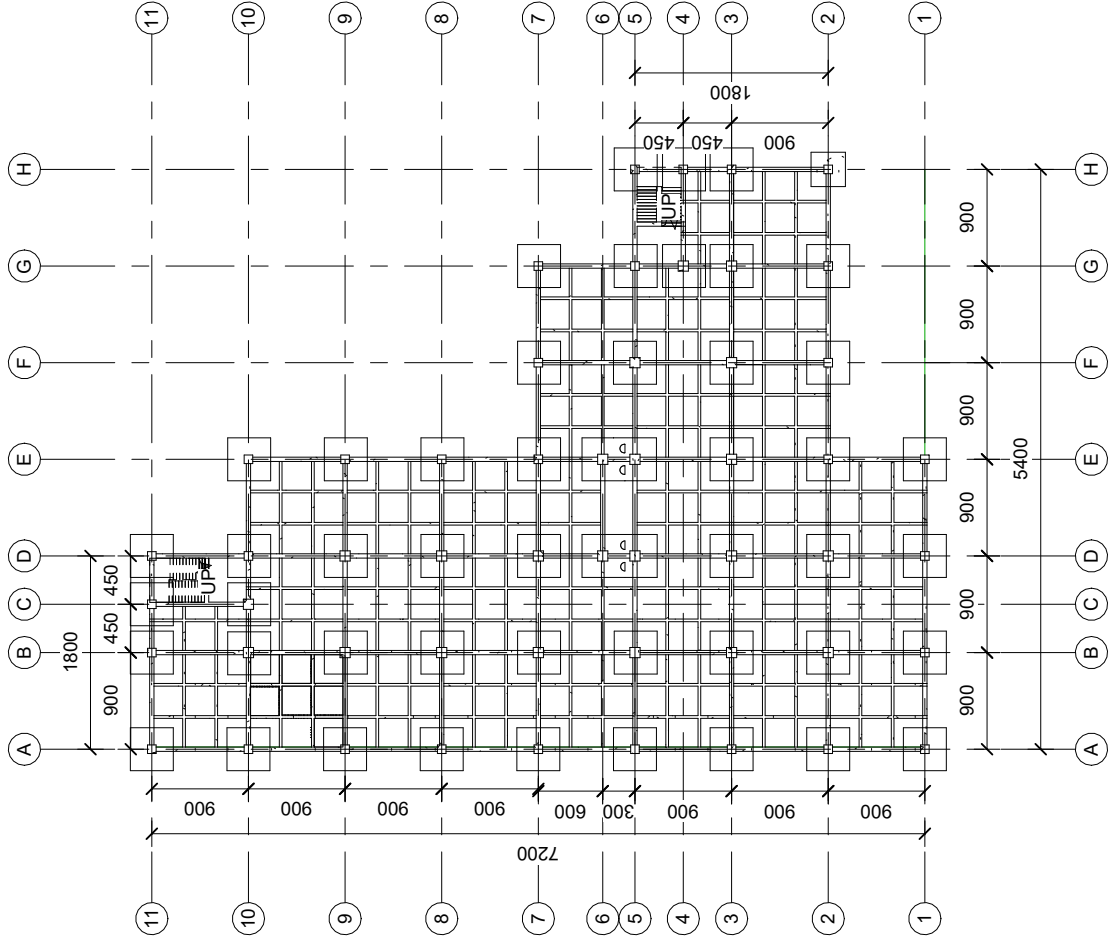
COVER

SKALA GAMBAR HAL. GAMBAR

S.00

# LAMPIRAN 68

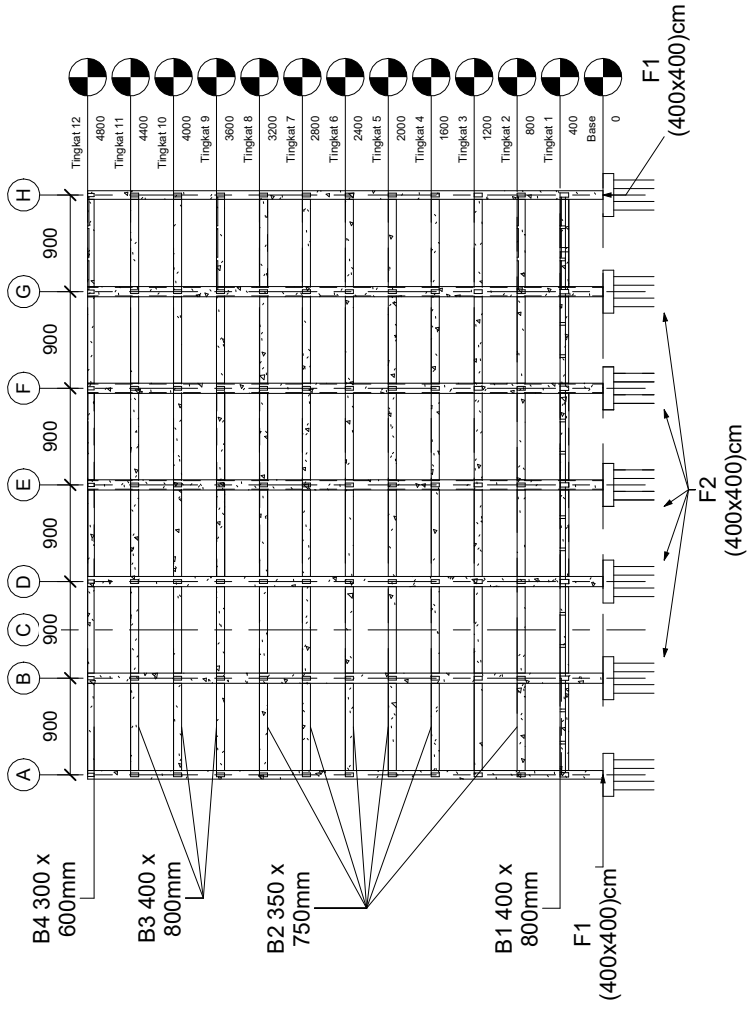
Daftar Gambar	
Sheet Number	Sheet Name
S.00	COVER
S.1	DENAH BANGUNAN
S.2	PORTAL
S.3	FONDASI 3D
S.4	FONDASI 2D
S.5	KOLOM K1 3D
S.6	KOLOM K2 3D
S.7	KOLOM K1 2D
S.8	KOLOM K2 2D
S.9	BALOK 3D
S.10	BALOK 2D
S.11	DETAIL KOLOM K1
S.12	DETAIL KOLOM K2
S.13	DETAIL BALOK
S.14	FONDASI-BALOK-KOLOM-JOINT 3 DIMENSI
S.15	PELAT LANTAI PL1
S.16	PELAT ATAP PA1
S.17	TANGGA



DENAH BANGUNAN

1

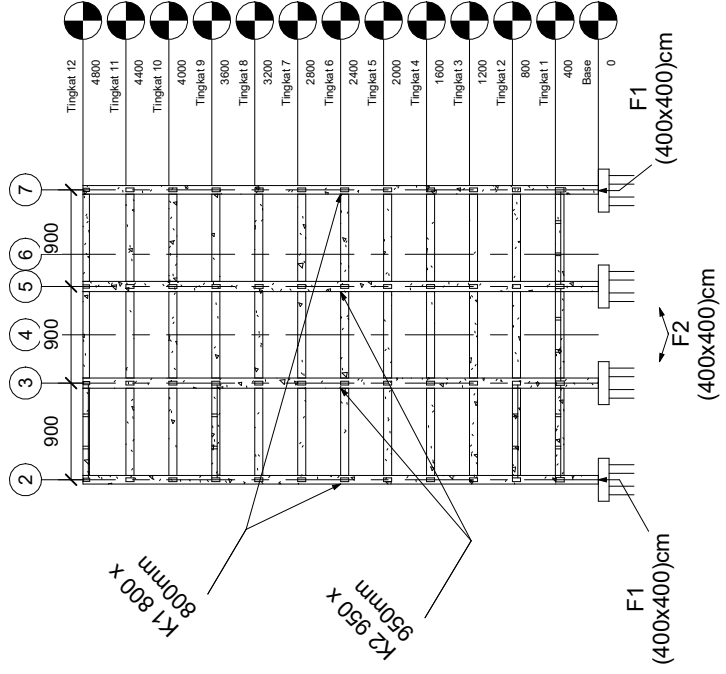
1 : 500



PORTAL A-3

2

1 : 500

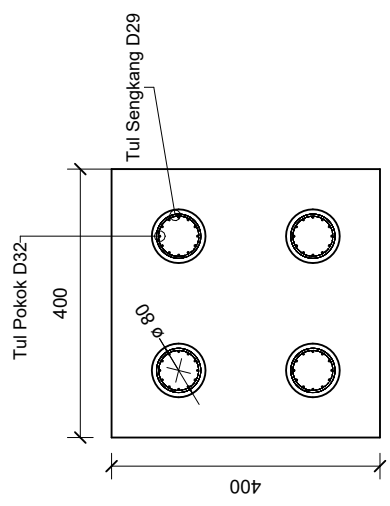
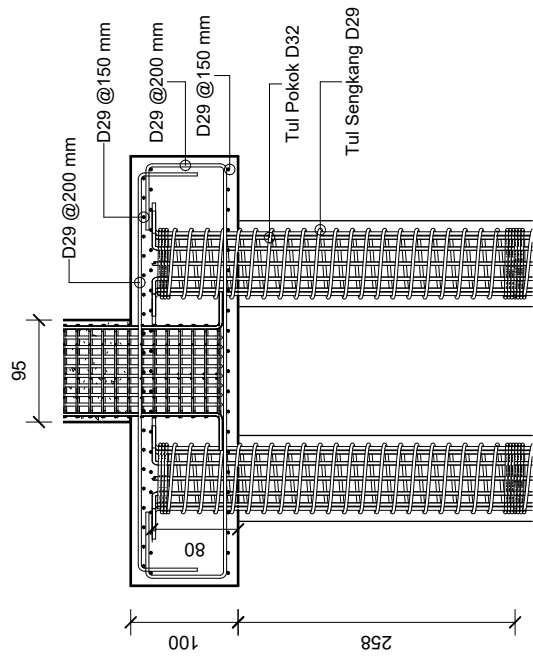


PORTAL A-F

3

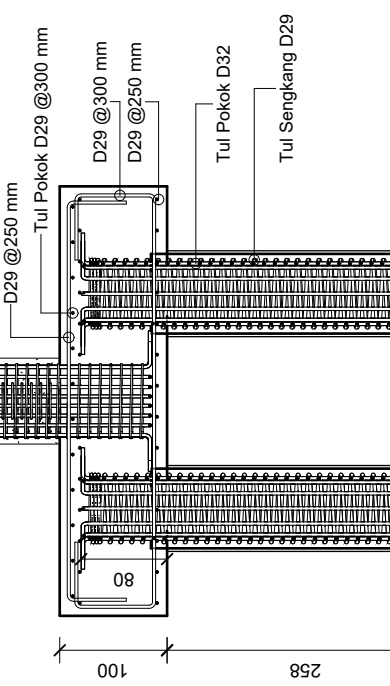
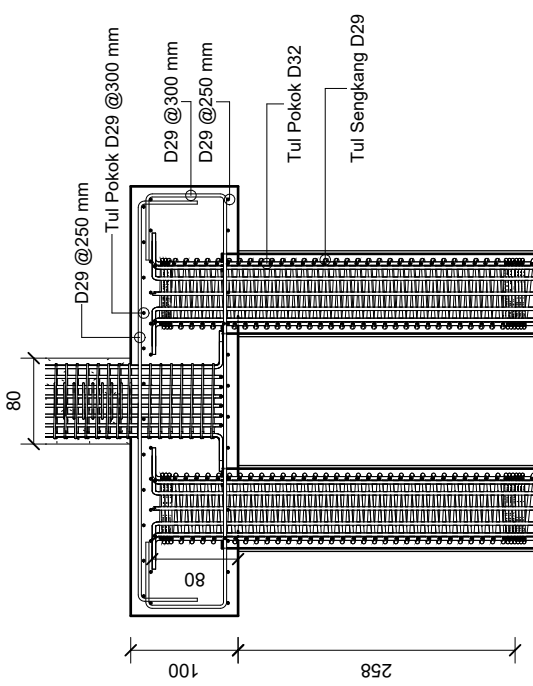
1 : 500





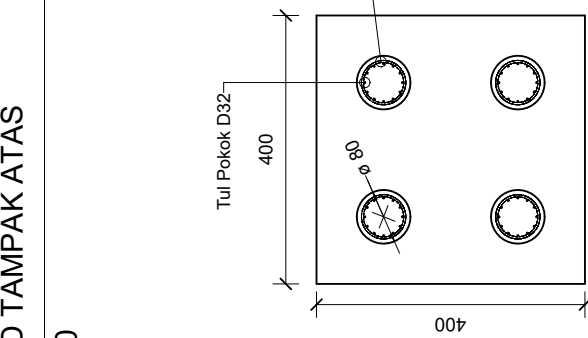
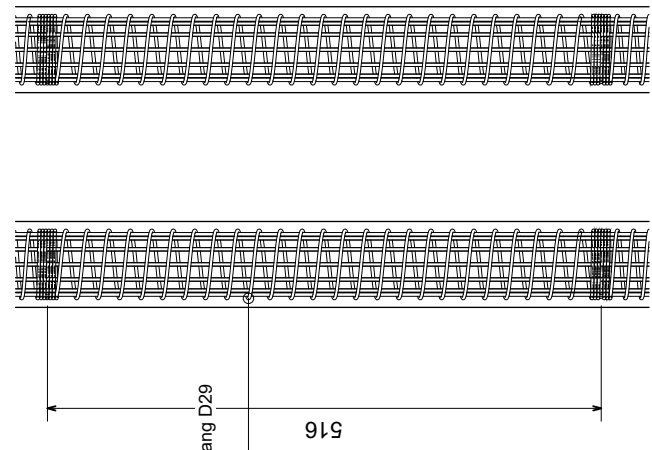
F1 3D TAMPAP ATAS

5  
1 : 80



F2 3D TAMPAP ATAS

6  
1 : 80

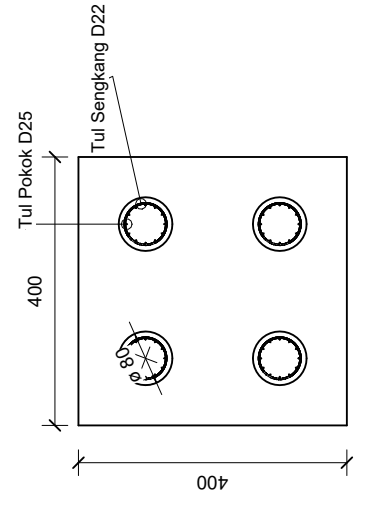
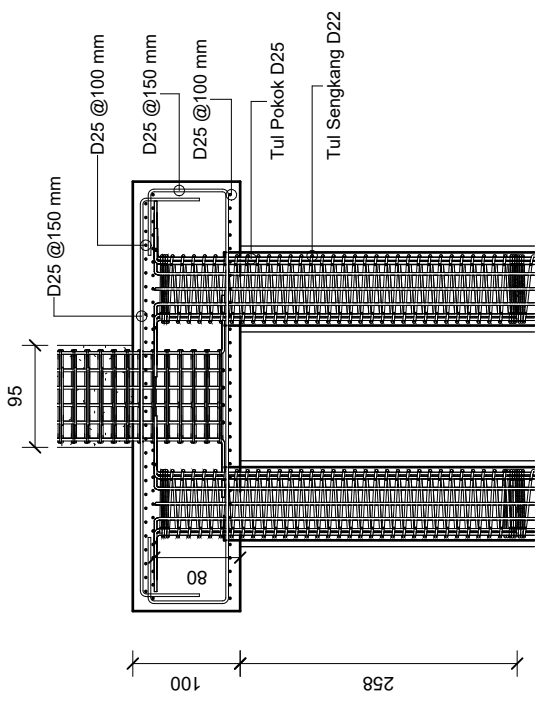


F1 3D

4  
1 : 50

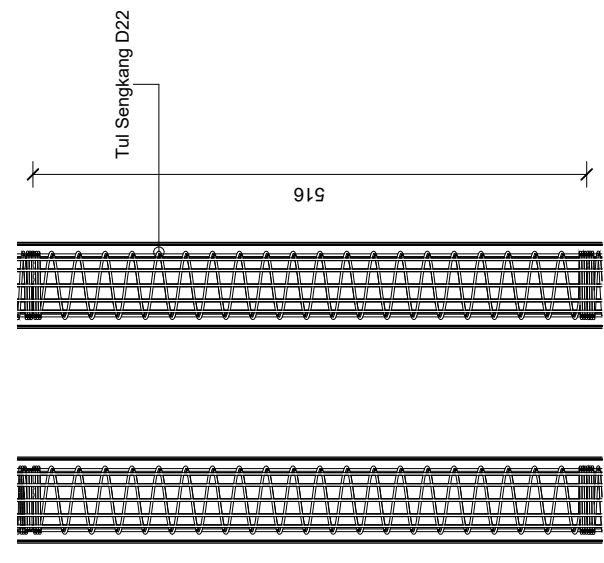
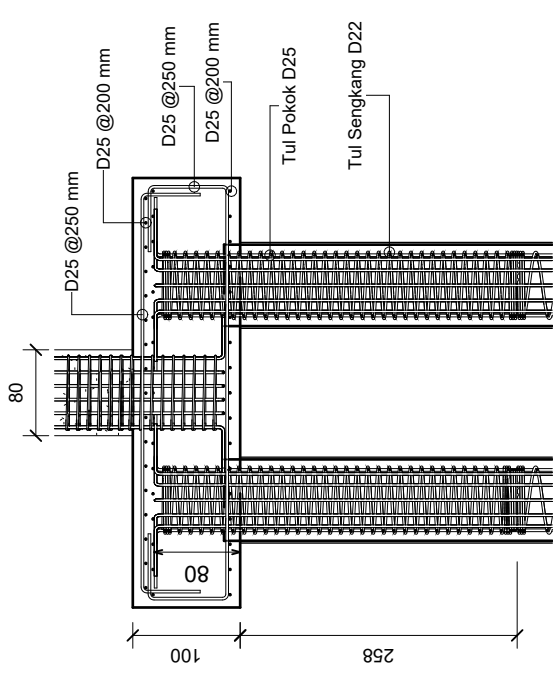
F2 3D

7  
1 : 50



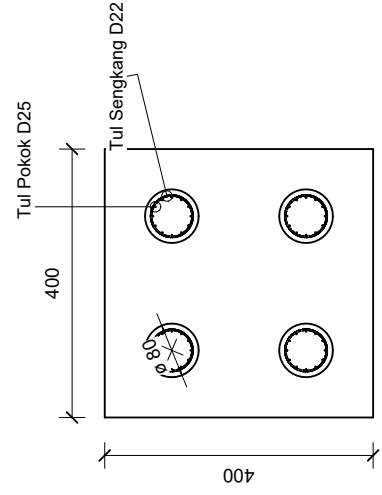
F1 2D TAMPAK ATAS

9 1 : 80



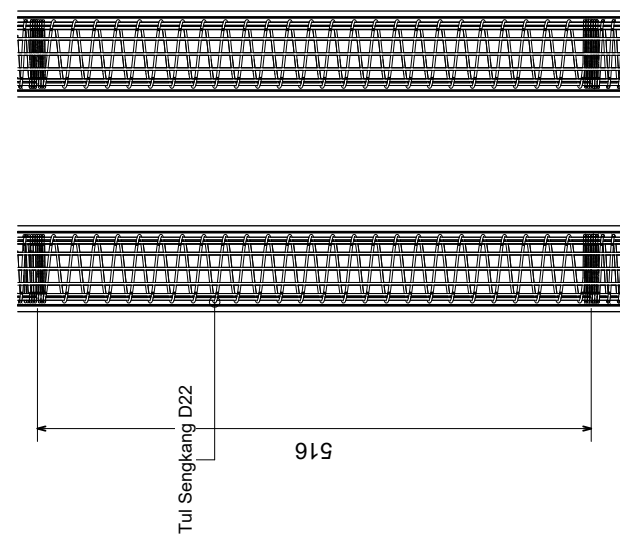
F1 2D

8 1 : 50



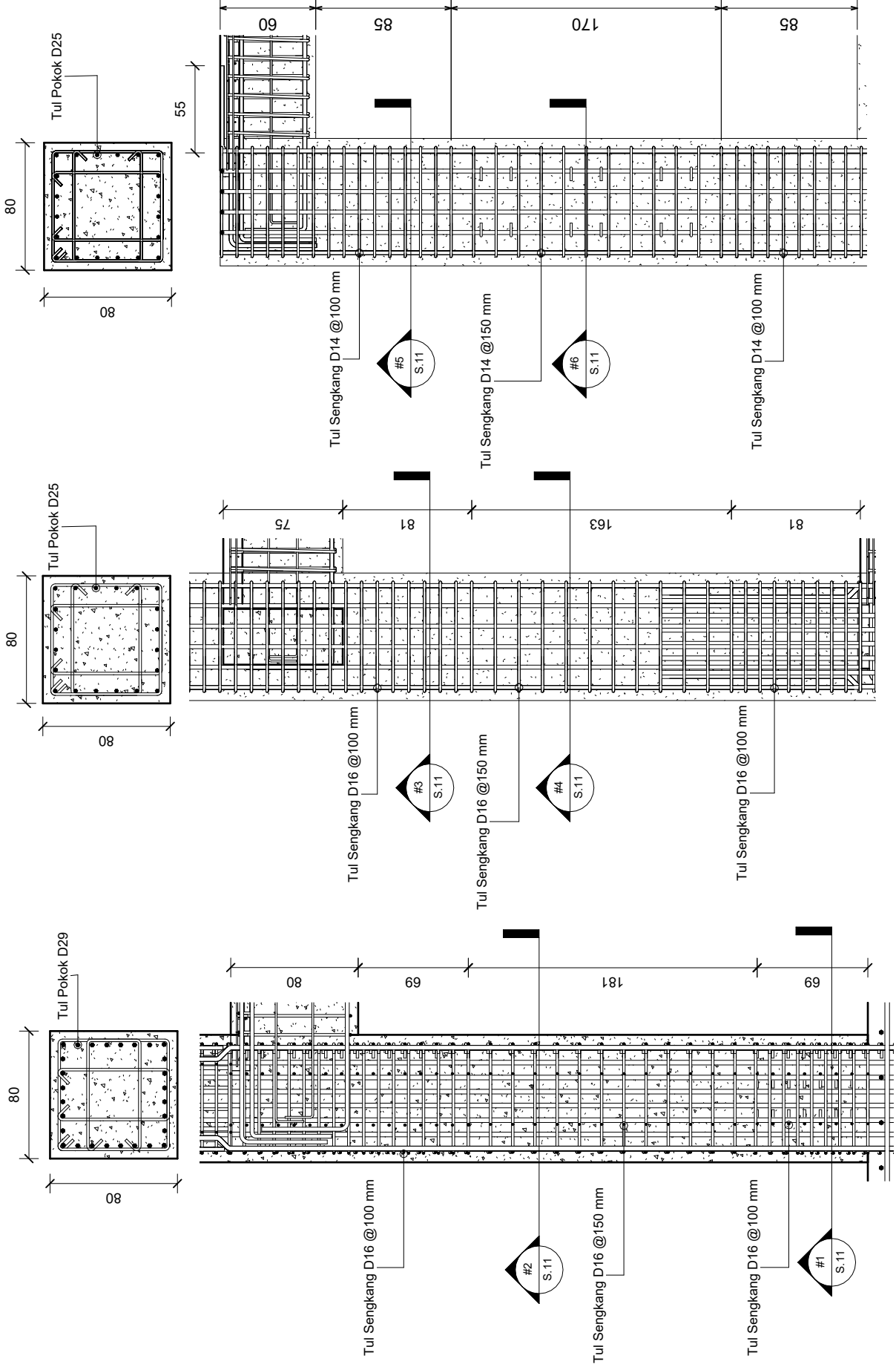
F2 2D TAMPAK ATAS

10 1 : 80



F2 2D

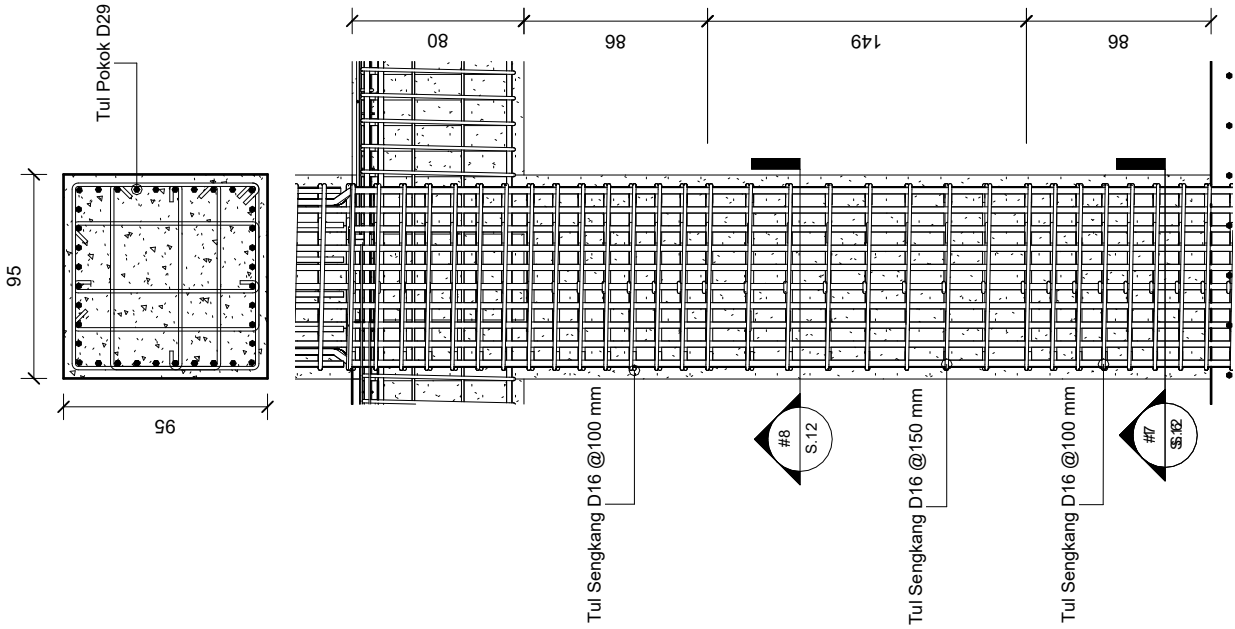
11 1 : 50



K1 3D LT.1

K1 3D LT.2

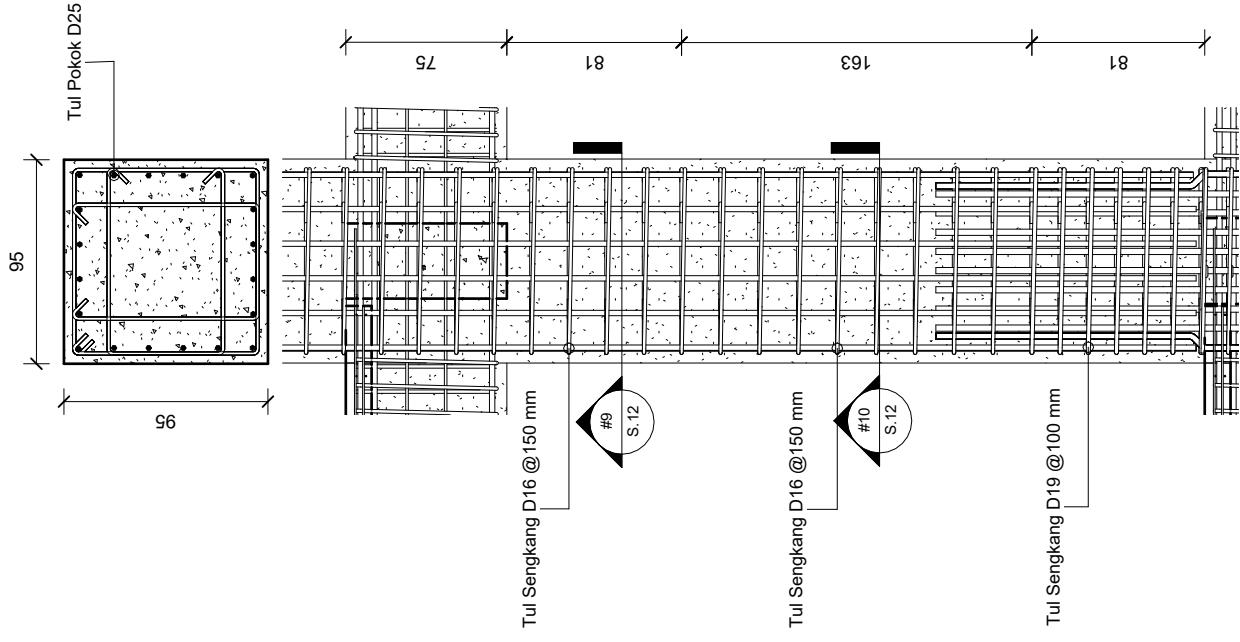
K1 3D LT.12



K2 3D LT.1

15

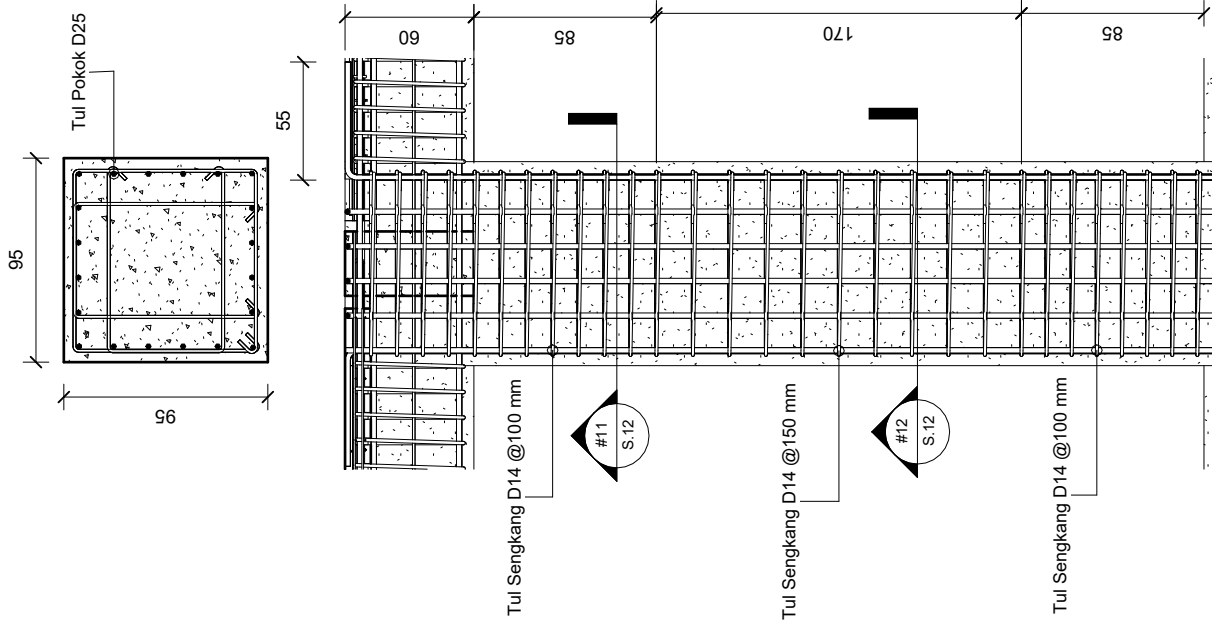
1 : 25



K2 3D LT.2-11

16

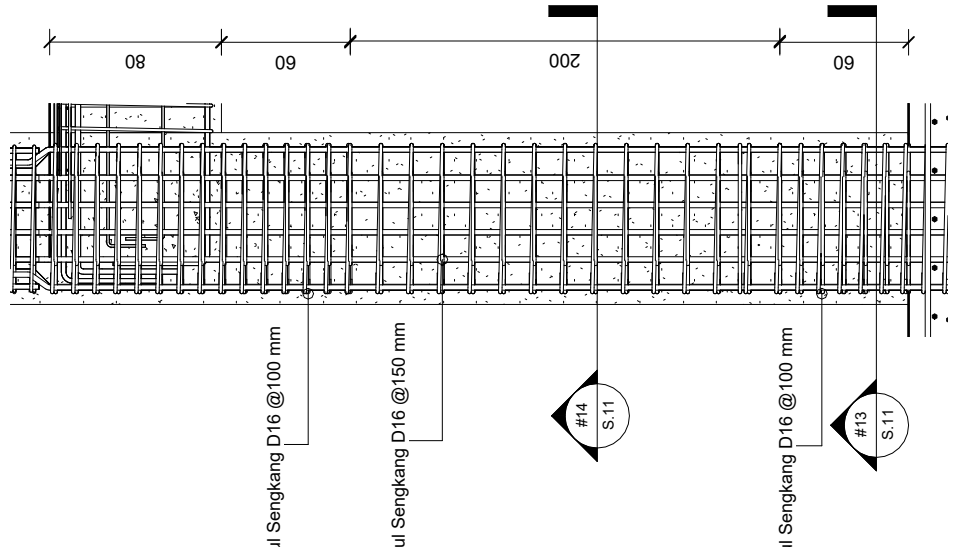
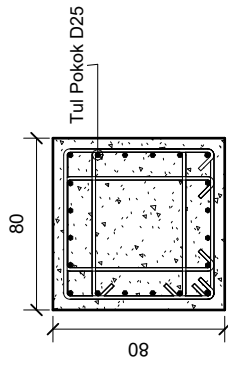
1 : 25



K2 3D LT.12

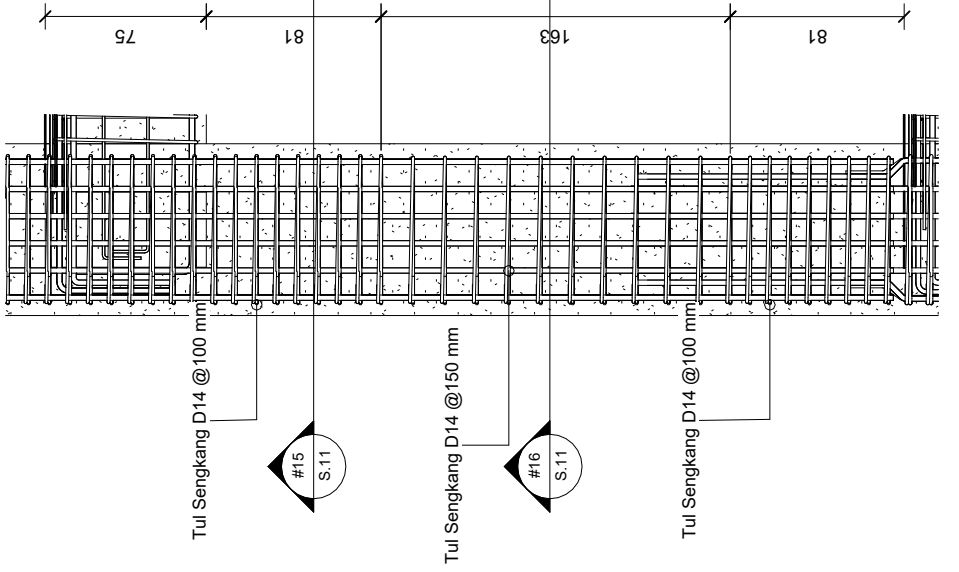
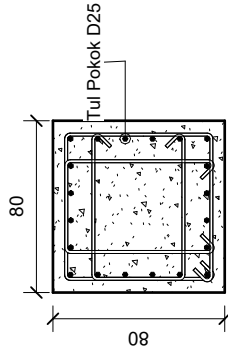
17

1 : 25



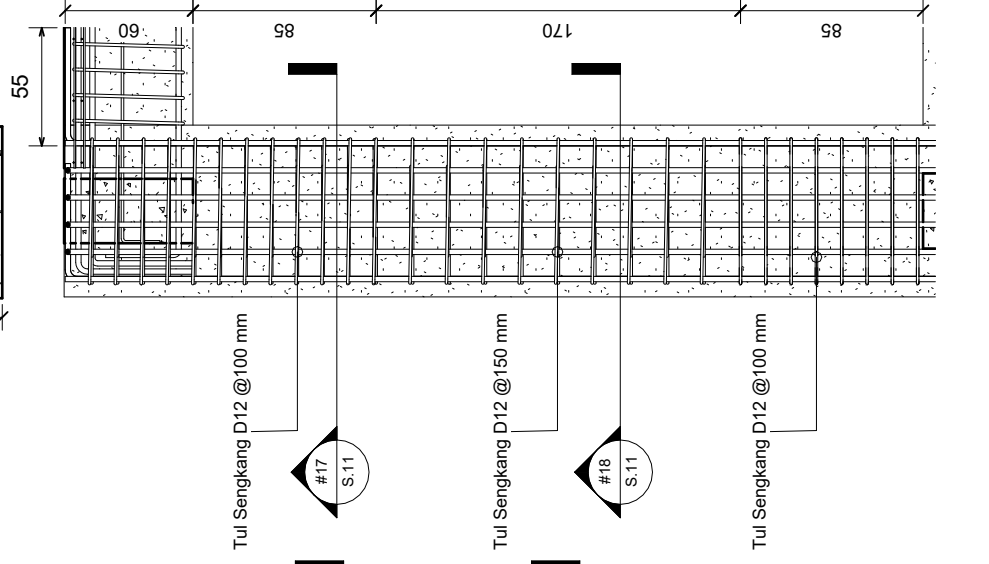
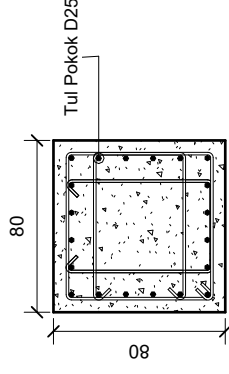
K1 2D LT.1

18 1 : 25



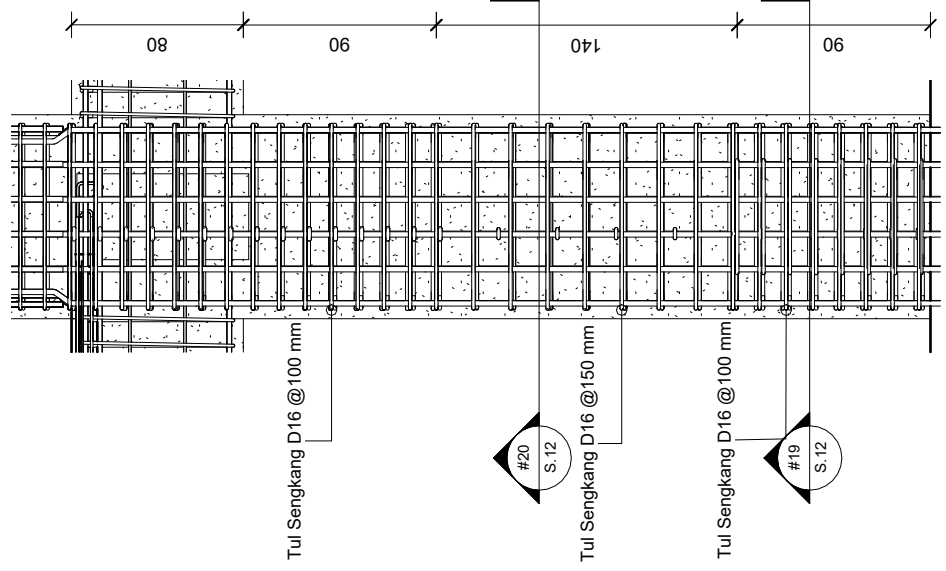
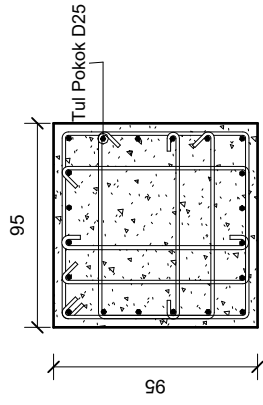
K1 2D LT.2

19 1 : 25



K1 2D LT.12

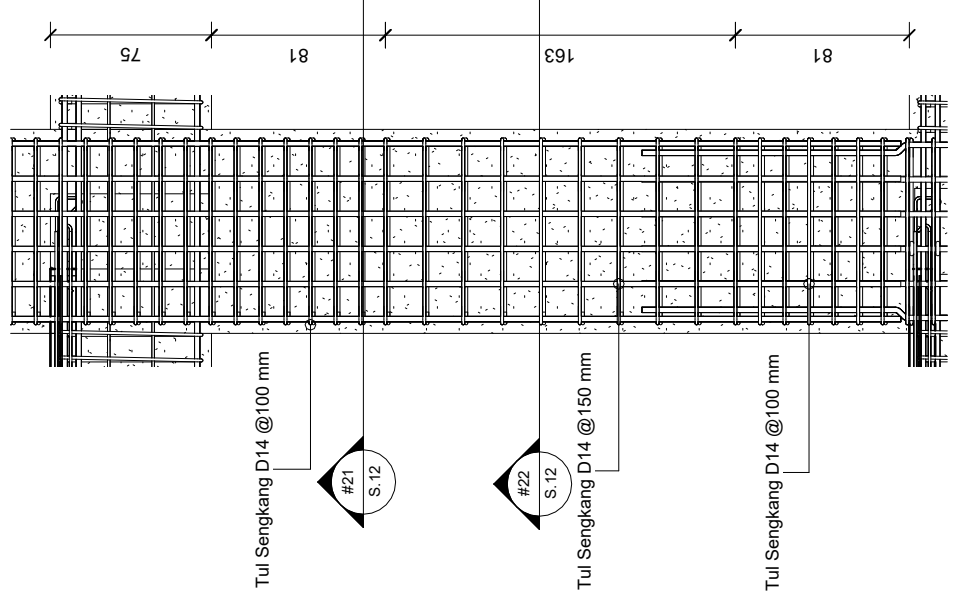
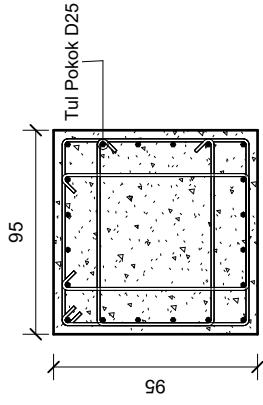
20 1 : 25



K2 2D LT.1

21

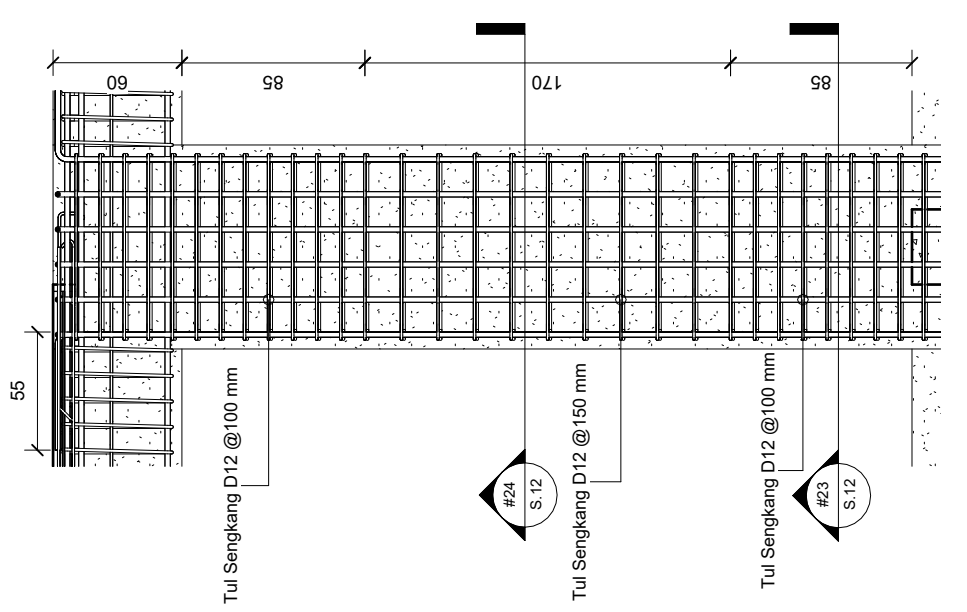
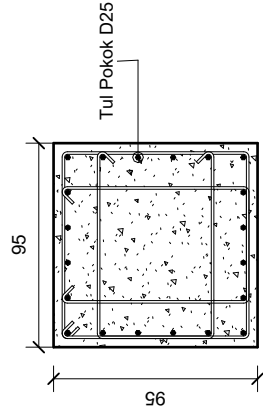
1 : 25



K2 2D LT.2

22

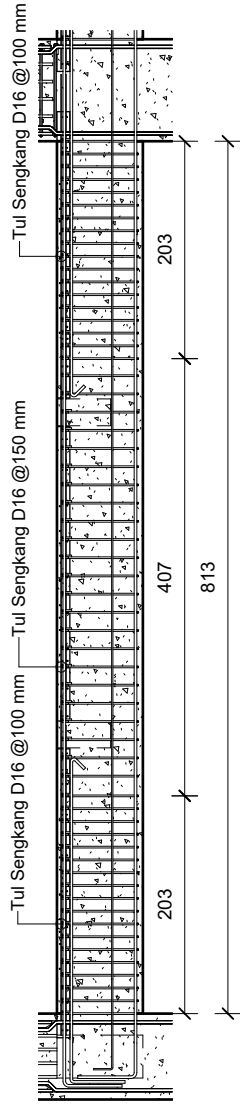
1 : 25



K2 2D LT.12

23

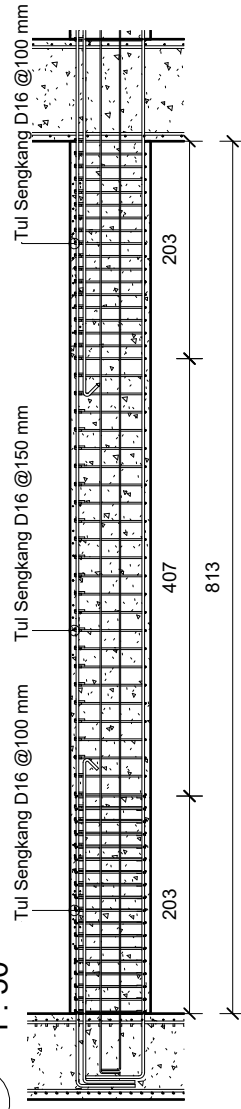
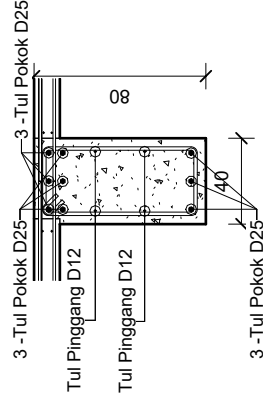
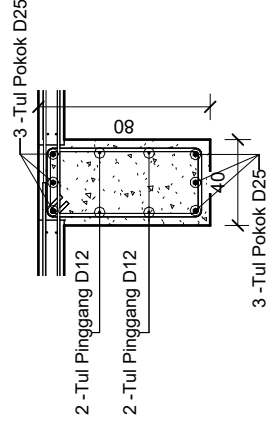
1 : 25



**Balok 3D B1**

24

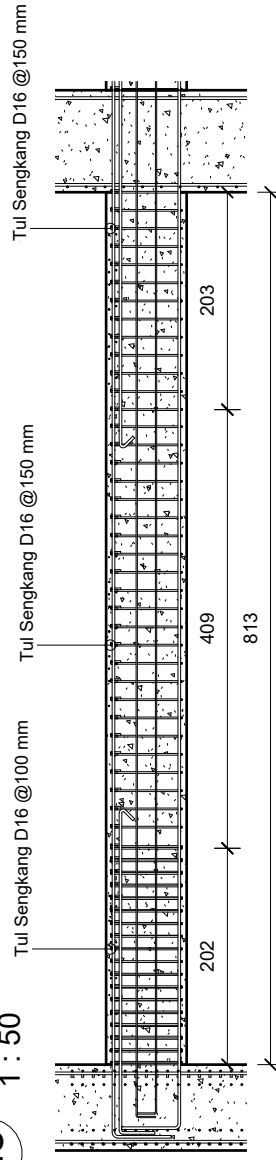
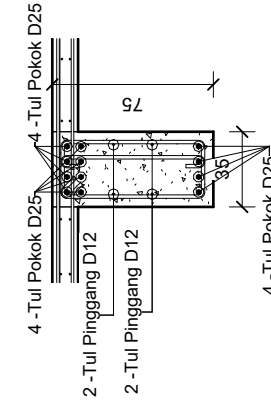
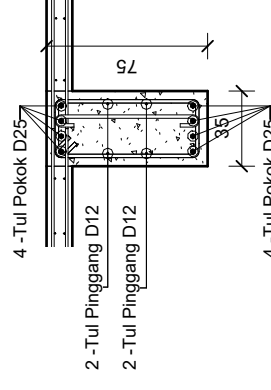
1 : 50



**Balok 3D B2**

25

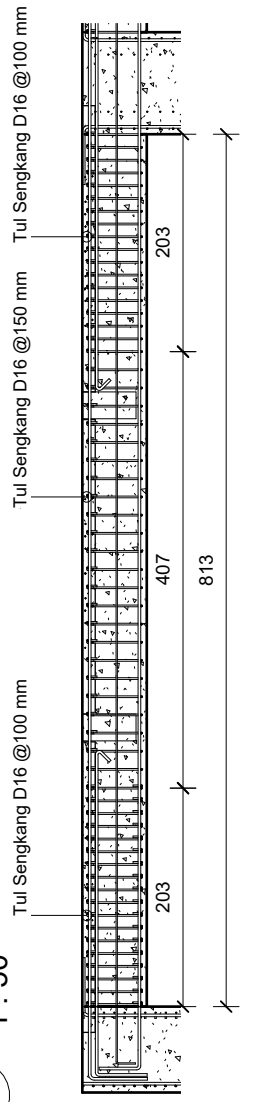
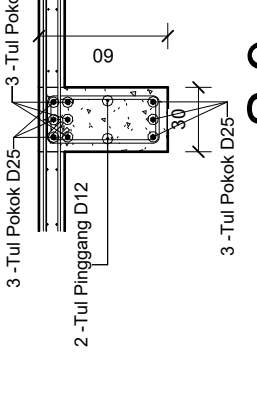
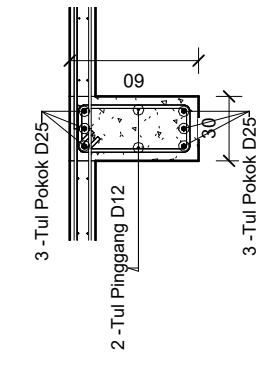
1 : 50



**Balok 3D B3**

26

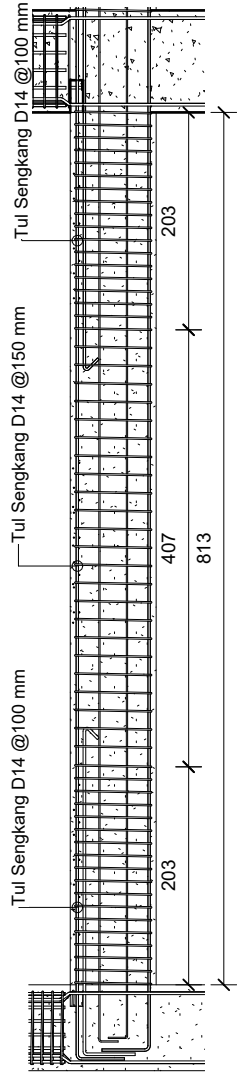
1 : 50



**Balok 3D B4**

27

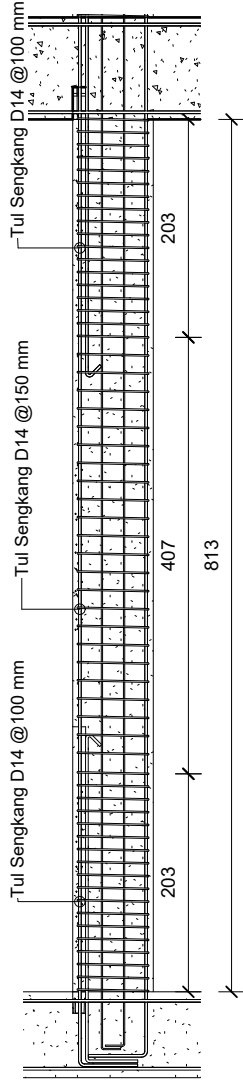
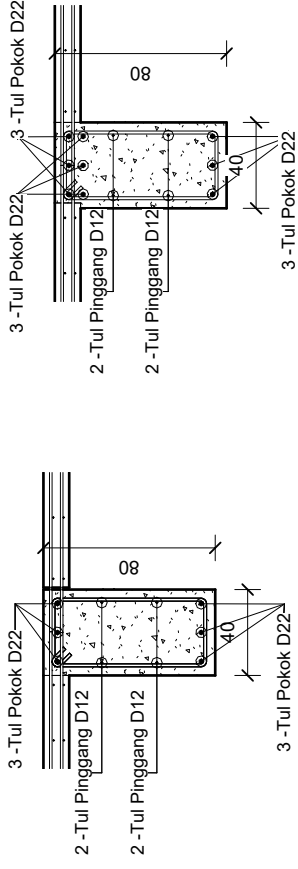
1 : 50



Balok 2D B1

28

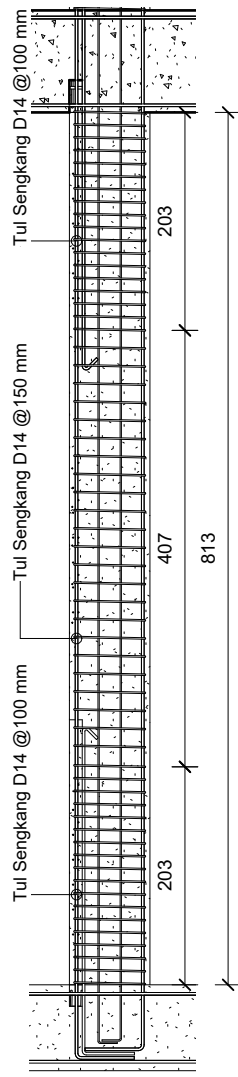
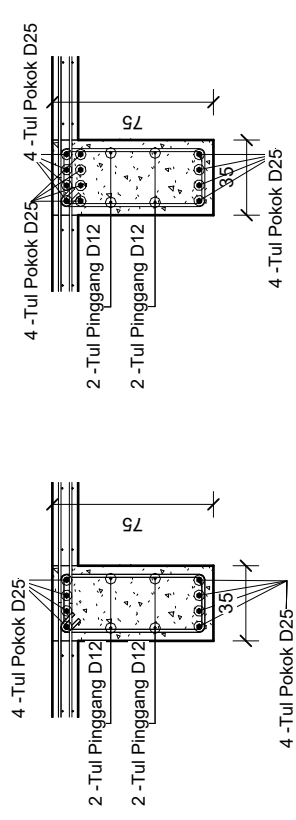
1 : 50



Balok 2D B2

29

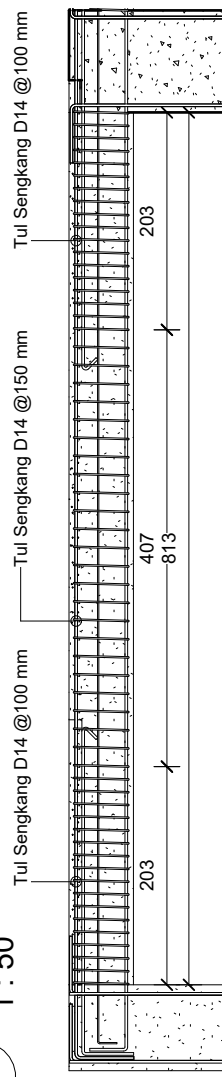
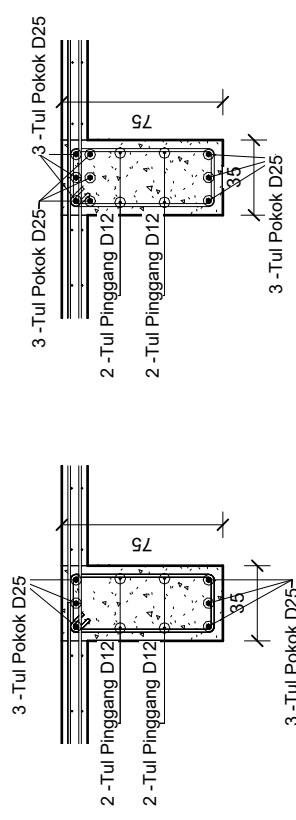
1 : 50



Balok 2D B3

30

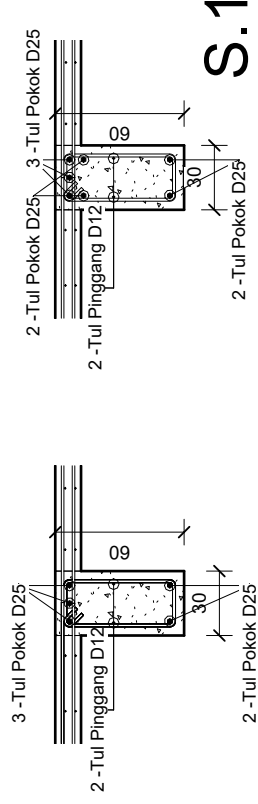
1 : 50



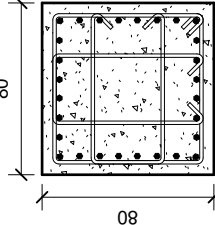
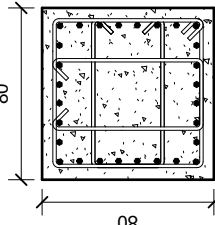
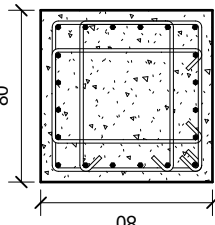
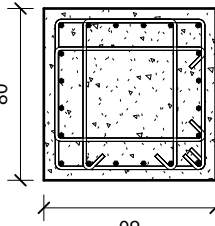
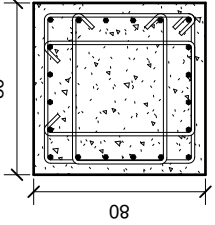
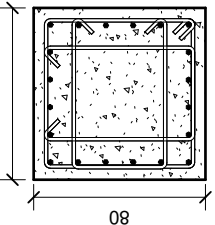
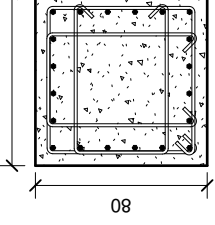
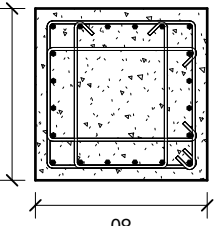
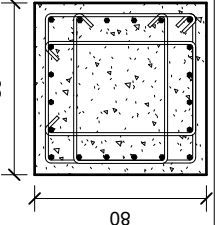
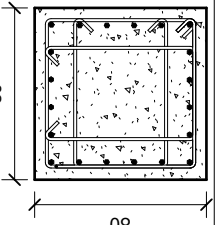
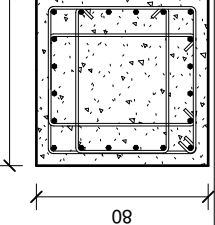
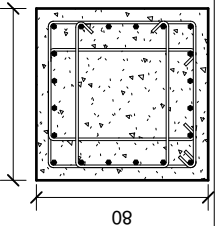
Balok 2D B4

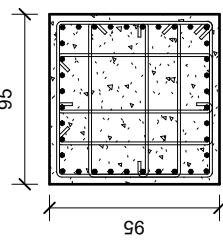
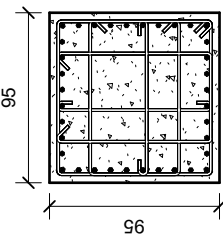
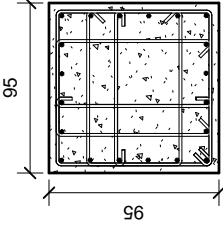
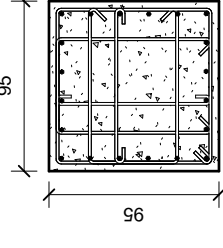
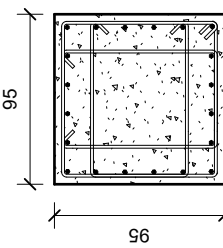
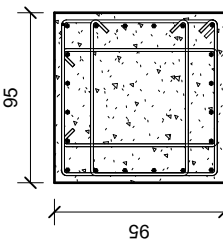
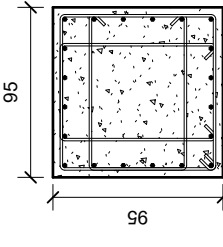
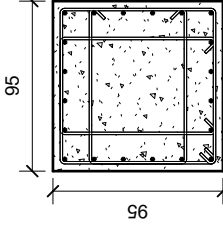
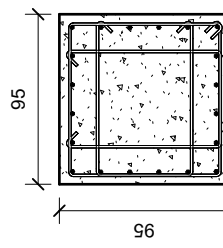
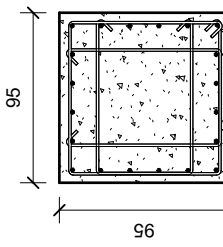
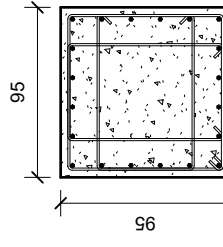
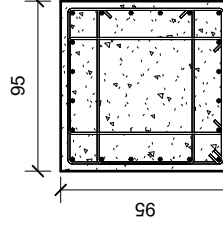
31

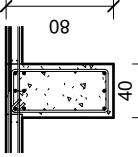
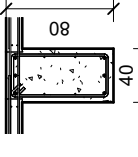
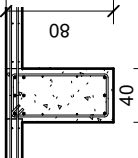
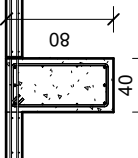
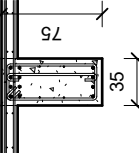
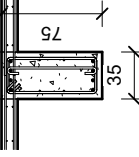
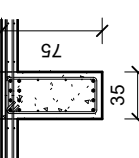
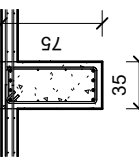
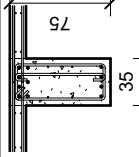
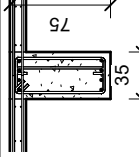
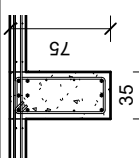
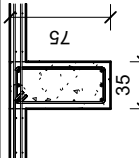
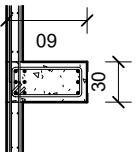
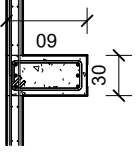
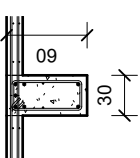
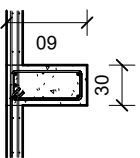
1 : 50

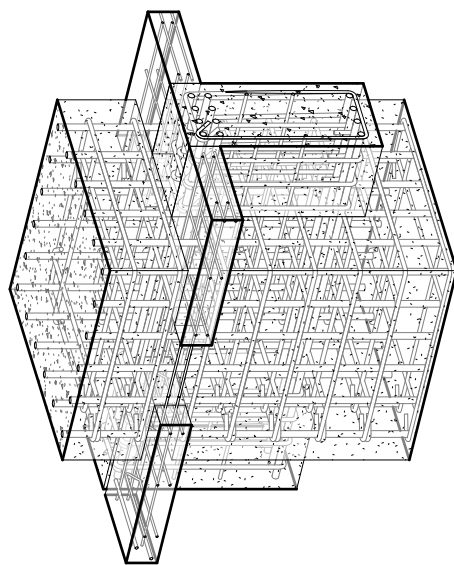
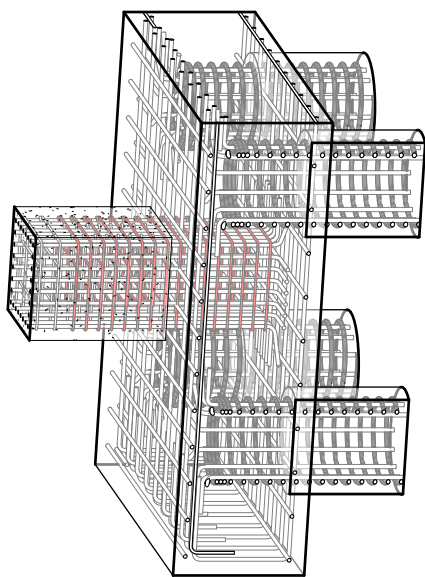
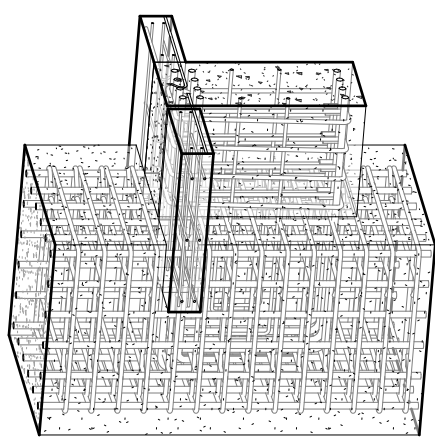
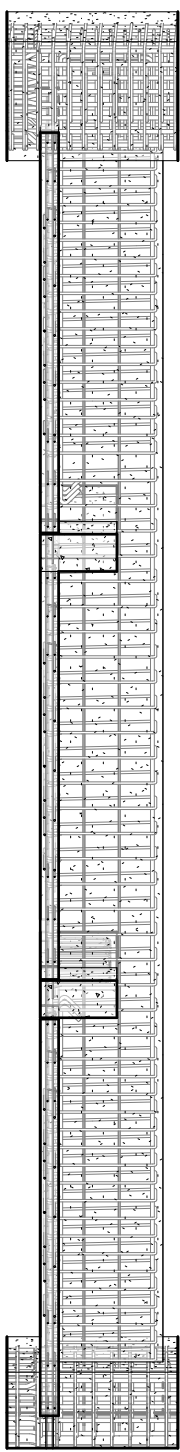
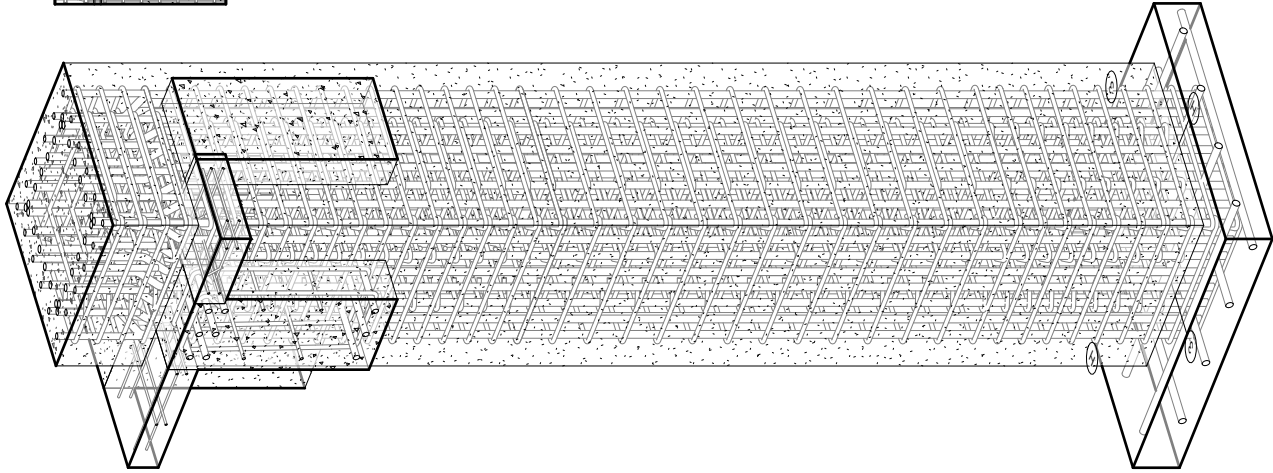


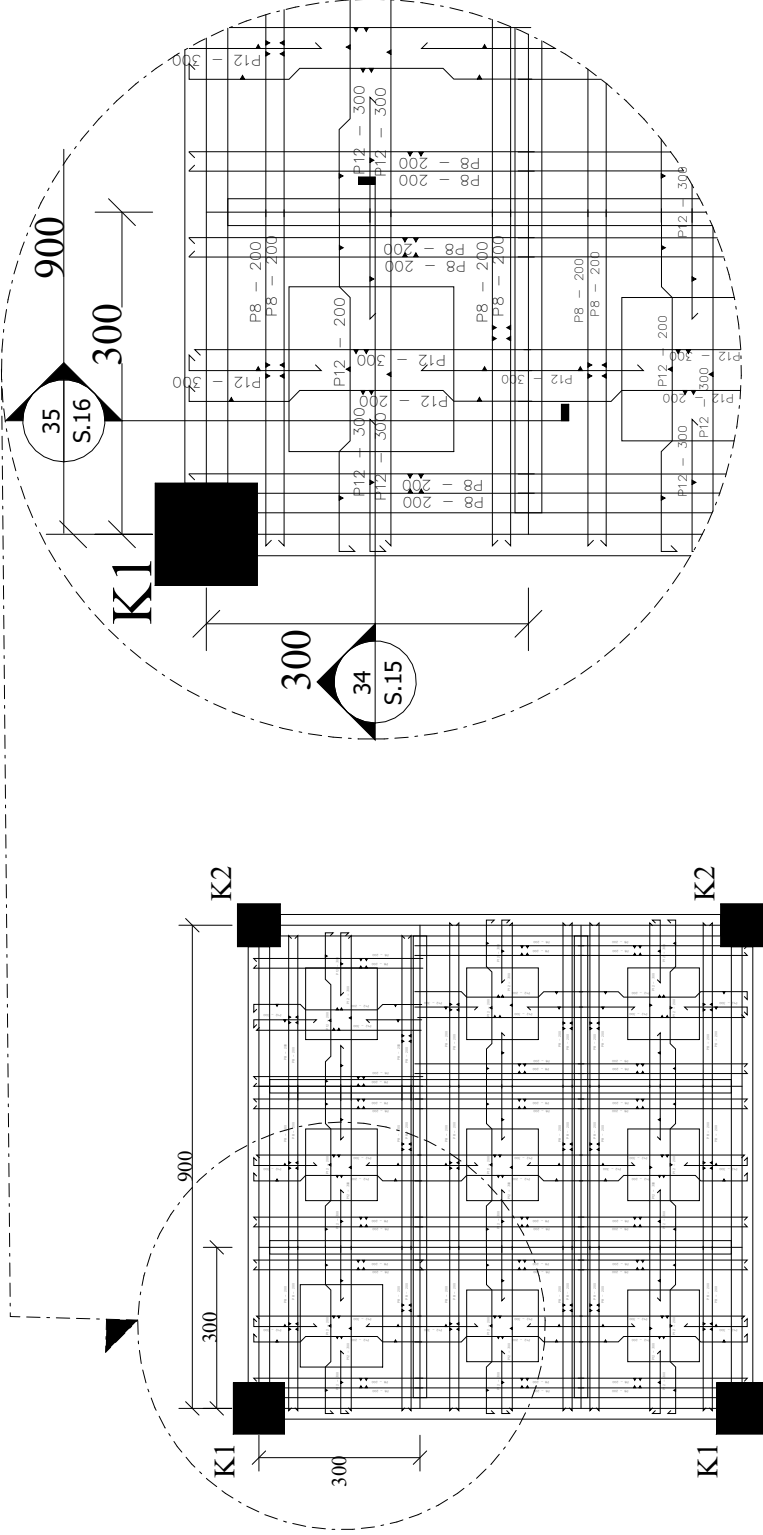


TIPE	KOLOM K1 3D		KOLOM K1 2D	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
TINGKAT 1	 80 08	 80 08	 80 08	 80 08
TUL POKOK	8D29 MM / 8D29 MM	8D29 MM / 8D29 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM
TUL SENGKANG	4D16-100 MM	4D16-150 MM	4D16-100 MM	4D16-150 MM
DIMENSI	80 / 80 CM	80 / 80 CM	80 / 80 CM	80 / 80 CM
TINGKAT 2 - 11	 80 08	 80 08	 80 08	 80 08
TUL POKOK	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM
TUL SENGKANG	4D16-100 MM	4D16-150 MM	4D14-100 MM	4D14-150 MM
DIMENSI	80 / 80 CM	80 / 80 CM	80 / 80 CM	80 / 80 CM
TINGKAT 12	 80 08	 80 08	 80 08	 80 08
TUL POKOK	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM
TUL SENGKANG	4D14-100 MM	4D14-150 MM	4D12-100 MM	4D12-150 MM
DIMENSI	80 / 80 CM	80 / 80 CM	80 / 80 CM	80 / 80 CM

TIPE	KOLOM K2 3D		KOLOM K2 2D	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
TINGKAT 1	 95 95	 95 95	 95 95	 95 95
TUL POKOK	10D29 MM / 10D29 MM	10D29 MM / 10D29 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM
TUL SENGKANG	5D16-100 MM	5D16-150 MM	5D16-100 MM	5D16-150 MM
DIMENSI	95 / 95 CM	95 / 95 CM	95 / 95 CM	95 / 95 CM
TINGKAT 2 - 11	 95 95	 95 95	 95 95	 95 95
TUL POKOK	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM
TUL SENGKANG	4D16-100 MM	4D16-150 MM	4D14-100 MM	4D14-150 MM
DIMENSI	95 / 95 CM	95 / 95 CM	95 / 95 CM	95 / 95 CM
TINGKAT 12	 95 95	 95 95	 95 95	 95 95
TUL POKOK	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM	6D25 MM / 6D25 MM
TUL SENGKANG	4D14-100 MM	4D14-150 MM	4D12-100 MM	4D12-150 MM
DIMENSI	95 / 95 CM	95 / 95 CM	95 / 95 CM	95 / 95 CM

MODEL / TIPE	BALOK 3D		BALOK 2D	
	TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN	LAPANGAN
<b>B1</b>				
	T. ATAS 6D25 MM	3D25 MM	6D22 MM	3D22 MM
	T. BAWAH 3D25 MM	3D25 MM	3D22 MM	3D22 MM
	T. SENGGANG 2D16-100 MM	2D16-150 MM	2D14-100 MM	2D14-150 MM
T. PINGGANG	4D12		4D12	
<b>B2</b>				
	T. ATAS 8D25 MM	4D25 MM	8D22 MM	4D22 MM
	T. BAWAH 4D25 MM	4D25 MM	4D22 MM	4D22 MM
	T. SENGGANG 3D16-100 MM	3D16-150 MM	2D14-100 MM	2D14-150 MM
T. PINGGANG	4D12		4D12	
<b>B3</b>				
	T. ATAS 7D25 MM	4D25 MM	6D22 MM	3D22 MM
	T. BAWAH 4D25 MM	4D25 MM	3D22 MM	3D22 MM
	T. SENGGANG 3D16-100 MM	3D16-150 MM	2D14-100 MM	2D14-150 MM
T. PINGGANG	4D12		4D12	
<b>B4</b>				
	T. ATAS 6D25 MM	3D25 MM	6D22 MM	3D22 MM
	T. BAWAH 3D25 MM	3D25 MM	3D22 MM	3D22 MM
	T. SENGGANG 2D16-100 MM	2D16-150 MM	2D14-100 MM	2D14-150 MM
T. PINGGANG	4D12		4D12	



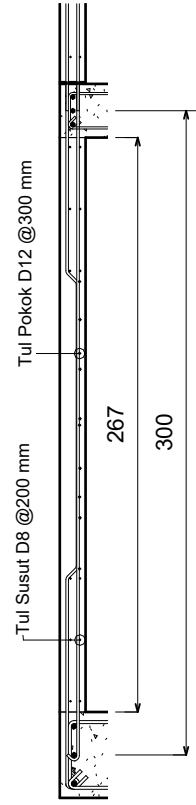


**32** PELAT PL 1

Scale: 1:100

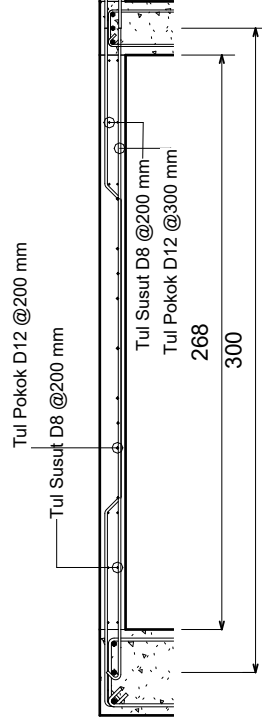
**33** DETAIL PELAT PL 1

Scale: 1:50



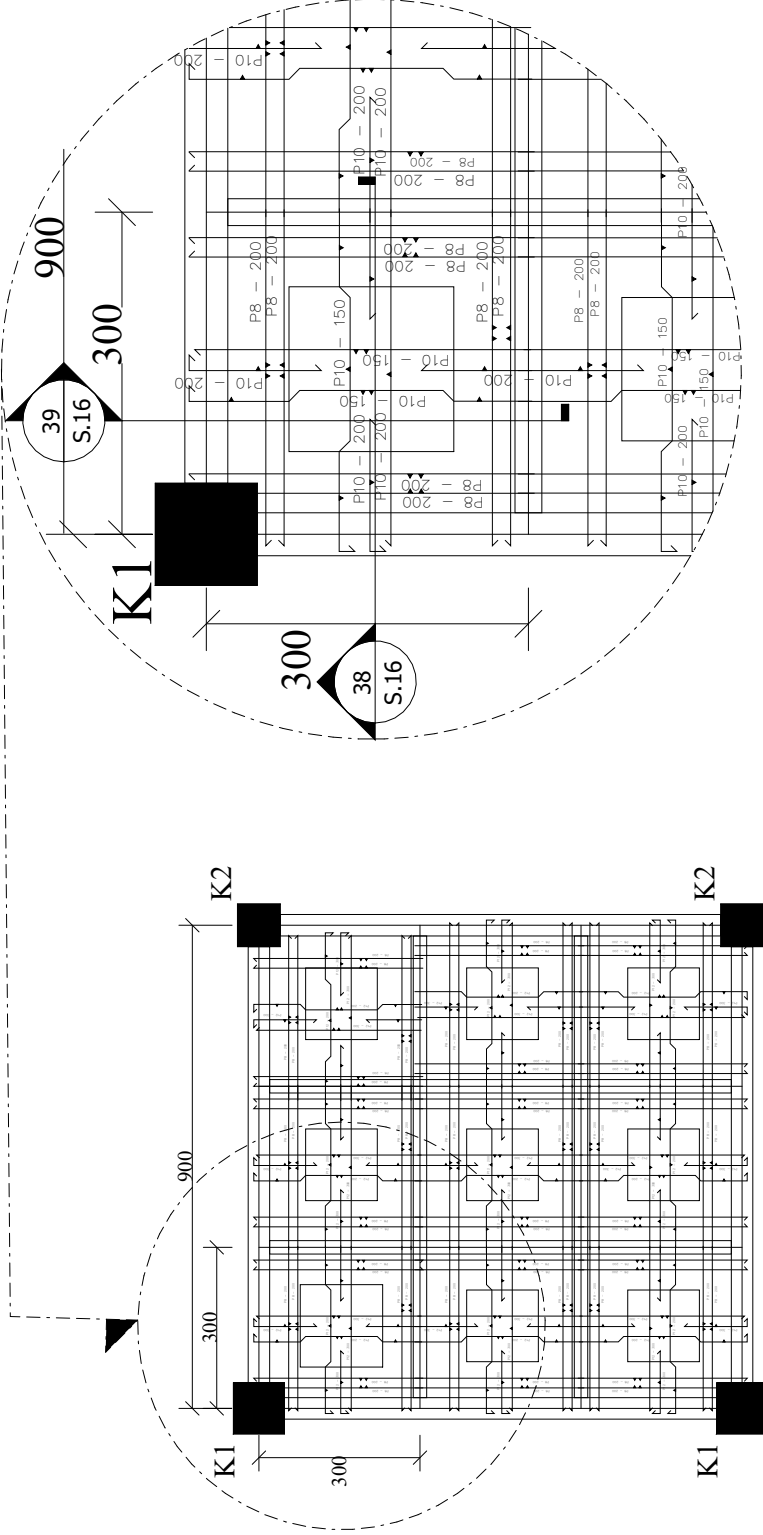
**34** Pot x PL1

1 : 25



**35** Pot y PL1

1 : 25



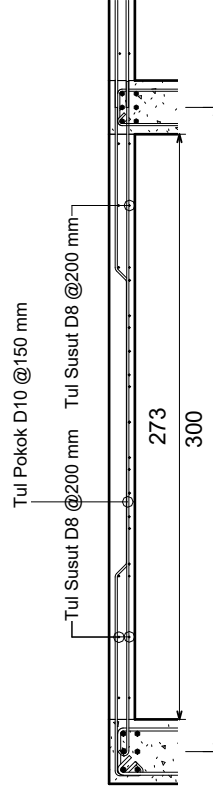
36 PELAT PA 1

Scale: 1:100

37

DETAIL PELAT PA 1

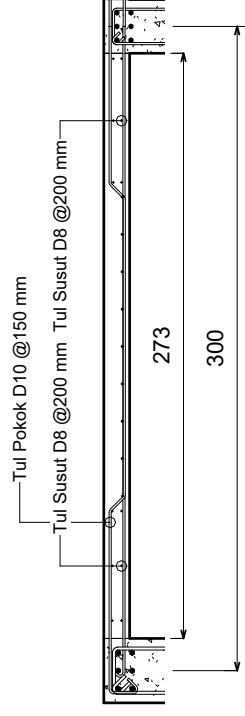
Scale: 1:50



38

Pot x PA1

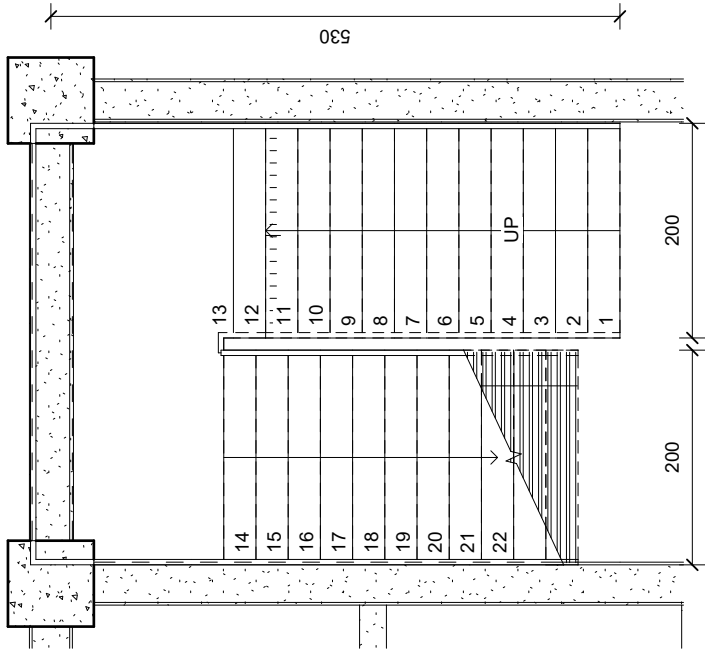
1 : 25



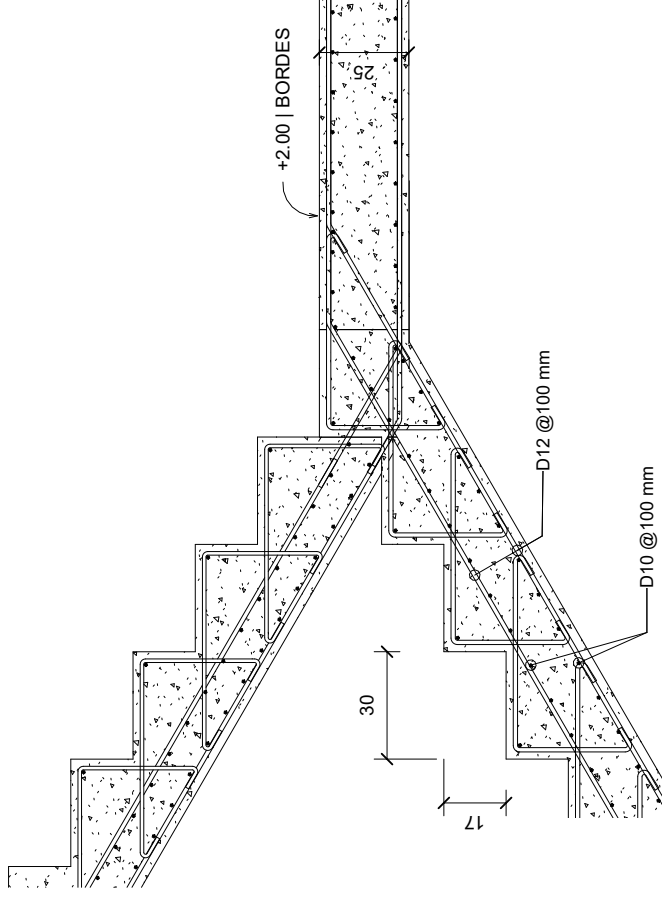
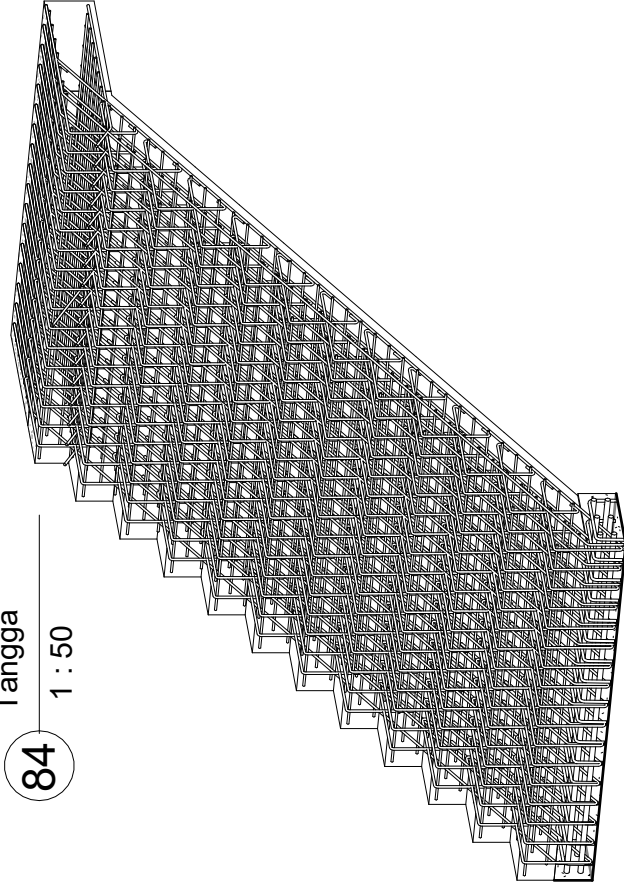
39

Pot y PA1

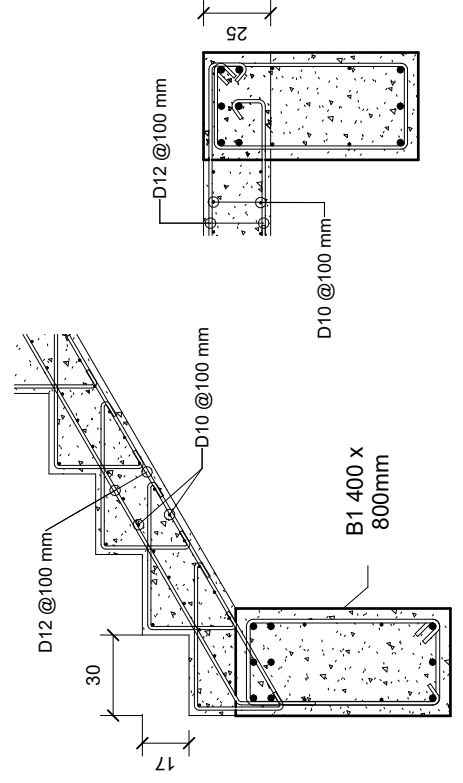
1 : 25



84  
Tangga  
1 : 50



85  
Detail Tangga Tengah  
1 : 15



86  
Detail Sambungan Tangga  
1 : 20